

Localisation, cartographie et mobilité

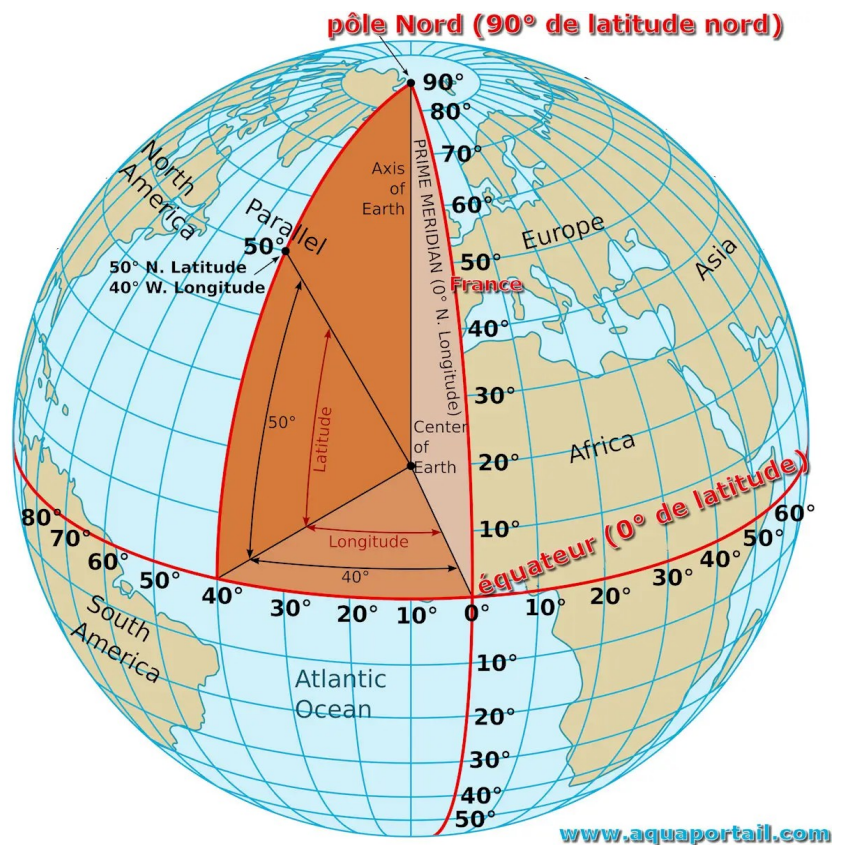
localisation sur la Terre

La localisation d'un point sur Terre repose sur un **système de coordonnées géographiques** qui utilise deux valeurs principales : la **latitude** et la **longitude**. Ce système permet d'identifier précisément la position d'un lieu sur la surface du globe.

La Terre comme un repère sphérique

La Terre est modélisée comme une sphère (ou un ellipsoïde), et un réseau de lignes imaginaires est utilisé pour déterminer la position d'un point :

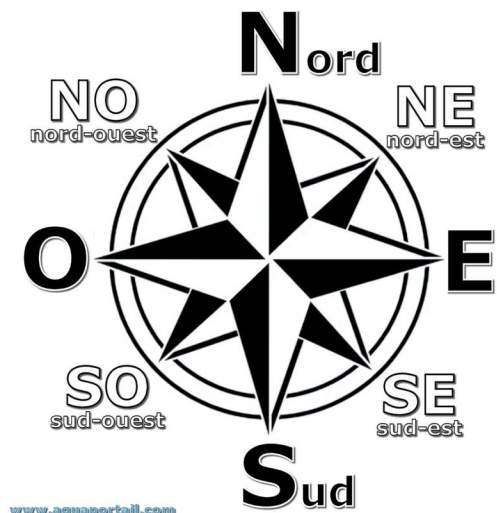
- Les parallèles : Ce sont des cercles horizontaux qui définissent la latitude.
- Les méridiens : Ce sont des demi-cercles verticaux reliant les pôles et définissant la longitude.



La latitude et la longitude

Latitude (ϕ) : Distance angulaire par rapport à l'équateur (0°), variant de -90° (pôle Sud) à $+90^\circ$ (pôle Nord).

Longitude (λ) : Distance angulaire par rapport au méridien de Greenwich (0°), variant de -180° (ouest) à $+180^\circ$ (est).



Les différentes méthodes d'exprimer les coordonnées géographiques

Les coordonnées géographiques (latitude et longitude) peuvent être exprimées de plusieurs manières en fonction des besoins en précision et du contexte d'utilisation. Voici les trois principales méthodes de notation :

- Degrés, Minutes, Secondes (DMS - Degrees, Minutes, Seconds)
C'est le format traditionnel utilisé en navigation et en cartographie classique.
Utilisation : Employé en aviation, en marine et sur certaines cartes papier.
Latitude : DD°MM'SS.SSS" N/S
Longitude : DDD°MM'SS.SSS" E/W
 - DD : Degrés entiers
 - MM : Minutes ($1^\circ = 60$ minutes)
 - SS.SSS : Secondes ($1' = 60$ secondes)
 - N/S : Indique le nord ou le sud pour la latitude
 - E/W : Indique l'est ou l'ouest pour la longitude

Précision avec 3 chiffres après la virgule pour les secondes : ~ 0.3 m

Exemple : Hôtel de Ville de Liévin :

- Latitude 50°25'15,778" N
- Longitude 2°47'4,511" E

- Degrés et Minutes Décimales (DMM - Degrees and Decimal Minutes)
Ce format est une version simplifiée du précédent, utilisé souvent dans la navigation maritime et aérienne.

Utilisation : GPS maritimes, navigation aérienne et certains GPS grand public.

