

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

TROISIEME CHAPITRE - **Position en mer**

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

Les techniques de navigation ont été développées par les premiers marins pour naviguer sur les mers et océans. La constatation du magnétisme terrestre a conduit à l'utilisation de la boussole (appelée en navigation un compas), qui a permis de tenir un cap et suivre une route. La mesure de la vitesse a été rendue possible grâce à l'invention du loch à bateau. Ces deux éléments, cap et vitesse, permettent une navigation à l'estime, insuffisamment précise dans la durée. Sans repère terrestre (hors de vue d'une côte), les navigateurs se sont repérés grâce à l'observation des astres. La hauteur d'un astre au dessus de l'horizon, facilement mesurable par les «ancêtres» du sextant, tels que l'astrolabe, qui permet de calculer la latitude. Toutes ces techniques étaient acquises, dès le XVe siècle. La mesure de longitude, qui se déduit de la mesure du temps, n'a été véritablement possible qu'au XVIIIe siècle avec l'invention de chronomètre (ou garde-temps) précis qui permettait de «garder» le temps du méridien d'origine.

Par la suite, ces moyens ont gagné en précision et les méthodes de calcul se sont affinées. À la fin du XIXe, l'invention de l'électricité a entraîné celle du compas gyroscopique qui permet de s'affranchir des difficultés inhérentes au magnétisme terrestre. Le développement de la radio a permis dans la première moitié du XXe siècle, l'arrivée des premiers systèmes de radionavigation (principe de la radiogoniométrie à l'origine). Ceux-ci se sont diversifiés et développés, particulièrement au profit de la navigation aérienne, notamment pour les approches d'aérodromes et le guidage à l'atterrissage.

À partir de la fin du XXe siècle sont apparus les systèmes de navigation satellitaires. Le principe de base est identique à la radionavigation (système passif ou le mobile détermine sa position par rapport à des signaux reçus, souvent à base terrestre ; ex côtier SYLEDIS, hauturier LORAN C), mais les balises sont implantées sur une constellation de satellites en orbite. Le faible coût des récepteurs permet l'équipement de mobiles même rustiques. Les systèmes satellitaires ont, en navigation maritime, supplanté tous les systèmes de radionavigation existants.

Les techniques anciennes à base de sextants et de chronomètres, qui n'utilisent pas l'énergie électrique, restent toujours pertinentes car elles constituent un moyen de secours en cas de non fonctionnement (accidentel ou volontaire) des systèmes de positionnement, voire le seul moyen sur des voiliers de plaisance traditionnels.

I Navigation à l'estime

a) mesures de la direction

Le compas marin est l'instrument de navigation par excellence. Sans lui, il est impossible de se repérer en mer. Le compas marin indique la référence de direction nord sur un plan horizontal. Il permet ainsi de mesurer facilement les autres angles horizontaux mesurés en degrés, et ainsi de suivre un cap. C'est la principale utilité d'un compas fixe, ceux qu'on monte sur le pont d'un voilier ou

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

l'arrière du rouf. Ils doivent donc être parfaitement visibles du barreur. Le compas portatif, ou compas de relèvement, sert quant à lui à relever le gisement (la direction en degrés, toujours par rapport au nord) d'un objet fixe (amer, balise) ou mobile (un cargo par exemple, pour savoir s'il y a un risque de collision).

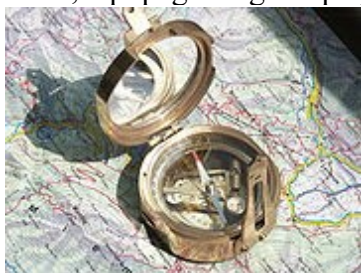
Il existe aussi différents types de compas utilisant différentes technologies :

Les boussoles de marine, appelées communément compas (= quadrant, calamite (Méd), Marinette (vieux terme)), sont de deux types :

- fixée sur une paroi verticale pour permettre une lecture par le côté,
- ou bien placée dans un logement vertical pour permettre une lecture par dessus.

Le compas magnétique fonctionne exactement comme une boussole : Il utilise le champ magnétique terrestre pour indiquer le nord. **Notons qu'il faut bien distinguer le nord du compas, le nord magnétique et le nord vrai ou nord géographique, indiqué par les cartes. Le décalage d'angle entre le nord du compas et le nord magnétique est appelé déviation (erreur de mesure), et le décalage entre le nord vrai et le nord magnétique est appelé déclinaison.**

Les boussoles possèdent une ou plusieurs aiguilles magnétisées à l'intérieur d'une capsule remplie de liquide pour en ralentir les mouvements ; la viscosité du liquide force l'aiguille (ou la sphère graduée) à s'arrêter rapidement sans osciller de part et d'autre du nord magnétique. Les aiguilles magnétiques peuvent aussi être fixées de manière permanente à un cadran de boussole (rose des vents, équipement magnétique) et qui tourne librement autour d'un pivot.



Boussole de marine avec inclinomètre incorporé et niveaux à bulle



Compas de marine à cadran (lecture par dessus).

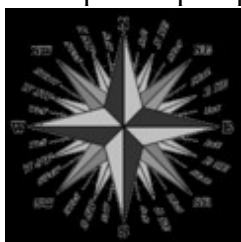


Compas de voilier à sphère (lecture latérale).

Une ligne de lourdaud, qui peut être une inscription sur la cuvette de boussole ou une petite aiguille fixe, indique l'axe longitudinal (direction de la marche) du bateau par rapport au cadran de la boussole. La boîte (la cuvette) hermétiquement fermée par un couvercle de verre est fixée à une suspension à cardan. Ceci garantit son maintien en position horizontale quels que soient les mouvements du navire.

Les boussoles modernes, compas magnétiques, possèdent aussi généralement un dispositif permettant de corriger la déclinaison magnétique pour retrouver directement le nord géographique.

Note : Une rose des vents est une figure indiquant les points cardinaux : nord, sud, est, ouest. Elles indiquent souvent également des orientations intermédiaires, jusqu'à 32. En fait, les roses initiales n'indiquaient pas quatre directions mais huit vents.



La première rose des vents « moderne », orientée vers le nord et à 32 points, a été dessinée par le Portugais Pedro Reinél dans sa carte de 1504. Avant ces 32 secteurs étaient appelés rums (rums, rhumbs, ou vents) et aujourd'hui sont indiqués par : Nord, nord-nordet, nordet, est-nordet, est, ... ouest, ouest-noroît,, noroît, nord- noroît

Ce genre de compas magnétiques pouvaient être utilisés sur des bateaux en bois ou en cuivre mais pas métallique. Ont été mis au point d'autres sortes de compas :

- le **compas gyroscopique**, dont le principe est l'effet gyroscopique (découvert par Foucault en 1852), qui énonce que l'orientation de l'axe de rotation d'une toupie (libre sur les 3 axes) correspond à l'axe de rotation de la Terre.

C' est un instrument de navigation indiquant le nord géographique indépendamment du champ magnétique terrestre. Il est constitué par un gyroscope dont l'axe de rotation est maintenu horizontal. La précession induite par la rotation de la Terre aligne alors l'axe de rotation du gyroscope sur l'axe des pôles. Il faut compter deux à quatre heures pour l'alignement (temps d'établissement). Son déploiement comme instrument de navigation date du début du xxe siècle, avec le remplacement des navires en bois par des navires en métal qui rendait problématique l'usage de la boussole. Ils présentent une déviation systématique dépendant de la direction et de la vitesse du déplacement. De ce fait, les gyrocompas sont principalement utilisés sur des navires à faible vitesse.



Répétiteur de gyrocompas



Ce compas électronique NKE contient un gyromètre trois axes. C'est un capteur indispensable au bon fonctionnement du pilote automatique.

Par Stahlkocher — Photographie
personnelle, CC BY-SA 3.0,
[https://commons.wikimedia.org/v
dex.php?curid=432914](https://commons.wikimedia.org/v
dex.php?curid=432914)

Par KenWalker — Travail
personnel, CC BY-SA 3.0,
[https://commons.wikimedia](https://commons.wikimedia.org/wiki/index.php?curid=4124918)
dex.php?curid=4124918

<https://www.voileetmoteur.com/voiliers/equipement/differents-type->

Point positif : indique directement le nord géographique

Points négatifs :

- Il doit être alimenté électriquement, il n'est donc pas à l'abri des pannes
- Il doit être entretenu régulièrement
- Pour éviter toutes interférences, le compas gyroscopique ne doit jamais être placé à proximité d'autres appareils électroniques. C'est une source d'erreur très répandue.
- Le gyrocompas n'est pas utilisable à des latitudes supérieures à 70 °.
- Une fois allumé, il nécessite quelques heures de stabilisation, ce qui peut parfois être contraignant.

- le **compas électronique (anciennement électro-magnétique)**, qui détermine le champ magnétique à partir des propriétés électriques de certains matériaux soumis à un champ magnétique. Le compas électronique ne doit pas être confondu avec le compas gyroscopique, même s'ils utilisent tous les deux l'électricité. Il n'utilise pas l'effet gyroscopique. En réalité, le compas électronique s'apparente davantage à un compas magnétique perfectionné (d'où l'ancienne terminologie électro-magnétique, dont le nom est très clair).

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

Les quatre principales technologies utilisées dans les compas électroniques sont le fluxgate, l'effet Hall, la magnétorésistivité et la magnétoinduction (dynamo dans laquelle un courant est induit par le champ magnétique terrestre quand la dynamo n'est pas orientée vers le nord magnétique ; découvert par Dunoyer 1914-18, construit par Pionner (US)).

