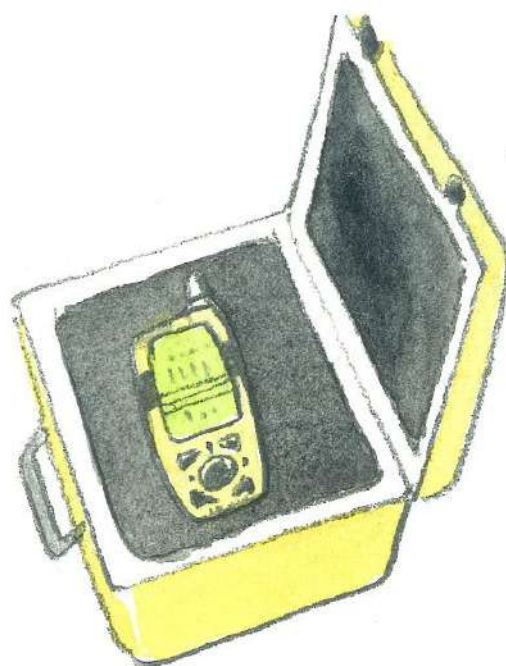




DOSSIER DECOUVERTE

Le GPS

Se repérer, se positionner dans l'espace





SOMMAIRE

<u>Au fil de l'histoire.....</u>	<u>3</u>
<u>Le GPS, du principe à l'utilisation.....</u>	<u>12</u>
<u>Le GPS au service des expéditions scientifiques de Tara.....</u>	<u>16</u>
<u>Glossaire.....</u>	<u>22</u>



Au fil de l'histoire

Quadriller la planète : l'invention des coordonnées géographiques

Depuis toujours, les Hommes cherchent des moyens pour se repérer dans l'espace et pour s'y déplacer. Très tôt, 4000 ans avant notre ère, les Polynésiens étaient déjà capables de naviguer grâce aux étoiles. Mais les notions de latitude et longitude ne sont introduites par Ératosthène qu'en 230 avant JC. Il est le premier à répartir la Terre en deux hémisphères Nord et Sud délimités par un équateur, et à la quadriller via des méridiens et des parallèles. Ces concepts lui permettront de mesurer le périmètre de la Terre et de prouver ainsi que la Terre est ronde... Ce n'est que très récemment, en 1884, que le méridien de référence a été établi par convention à Greenwich, en Angleterre.

Les instruments de navigation

Depuis Ératosthène, de nombreux instruments de navigation ont été inventés pour permettre aux hommes de se repérer en latitude et en longitude. Ces instruments sont présentés dans cette partie. Ils sont classés chronologiquement et sont répartis en trois catégories : les instruments qui permettent de calculer la latitude, les instruments qui permettent de calculer la longitude et les instruments qui permettent d'obtenir simultanément les deux coordonnées.

Des instruments pour calculer la latitude

Depuis la plus haute antiquité, les navigateurs ont su que pour se situer en mer et déterminer sa latitude, il fallait connaître la hauteur d'un astre au-dessus de l'horizon. C'est ce que l'on appelle la navigation astronomique dont certains instruments sont décrits ici.



*Reproduction d'un anneau astronomique
Photo Méridienne, www.meridienne.org*

-200 : l'anneau astronomique

Au II^e siècle avant JC, l'astronome Hipparque aurait effectué les mesures des équinoxes* à l'aide d'un anneau astronomique. L'anneau astronomique, qui sert à mesurer la hauteur du Soleil, a été utilisé dans la marine jusqu'au XVIII^e siècle. Les plus anciens étaient en bois. Certains anneaux avaient un très grand diamètre (50 cm environ).

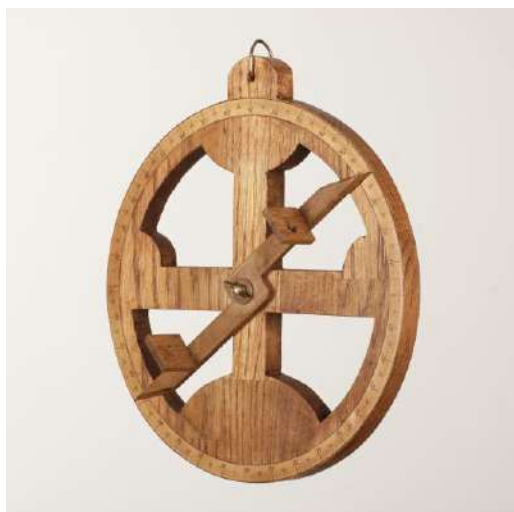


Premiers siècles : le kamâl

C'est un instrument rudimentaire de mesure de la hauteur d'un astre, utilisé par les Arabes dès les premiers siècles après JC. L'instrument est constitué d'un simple bâton de bois relié au navigateur par une cordelette à nœuds qu'il tient entre les dents, les nœuds étant réglés pour certaines latitudes. Une fois la cordelette tendue, la mesure se fait en alignant le bas du bâton avec l'horizon et en voyant si l'astre est aligné avec la partie haute, au-dessus ou en-dessous. Vasco de Gama découvre le kamâl lors de son expédition en 1499 et le fait ainsi connaître aux européens par ses récits.



