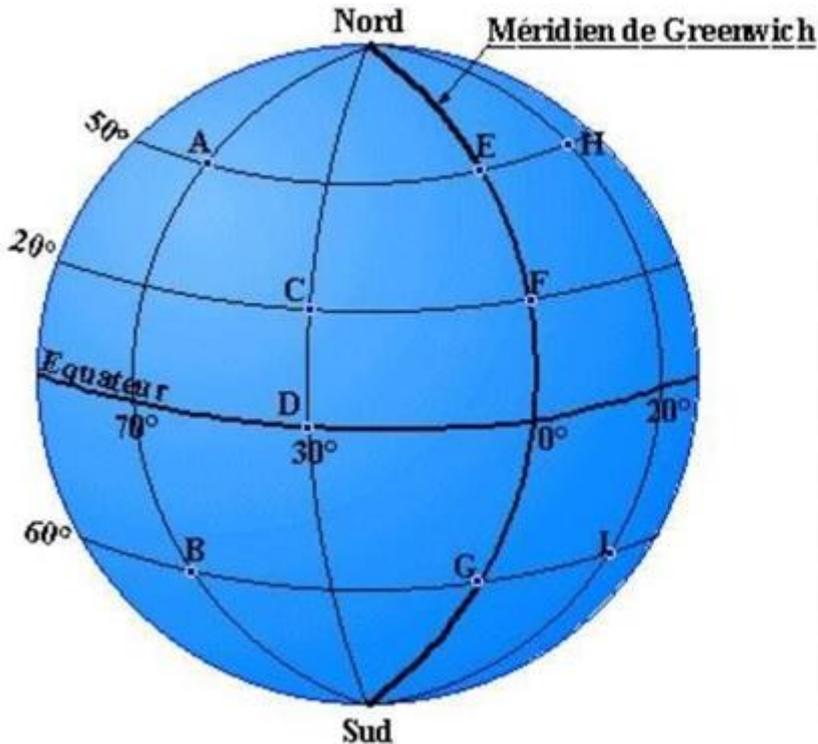


**I. Parallèle, méridien, coordonnées**

**Exercice 1 :** Complétez le tableau suivant :



Lieu	Longitude	Latitude
A	70° Ouest	50° Nord
B	70° Ouest	60° Sud
C	30° Ouest	20° Nord
D	30° Ouest	0°
E	0°	50° Nord
F	0°	20° Nord
G	0°	60° Sud
H	20° Est	50° Nord
I	20° Est	60° Sud

**II. Principe du GPS**

Pour se repérer lors d'une randonnée, pour trouver son chemin avec les transports en commun, pour repérer un bateau en mer, pour calculer un itinéraire en voiture... on utilise souvent une application couplée au système GPS (et bientôt à Galiléo).

Ce système de géolocalisation par satellites permet de repérer un objet appelé « récepteur » et d'indiquer sa position sur une carte.

Mais comment fonctionne la géolocalisation par satellite ?

1) Repérer un point en 2D

Pour comprendre le principe de géolocalisation d'un point sur Terre par un ensemble de satellites, commençons par une petite activité en 2 dimensions :

**Exercice 2 :** Sur la carte ci-dessous, dont l'échelle est précisée, on a caché un trésor à 250 km de Nantes.

1. Peut-on le localiser avec certitude ? Pourquoi ? **Non, il y a une infinité de points à 250km de Nantes.**
2. On sait que le trésor est à 350 km de Dijon. Peut-on le localiser avec certitude ? Pourquoi ? **Non, il y a 2 localisation possible pour le trésor.**
3. On sait que le trésor est aussi 350 km de Paris. Peut-on le localiser avec certitude ? Pourquoi ? **Oui, avec la distance à 3 points différents on peut localiser avec certitude un objet.**



Il faut donc 3 renseignements de distances pour localiser un point avec certitudes sur la carte.

La géolocalisation par satellite fonctionne à l'aide d'un principe similaire appelé **la trilatération** (principe proche de la *triangulation*, mais n'utilisant qu'un calcul de distances, sans calcul d'angles) en cherchant à connaître la distance d'un récepteur par rapport à 3 satellites (ou plutôt 4 satellites – voir plus loin) dont on connaît la position.

Il existe cependant quelques différences ou problèmes par rapport à l'activité précédente menée dans un plan :

- Comment connaître la distance du récepteur par rapport aux satellites visibles ?
- Que change-t-on le fait d'être en 3 dimensions (dans l'espace) et pas en 2 dimensions (dans un plan) ?
- Comment régler le problème de la précision des mesures ?