Les compas électro-magnétiques doivent quand même être mis loin des grosses pièces métalliques (ex moteurs) affectant la mesure. Des compas électroniques vanne de flux (fluxgate) sont de plus en plus souvent utilisés sur les voiliers, même de petite taille. Les pilotes plus évolués ont aussi un compas électronique, mais assisté d'un ou plusieurs gyroscopes qui enrichissent le flux de données envoyé au calculateur en tenant compte des accélérations et des mouvements du bateau.

- Les grands bateaux se fient plus récemment au **compas satellitaire** plutôt qu'à un compas magnétique pour la navigation, bien que la présence de ce dernier reste toujours obligatoire.

Le système se compose de deux antennes satellites connectées chacune à des récepteurs GPS (fin chapitre). Le tout est relié à un calculateur. D'abord, l'information sur le cap est reçue par les deux antennes (avec un léger décalage de trajectoire entre les deux). L'information est ensuite transmise et traitée par les récepteurs GPS. Enfin le calculateur indique le cap à suivre grâce au calcul des données légèrement décalées des deux récepteurs.

Les deux antennes sont souvent posées à chaque extrémité du bateau. Il existe également des systèmes de compas électronique à trois antennes satellites.

Le compas satellite ne peut être influencé ni par les mouvements du bateau ni par les problèmes liés au champ magnétique terrestre. Ce système n'est toutefois pas infallible, car des problèmes dus au recouvrement de la position par satellite peuvent survenir.

Actuellement, le compas magnétique, gyroscopique ou satellitaire se voit fréquemment associé à un système de maintien automatique du cap (pilote automatique) et de navigation intégré.

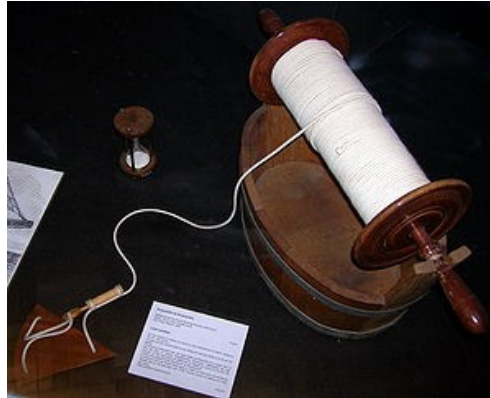
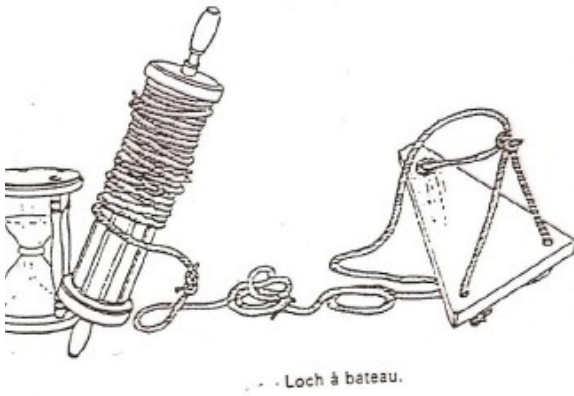
b) mesures de la distance [source = [http://fr.wikipedia.org/wiki/Loch_\(bateau\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Loch_(bateau))]

La mesure de la vitesse (V) est indispensable à la navigation. Elle permet par intégration ($\Delta D = V \cdot \Delta t$) de connaître la distance (D) parcourue pendant un temps t. Cette intégration est automatiquement effectuée par les lochs modernes qui comportent donc un compteur de distance. La vitesse mesurée par un loch est la vitesse sur l'eau ou vitesse de surface (V_s). Si le courant est connu et mesurable, la vitesse vraie ou vitesse sur le fond (V_f) se déduit de V_s par construction vectorielle.

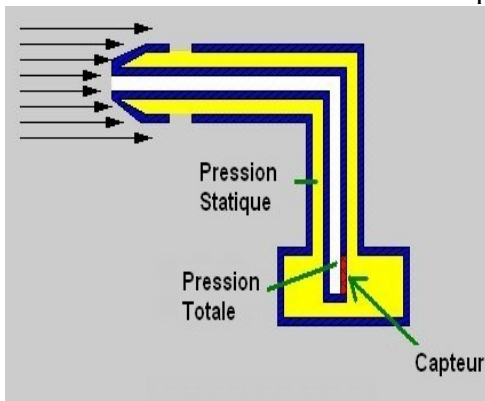
Loch vient de l'anglais log (bûche, morceau de bois). Le morceau de bois était lancé à l'étrave à $T=0$, le temps mis pour passer par le travers de la poupe était mesuré, on en déduisait une vitesse que l'on peut qualifier de bien approximative étant donné la taille des navires de l'époque (~ 35 m).

Les premiers lochs (loch à bateau) étaient constitués par un flotteur (triangle de bois appelé bateau, lesté pour s'enfoncer perpendiculairement au sens d'avancement du navire) relié à une ligne dont les graduations étaient constituées par des nœuds espacées de 14,40 mètres (47 pieds et 3 pouces, mesure anglaise car les premiers lochs furent utilisés par des anglais); le loch était lancé à la mer par l'arrière et on laissait filer la ligne, on déclenchait le sablier et on comptait le nombre de nœuds qui défilaient pendant 28 secondes ; ce nombre donne la vitesse du navire en nœuds. En effet, 1 nœud = 1 mille marin par heure soit 1 852 mètres en 3 600 secondes, soit à peu près 15 mètres en 30 secondes (14,4044 mètres en 28 secondes exactement).

Puis sont apparus les lochs à hélice : une hélice reliée par une ligne à un compteur était lancée dans le sillage ; le compteur donnait simultanément la vitesse et la distance parcourue.



Le tube de Pitot doit son nom au physicien français Henri Pitot (1695-1771) qui fut le premier en 1732 à proposer une “machine pour mesurer la vitesse des eaux courantes et le sillage des vaisseaux”. Le concept est repris et amélioré par Henry Darcy puis par Ludwig Prandtl qui pense à utiliser le tube dans une canalisation pour mesurer les vitesses locales d'écoulement des fluides.



application du théorème de Bernoulli en négligeant le terme z pour avoir une relation directe entre la vitesse et la pression dynamique $p_t - p_s$ que l'on mesure avec un capteur de pression ou un simple manomètre.

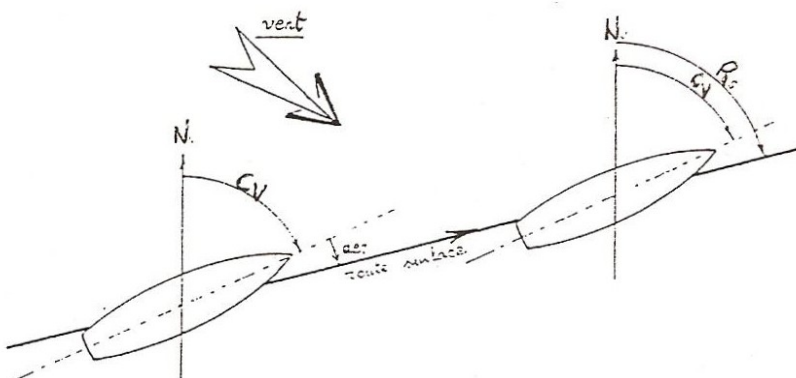
$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p_s = 0 + p_t$$

d'où

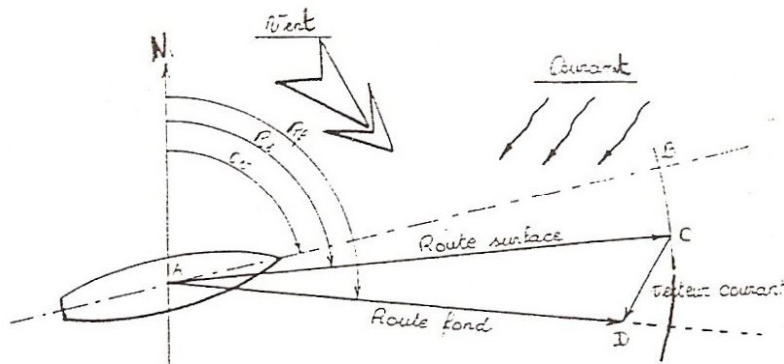
$$v^2 = \frac{2(p_t - p_s)}{\rho}$$

v = vitesse, p = pression dans la conduite (p_s est la pression statique, p_t est la pression totale), ρ = masse volumique du fluide

Positionnement ? Incertitudes sur la direction, sur la distance parcourue



+ Incertitude due à l'influence du vent



**+ Incertitude
due à l'influence
des courants**

Si le quadrilatère des incertitudes est inférieur au passage libre entre deux dangers, le navire peut passer. Sinon il fallait essayer au maximum de faire des corrections quand c'était possible (ex passage au-dessus d'une « sonde remarquable »)