*Reproduction d'un kamâl
Photo Méridienne, www.meridienne.org*



*Reproduction d'un astrolabe
Photo Méridienne, www.meridienne.org*

Vers 1500 : l'astrolabe nautique

A l'origine, c'est un outil terrestre utilisé par les Arabes. Pour son utilisation en mer, vers 1500, il a été alourdi et simplifié pour tenir compte des contraintes liées aux mouvements du navire. Composé d'un disque gradué à la périphérie et le plus souvent ajouré, il comportait également une alidade* pivotant autour de l'axe du disque. Pour mesurer la hauteur des astres, on prenait la verticale comme référence. On suspendait donc l'astrolabe tel un plomb au bout de son fil, et on visait l'astre observé avec l'alidade, repérant ensuite la graduation correspondante. Le vent et les mouvements du navire rendaient les mesures peu précises et l'astrolabe nautique fut rapidement remplacé par d'autres instruments plus perfectionnés.

XVe siècle : le quadrant

Instrument en forme de quart de cercle gradué de 0 à 90° qu'utilisaient les navigateurs du XV^e au XVII^e siècle pour mesurer la hauteur d'un astre et déterminer la latitude. Le quadrant (quart de cercle) était l'instrument astronomique le plus tôt converti pour l'usage nautique. Il était suspendu par un anneau et une ligne lestée permettait la lecture de l'angle. Mais il était d'un emploi délicat sur le pont instable d'un navire.



*Reproduction d'un quadrant
Photo Méridienne, www.meridienne.org*



Reproduction d'une arbalète ou bâton de Jacob
Photo Méridienne, www.meridienne.org

Fin du XVe siècle : le nocturlabe

D'origine chinoise très ancienne, le nocturlabe fut introduit en Occident vers la fin du XVe siècle. Il a été utilisé jusqu'au XVIIe siècle. Cet instrument permet de mesurer la distance de l'étoile polaire au pôle céleste et d'en déduire ainsi la latitude. Il sert également à connaître l'heure locale la nuit en mesurant la position relative de deux étoiles de la Grande Ourse, dites les Gardes, par rapport à l'étoile polaire. Un navigateur pouvait réaliser une lecture avec une précision de plus ou moins 15 minutes malgré le tangage et le roulis du navire.



Reproduction d'un nocturlabe
Photo Méridienne, www.meridienne.org



Reproduction d'un quartier de Davis
Photo Méridienne, www.meridienne.org

Fin du XVIe siècle : le quartier de Davis

Du nom du capitaine anglais Davis qui l'a inventé, cette amélioration du "bâton de Jacob" permet de déterminer la latitude d'un lieu par la mesure de la hauteur méridienne du Soleil. Cette mesure s'effectue en tournant le dos à l'astre supprimant ainsi les risques d'aveuglement. Il a fait l'objet pendant sa période d'utilisation d'améliorations successives dont la plus importante est l'adjonction d'une lentille* convergente qui faisait entrer les instruments de navigation dans l'ère de l'optique.

Voir aussi le dossier microscope qui explique le principe d'une lentille optique



1731 : l'octant de Hadley

L'octant est inventé par l'anglais John Hadley. Son principe est l'aboutissement de tous les essais réalisés avec les instruments précédents : faire coïncider l'image réfléchie, par un miroir ajustable, de l'astre avec l'horizon que l'on voit en visée directe à travers une lunette et un miroir semi-transparent. La graduation du secteur permet la lecture directe de la hauteur. L'octant a une ouverture de 45° (le huitième du cercle, d'où son nom) permettant de mesurer des hauteurs jusqu'à 90° .



*Reproduction d'un octant
Photo Méridienne, www.meridienne.org*



1757 : le sextant

Apparu en 1757, le sextant fonctionne exactement comme un octant. C'est un octant dont l'ouverture est de 60° , permettant de mesurer des angles jusqu'à 120° .

*Reproduction d'un sextant
Photo Méridienne, www.meridienne.org*



Des instruments pour calculer la longitude

Jusqu'à la deuxième moitié du XVIII^e siècle, seule la latitude était connue avec précision. Les cartes étaient imprécises en longitude Est-Ouest, rendant la navigation d'autant plus dangereuse. La mesure de la longitude est longtemps restée un véritable challenge pour les Européens...

1499 : les occultations d'étoiles

Le pilote florentin Amerigo Vespucci, qui fut au service de l'Espagne et du Portugal, propose de déterminer la longitude par l'observation des occultations d'étoiles par la Lune. Il aurait, le premier, eu l'idée de la méthode des distances lunaires pour cette même détermination.



*Portrait d'Amerigo Vespucci
Crédit Google*



*L'observatoire de Paris
Crédit Google*

Début XVIII^e siècle : les distances lunaires

Depuis le XV^e siècle et Amerigo Vespucci, les travaux des astronomes faisaient remarquer la possibilité de déduire la longitude d'un lieu en y observant la situation de la Lune par rapport aux étoiles à un moment donné, et en comparant l'heure à laquelle ce même phénomène était observé en un point de référence. La longitude était obtenue par la différence des heures locales de ces phénomènes. Mais des tables astronomiques précises étaient nécessaires. En 1667 et 1675, les Observatoires de Paris et de Greenwich sont construits pour améliorer les connaissances sur l'astronomie et des tables lunaires sont publiées au cours de la première moitié du XVIII^e siècle. Elles permettent de calculer la longitude par la distance lunaire ou de "naviguer à la Lune" et d'apprécier la longitude à moins d'un degré près. Cette méthode a été utilisée pendant plus de cent ans.