## 2) Du temps à la distance

Le GPS fonctionne avec une constellation de **30 satellites en orbite** autour de la Terre. Chaque satellite envoie sur Terre des signaux qui comportent :

- la position dans l'espace du satellite
- l'heure et la date d'émission du signal

La puce GPS (« récepteur »), se contente de capter ces signaux et en comparant l'heure d'émission du signal avec son horloge interne, elle est capable de connaître le temps mis par le signal pour venir à elle. C'est ce temps de parcours du signal qui est la clé du calcul de distance, puisque la vitesse de voyage du signal est celle de la lumière : 300 000 km/s soit  $3 \times 10^8$  km/s.

**Exercice 3 :** Calculer une distance à partir d'un temps et d'une vitesse

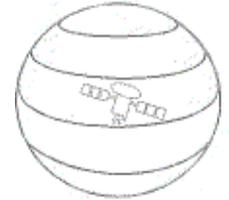
1. Si un signal met 78,5 ms pour aller du satellite au récepteur, à quelle distance du satellite se trouve le récepteur ?

$$v = d/t \text{ donc } d = v \times t \quad d = 300\,000 \times 0,0785$$

2. Un signal émis à 18 h 35 min 24,525 800 s est capté par un récepteur GPS à 18 h 35 min 24,593 650 s. A quelle distance du satellite se trouve le récepteur ?

$$\text{Différence} = 24,593650 - 24,525800 = 0,07215 \text{ donc } d = 300\,000 \times 0,07215$$

Ainsi, lorsque le récepteur capte 3 satellites, dont il connaît la position dans l'espace, il pourrait déterminer sa propre position. Mais attention, on se trouve dans l'espace, pas dans un plan. On utilise donc des sphères à la place des cercles : à l'intersection de deux sphères correspond à un cercle, et l'intersection de 3 sphères correspond à deux points.



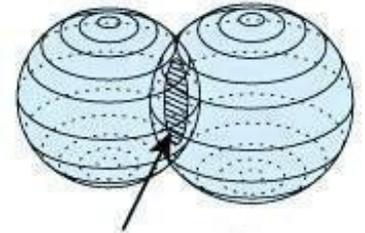
3) Repérer un point en 3D

On considère la distance  $d$  séparant un satellite d'un récepteur GPS.

Sachant que le satellite a une position précise et définie dans un espace à 3 dimensions, l'ensemble des points possibles où pourrait se situer l'utilisateur du GPS est la sphère de centre le satellite et de rayon la distance  $d$ .

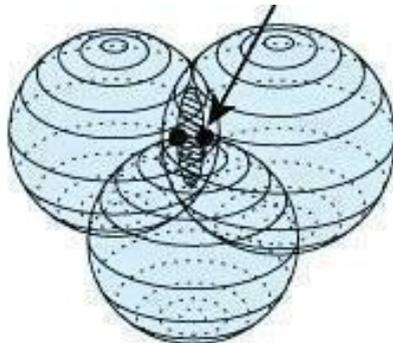
De la même manière on fait intervenir un deuxième satellite qui connaît la distance le séparant du récepteur GPS.

L'intersection des deux sphères forme un cercle.



Ce cercle représente l'ensemble des positions que peut avoir le récepteur GPS.

Mais la précision du satellite n'étant pas suffisante avec 2 on se sert d'un troisième satellite. La démarche est identique aux 2 précédents satellites. On obtient alors 2 points possibles.



En théorie il nous faut donc un quatrième satellite pour savoir où on se trouve.

Dans le cas où l'utilisateur se situe à la surface de la Terre seul un des 2 points est cohérent. Ainsi on peut déduire sa position exacte en éliminant le point donnant un résultat incohérent. Trois satellites suffiraient donc pour connaître notre position sur le globe.

4) Au sujet de la précision des mesures

Cependant, pour la synchronisation de l'horloge du boîtier GPS, il faut la précision d'une horloge atomique. Le récepteur GPS n'a pas cette précision.