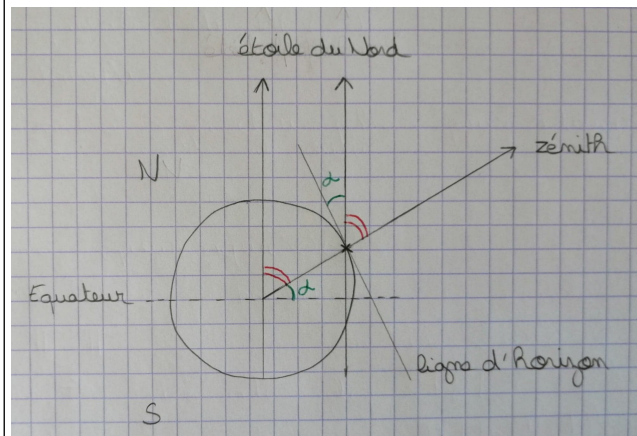
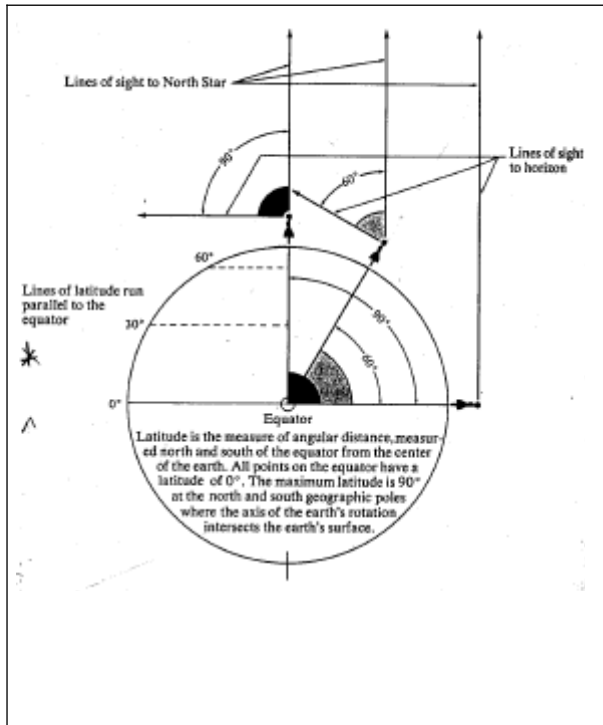
II Navigation astronomique

Sans repère terrestre (hors de vue d'une côte), les navigateurs se sont repérés grâce à l'observation des astres. La hauteur d'un astre au dessus de l'horizon, facilement mesurable par les «ancêtres» du sextant, tels que l'astrolabe, qui permet de calculer la latitude. Toutes ces techniques étaient acquises, dès le XVe siècle. La mesure de longitude, qui se déduit de la mesure du temps, n'a été véritablement possible qu'au XVIIIe siècle avec l'invention de chronomètre (ou garde-temps) précis qui permettait de «garder» le temps du méridien d'origine.

A) La latitude était mesurée dans le passé, soit à midi (la «mesure de midi») soit à partir de l'étoile polaire*, ou étoile du nord. L'étoile polaire reste toujours à moins de 1 degré du pôle nord céleste. Si un navigateur mesure l'angle de l'étoile polaire et se trouve être à 10 degrés de l'horizon, alors il est sur un cercle à environ 10 degrés Nord de latitude géographique. Les angles sont mesurés à partir de l'horizon parce localiser le point directement au-dessus, au zénith, est difficile. Lorsque la brume obscurcit l'horizon, les navigateurs utilisent des horizons artificiels, qui sont des niveaux à bulle réfléchis dans un sextant.

[Définition] Une étoile polaire est, en astronomie, un terme générique désignant une étoile visible à l'œil nu se trouvant approximativement dans l'alignement de l'axe de rotation d'une planète, en général la Terre.

Actuellement, l'étoile polaire dans l'hémisphère nord est Alpha Ursae Minoris (α UMi), l'étoile la plus brillante de la constellation de la Petite Ourse.]



Sommes des angles d'un angle droit = 90°

Angle droit entre plan équatorial et axe des poles

Angles droit entre horizon et zénith

Une droite coupe 2 droites* parallèles avec le même angle. * = Rayons parallèles venant de l'étoile du Nord, très lointaine

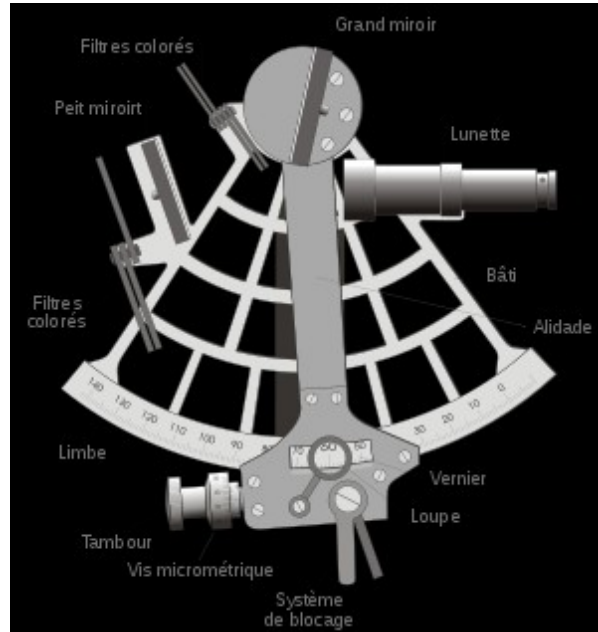
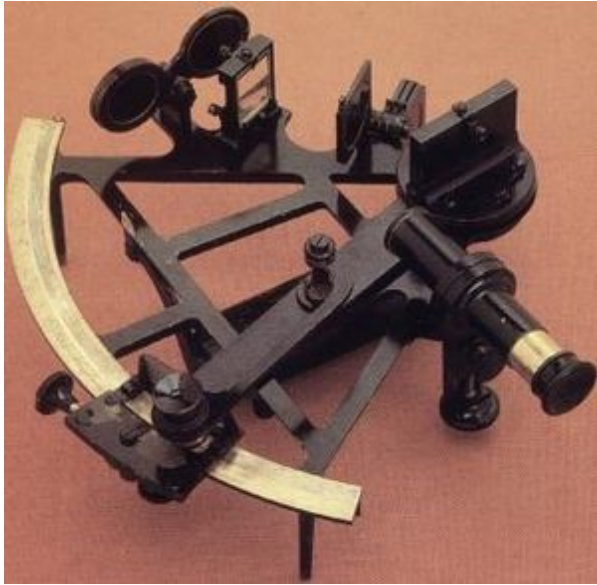
(remerciement E. Chevillon, M1, 2021)

La latitude peut également être déterminée par la direction dans laquelle les étoiles se déplacent dans le temps. Si les étoiles se lèvent de l'orient et se déplacent vers le haut (zénith), vous êtes à l'équateur, mais si elles dérivent au sud, vous êtes au nord de l'équateur. La même chose est vraie de la dérive des étoiles de jour en jour en raison du mouvement de la Terre en orbite autour du Soleil; chaque jour une étoile va dériver d'environ un degré. Dans les deux cas, si la dérive peut être mesurée avec précision, un calcul de trigonométrie simple va révéler la latitude.

Mesure de la hauteur au sextant

La précision des outils de mesure a évolué avec le temps. Une méthode simple et très approximative est de lever la main avec le bras tendu. La largeur d'un doigt correspondant environ à $1,5^\circ$. La nécessité de disposer d'outils de mesure plus précis a entraîné le développement de nombreux outils de plus en plus performant, le bâton de Jacob, le kamal, et en navigation : l'arbalète, le quart de cercle ou quadrant, l'astrolabe, l'octant et aujourd'hui le sextant, qui permet par un jeu de miroirs de mesurer la hauteur de l'astre au-dessus de l'horizon avec une bonne précision.

Le principe de ces mesures avait été détaillé par les grecs mais ce sont surtout les Arabes qui ont développé les instruments correspondants (astrolabe VII siècle). A l'époque de Jean II (1490), cette instrumentation avait été adoptée par les Portugais. La précision, excellente pour l'époque, était au mieux de $15'$ d'angle. Le problème de la fausseté de la verticalité apparente était important. Le sextant fut inventé en 1731 par John Hadley. La lecture d'un sextant bien réglé permet une précision de $0,2'$ d'arc. En théorie, un observateur peut donc déterminer sa position avec une précision de 0,2 milles marin. Dans la pratique, les navigateurs obtiennent une précision de l'ordre de 1 ou 2 milles marins (mouvements du navire, houle, horizon plus ou moins net, imprécisions de l'heure).



L'observation consiste à «faire descendre» l'image réfléchiée de l'astre sur l'horizon et la faire tangenter l'horizon (d'où le mouvement de balancier de la main qui tient le sextant). S'il s'agit du Soleil ou de la Lune, on fait tangenter son bord inférieur ou supérieur. Pour les étoiles et les planètes, il est conseillé de «monter l'horizon» au voisinage de l'astre en retournant le sextant, puis d'observer normalement [voir animation : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Sextant>].

B) Longitude

La mesure de longitude, qui se déduit de la mesure du temps, n'a été véritablement possible qu'au XVIII^e siècle avec l'invention de chronomètre (ou garde-temps) précis qui permettait de «garder» le temps du méridien d'origine.

Avant cela, la détermination de la longitude posait un réel problème car elle était basée sur la vitesse de déplacement des navires et se révélaient souvent très loin de la réalité. Cela posait problème pour le commerce entre autres.. À tel point qu'au début du XVIII^e siècle les gouvernements britannique et espagnol offrirent de fortes récompenses au savant qui réussirait à trouver un moyen de déterminer la longitude avec précision. En particulier, le Longitude Act est une loi du parlement britannique de 1714 offrant un prix de 20 000 livres (une somme considérable pour l'époque) à celui ou celle qui déterminerait une méthode simple et sûre pour permettre la détermination de la longitude d'un navire en pleine mer. L'erreur temporelle devait être de moins de 2 sec 18 par jour (à l'époque, les horloges dérivèrent au moins d'1 mn par jour).