Latitude : DD°MM.MMM N/S

Longitude : DDD°MM.MMM E/W

Les secondes sont converties en décimales de minutes

Précision avec 3 chiffres après la virgule pour les minutes : ~ 1 m

Exemple : Hôtel de Ville de Liévin :

- Latitude 50° 25.263' N
- Longitude 2° 47.075' E

- Degrés Décimaux (DD - Decimal Degrees)

Ce format est le plus couramment utilisé dans les systèmes modernes comme les GPS, Google Maps et les SIG (Systèmes d'Information Géographique).

Utilisation : GPS, applications mobiles, SIG, Google Maps.

Latitude:±DD.DDDDD

Longitude:±DDD.DDDDD

- Les minutes et secondes sont converties en décimales.
- Les valeurs positives indiquent le nord et l'est.
- Les valeurs négatives indiquent le sud et l'ouest.

Précision avec 5 chiffres après la virgule pour les degrés : ~1m

Exemple : Hôtel de Ville de Liévin :

- 50.4210495
- 2.7845864

- Représentation selon la norme ISO6709

La norme ISO6709 définit la représentation des coordonnées géographiques de manière standardisée:

Latitude Longitude : ±DD.DDDD±DDD.DDDD[+/-]HH.HHH/

- Latitude: Valeur numérique avec un signe(+) pour l'hémisphère nord et un signe(-) pour l'hémisphère sud.
- Longitude: Valeur numérique avec un signe(+) pour l'est et un signe(-) pour l'ouest.
- Altitude: Valeur numérique suivie de l'unité(mètre).

Exemple : Hôtel de Ville de Liévin :

- +50.4210+002.78458+43.66

Conversion

- DMS (Degrés, Minutes, Secondes) vers DD (Degrés Décimaux)

$$DD = D + \frac{M}{60} + \frac{S}{3600}$$

Si la direction est **S** (Sud) ou **W** (Ouest), multiplier le résultat par -1.

Exemple : Hôtel de Ville de Liévin :

- Latitude 50°25'15,778" N
- Longitude 2°47'4,511" E

$$DD = 50 + \frac{25}{60} + \frac{15,778}{3600} = +50,4210$$

$$DD = 2 + \frac{47}{60} + \frac{4,511}{3600} = +2.78458$$

Calcul de distance :

La Terre est (approximativement) sphérique.

La distance d entre deux points sur une sphère de rayon R est donnée par la formule de Haversine :

$$d = 2 \cdot R \cdot \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos \phi_1 \cdot \cos \phi_2 \cdot \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right)$$

Correspondance des symboles :

- d : distance entre les deux points.
- R : rayon terrestre moyen $\rightarrow 12742\text{km}/2=6371\text{km}$
- ϕ_1, ϕ_2 : latitudes des deux points (en radians).
- λ_1, λ_2 : longitudes des deux points (en radians).

La formule de Haversine est précise pour de courtes et moyennes distances. Elle est simple à implémenter.

Fonction python :

```
from math import radians, sin, cos, sqrt, atan2

def distance_iso6709(lat1, lon1, lat2, lon2):
    # Rayon moyen de la Terre en mètres
    R = 6371000
    # Conversion degrés vers radians
    lat1, lon1, lat2, lon2 = map(radians, [lat1, lon1, lat2, lon2])
    # Formule de Haversine
    dlat = lat2 - lat1
    dlon = lon2 - lon1
    a = sin(dlat / 2)**2 + cos(lat1) * cos(lat2) * sin(dlon / 2)**2
    c = 2 * atan2(sqrt(a), sqrt(1 - a))
    distance = R * c
    return distance

# Exemple d'utilisation :
latitude1, longitude1 = +50.4210,+002.78458 # Hôtel de ville de Liévin
latitude2, longitude2 = 50.410621 , 2.770002 # LGT Henri Darras
distance = distance_iso6709(latitude1, longitude1, latitude2, longitude2)
print(f"La distance est {distance:.2f} mètres, soit {distance/1000:.2f} km.")
```

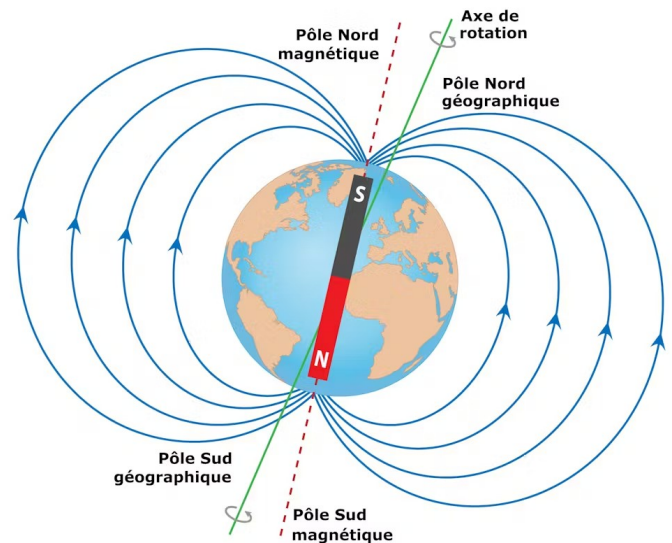
Instrument de mesure

Boussole

Une boussole est un instrument qui permet de s'orienter en indiquant la direction du nord magnétique terrestre.

Fonctionnement :

- Une boussole contient une aiguille aimantée libre de tourner autour d'un axe vertical.
- Cette aiguille s'aligne automatiquement selon les lignes du champ magnétique terrestre, pointant ainsi vers le nord magnétique (à ne pas confondre avec le nord géographique).
- Le nord magnétique est situé à proximité du pôle nord géographique, mais il n'est pas fixe et évolue légèrement avec le temps.