Il va donc utiliser l'horodatage produite par une horloge atomique à bord d'un quatrième satellite. **Pour pouvoir utiliser le GPS, il faut donc un minimum de quatre satellites : trois pour la position, et un supplémentaire pour la synchronisation.**

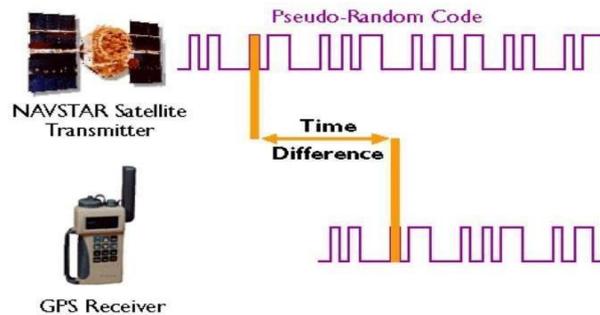
## 5) La mesure de distance

Toute la démonstration précédente reposait sur l'hypothèse que l'on connaissait exactement la distance séparant le satellite du récepteur. Mais comment calculer cette distance ?

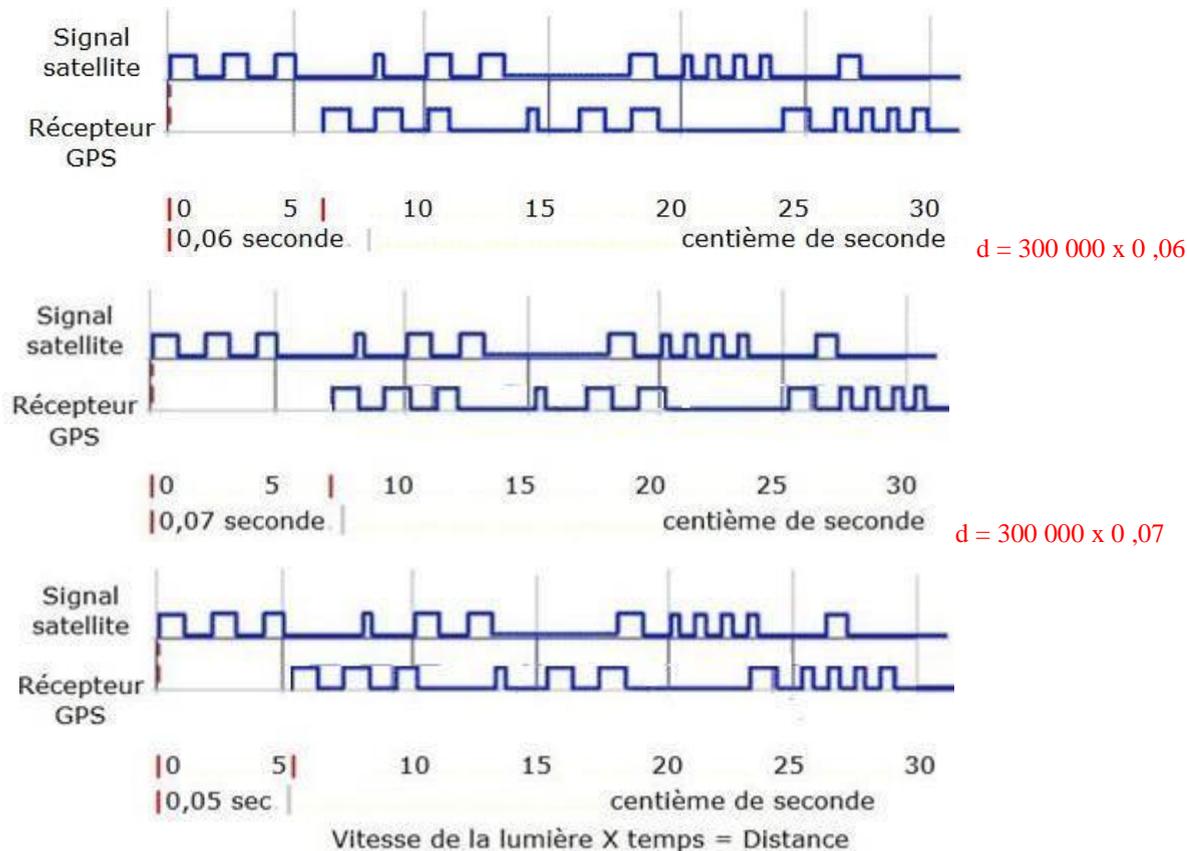
Le principe est le suivant: le satellite envoie un signal vers le récepteur, celui-ci détermine le temps de transmission de ce signal et ainsi peut déduire la distance le séparant du satellite suivant la formule :

$$\text{Distance} = \text{vitesse} * \text{temps}$$

La célérité des ondes transmises est proche de celle de la lumière c'est-à-dire 300 000 km/s. Il reste donc à déterminer le temps de transmission du signal. Pour cela, le récepteur et le satellite émettent au même moment une trame pseudo-aléatoire identique (appelée ainsi car elle est générée par des équations très complexe, la rendant ainsi unique). Une fois que cette trame est reçue par le récepteur, celui-ci peut la décaler dans le temps de façon à la faire coïncider avec celle qu'il a générée, la mesure du temps de transmission est déduite de ce procédé, et ainsi on peut connaître la distance séparant le récepteur du satellite.