Cet instrument de mesure est inventé par l'horloger britannique John Harrison* en 1737. Il crée un énorme chronomètre d'une précision et d'une stabilité étonnantes. En effet construire un tel chronomètre transportable est un challenge non seulement à cause de sa précision mais aussi et surtout, à cause de sa stabilité qui doit être suffisante pour faire le point en mer (il est impossible de faire fonctionner un pendule sur un bateau à cause du roulis).

John Harrison remporte le prix en 1764 seulement avec son quatrième prototype, beaucoup plus compact dans sa forme, et qui, en deux mois de voyage, ne s'est décalé que de quelques secondes (erreur inférieure à 4 - 5 secondes en 10 jours), performance jamais atteinte jusque-là.

John Harrison (né le 24 mars 1693 dans le comté de Yorkshire, mort le 24 mars 1776) est un artisan ébéniste de son état, et horloger autodidacte britannique du XVIII^e siècle.

Il invente des horloges ou chronomètres, H1, H2, H3 et finalement une grosse montre ou garde-temps H4 - qui donnent l'heure avec l'exactitude nécessaire pour permettre aux capitaines de marine de déterminer avec précision la longitude de leur navire, calcul qui

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

consiste à comparer l'heure du méridien de référence fournie par le garde-temps avec l'heure locale fournie par le passage du soleil au méridien. Après bien des vicissitudes et en partie grâce à l'intervention du roi George III, il se voit enfin attribuer (partiellement) le prix décerné par le Longitude Act (établi en 1714) en 1773, après avoir remis sa montre de marine H4 à la Commission de Longitude, à laquelle il avait déjà remis ses trois premières horloges pour qu'elle puisse les essayer.

John Harrison aura été longuement malmené par certains membres de la prestigieuse Commission de Longitude. Nevil Melyne et des savants influents de ce jury, des astronomes entre autres, ne pouvaient admettre qu'un autodidacte vienne leur souffler le prix prévu par le Longitude Act, surtout avec un moyen qui ne faisait pas appel à la science astronomique. Malgré ses aléas et sa complexité, leur système de repérage par observation des étoiles fut longtemps le seul envisageable en mer ; d'abord parce qu'aucune montre ne fut suffisamment fiable et régulière avant celles créées par Harrison ; puis pour des raisons de coûts. A partir du XIX^e siècle, l'industrie horlogère effectue des progrès spectaculaires qui permettent la production en série de montres abordables et de précision suffisante pour calculer facilement et rapidement la longitude.

[source = [http://fr.wikipedia.org/wiki/John_Harrison_\(horloger\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/John_Harrison_(horloger)); source = http://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_la_mesure_du_temps]

La mesure du temps dans la marine est donc indispensable. En particulier cela impose de conserver à bord l'heure du port de départ. Du coup, à la suite de la découverte de Harrison, au XIX^e s, dans la marine française, le timonier était chargé de remonter les montres, avec une menace de peine de mort en cas d'oubli (en général, les doses de vin quotidiennes étaient distribuées après avoir remonté le chronomètre de façon à ne pas oublier). A partir de 1908, les premiers essais ont été fait pour transmettre des informations sur l'heure par radio (à partir de la Tour Eiffel).

III Cartes marines

Cartes marines (adapté de Wikipédia)

La carte marine est un type particulier de carte reproduisant les éléments indispensables à la navigation maritime. En adéquation avec la signalisation maritime, elle permet de se situer et de se diriger. Elle indique essentiellement les sondes (profondeur de l'eau), les dangers, la signalisation maritime et les amers (points de repère fixes).

Bref historique

La constitution de cartes marines a surtout commencé à compter du XV^e siècle lors de l'expansion maritime des grandes nations européennes. Elles furent surtout le fait du Portugal, de l'Espagne, des Pays-Bas.

A part les cartes « globales » - Au Moyen-Age, ou l'Est (représentant Jérusalem, symbole du Paradis, du lieu à atteindre) était placé en haut de la carte ;

Il y avait les cartes « locales » - Portulan pour la navigation.

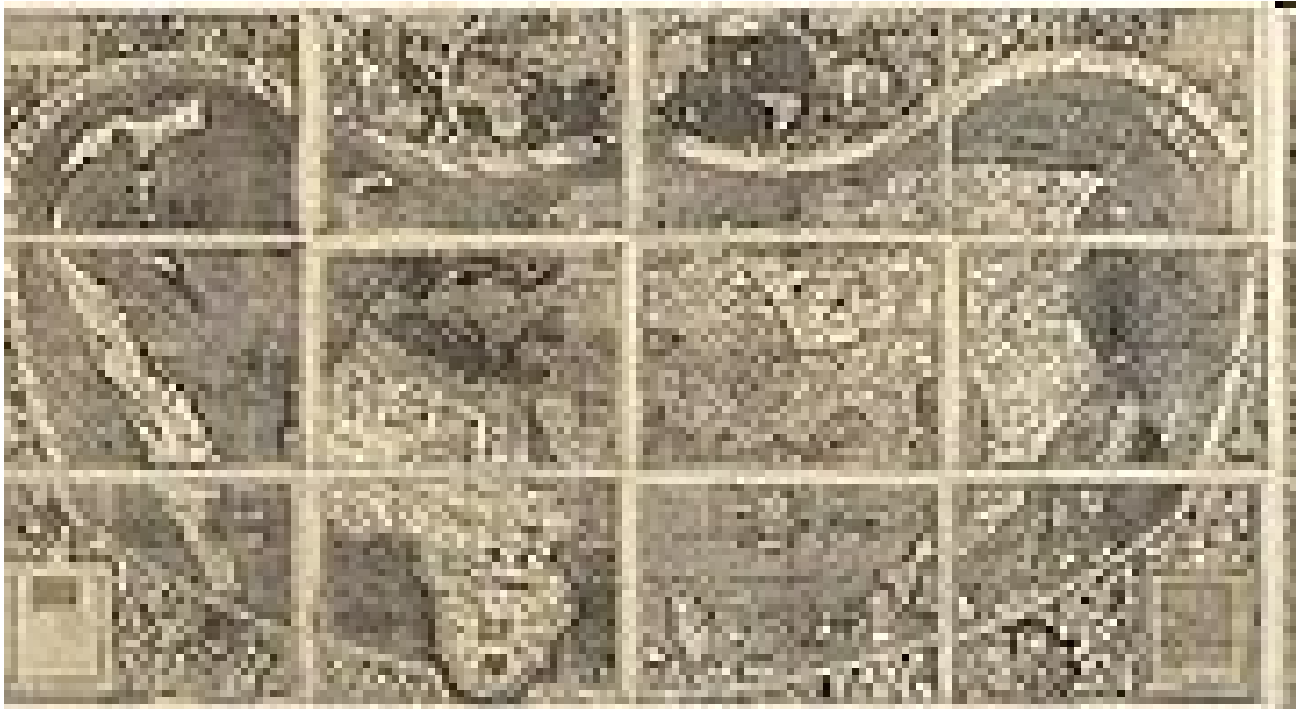
Un portulan de 1541 >





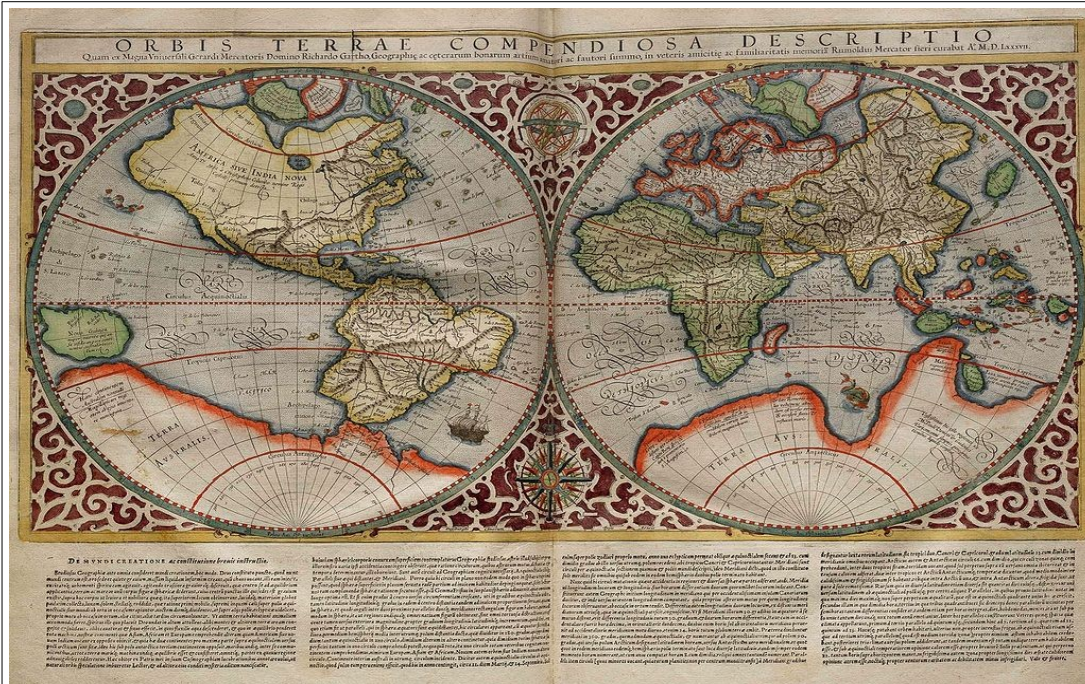
Portulan de Guillaume Brouscon (1548)

La réalisation de ces cartes était aussi l'une des missions essentielles des explorateurs de l'époque, Vasco de Gama, Ferdinand Magellan, Christophe Colomb, etc. Les états conservaient ces données comme leurs plus précieux trésors.