1759 : le chronomètre

Confrontés à la lenteur et l'imprécision de la navigation à la Lune, les Britanniques ont promulgué la "Longitude Act" en 1714, promettant une récompense à qui trouverait une méthode qui permette le calcul de la longitude avec une grande précision, au demi-degré près. La méthode la plus simple était de comparer l'heure de la méridienne du point de départ avec celle du passage du soleil au méridien du lieu où l'on se trouve. L'écart de temps mesuré donne la longitude, la Terre effectuant une rotation en 24 heures. Il restait à construire l'horloge capable de résister aux conditions de mer et de navigation... L'horloger anglais John Harrison parvint le premier à réaliser une telle montre, le chronomètre H4 en 1759. Cet instrument fit son premier voyage-test en 1761. Après 61 jours de mer, on constata une différence de 5,1 secondes, ce qui représentait une valeur satisfaisante pour le calcul de la longitude.

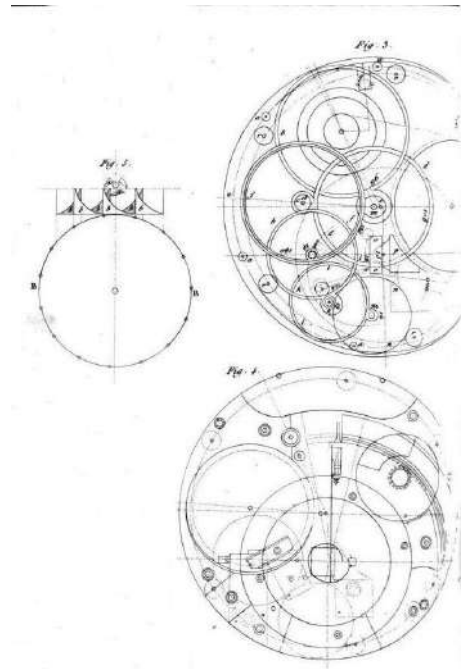


Schéma du chronomètre H4 de John Harrison
Crédit Google

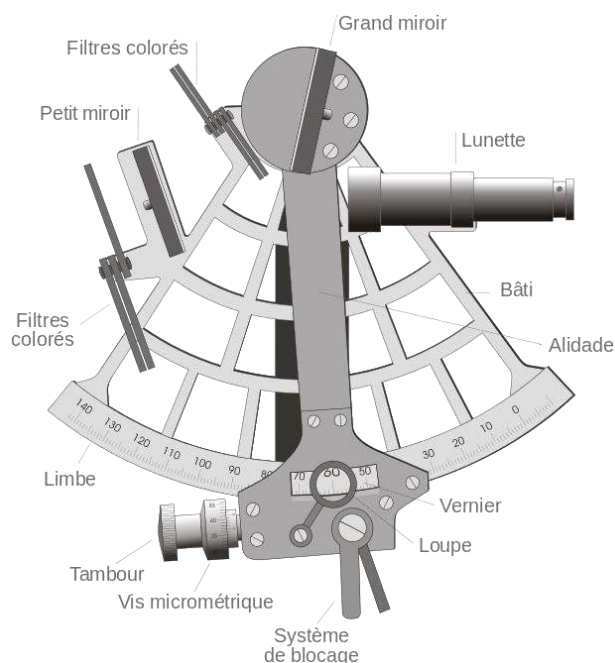


Des instruments pour se situer en latitude et longitude, de manière simultanée

Au milieu du XIX^e siècle, des méthodes innovantes émergent pour déterminer la latitude et la longitude de manière simultanée, plutôt que de les déterminer séparément comme par le passé.

1837 : la droite de hauteur

La méthode dite de la "droite de hauteur" consiste à mesurer la hauteur du soleil plusieurs fois dans la journée. Ces mesures successives permettent de tracer sur la carte un triangle d'incertitude à l'intérieur duquel se trouve le navire. La mesure est réalisée avec un sextant.



*Sextant utilisé pour le calcul de la droite de hauteur
Crédit Google*



*Photographie de l'utilisation du RADAR pendant la
seconde guerre mondiale
Crédit Google*

Vers 1940 : le radar

Au cours de la Seconde Guerre Mondiale est apparu le RADAR (RADio Detection And Ranging) dont le principe est de détecter et déterminer la position d'objets, en particulier bateaux et avions, par envoi d'ondes et réception du signal réfléchi par l'objet. Il permet également de détecter la côte et de mesurer azimut* et distance d'un point, donc de naviguer.



*Le navigateur DECCA
Crédit Google*

Vers 1940 : les systèmes hyperboliques

Pendant la Seconde Guerre Mondiale, les anglais ont mis en place un système de navigation hyperbolique, le Decca, en Manche et mer du Nord. Dans ce système, on mesure le décalage du temps de réception entre deux signaux émis simultanément par deux stations : le lieu des points à décalage donné est une hyperbole. Avec plusieurs stations, on peut faire un point à partir de réseaux d'hyperboles. D'autres systèmes de navigation hyperboliques ont été développés par les Etats-Unis, comme le Loran ou le système Oméga, premier système à couverture mondiale, mis en service à partir de 1968 et définitivement arrêté en 1997.

1964 : le premier système de navigation par satellites, Transit

Le premier satellite artificiel à orbiter autour de la Terre, le Spoutnik 1, a été lancé en octobre 1957 par l'Union Soviétique. Cet événement marquant a donné le départ à une course effrénée à la conquête de l'espace. En effet, dès le début des années soixante, un système de navigation par satellites, couramment appelé système Transit, était déjà exploité par la Marine américaine. Sa précision modeste, environ 1 km, était suffisante pour la navigation hauturière*. Il a été définitivement arrêté en 1996, détrôné par le GPS.