Orienter une carte géographique



- Positionner la carte à plat.
- Placer la boussole sur la carte en alignant son bord avec une ligne nord-sud imprimée sur la carte (méridien).
- Tourner ensemble la carte et la boussole jusqu'à ce que l'aiguille indique le nord magnétique (la pointe rouge alignée avec la direction nord indiquée sur le cadran).
- La carte est maintenant orientée : les directions sur la carte correspondent aux directions réelles sur le terrain.

Mesure de la Latitude : Sextant

Le sextant a été inventé vers 1730 indépendamment par John Hadley, un mathématicien anglais et par Thomas Godfrey, un inventeur américain. Il a joué un grand rôle dans la navigation astronomique. Il est en effet spécialement adapté à la mesure de la hauteur des astres sur l'horizon, ce qui a permis aux marins de connaître facilement leur latitude.

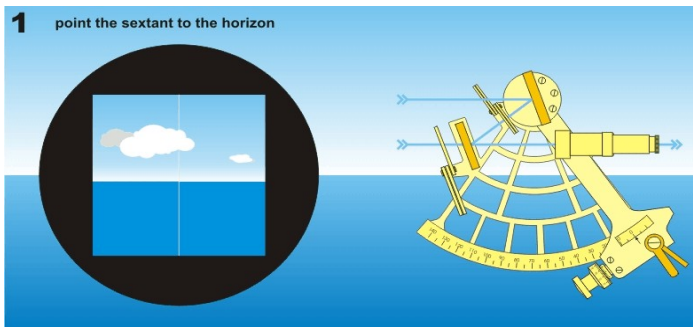
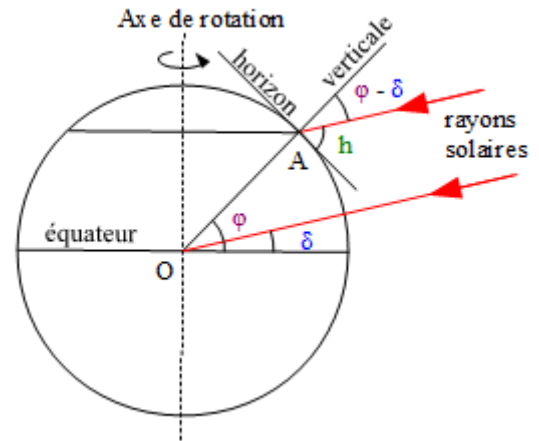
Le principe du sextant est à la fois simple et génial.

L'instrument étant tenu verticalement à la main,

l'observateur dirige la lunette vers l'horizon qui, en mer, est

donné par la surface de l'océan au loin. L'horizon est donc aperçu directement à travers le petit miroir semi-réfléchissant. L'observateur manœuvre ensuite l'alidade de façon à apercevoir, par double réflexion sur le grand miroir et sur la partie réfléchissante du petit miroir, l'astre dont il veut mesurer la hauteur (Soleil, Lune, étoiles). Lorsque la coïncidence des deux images est réalisée, c'est-à-dire lorsque l'on voit dans la lunette à la fois l'horizon et l'astre observé,

il suffit de lire sur le limbe l'angle h cherché. En mer, plutôt que de faire coïncider le centre du Soleil avec l'horizon, il est plus facile d'amener son bord inférieur sur l'horizon : on fait tangenter le Soleil sur l'horizon. La mesure doit alors être corrigée du demi-diamètre du Soleil (qui vaut 16').



<https://www.youtube.com/watch?v=wnkwFUOyDIE&t=35s>

- La mesure effectuée au sextant
- la hauteur mesurée du Soleil, égale à la moitié de la valeur du sextant ;
- la hauteur vraie h du Soleil, corrigée de la réfraction atmosphérique pour une ;
- la déclinaison δ du Soleil au moment de l'observation, donnée par le site de l'IMCCE ;
<https://ssp.imcce.fr/forms/ephemeris>
- la latitude ϕ , calculée à partir de la formule : $\phi = 90 + \delta - h$;

Jour et heure	Mesure Sextant	Hauteur mesurée (Mesure sextant /2)	Hauteur vraie (Hauteur mesurée – 0,0133)	Déclinaison (voir le site IMCEE)	Latitude (90 + Déclinaison - Hauteur vraie)

<https://aces.ens-lyon.fr/aces/logiciels/e-librairie/astromomie-et-science-de-lunivers/determination-de-la-latitude-dun-lieu-terrestre-a-laide-dun-sextant>

Mesure de la longitude : le chronomètre de marine

- **Principe** : La longitude dépend du **décalage horaire** entre l'heure locale (celle du lieu où on se trouve) et l'heure d'un **référentiel fixe**, généralement l'heure de Greenwich (GMT).
- **Comment ça marche** :
 - On mesure **l'heure locale** en observant le Soleil (par exemple, lorsqu'il est au zénith : midi local).
 - Le **chronomètre**, réglé à l'heure de Greenwich, permet de connaître l'heure de référence.
 - On calcule le **décalage horaire** : chaque heure de décalage correspond à **15° de longitude** (car la Terre tourne de 360° en 24 h → $360/24 = 15^\circ$ par heure).



Précision nécessaire du chronomètre

- Une **erreur de 4 secondes** dans la mesure du temps = **erreur de 1,0 km** environ en longitude à l'équateur.
- Il fallait donc des chronomètres extrêmement **précis et stables**, même en mer (humidité, chocs, température...).

GNSS (Système Mondial de Navigation par Satellite)

Le GNSS (Global Navigation Satellite Systems) est un terme général qui désigne tous les systèmes de satellites de géolocalisation utilisés dans le monde.

Un récepteur GNSS peut capter plusieurs constellations de satellites à la fois, ce qui améliore la précision et la fiabilité du positionnement.