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).

1585 – G. Mercator – projection cylindrique « de Mercator »



Planisphère de Rumold Mercator (fils de G. Mercator), 1587 ayant utilisé la projection de son père

C'est au XVII^e siècle, avec l'apparition d'instruments de mesure performants, que vont apparaître les premières cartes précises des côtes. Les plus brillants cartographes se trouvent alors aux Pays-Bas, soutenus par la Compagnie néerlandaise des Indes orientales.

1693 – En France est créé le corps des ingénieurs cartographes (Dépôt des cartes, qui deviendra le Service Hydrographique).

Fin XVIII (1790s)– Chabert corrige la carte de la Méditerranée

XIX – C'est l'ingénieur Charles-François de Beautemps-Beaupré et son équipe qui vont réaliser la première carte marine des côtes de France entre 1816 et 1844.

Cartes actuelles

Les cartes marines sont basées sur une projection de Mercator.

Elles utilisent plusieurs systèmes de référence :

- Un système altimétrique pour indiquer l'altitude des points terrestres utiles à la navigation ;
- Un système profondimétrique pour indiquer la profondeur de l'eau par rapport à une référence ;
- Un système de coordonnées pour localiser les éléments portés sur la carte en latitude et longitude.

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

En France, les cartes marines sont éditées par le SHOM (Service hydrographique et Océanographique de la Marine). [* sauf l'Almanach du marin Breton, édité depuis 1899]

Elles utilisent comme références :

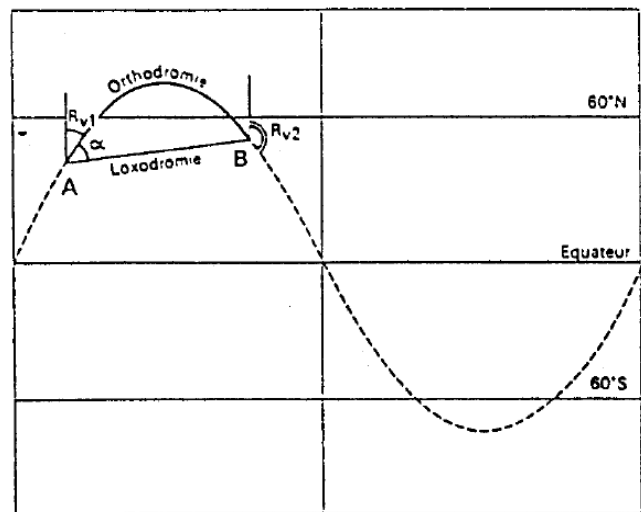
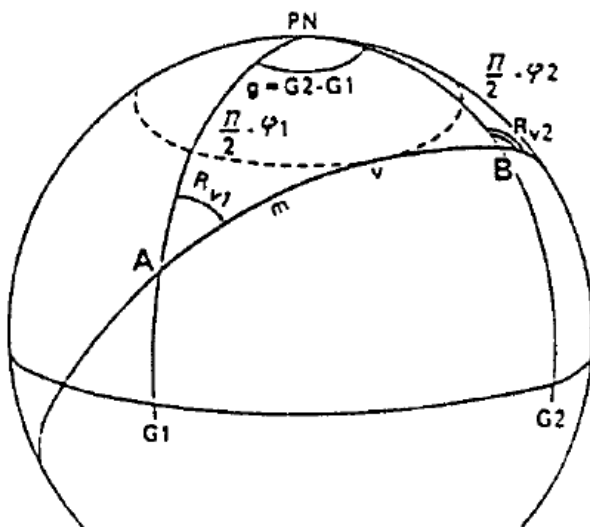
- pour l'altitude, le zéro du nivellement général de la France, système de référence de l'IGN.
- pour la profondeur, le niveau zéro des cartes marines, qui correspond au niveau d'eau des plus basses mer possibles (voir marées).
- pour les coordonnées, le WGS 84, système rendu nécessaire par l'avènement du GPS.

Attention : la migration des cartes en WGS 84 (World Geodesic System) n'est faite que sur les cartes éditées depuis 2001. La plupart des anciennes cartes utilisent le système européen 1950 (ED50), sur lequel il faut appliquer une correction.

IV Estimation des distances

Orthodromie [Wikipédia= <http://fr.wikipedia.org/wiki/Orthodromie>]

L'orthodromie désigne le chemin le plus court entre deux points d'une sphère, c'est-à-dire l'arc de grand cercle qui passe par ces deux points. Pour les navigateurs une route orthodromique désigne ainsi la route la plus courte à la surface du globe terrestre entre deux points. Dans la vie courante cette plus courte distance entre deux points sur Terre est désignée sous le nom de « distance à vol d'oiseau » (*As the crow flies* en anglais) entre ces deux points.



Voici le résultat du calcul de l'orthodromie entre A (φ_A, G_A) et B (φ_B, G_B) avec angles en degrés (φ la latitude et G la longitude par rapport à Greenwich) et distance en milles marins :

- **distance orthodromique M :**

$$M = 60 \arccos [\sin \varphi_A \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos (G_B - G_A)]$$

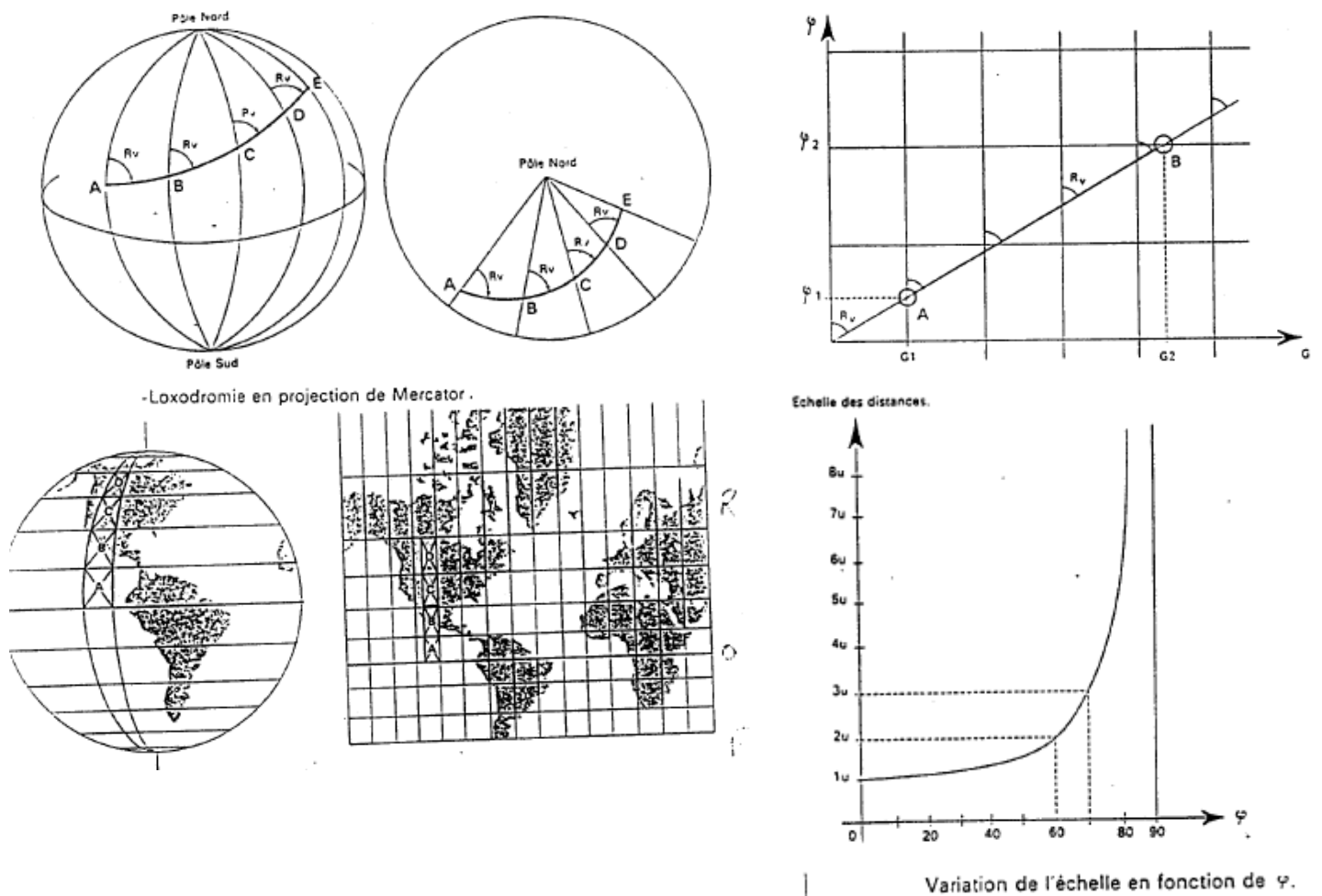
en milles nautiques (démonstration rapide sur https://fr.wikipedia.org/wiki/Trigonometrie_spherique)

Note Ne pas utiliser cette formule lors des exercices d'application. Réfléchissez de façon à faire les calculs trigonométriques simples. Si les cas sont trop compliqués, utilisez les sites web faisant le calcul: Par exemple pour l'orthodromie <http://www.lacosmo.com/distance.html>

Loxodromie [Wikipédia= <http://fr.wikipedia.org/wiki/Loxodromie>]

Une loxodromie (du grec lox(o)- et -dromie course oblique), (en anglais rhumb line), est une courbe qui coupe les méridiens sous un angle constant.