*Le prototype Transit
Crédit Google*



*Représentation d'un satellite GPS
Crédit Google*

1978 : le GPS ou Global Positioning System

En 1968, le département de la Défense des Etats-Unis imagine un système de localisation géographique composé d'une constellation de satellites en orbite autour de la Terre qui pourrait leur fournir la position d'un point sur la planète en temps réel et 24H sur 24. Le système GPS a donc été conçu, financé et développé dès 1973 par les Etats-Unis pour un usage strictement militaire. Les quatre premiers satellites prototypes sont lancés en 1978 et le système est déclaré opérationnel en 1995 avec une constellation de 24 satellites. Suite à un drame aérien en 1983, le gouvernement américain décide de le rendre accessible à des fins civiles mais avec une précision restreinte.



Informations complémentaires

Le programme sur la navigation du musée de la Marine

http://www.musee-marine.fr/programmes_multimedia/navigation/

Une association de passionnés d'histoire de l'astronomie

<http://www.meridienne.org/>

Cahier Clairaut sur les instruments anciens

http://clea-astro.eu/vieclea/nouvelles-productions/cc/cc144/index_html

ENS Lyon propose un dossier pédagogique sur le sextant :

<http://www.ens-lyon.fr/RELIE/Cadrams/activpedago/TextesCours/Websextant/Sextant.htm>

L'IREM, Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques

<http://www-irem.ujf-grenoble.fr/spip/>



Le GPS, du principe à l'utilisation

Le système de positionnement par satellites

Composantes du GPS

Le système GPS comprend 3 composantes principales :

- la composante spatiale constituée de 24 satellites en orbite autour de la Terre
- la composante de contrôle formée de stations de poursuite au sol
- la composante « utilisateur » qui comprend les récepteurs.

Les 24 satellites NAVSTAR (NAVigation Satellite Timing And Ranging) sont situés à une altitude d'environ 20 000 km au-dessus de la surface terrestre (soit 3 fois le rayon de la Terre), ce qui leur confère une période de révolution* d'environ 12 heures. Cette altitude élevée permet à des utilisateurs de capter simultanément les signaux d'au moins 4 satellites, en tous points du globe, 24 heures par jour, et indépendamment des conditions météorologiques.

Les stations de poursuite de la composante de contrôle ont pour principale fonction de calculer la trajectoire des satellites GPS et d'estimer les erreurs de temps des horloges à bord des satellites. Les stations de poursuite communiquent cette information aux satellites qui la transmettent directement aux utilisateurs. Aujourd'hui, une quinzaine de stations de poursuite composent ce réseau.

Enfin, la composante utilisateur comprend les récepteurs utilisés pour se positionner. Ces récepteurs passifs ne font que recevoir les signaux transmis par les satellites GPS. Ils ont pour fonction de mesurer des distances entre l'antenne-réceptrice et les satellites-émetteurs, de décoder les messages radiodiffusés qui contiennent les corrections d'horloges des satellites et les éphémérides servant aux calculs de la position des satellites au temps d'observations, le tout pour calculer la position de l'utilisateur.

Principe de fonctionnement

L'onde émise par le satellite met un certain temps pour atteindre le récepteur situé quelque part sur une sphère ayant pour centre le satellite. Il faut la conjonction de 3 satellites pour obtenir deux points communs où les trois sphères se coupent. Même s'il y a deux positions possibles, elles diffèrent largement et le GPS sait automatiquement laquelle des deux positions prendre. C'est la technique dite de triangulation.

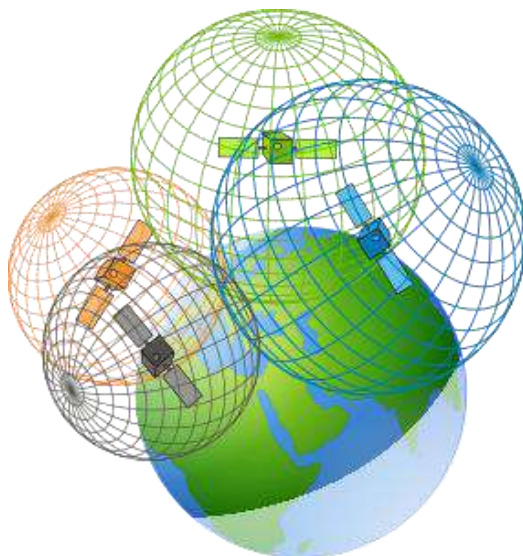


Schéma de la triangulation par satellite
Crédit Google



Mode d'emploi et fonctionnalités du GPS

Choisir son système de coordonnées

Avant de commencer la prise de coordonnées à l'aide du GPS, il est nécessaire de configurer correctement le GPS. Il existe plusieurs méthodes pour calculer et pour exprimer la position d'un point donné sur la terre. Les coordonnées géographiques sont généralement en degrés décimaux ou en degrés/minutes/secondes. Pour assurer une compatibilité optimale, il est conseillé de prendre les coordonnées d'un point en degrés/minutes/secondes.

Déterminer sa position

C'est la fonction principale du GPS. Une fois allumé, votre GPS cherche automatiquement les satellites afin de déterminer sa position. Plus vous attendrez longtemps, plus les mesures effectuées seront nombreuses et plus votre position sera précise (cf "A propos des limites et sources d'erreurs de l'instrument"). La plupart des GPS renseigne sur la localisation des satellites, la puissance des signaux provenant des satellites et la précision de la position.