Systèmes GNSS disponibles :

- GPS (États-Unis)
- Galileo (Union Européenne)
- GLONASS (Russie)
- BeiDou (Chine)



Avantages :

- Plus de satellites disponibles → position plus rapide.
- Meilleure précision, surtout en ville ou dans les zones avec des obstacles (bâtiments, arbres).
- Résilience : si un système est temporairement indisponible, les autres prennent le relais.
- Compatible mondialement.

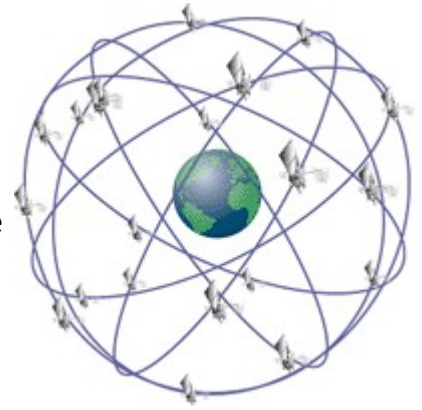
Des satellites en orbite

Les systèmes de géolocalisation par satellite, appelés GNSS (Global Navigation Satellite Systems), utilisent des constellations de satellites placés en orbite autour de la Terre.

Pour qu'un récepteur GNSS puisse toujours capter au moins 4 satellites peu importe où il se trouve sur Terre, il faut qu'il y ait un grand nombre de satellites répartis sur plusieurs orbites. 24 satellites est le minimum pour garantir une couverture complète de la planète 24h/24, avec au moins 4 satellites visibles en tout lieu à tout moment.

Chaque satellite GNSS envoie en permanence :

- son **identifiant** (nom ou numéro)
- sa **position exacte** dans l'espace
- l'**heure exacte** à laquelle il envoie le signal

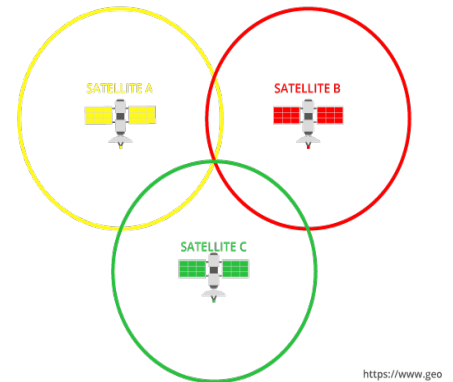


Mesure du temps de trajet des signaux

Le récepteur **écoute les signaux** envoyés par plusieurs satellites en même temps (au moins 4 pour une position précise).

Comme les signaux voyagent à la **vitesse de la lumière**, le récepteur mesure **combien de temps** chaque signal met pour arriver depuis chaque satellite.

Il en déduit ainsi la **distance** entre lui et chaque satellite.



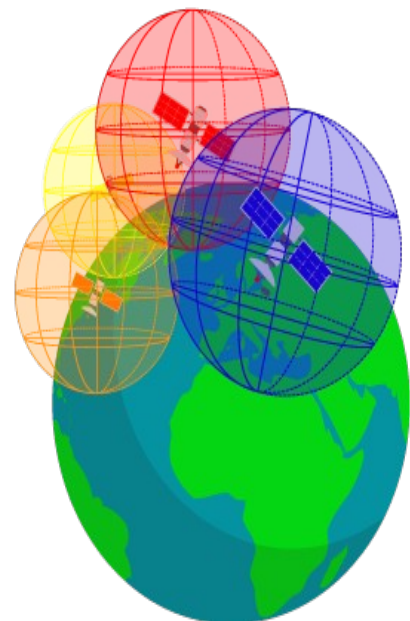
<https://www.geo>

La trilatération

Avec les distances à **au moins 3 satellites**, le récepteur peut **calculer sa position** : latitude, longitude, et altitude. Un 4^e satellite permet de corriger l'**heure exacte**, car le GPS a besoin d'une synchronisation très précise (à la nanoseconde près).

Étapes de la trilatération :

1. **Satellite 1** : Le récepteur sait qu'il se trouve quelque part sur un **cercle** (ou une sphère en 3D) autour du satellite, à une distance précise.
2. **Satellite 2** : Il ajoute un deuxième cercle : la position possible se limite à **deux points d'intersection**.
3. **Satellite 3** : Un troisième cercle permet de **trouver le point exact**, à l'intersection des trois distances.
4. **Satellite 4 (optionnel)** : Il sert à corriger l'**heure exacte** du récepteur, indispensable pour une précision maximale.