Une route loxodromique est représentée sur une carte marine ou aéronautique en projection de Mercator par une ligne droite mais ne représente pas la distance la plus courte entre deux points. En effet la route la plus courte est appelée route orthodromique ou orthodromie.



La route loxodromique est une route à cap constant.

Distance loxodromique (en milles nautiques):

$$loxo(A; B) = 60 \cdot \int_0^1 [(\text{lat}(B) - \text{lat}(A))^2 + \text{long}^2 \cdot \cos^2(\text{lat}(A) + t \cdot (\text{lat}(B) - \text{lat}(A)))]^{1/2} \cdot dt$$

avec long la différence de longitude entre A et B

[voir démonstration sur: <http://www.univ-lemans.fr/~hainry/articles/loxonavi.html>]

V Global Positioning System = GPS

(http://fr.wikipedia.org/wiki/Global_positioning_system; Wikipédia)

Le Global positioning system (plus connus sous son sigle GPS), est le principal système de

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

positionnement par satellite au monde. Il a été mis en place par le Département de la Défense des États-Unis et permet de connaître sa position n'importe où au voisinage de la surface de la terre, en mer, dans l'air ou dans l'espace. Le GPS est à la base du système géodésique WGS84, auquel se réfèrent les coordonnées calculées grâce au système.

Le premier satellite expérimental fut lancé en 1978, mais la constellation de 24 satellites ne fut opérationnelle qu'en 1995.

Sommaire

1 Présentation

2 Composition

3 Principe de fonctionnement

3.1 Mesure de la distance du récepteur par rapport à un satellite

3.2 Décalage de l'horloge du récepteur

3.3 Erreurs possibles et amélioration du système

3.4 Conversion des informations obtenues

4 Inconvénients du GPS

5 Les systèmes concurrents

1 - Présentation

Le système GPS comprend au moins 24 satellites artificiels orbitant vers 20 000 km d'altitude. Ces satellites émettent en permanence un signal d'heure précis (grâce à leur horloge atomique), ainsi que des éphémérides permettant le calcul de leurs coordonnées prédites.

Ainsi un récepteur GPS qui capte les signaux d'au moins quatre satellites peut, en mesurant les écarts relatifs des horloges, connaître sa distance par rapport aux quatre satellites et, par triangulation, se situer précisément en trois dimensions en n'importe quel point placé en dessous des satellites GPS (avec une précision de 10-15 mètres pour le système standard à 100 mètres pour le système "dégradé"). Le GPS est ainsi utilisé pour localiser des véhicules roulants, des navires, des avions, des missiles et même des satellites évoluant en orbite basse.

Concernant la précision, le GPS étant un système développé pour les militaires américains, une disponibilité sélective (selective availability) a été prévue. Certaines informations peuvent ainsi être cryptées et priver les personnes qui ne disposent pas des codes de la précision maximale. Pendant de nombreuses années, les civils n'avaient accès qu'à une précision faible (environ 100m). Le 1er mai 2000, le président Bill Clinton a annoncé qu'il mettait fin à cette dégradation volontaire du service. Depuis, il est possible d'accéder à une position précise à 10-15 mètres.

Certains systèmes GPS conçus pour des usages très particuliers peuvent fournir une localisation à quelques millimètres près. Sinon, le GPS différentiel (DGPS) corrige la position obtenue par GPS conventionnel par les données envoyées par une station terrestre de référence localisée très précisément et atteint une précision de 3 à 5 mètres. D'autres systèmes autonomes, affinant leur localisation au cours de 8 heures d'exposition, parviennent à des résultats équivalents.

Il est à noter que dans certains cas, seuls 3 satellites peuvent suffire. La localisation en altitude (axe des Z) n'est pas correcte alors que la longitude et la latitude (axe des X et des Y) sont encore bonnes. On peut donc se contenter de trois satellites lorsque l'on évolue au-dessus d'une surface « plane » (océan, mer). Ce type d'exception est surtout utile au positionnement d'engins volants (avions, etc.) qui ne peuvent de toute façon pas se reposer sur le seul GPS, trop imprécis pour leur donner leur altitude.

2 - Composition

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

Le système GPS est composé de 3 parties distinctes, appelées encore segments:

- * Le segment spatial est constitué d'une constellation de ~30 satellites (NAVSTAR pour Navigation Satellite Timing And Ranging) dont ~24 sont actifs à l'heure actuelle (les autres servent de satellites de secours). Ces satellites évoluent sur 6 plans orbitaux ayant tous une inclinaison d'environ 55° sur l'équateur. Ils suivent une orbite quasi circulaire à une altitude de 20 200 à 25 000 km qu'ils parcourent en 12 heures grâce à leur vitesse de 13 000 km/h.
- * Le segment de contrôle est la partie qui permet de piloter et de surveiller le système. Il est composé de 5 stations américaines au sol du 50th Space Wing de l'Air Force Space Command, basé à la Schriever Air Force Base dans le Colorado (la station maîtresse est basée à Colorado Springs) dans la base de Cheyenne Mountain. Leur rôle est d'enregistrer toutes les informations émises par les satellites, pour calculer les positionnements.
- * Le segment utilisateur regroupe l'ensemble des utilisateurs civils et militaires qui ne font que recevoir les informations des satellites. Le nombre d'utilisateurs GPS est donc illimité.

3 - Principe de fonctionnement

Le GPS fonctionne grâce au calcul de la distance qui sépare un récepteur GPS et plusieurs satellites. La position des 24 satellites est transmise régulièrement au récepteur, celui-ci peut, grâce à la connaissance de la distance qui le sépare des satellites, connaître ses coordonnées.

Mesure de la distance du récepteur par rapport à un satellite

Les satellites envoient des ondes électromagnétiques (Le signal civil pour l'utilisation libre est à la fréquence de 1 575 MHz) qui se propagent à la vitesse de la lumière. Connaissant la vitesse de propagation de la lumière, on peut alors calculer la distance qui sépare le satellite du récepteur en connaissant le temps que l'onde a mis pour parcourir ce trajet.

Pour mesurer le temps mis par l'onde pour lui parvenir, le récepteur GPS compare l'heure d'émission (incluse dans le signal) et de réception de l'onde d'émission par le satellite. Cette distance est appelée « pseudo range », ce qui signifie pseudo distance. Une erreur d'un millionième de seconde provoque une erreur de 300 mètres sur la position !

Décalage de l'horloge du récepteur

La difficulté est de synchroniser les horloges des satellites et celle du récepteur. Ce dernier ne peut bien entendu pas bénéficier d'une horloge atomique comme les satellites et doit pourtant fonctionner avec une heure particulièrement précise pour parvenir à calculer la distance entre l'émetteur et le récepteur.

C'est pour cette raison que 4 satellites sont nécessaires afin de résoudre une équation mathématique à 4 inconnues qui sont la position dans les 3 dimensions plus le décalage de l'horloge du récepteur avec l'heure GPS.

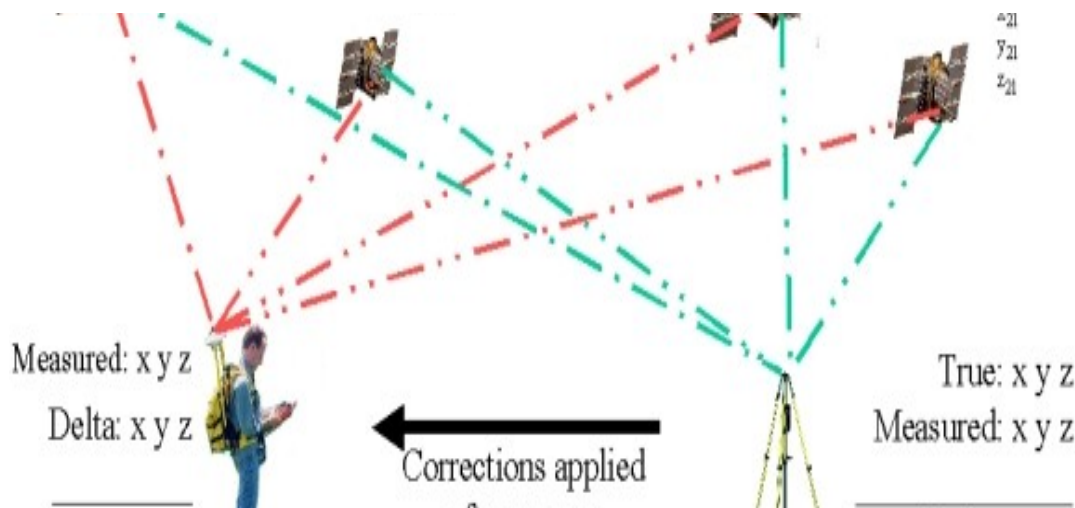
OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko
------------------------	--	-------------

Erreurs possibles et amélioration du système

Certains récepteurs sont capables d'affiner leurs calcul en utilisant plus de 4 satellites (ce qui rend les mesures plus faciles) tout en ôtant les sources qui semblent peu fiables.