Déterminer sa vitesse

Le système GPS permet également de mesurer la vitesse à laquelle se déplace l'utilisateur, via à l'effet Doppler*. En effet, la fréquence reçue par le récepteur GPS et la fréquence transmise par le satellite causée sont différentes en raison du mouvement relatif entre le satellite et le récepteur. Un calcul mathématique permet d'établir la vitesse de l'utilisateur.

Naviguer et enregistrer

Plusieurs types de récepteurs GPS permettent également de "naviguer", c'est à dire de se rendre à une position donnée. Il est possible de rentrer les coordonnées de la position à laquelle on veut se rendre et le GPS indique la direction à suivre et la distance qu'il reste à parcourir. Il est également possible de sauvegarder les coordonnées calculées et les observations.

Les modes d'emploi des différents types de GPS sont généralement accessibles sur Internet.



Exemple d'un type de GPS, ici le GPS de randonnée
Crédit Fotolia

Le GPS dans nos vies

Le GPS a envahi notre quotidien. Qu'il s'agisse du GPS pour randonneur que l'on tient à la main ou que l'on fixe au poignet, le GPS intégré aux téléphones mobiles intelligents dits "smartphone", ou le GPS automobile qui remplace les cartes routières, nous avons tous été au contact de cet objet scientifique.



A propos des limites et sources d'erreur de l'instrument

Limites de l'instrument

Le GPS ne fonctionne qu'en des lieux découverts, là où il peut facilement capter le signal des satellites. De ce fait, il ne fonctionnera pas ou très difficilement dans les forêts avec un feuillage dense, à l'intérieur des bâtiments et sous terre...

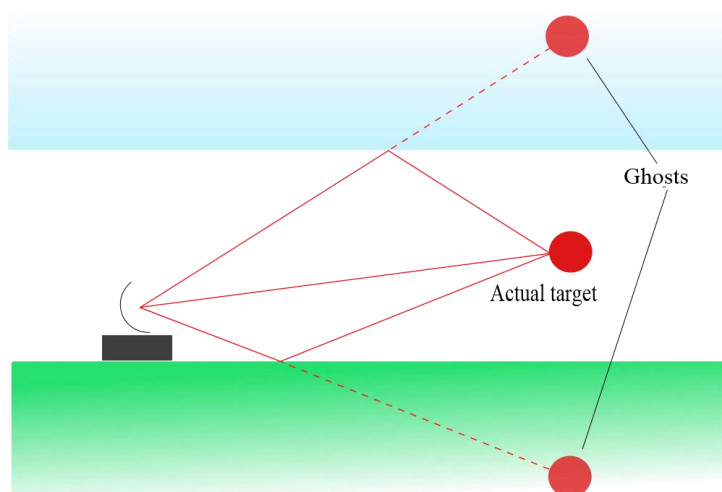
Afin de garantir son indépendance vis à vis du GPS américain, l'Union Européenne a lancé son propre programme de radionavigation par satellite, Galileo. Il est prévu qu'en 2015, 18 satellites Galileo soient en orbite et assurent les services préliminaires de positionnement.

Sources d'erreur

Le GPS est soumis à des erreurs technologiques liées à la mesure du temps et à la position des satellites. En effet, si la position du satellite n'est pas correcte ou si le temps de propagation de l'onde est mal mesuré, il en résultera une imprécision sur la position du GPS. Jusque dans les années 2000, ces informations étaient volontairement dégradées par les Etats-Unis pour conserver le monopole militaire de l'utilisation du GPS.

Il arrive également que la précision du GPS soit limitée par des phénomènes naturels qui perturbent la propagation des signaux. Les causes sont diverses : réfraction* dans l'ionosphère* et dans la troposphère* due aux caractéristiques des gaz présents dans ces couches atmosphériques, ou présence d'un obstacle naturel (montagne) ou technologique (bâtiment) entre le satellite et le GPS qui dévie les ondes émises par le satellite. C'est ce que l'on appelle l'erreur de multitrajets ou de réverbérations.

Il est possible d'améliorer la précision de la mesure GPS en répétant plusieurs fois la même mesure. En effet, plus on patiente, plus le nombre de mesures réalisées sera grand et meilleure sera la précision.



*Schéma explicatif d'une erreur de multitrajets
Crédit Google*



Informations complémentaires :

Cours de l'Université de Laval sur le GPS

http://gps-rs.scg.ulaval.ca/fr/cours/survolgps/introduction_gps.htm

Guide pratique d'utilisation du GPS

http://www.ge-eau.org/Documents/formation_GPS.pdf

Rappels sur erreurs et incertitudes

<http://webtab.ac-bordeaux.fr/Pedagogie/Physique/Physico/Electro/e03quali.htm>

Le système européen de navigation par satellites

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/860-galileo.php>



Le GPS au service des expéditions scientifiques de Tara

Initialement utilisé pour ses applications militaires, le GPS a rapidement été détourné au profit d'autres domaines d'application telle que la Science. Aujourd'hui, il est devenu un instrument scientifique incontournable pour bon nombre de thématiques de recherche. La géophysique fut l'un des premiers domaines investis avec notamment l'installation du premier réseau GPS permanents en Californie en 1991 pour étudier la faille de San Andréas. En glaciologie, les GPS permettent de mesurer la vitesse d'écoulement des glaciers. En océanographie, des GPS sont installés sur les bouées autonomes dérivantes et à bord des navires scientifiques où ils remplissent ainsi deux fonctions : l'une pour la navigation, l'autre pour la Science.