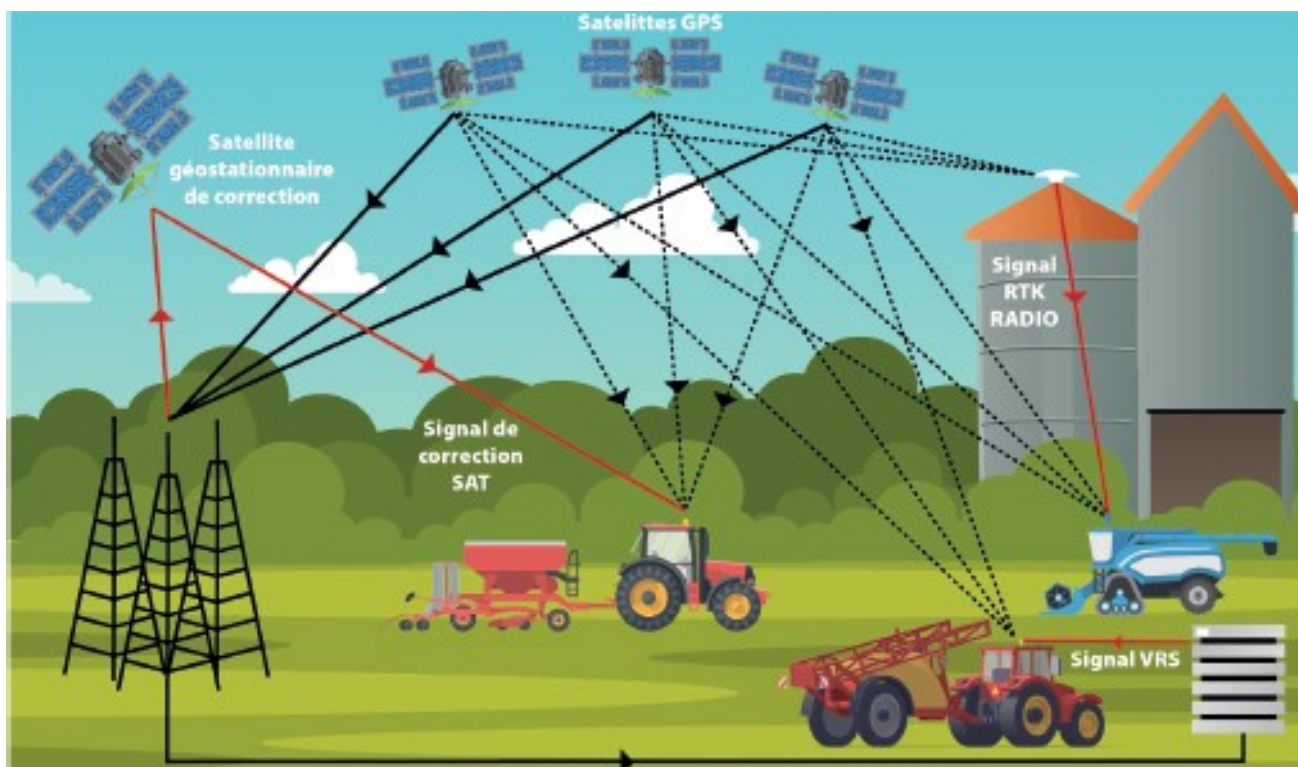


Précision des systèmes GNSS et améliorations

Systeme GNSS	Origine	Précision moyenne
GPS	us États-Unis	~5 à 10 mètres
GLONASS	RU Russie	~5 à 10 mètres
Galileo	EU Union Européenne	~1 mètre (grand public)
BeiDou	CN Chine	~2 à 5 mètres

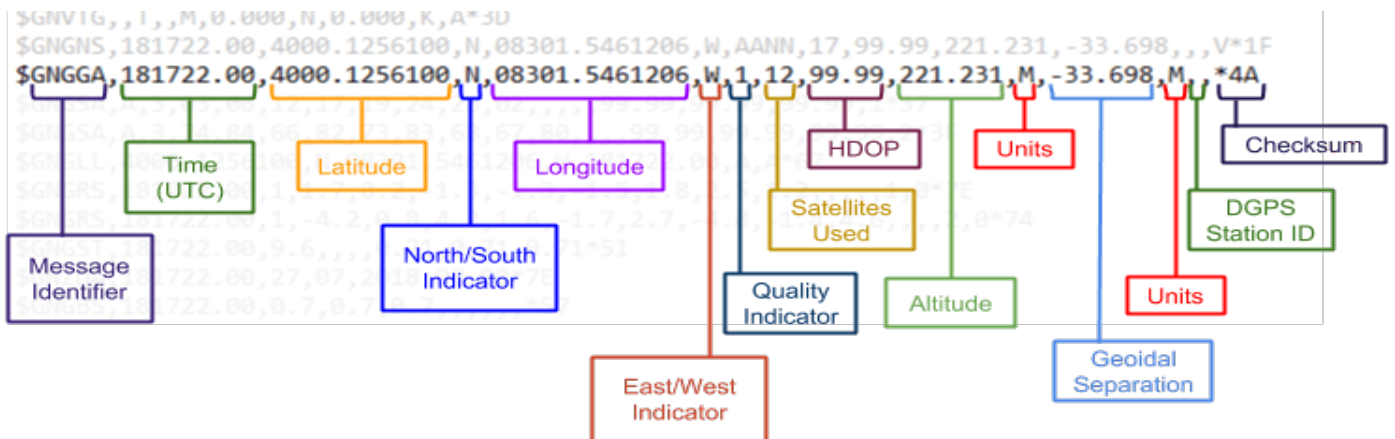
Explications des améliorations possibles :

Méthode	Fonctionnement	Gain de précision
A-GPS	Aide par le réseau (Wi-Fi, 4G) pour obtenir plus rapidement une position	Meilleure réactivité
DGPS (Differential)	Stations au sol corrigent les erreurs du signal	1 à 3 mètres
RTK (Real-Time Kinematic)	Utilise des corrections en temps réel via des stations fixes	Quelques centimètres
SBAS / EGNOS / WAAS	Systèmes régionaux d'amélioration (Europe, USA, etc.)	~1 à 2 mètres
Fusion capteurs	Combine GNSS avec accéléromètres, gyroscopes, baromètres, etc.	Position plus stable



Trame NMEA

Dans un téléphone, une puce électronique GPS capte le signal des satellites puis calcule la latitude et la longitude de l'endroit où se trouve le téléphone (donc ses coordonnées). Cette puce électronique écrit ensuite les coordonnées dans la mémoire du téléphone sous la forme d'un « texte » appelée trame. Les applications du téléphone peuvent alors lire cette trame et, par exemple, afficher la position du téléphone sur une carte. Une norme a été fixée pour l'écriture de la trame (c'est-à-dire que toutes les puces GPS du monde écrivent les données dans le même ordre). Cette norme s'appelle NMEA (pour National Marine Electronics Association) qui est le nom d'une association fabriquant des appareils électroniques pour la marine. Il existe en fait plusieurs normes mais la majorité des GPS utilisent la norme NMEA 0183.