**Exercice 4 :** Voici les signaux émis par trois satellites :



$$d = 300\,000 \times 0,05$$

1. Quelle est la distance qui nous sépare de ces trois satellites ?
2. Si on vous indique que l'erreur maximale est de 10 m, quelle est alors la précision de l'horloge du GPS? (en négligeant les autres erreurs).

$$\text{Erreur}_{\text{max}} = (10\text{m} \times 1\text{s}) / 300\,000\,000\text{m} = 3,333... \times 10^{-8} \text{ s}$$

### III. GPS et Codage NMEA

#### 1) Des usages courants et des questions

Pour permettre à des périphériques informatiques de « dialoguer » entre eux, en réseau, il faut que les messages échangés respectent une syntaxe commune. On définit ce qu'on appelle un protocole, c'est à dire un ensemble de normes permettant à différents périphériques informatiques de dialoguer entre eux en réseau.

La norme NMEA 0183 est une spécification pour la communication entre équipements marins, dont les équipements GPS. Elle est définie et contrôlée par la National Marine Electronics Association basée à Severna Park au Maryland (États-Unis d'Amérique).

**Mais comment décoder les informations données les appareils utilisant cette norme ? Peut-on accéder à ces informations sur mon téléphone portable qui me localise ?**

#### 2) Comprendre les trames NMEA

Il existe plus d'une trentaine de trames différentes ayant chacune leur propre syntaxe.

Les premiers caractères transmis (les 5 caractères suivant le symbole \$) donnent des renseignements sur le type d'équipement utilisé pour la géolocalisation et sur le type de trame utilisée :

Par exemple : **\$GPGGA,064036.289,4836.5375,N,00740.9373,E,1,04,3.2,200.2,M,,,,0000\*0E**

est une trame **GPS** de type **GGA**.

Exemple de trame GGA :



\$GPGGA : Type de trame

064036.289 : Trame envoyée à 06h 40m 36,289s (heure UTC)

4836.5375,N :Latitude 48,608958° Nord = 48°36'32.25" Nord

**car le renseignement donné initialement est 48°36,5375' et donc d'une part 36,5375' = 36,5375 / 60 ° = 0,608958 ° et d'autre part 36,5375' = 36' + 0,5375 x 60'' = 36'32.25''**

00740.9373,E : Longitude 7,682288° Est = 7°40'56.238" Est

1 : Type de positionnement (le 1 est un positionnement GPS)

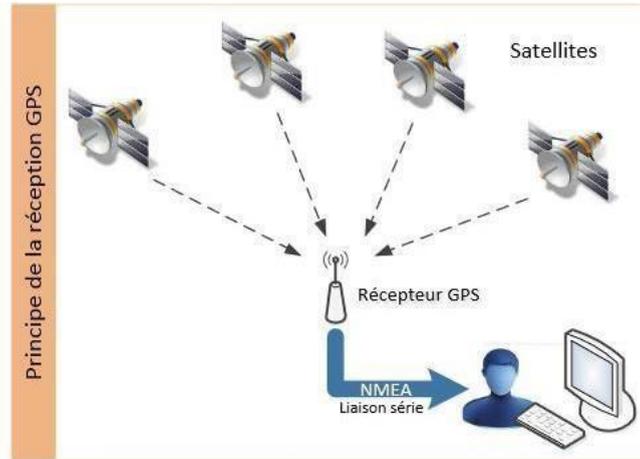
04 : Nombre de satellites utilisés pour calculer les coordonnées

3.2 : Précision horizontale ou HDOP (Horizontal dilution of precision)

200.2,M : Altitude 200,2, en mètres

,,,,0000 : D'autres informations peuvent être inscrites dans ces champs

\*0E : Somme de contrôle de parité, un simple XOR sur les caractères entre \$ et \*



**Exercice 5 : Décodage d'une trame NMEA donnée**

\$GPGGA,153719.145, 4837.8332,N, 0448.8304,W,1,08,1.7,3.6,M, , , , \*

1. A quelle heure le récepteur GPS a-t-il enregistré cette position ?

15h 37 min 19/145 secondes

Déterminer les coordonnées Latitude et Longitude de la position du GPS.