Ne pas confondre : le GPS et le système ARGOS

Une balise Argos est un émetteur dont les messages transmis vers les satellites permettent ensuite au centre de traitement de calculer la position de la balise et de traiter les données des capteurs océanographiques. Dans le cas du GPS, il s'agit d'un récepteur qui calcule lui-même sa propre position à partir de signaux reçus depuis les satellites GPS, seul l'utilisateur du récepteur GPS est donc informé de sa position.

Le GPS et Tara

Au cœur de l'action

Mars 2013 : dans la timonerie de Tara, Loïc Vallette, le capitaine de la goélette, vérifie les différents instruments de bord. Tout comme le radar ou la radio, le GPS figure parmi les outils indispensables à la navigation. Sans lui, difficile de savoir avec précision où l'on se trouve ou de s'orienter... Avant de repartir pour une nouvelle expédition vers l'Arctique, il s'impose donc de vérifier son bon fonctionnement...



Crédit : Anne Recoules

La mission Tara Arctic

Au cours de ces dernières décennies, le climat de l'Arctique a subi de profondes modifications avec une réduction accrue de la surface de la banquise de l'ordre de 13 % par décennie. Depuis la fin des années 1970, cela correspond à une diminution de la superficie de la banquise estivale de l'ordre de plus de 4 millions de km². Afin de comprendre les causes de ce changement abrupt, et dans le cadre de la quatrième année polaire internationale, la goélette Tara a mené une expédition en Arctique, en 2006-2008, sous l'égide du programme scientifique DAMOCLES. Conçue pour résister à la pression de la banquise, Tara a dérivé pendant plus de 500 jours en Arctique de la Sibérie au détroit de Fram, afin d'étudier cet environnement en pleine mutation, l'océan, la banquise, et l'atmosphère. Dans sa dérive, Tara fut accompagnée de cinq bouées dérivantes autonomes appelées POPS (Polar Ocean Profiling System).



*Tara dans la banquise lors de sa dérive en 2006-2008
Crédit : B.Sabard*



*Trajectoire de la dérive de Tara dans la banquise Arctique en 2006_2008 (en bleu) et lors de l'expédition
Tara Polar Circle en 2013 (en orange)
Crédit Tara expéditions*



Qu'est-ce qu'une POPS ?

Il existe différents types de bouées autonomes dérivantes sur la banquise : les Ice-Tethered Profiler (ITP) développées par les Américains et les Polar Ocean Profiler System (POPS) développées par les Japonais. Ces mouillages sont accrochés sous une bouée posée à la surface de la banquise. Un lest de 20 kg en plomb est fixé au bout d'un câble qui peut mesurer 1000 mètres de long. Une sonde océanographique, appelée CTD, coulisse le long du câble plusieurs fois par jour en enregistrant les propriétés physiques de la colonne d'eau (température, conductivité électrique et pression). Installée sur une banquise en perpétuel mouvement, principalement sous l'action du vent, la bouée dérive en permanence. De ce fait, les observations océanographiques récoltées seraient inexploitable sans une mesure précise de la position de la bouée, réalisée par le GPS. L'ensemble de ces informations est ensuite communiqué aux laboratoires de recherche par un système de transmission par satellite.

Les bouées autonomes dérivantes présentent plusieurs avantages comparés aux observations océanographiques réalisées à bord de brise-glaces. Tout d'abord, les bouées permettent de récolter des observations tout au long de l'année, été comme hiver, alors que les conditions météorologiques extrêmes de l'hiver polaire interdisent toute campagne en mer à cette saison. Les observations étant réalisées plusieurs fois par jour, tous les jours de l'année, sont donc très nombreuses. Enfin, les bouées se retrouvent parfois dans des zones qui seraient inaccessibles aux brise-glaces car recouvertes d'une banquise trop épaisse. L'apport à la communauté scientifique est donc considérable en termes d'observations océanographiques qu'il était difficile à réaliser auparavant.