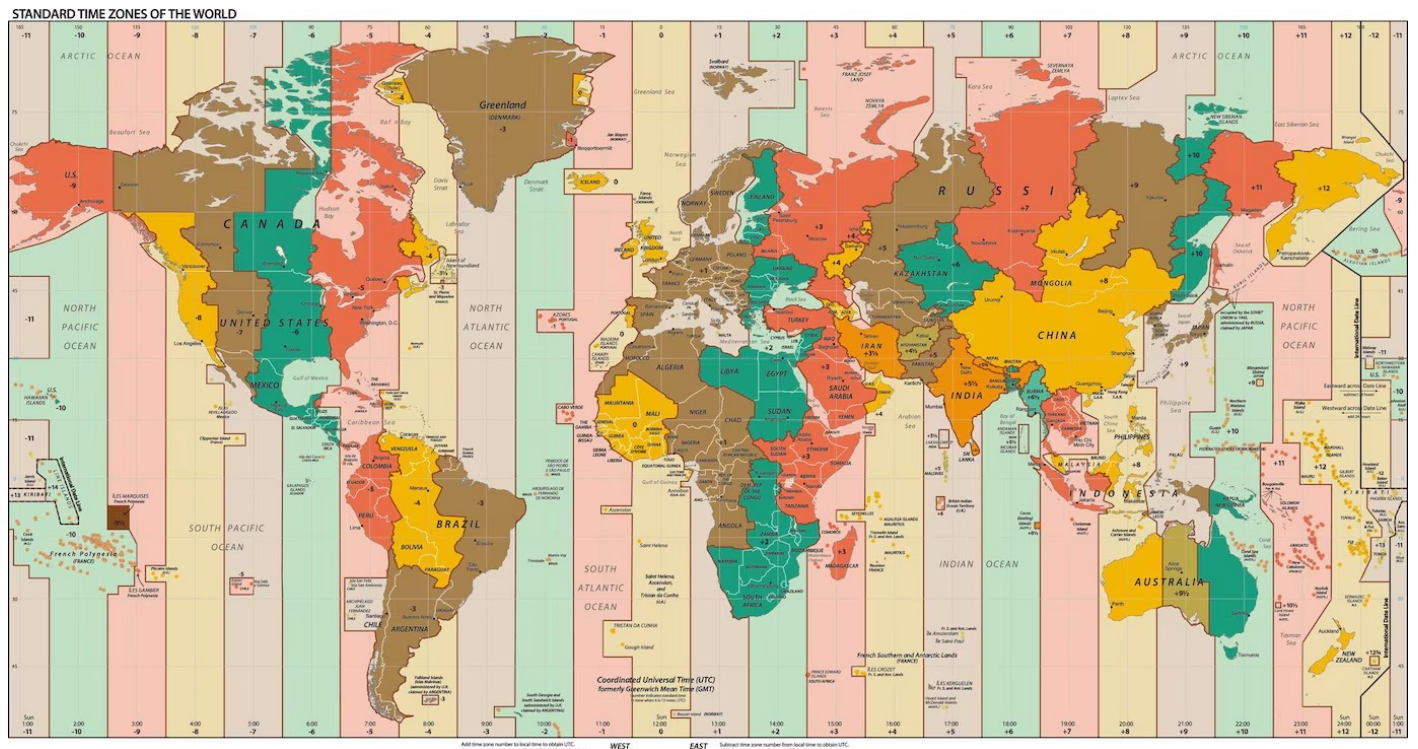


Contenu	Terme en français	Terme en anglais	Description
\$GNGGA	Identifiant de message	Message Identifier	Type de trame : GNSS + de type GGA (Global Positioning Fix Data)
181722.00	Heure UTC	Time (UTC)	Heure universelle : 18h 17min 22s
4000.1256106	Latitude	Latitude	Coordonnée latitude en degrés et minutes 40° 00.1256106'
N	Indicateur Nord/Sud	North/South Indicator	N = Nord, S = Sud
08301.5461206	Longitude	Longitude	Coordonnée longitude en degrés et minutes 83° 01.5461206'
W	Indicateur Est/Ouest	East/West Indicator	E = Est, W = Ouest
1	Indicateur de qualité	Quality Indicator	0 = pas de fix, 1 = GPS, 2 = DGPS...
12	Satellites utilisés	Satellites Used	Nombre de satellites pour le calcul de position
0.99	HDOP (précision horizontale)	Horizontal Dilution of Precision (HDOP)	Indique la précision de la position horizontale (plus petit = plus précis)
221.231	Altitude	Altitude	Altitude par rapport au niveau moyen de la mer
M	Unité de l'altitude	Units (Altitude)	M = mètres
-33.698	Séparation géoïde/ellipsoïde	Geoidal Separation	Différence entre le géoïde (niveau mer) et l'ellipsoïde
M	Unité de séparation géoïde	Units (Geoidal Separation)	M = mètres
(vide)	Temps de correction DGPS	DGPS Age (Time since last update)	Utilisé si le récepteur est en mode DGPS
(vide)	ID de station DGPS	DGPS Station ID	Numéro d'identification de la station DGPS utilisée
*4A	Somme de contrôle	Checksum	Vérifie que la trame n'a pas été altérée

Le planisphère

Un **planisphère** est une **représentation plane de la surface de la Terre**. C'est une carte du monde à plat. Il permet de visualiser tous les continents, océans et pays sur un seul document.

La Terre est **sphérique**, mais on utilise des **projections cartographiques** pour la représenter à plat.