Le GPS ne fonctionne pas dans toutes les situations, le signal émis par les satellites NAVSTAR étant assez faible, la traversée des couches de l'atmosphère sont un facteur qui perturbe la précision de la localisation, les simples feuilles des arbres peuvent absorber le signal et rendre la localisation hasardeuse. De la même façon l'effet canyon, particulièrement sensible en milieux urbain consiste en l'occultation d'un satellite par le relief (un bâtiment par exemple) ou pire encore, en un echo du signal contre une surface qui n'empêchera pas la localisation mais fournira une localisation fausse.

De plus, il existe des dispositifs comme le GPS différentiel (DGPS), qui se charge d'affiner la précision du GPS en corrigeant la marge d'erreur du système et ainsi permettre de passer d'une précision de l'ordre de 10 à 20 mètres à celle de 5 à 3 mètres.



[source = <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/CorsPP/WA-SlideShow/index.htm>]

Le DGPS est constitué d'un ensemble de stations fixes, idéalement réceptrices des mêmes satellites que les terminaux mobiles et calculant en permanence l'erreur de positionnement du GPS (puisqu'elles connaissent exactement leur position).

Les récepteurs GPS les plus communs calculent leur position exacte au moment de l'initialisation ce qui prend un certain temps. Par la suite, l'application calcule une position relative à la première pour gagner du temps. Il n'est donc pas rare, dans les applications transports notamment, de réinitialiser le récepteur GPS parce que la première mesure a été faussée par une mauvaise réception locale et que l'erreur persiste dans les mesures suivantes, même si la réception est devenue bonne.

À noter que l'Union européenne a développé EGNOS, un réseau de quarante stations au sol dans toute l'Europe, qui améliore la fiabilité et la précision des données du GPS, et corrige certaines erreurs.

Conversion des informations obtenues

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

Le positionnement 3D donne ainsi les coordonnées du récepteur dans l'espace, dans un repère à 3 axes et qui a pour origine le centre de gravité des masses terrestres. Pour que ces données soient exploitables, il faut convertir les données (X,Y,Z), en « latitude, longitude, altitude ».

C'est le récepteur GPS qui effectue cette conversion grâce au système géodésique WGS84 (World Geodetic System 84), le système le plus utilisé au monde qui est une référence globale répondant aux objectifs d'un système mondial de navigation.

Ainsi le GPS s'avère accessible aux transporteurs routiers, avions, navigateurs, randonneurs, géomètres, forestiers, automobilistes, etc.

4 - Inconvénients du GPS

Le GPS est un système sous contrôle de l'Armée américaine. Le signal peut être dégradé, occasionnant ainsi une perte importante de sa précision, si le gouvernement des États-Unis le désirait. C'est un des arguments en faveur de la mise en place du système européen Galileo qui est, lui, civil et dont la précision théorique est supérieure.

5 - Les systèmes concurrents

- GLONASS (en russe : ГЛОНАСС, acronyme pour глобальная навигационная спутниковая система, globalnaïa navigatsionnaïa spoutnikovaïa sistéma, soit « système global de navigation satellitaire ») est un système de positionnement par satellites d'origine soviétique et géré par les forces spatiales de la Fédération de Russie. Le segment spatial utilise vingt-quatre satellites circulant sur une orbite moyenne. Le système devient opérationnel en 1996 mais la crise financière et économique qui frappe la Russie à la fin des années 1990 ne lui permet plus de maintenir un nombre de satellites suffisant. Le service complet n'est restauré qu'à partir de 2010 et redevient opérationnel fin 2011;
- Beidou (également nommé COMPASS ; en anglais, BeiDou Navigation Satellite System ou BDS) est un système de navigation et de positionnement par satellites chinois en cours de déploiement qui devrait devenir complètement opérationnel en 2020. Une première version de Beidou comportant trois satellites et baptisée Beidou-1 a commencé à être déployée en 2000 et a été déclarée opérationnelle en 2003. Ce système régional permettait de déterminer sa position uniquement en Chine et dans les régions avoisinantes avec une précision d'environ 100 mètres. Une deuxième génération du système, Beidou-2, annoncée en 2006 doit assurer à la fin de son déploiement en 2020 une couverture mondiale. Celle-ci est assurée par trois types de satellites : 5 satellites en orbite géostationnaire, trois en orbite géosynchrone inclinée (55°) et 27 en orbite moyenne. Beidou-2 est opérationnel depuis fin 2012 avec une couverture comprenant la Chine et les pays alentour. Une quinzaine de satellites étaient en orbite début 2015. Les performances à terme de Beidou-2 seront comparables aux trois autres systèmes mondiaux opérationnels (GPS, GLONASS et

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

Galileo).

- L'Inde a aussi son système de positionnement : l'IRNSS, Indian Regional Navigation Satellite System (« système indien de navigation régionale par satellite ») ; dont le déploiement s'est théoriquement achevé fin 2016. Sa couverture est régionale : les récepteurs peuvent fonctionner en Inde et sur sa périphérie jusqu'à une distance de 1 500 à 2 000 km de ses frontières. Les terminaux dans le service de base fournissent une position avec une précision de 20 mètres. Le système IRNSS est compatible avec les systèmes GPS et Galileo.
- Galileo est un système de positionnement par satellites (radionavigation) développé par l'Union européenne dans le cadre du programme éponyme et incluant un segment spatial dont le déploiement doit s'achever vers 2020. Comme les systèmes américain GPS, russe GLONASS et chinois Beidou, il permet à un utilisateur muni d'un terminal de réception d'obtenir sa position. La précision attendue pour le service de base, gratuit, est de 4 m horizontalement et de 8 m en altitude[réf. nécessaire]. Un niveau de qualité supérieur sera fourni dans le cadre de services payants proposés aux professionnels.

Le segment spatial de Galileo sera constitué à terme de 30 satellites dont six de rechange. Chaque satellite, d'une masse d'environ 700 kg, circule sur une orbite moyenne (23 222 kilomètres) dans trois plans orbitaux distincts ayant une inclinaison de 56°. Ces satellites émettent un signal qui leur est propre et retransmettent un signal de navigation fourni par le segment de contrôle de Galileo. Ce dernier est constitué par deux stations chargées également de surveiller l'orbite et l'état des satellites.

Le projet Galileo, après une phase de définition technique qui a débuté en 1999, est lancé le 26 mai 2003 avec la signature d'un accord entre l'Union européenne et l'Agence spatiale européenne chargée du segment spatial. Une des motivations principales du projet est de mettre fin à la dépendance de l'Europe vis-à-vis du système américain, le GPS.

Contrairement à celui-ci, Galileo est uniquement civil. Le projet parvient à surmonter l'opposition de certains membres de l'UE et d'une partie des décideurs américains ainsi que les difficultés de financement (le coût final est évalué à cinq milliards d'euros). Les tests de Galileo ont débuté fin 2005 grâce aux lancements des satellites précurseurs Giove-A et Giove-B en décembre 2005 et avril 2008. Les premiers satellites en configuration opérationnelle (FOC) sont lancés en août 2014. Au 2 avril 2019, 26 satellites ont été lancés, dont 22 sont opérationnels. Les premiers services de Galileo marchent depuis le 15 décembre 2016. La précision maximale a normalement été atteinte en 2019, avec 24 des 30 satellites opérationnels, et Galileo devrait être pleinement déployé en 2020.

- Le Japon a développé le Quasi-Zenith Satellite System (Système satellitaire quasi zénithal) ou QZSS, surnommé également Michibiki, qui est un système de positionnement

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

par satellite régional complémentaire du système GPS en cours de développement par l'agence spatiale japonaise JAXA. Le système QZSS repose sur l'utilisation du signal émis par trois satellites qui circulent sur une orbite survolant en permanence la région centrée sur le Japon. Les récepteurs GPS qui captent le signal de ces satellites peuvent bénéficier d'une précision accrue. Par ailleurs les pertes de signal sont réduites de manière significative dans les zones montagneuses et dans les zones urbaines (signal habituellement réverbéré ou bloqué par les immeubles). Les satellites sont placés sur une orbite géosynchrone elliptique qui leur permet d'être visible depuis le Japon sous une élévation importante sur une partie de leur orbite. Trois satellites circulant sur la même orbite, dont un lancé en 2010, auxquels s'ajoutent un satellite en orbite géostationnaire, doivent permettre le démarrage de ce service à compter de 2018. Le gouvernement japonais a entériné en avril 2016 le projet de lancement de trois autres satellites en 2023 pour améliorer la qualité du service.

ANNEXES

1) Note d'explication en anglais sur la différence entre Galileo et EGNOS

What is GNSS?

The term 'global navigation satellite system' (GNSS) refers to a constellation of satellites providing signals from space transmitting positioning and timing data. By definition, a GNSS provides global coverage.

GNSS receivers determine location by using the timing and positioning data encoded in the signals from space. The USA's NAVSTAR Global Positioning System (GPS) and Russia's Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS) are examples of GNSS.

Europe is in the process of launching its own independent GNSS, Galileo. Since 2011, four Galileo satellites have been launched and used as part of the In-Orbit Validation phase, allowing the first autonomous position fix to be calculated based on Galileo-only signals in March 2013. The Commission aims to have the full constellation of 30 Galileo satellites (which includes six in-orbit active spares) in operation before the end of this decade." Galileo will be interoperable with GPS and GLONASS. This interoperability will allow manufacturers to develop terminals that work with Galileo, GPS and GLONASS.