*Installation d'une bouée POPS sur la banquise
Crédit Hervé Le Goff*

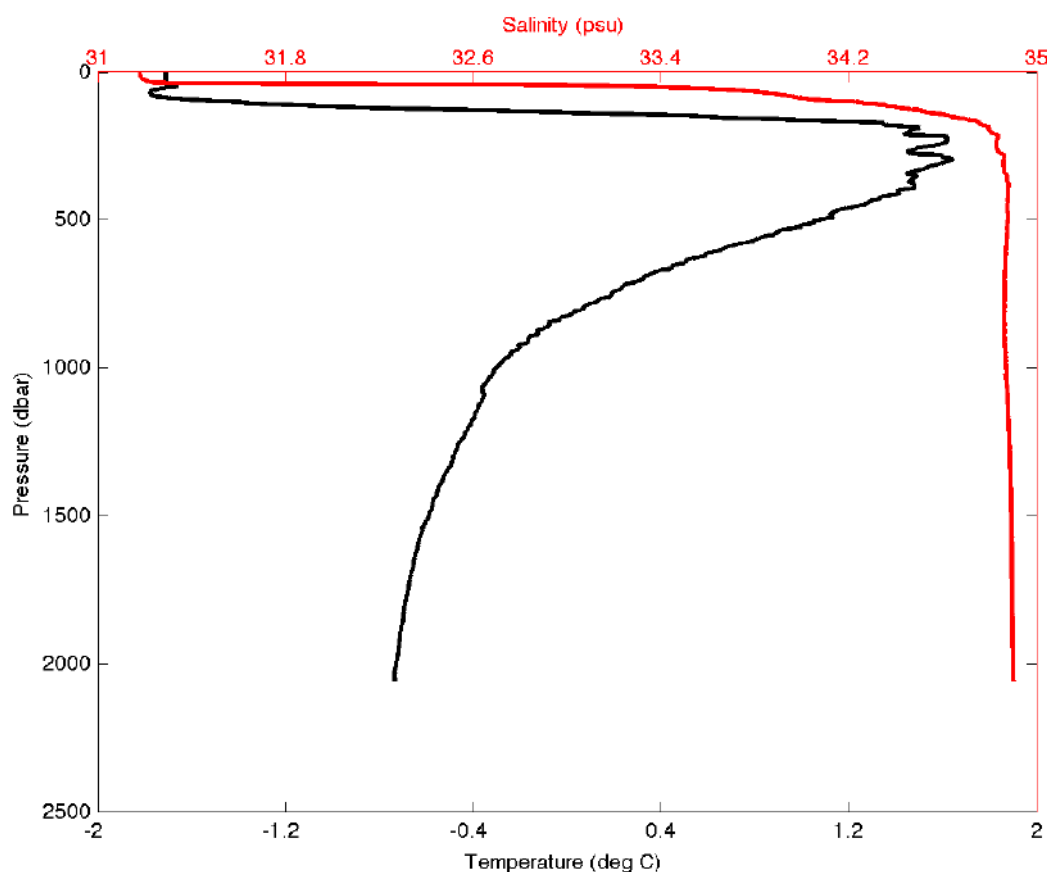


Exemple de résultats obtenus

La dérive de Tara a permis d'observer l'évolution de l'atmosphère, de la banquise, et de l'océan Arctique de la Sibérie au détroit de Fram sur presque un an et demi. En particulier, les observations océanographiques recueillies depuis Tara et par les 5 POPS, compilées à d'autres informations récoltées dans le cadre de l'année polaire internationale, permettent aux scientifiques de mieux comprendre la circulation des masses d'eaux de l'Océan Arctique, sa stratification* et les échanges de chaleur avec la surface et la banquise.

Globalement, on observe une élévation des températures depuis la surface jusqu'à environ 300 m qui correspond à la présence de l'eau chaude d'origine Atlantique. En profondeur, la température de l'eau diminue en-dessous de 0°C. La salinité augmente constamment de la surface (33.5 psu*) jusqu'au fond de l'océan (34.9 psu). La zone de transition thermique rapide est appelée la thermocline et la zone de transition saline est appelée la halocline.

cf dossier ressource "le thermomètre"



Voici un exemple de profil vertical de température (en noir) et de salinité (en rouge) obtenu à partir des données de TARA, de la surface à 2500 m de profondeur environ.
Crédit Pascaline Bourgain

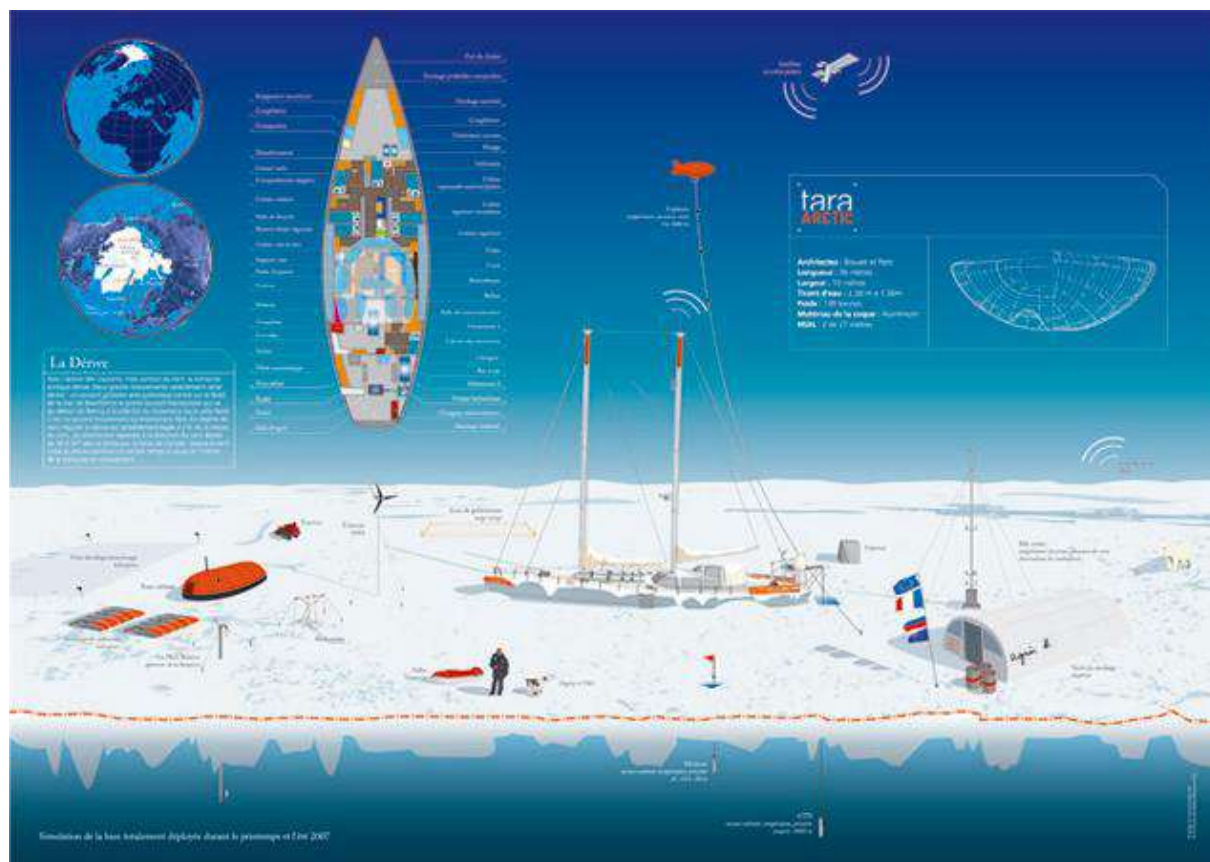
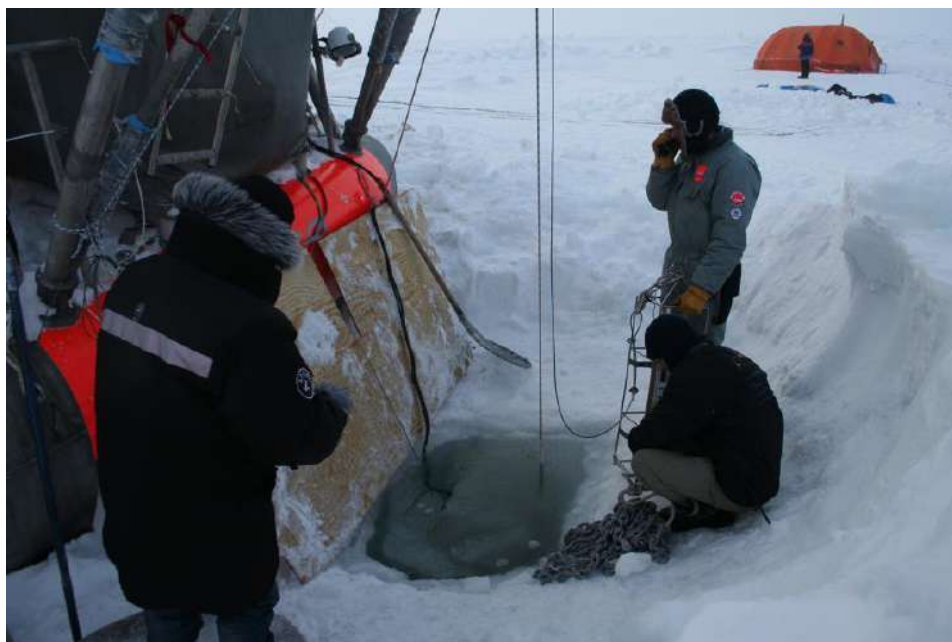