Il existe plusieurs types de projections (Mercator, Peters, etc.), chacune avec ses **déformations** :

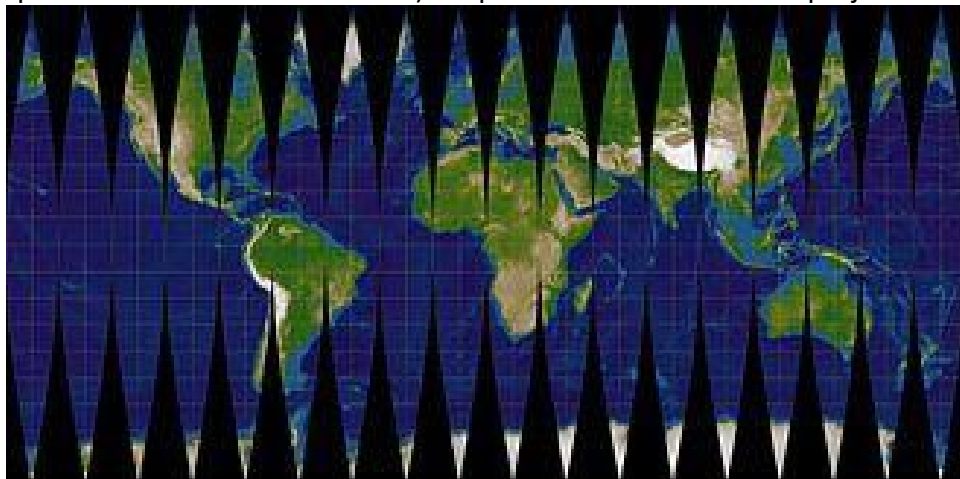
- **Proportions des continents faussées**
- **Distances et angles pas toujours fidèles**

La projection Mercator

La projection de Mercator est sans doute la projection la plus connue car elle est utilisée par la plupart des planisphères mais elle entraîne une vision faussée de la réalité...

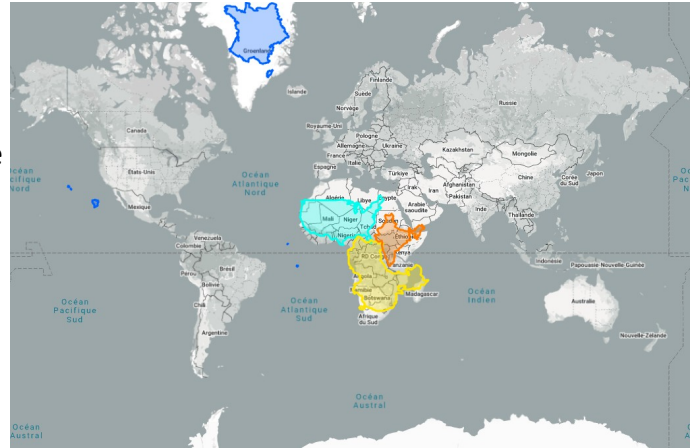
La projection de Mercator, qui tient son nom de Gerardus Mercator (1512-1594), est une projection conforme du globe terrestre sur une carte plane.

Une projection conforme conserve les angles et les formes mais ni les distances ni les surfaces. La conservation des angles rend ce type de projection idéale pour la navigation nautique (car on peut reporter les angles du compas sur la carte et inversement) ce qui a fait le "succès" de la projection de Mercator.



Véritable taille des pays

La carte interactive [The True Size of...](https://www.thetruesize.com) a été créée pour s'affranchir de la représentation standard du monde (Mercator) et connaître la véritable taille des pays. L'utilisation est simple : tapez le nom du pays que vous souhaitez comparer dans le champ en haut à gauche. Un calque coloré va alors apparaître sur la carte. Il vous suffit maintenant de le déplacer avec votre souris sur un autre pays, un continent, un océan... Avec cet outil, on constate que plus on se rapproche de l'Équateur, plus la distorsion diminue. <https://www.thetruesize.com>



Loxodromie et Orthodromie :

L'orthodromie désigne le plus court chemin entre deux points d'une sphère, c'est-à-dire le plus petit des deux arcs de grand cercle qui passe par ces deux points. Pour les navigateurs, une route orthodromique désigne la route la plus courte à la surface du globe terrestre entre deux points.

Une loxodromie est une courbe qui coupe les méridiens d'une sphère sous un angle constant. C'est la trajectoire suivie par un navire qui suit un cap constant. Une route loxodromique est représentée sur une carte en projection de Mercator par une ligne droite mais ne représente pas la distance la plus courte entre deux points.



Geoportail

[Geoportail](https://geoportail.gouv.fr) est un site web créé par l'État français pour accéder à des cartes et des informations géographiques détaillées sur la France.

- Voir des cartes détaillées de la France : Par exemple, des cartes topographiques avec les montagnes, les rivières, les routes, etc.
- Consulter des images satellites et aériennes : Cela permet de voir des photos réelles de la Terre, prises par satellite ou avion.
- Explorer des couches de données : Tu peux superposer des informations comme les parcs naturels, les zones protégées, ou même les anciennes cartes historiques.
- Accéder à des outils pour les professionnels : Si tu veux aller plus loin, Geoportail propose des outils pour les géographes, les urbanistes, ou même les scientifiques.



L'échelle sur une carte

L'échelle d'une carte indique le rapport entre une distance réelle sur le terrain et sa représentation sur la carte.

- Elle permet de convertir une mesure sur la carte en distance réelle.

Forme de l'échelle :

1. Échelle numérique (ou fractionnaire)

Exemples :

- 1:25 000 → 1 cm sur la carte = 25 000 cm dans la réalité = **250 m**
- 1:1 000 000 → 1 cm = **10 km**



L'échelle 2 cm → 1 km signifie que 2 centimètres sur la carte représentent 1 kilomètre dans la réalité.