What is SBAS ?

Satellite-based augmentation systems (SBAS) such as EGNOS* are regional contributions to improve the performance of GNSS systems.

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

The performance of a satellite navigation system is assessed according to four criteria:

- Accuracy refers to the difference between the measured and the real position, speed or time of the receiver.
- Integrity refers to a system's capacity to provide confidence thresholds as well as alarms in the event that anomalies occur in the positioning data.
- Continuity refers to a navigation system's ability to function without interruption.
- Availability refers to the percentage of time during which the signal fulfils the accuracy, integrity and continuity criteria.

EGNOS improves the accuracy and the reliability of GPS information by correcting signal measurement errors and by providing information about the integrity of its signals.

* Exemple : EGNOS

The European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS), Europe's first venture into satellite navigation, improves the open public service offered by the USA's Global Positioning System (GPS).

EGNOS makes GPS suitable for safety critical applications such as flying aircraft or navigating ships through narrow channels (see the EGNOS video for more information).

Known as a satellite-based augmentation system (SBAS), EGNOS provides both correction and integrity information about the GPS system, delivering opportunities for Europeans to use the more accurate positioning data for improving existing services or developing a wide range of new services.

2) Un autre système de géolocalisation très employé, sans atteindre le degré de précision des précédents, reste la téléphonie mobile par identification de (ou des) l'antenne la plus proche. Sa précision reste directement dépendante de la densité de maillage en antennes et n'est au plus que de quelques kilomètres en milieu rural.

Documents de la presse:

**** International Herald Tribune Dec 9, 2008 TECHNOLOGY & MEDIA WITH REUTERS

Life, liberty and GPS: Advances have limits

New technology not always welcome

By Noam Cohen

Among international outrages, depriving citizens of personalized maps seems far down the list.

Still, that was the condition put on the introduction of iPhone 3G in Egypt. The government demanded that Apple disable the phone's global-positioning system, arguing that GPS was a military prerogative.

The company apparently complied, most likely taking a cue from the telecommunication companies that sell the phone there, said Ahmed Gabr, who runs a blog in Egypt, gadgets-arabia.com, and wrote about the iPhone's release there. "The point is that using a GPS unit you can get accurate coordinates of any place, and thus military bases and so on could be easily tagged," he wrote in an e-mail message.

Mr. Gabr last summer in Alexandria, Egypt, at the worldwide conference for Wikipedia. He was typical of the young Egyptians in attendance — hungry for new technology, hopeful about what it would mean for their country.

As much as any country, however, Egypt illustrates the push-me-pull-you nature of technology under an oppressive government.

Young people flock to Facebook, in a way I never could have imagined. In the largest Arab country in the world, Facebook was a way for the educated elite to reach out to one another and to those who had left the country for an even more elite education.

Andrew Bossone, an American in Cairo who writes about technology, said that despite its expense, the iPhone in Egypt was "really popular — everyone knows the iPhone." In addition to editing a technology magazine, he teaches at the American University in Cairo. "One of my students who comes from a wealthy family has the iPhone, and one of my designers, who is not rich, bought it on credit," he said.

Bossone said he thought the government would relent on issues like GPS because it would side with business even at the expense of security concerns.

"The economy is itself a security issue," he said. "The slower the economy grows, the more people become discontented, and that is a security issue."

But thus far, each time technology has promised to help introduce democracy to the country, the young peoples' hopes have been dashed. A movement for political reform that used Facebook to organize protests over the spring was shut down. The authorities cracked down, jailing many of its organizers. In the last few weeks, a blogger affiliated with the radical group the Muslim Brotherhood was arrested for his writings, according to the Arabic Network for Human Rights. Another blogger is being held in a military camp, the group says.

It is enough to make one wonder if new technologies — the personal computer, the Web, the smartphone — will help set us free or merely give us that illusion.

Apple modified its phone without any public acknowledgment. In a series of e-mail exchanges and brief telephone conversations, an Apple spokeswoman detailed the success of the iPhone roll-out around the world — a total of 13 million phones shipped since it was introduced in June 2007, and more than 200 million applications downloaded.

But she did not address how the iPhone came to be disabled or whether Apple had a policy it followed in modifying its products to meet the demands of governments worldwide.

This issue remains acutely relevant as Apple negotiates the introduction of the iPhone to China, whose estimated 500 million users make it the big kahuna of cellphone markets. Some reports say that in addition to issues like revenue sharing, there has been talk about modifying the phone so as not to use the 3G network or offer Wi-Fi capability.

Gabr described in his e-mail message what he considered to be the faulty rationale for the policy in Egypt.

"From a technical point of view, this is totally pointless because Google Maps works flawlessly here — you can even get a clear snap (with accurate coordinates) of places you're not supposed to see."

As an aside, he said that months ago he "bought an American iPhone 3G via eBay" with full functionality. "Cheaper, earlier and without compromise," he wrote, signing his note with a self-satisfied smiley-face emoticon.

I must admit, I didn't exactly think that the right to GPS was one of the basic freedoms. But Arvind Ganesan, director of the business and human rights program of Human Rights Watch, placed the issue in a larger context.

First, he described freedom of information as part of the broader, better known, freedom of expression. Transparency about the government's budget, for example, can be crucial to eliminating corruption and instituting democratic reforms.

Second, he argued that it was important for technology companies to set principles and follow them. "Here is the big question for Apple: Is this an ad hoc approach, or is there a fundamental policy, balancing the freedom of expression and information with the demands of the government?"

It is easy to get swept up in the utopianism embedded in new technologies. That we will be more politically engaged because of the organizing and fund-raising tools of social networking; that we will think greater thoughts now that anyone can have access to nearly everything ever written; that our tribal hatreds will melt away as the world recognizes that we are all connected.

Even those like Ganesan, who see technology abused, are cautiously hopeful. "Technologies do not hold people accountable. They give people the tools to hold people accountable." But he added: "We believe as a human rights group that the Internet can have an opening and transforming effect."

When Human Rights Watch was founded in 1978, he said, people were "smuggling letters by hand from the Soviet Union — that was how the world found out about a dissident." Today, there is a range of tools for spreading the word, from blogs to e-mail to YouTube videos.

"We may not know what the maximum impact of openness is," he said. "But we do know that in the most closed places the worst things happen."

Ahmed Gabr, a technology blogger, with his iPhone in Tanta, Egypt. The country asked Apple to remove the GPS from the iPhone.

Shawn Baldwin for The New York Times

+ « Confiance exagérée dans les performances du GPS (voir Wikipédia)

En démontrant ses performances exceptionnelles, puis en se vulgarisant, le GPS a modifié la perception du positionnement et de la navigation au sein même de la société. De ce fait les institutions et les pouvoirs publics admettent de plus en plus difficilement qu'il soit possible de « ne pas savoir où l'on est » et dans les applications tant professionnelles que pour les loisirs, il est si facile à exploiter qu'il semble pouvoir décharger complètement les pratiquants des tâches de positionnement et navigation, c'est peut-être le principal défaut du GPS.

Les récepteurs GPS qui affichent la position sur un fond de carte affichent également la direction du déplacement sous forme d'une petite flèche. Dans le cas d'un objet mobile qui se déplace lentement cette information est imprécise. Notamment, lorsqu'il s'agit d'une personne humaine qui se déplace soit en marchant, ou en courant, la direction doit être considérée avec beaucoup de prudence. Les récepteurs GPS conçus pour l'utilisation grand public des randonneurs et qui affichent la position sur un fond de carte disposent souvent d'une boussole magnétique incorporée. Même si l'affichage est numérique à l'écran, il s'agit bien d'un azimut magnétique. C'est cette information qui doit être

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

utilisée pour s'orienter sur le terrain.

Son usage est aux risques et périls de l'utilisateur et il n'offre, a priori, aucune garantie, ni aucune responsabilité en cas d'incident. En effet, en dépit de sa fiabilité et de sa précision, un tel système ne peut être fiable à 100 %. En outre, sa précision peut être mise en défaut car la continuité du calcul reste fragile et peut être interrompue ou perturbée par :

- une cause extérieure de mauvaise réception : parasites, orage, forte humidité, relief environnant, orage magnétique (dû à l'activité solaire)... ;
- un brouillage radioélectrique volontaire ou non ;
- une manœuvre au cours de laquelle la réception est temporairement masquée ;
- l'alignement momentané de quelques satellites qui empêche le calcul précis (incertitude géométrique temporaire) ;
- un incident dans un satellite.

Le Bureau d'enquêtes et d'analyses des accidents de l'Aviation civile française a réalisé une étude sur les accidents et incidents pour lesquels l'usage du GPS est identifié comme facteur déclenchant ou contributif de l'événement et il s'avère que dans nombre de cas, c'est une trop grande confiance en cet outil qui a participé à l'accident ou incident. Ainsi, il est fortement suggéré que les usagers des GPS et en particulier les professionnels l'utilisant, soient clairement informés des limites de cet outil qui ne doit être qu'une aide et non un moyen de navigation primaire¹³.

L'utilisation du GPS a aussi été mise en cause dans des accidents terrestres, dont celui du car polonais le 22 juillet 2007 survenu sur la rampe de Laffrey, ayant fait au moins 26 victimes. Le jeune conducteur aurait suivi les indications de son appareil de navigation, bravant onze panneaux d'interdiction de circulation aux autocars¹⁴, ce qui semble assez étonnant, la plupart des GPS du commerce disposant d'une possibilité de trajet alternatif. »