Illustration de l'ensemble des études réalisées lors de l'expédition
Crédit Tara Expéditions



Mise à l'eau d'une sonde CTD depuis Tara
Crédit : B.Sabard



Informations complémentaires :

Le programme scientifique européen Damocles

<http://www.damocles-eu.org/>

L'expédition Tara Arctic

http://arctic.taraexpeditions.org/fr/tara-expeditions-accueil.php?id_page=1

Explications scientifiques sur l'expédition

<http://crdp.ac-paris.fr/tara/index.php?page=intro>

Les bouées dérivantes en Arctique

<http://www.whoi.edu/page.do?pid=20756>



Glossaire

Alidade : règle mobile autour d'un axe, portant un instrument de visée (lunette) qui sert à déterminer une direction ou mesurer un axe.

Azimut : angle entre la direction de l'objet et le Nord

Effet Doppler : une onde émise à une certaine fréquence sera reçue à une fréquence différente par le récepteur si le récepteur et/ou la source sont en mouvement. C'est le célèbre effet de la sirène de pompier qui semble changer lorsque le camion s'approche ou s'éloigne.

Équinoxe : point de l'orbite terrestre atteint lorsque le Soleil est exactement au zénith sur l'équateur. Il y a deux équinoxes par an, le 21 mars et le 23 septembre. Par convention, ces dates sont attribuées au début du printemps et de l'automne.

Hauturière : se dit de la zone maritime éloignée des côtes.

Ionosphère : couche supérieure de l'atmosphère, ainsi nommée en référence à son état de conductibilité électrique. Elle est comprise entre 85 km et 600 km d'altitude, et peut être décomposée en trois parties : la thermosphère, la mésosphère et l'exosphère.

Lentille optique : les lentilles sont fabriquées dans un matériau transparent (verre ou plastique). L'épaisseur au centre est différente de celle des bords. Elles ont des formes très diverses et sont destinées à faire converger ou diverger la lumière.

Période de révolution : temps mis par un astre pour accomplir sa trajectoire autour d'un autre astre. Dans le cas d'un satellite GPS, il s'agit du temps nécessaire au satellite pour faire le tour de la Terre et revenir à la même position.

PSU : le psu (Practical Salinity Unit) est l'unité de mesure de la salinité.

Réfraction : phénomène physique de déviation d'une onde lorsqu'elle change de vitesse à l'interface de deux milieux. C'est le phénomène du bâton dans l'eau qui semble plié.

Stratification : la répartition verticale des masses d'eau influent sur le profil vertical de salinité, de température et de densité (poids des eaux). On dit d'un océan qu'il est très stratifié lorsque les masses d'eau superposées ont des densités très différentes les unes des autres, ce qui limite les échanges.

Troposphère : couche de l'atmosphère terrestre comprise entre la surface de la Terre et une altitude comprise entre 8 et 18 km selon la latitude et la saison.