Pour mieux comprendre :

- 2 cm sur la carte = 1 000 mètres dans la réalité.
- Donc 1 cm sur la carte = 500 mètres en vrai.

On peut aussi l'écrire comme une échelle fractionnaire : 👉 1:50 000

Cela signifie que 1 cm sur la carte correspond à 50 000 cm (soit 500 m) dans la réalité.

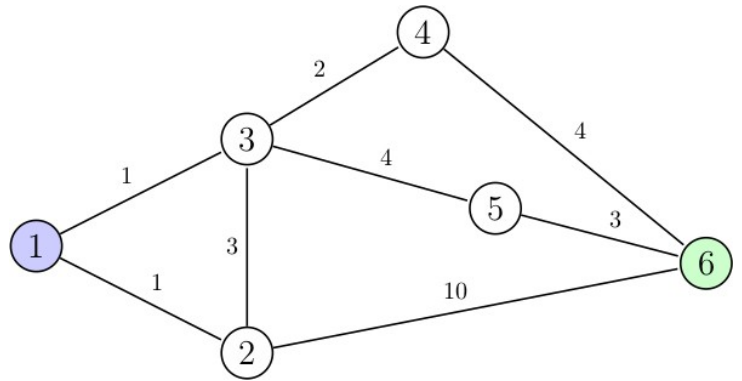
Échelle	Utilisation	Détails visibles	
1:25 000	Randonnée, urbanisme	Très détaillé	1cm → 250m
1:100 000	Région, routes secondaires	Moyennement détaillé	1cm → 1km
1:1 000 000	Pays, continents	Peu détaillé	1cm → 10km

Graphe

Un **graphe** est un ensemble de **points** (appelés **sommets**) reliés par des **lignes** (appelées **arêtes**).

Dans le cas d'un plan ou d'une carte :

- Les **sommets** représentent des **lieux** (rues, intersections, villes...).
- Les **arêtes** représentent des **liaisons** (routes, chemins...), souvent associées à un **poids** (distance, temps, coût...).



Objectif : trouver le chemin le plus court

C'est-à-dire : **minimiser la somme des poids** (par exemple, la distance totale).

Exemple d'une Méthode utilisée:

- **Algorithme de Dijkstra** → trouve le plus court chemin entre un point de départ et tous les autres. Dijkstra cherche le **chemin le plus court** depuis un **point de départ** vers **tous les autres sommets** du graphe, en **explorant les chemins les moins coûteux en priorité**.

Fonctionnement :

- On part du **sommet de départ** (ex : Paris).
- On attribue à chaque sommet une **distance estimée** depuis le départ :
 - 0 pour le départ,
 - ∞ pour tous les autres.
- À chaque étape, on choisit le **sommet non visité avec la plus petite distance connue**.
- On **met à jour les distances** de ses voisins si on trouve un chemin plus court.
- On **répète jusqu'à avoir visité tous les sommets**.

Vidéo d'explication : <https://www.youtube.com/watch?v=QnstZTjiC78>

Trouver le plus court chemin : <https://graphonline.top/fr/>

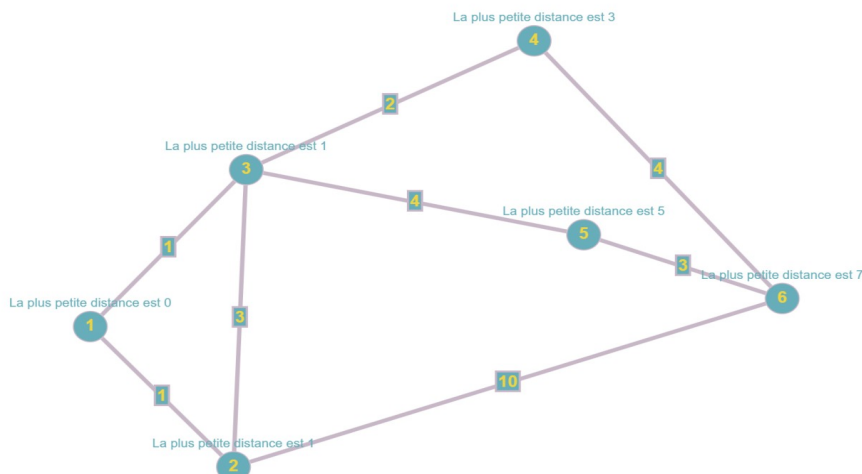


Table des matières

localisation sur la Terre.....	1
La Terre comme un repère sphérique.....	1
La latitude et la longitude.....	1
Les différentes méthodes d'exprimer les coordonnées géographiques.....	2
Conversion.....	3
Calcul de distance :.....	4
Correspondance des symboles :.....	4
Instrument de mesure.....	5
Boussole.....	5
Orienter une carte géographique.....	5
Mesure de la Latitude : Sextant.....	6
Mesure de la longitude : le chronomètre de marine.....	7
Précision nécessaire du chronomètre.....	7
GNSS (Système Mondial de Navigation par Satellite).....	7
Des satellites en orbite.....	8
Mesure du temps de trajet des signaux.....	8
La trilatération.....	8
Étapes de la trilatération :.....	8
Précision des systèmes GNSS et améliorations.....	9
Explications des améliorations possibles :.....	9
Trame NMEA.....	10
Le planisphère.....	11
La projection Mercator.....	11
Véritable taille des pays.....	12
Loxodromie et Orthodromie :.....	12
Geoportail.....	12
L'échelle sur une carte.....	13
Forme de l'échelle :.....	13
Pour mieux comprendre :.....	13
Graphe.....	14
Objectif : trouver le chemin le plus court.....	14
Exemple d'une Méthode utilisée:.....	14
Fonctionnement :.....	14