Latitude : 4837.8332 N Longitude : 448.8304 W

2. A l'aide d'une système de visualisation de données géographiques (par exemple Géoportail) ou à l'aide du convertisseur de coordonnées GPS, identifier où se situait le récepteur au moment de cet enregistrement.

3. Combien le récepteur reçoit-il de satellites? Est-ce suffisant?

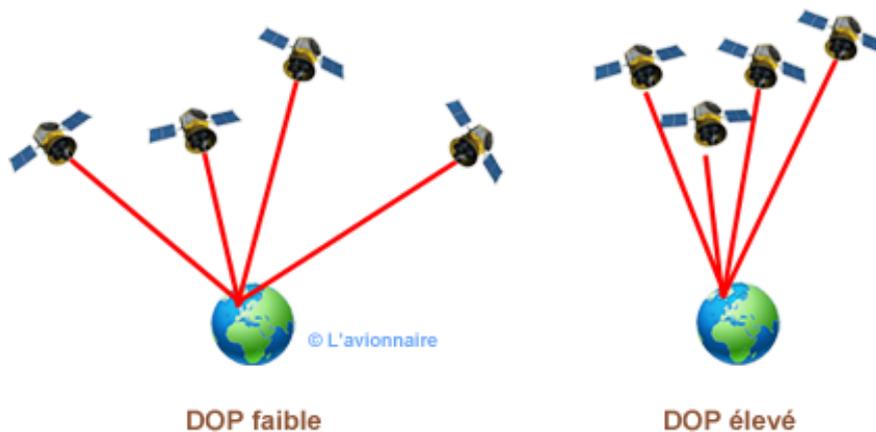
8, oui car il faut au moins 4 satellites.

4. A quelle altitude se trouvait le GPS à la prise de mesure ?

3.6 M

5. Les mesures effectuées par le GPS sont-elles précises ? Pourquoi ?

Oui, la précision à une marge d'erreur maximale de 1.7 M.



3) Localiser sa position avec un téléphone portable et une appli

**Exercice 6 : Installer une application de capteur GPS sur un téléphone portable.**

Dans la suite de ce TP, l'application utilisée est NMEA Tools sur Android.



1. Lancer l'application et demander un enregistrement de votre position.



Remarque : la vitesse et la précision de votre géolocalisation peuvent être améliorée si vous êtes en extérieur et/ou dans une zone dégagée.

2. Lorsque votre position est localisée et stable, arrêter l'enregistrement et sauvegarder le fichier texte produit par l'application. Ouvrez-le ou transférez-le sur l'ordinateur.

```
$PQGSV,1,1,0,*73
$PQGSV,1,1,01,05,09,112,,0,4*54
$GNGSA,A,3,10,13,15,17,24,28,,,,,,,,,1.2,0.9,0.8,1*3E
$GNGSA,A,3,65,66,67,75,76,84,,,,,,,,,1.2,0.9,0.8,2*3D
$GNVTG,,T,,M,0.0,N,0.0,K,A*3D
$GNRMC,163719.00,A,4643.307101,N,00127.109883,W,0.0,,211218,2.9,W,A*02
$GNGGA,163719.00,4643.307101,N,00127.109883,W,1,12,0.9,76.0,M,49.0,M,,*53
$GPGSV,3,1,11,10,13,322,18,13,53,122,17,15,79,234,25,17,23,091,14*73
$GPGSV,3,2,11,24,53,277,21,28,27,046,20,05,02,178,,12,16,205,*7C
$GPGSV,3,3,11,19,14,120,,20,26,296,,30,00,000,*4F
$GLGSV,3,1,10,66,63,293,20,76,66,271,19,75,55,033,14,65,38,174,16*6E
$GLGSV,3,2,10,84,13,037,12,67,15,327,15,74,04,050,,77,09,240,*66
$GLGSV,3,3,10,83,01,347,,85,06,088,*65
$GAGSV,1,1,0,*74
$PQGSV,1,1,0,*73
$PQGSV,1,1,01,05,09,112,,0,4*54
$GNGSA,A,3,10,13,15,17,24,28,,,,,,,,,1.2,0.9,0.8,1*3E
$GNGSA,A,3,65,66,67,75,76,84,,,,,,,,,1.2,0.9,0.8,2*3D
$GNVTG,,T,,M,0.0,N,0.0,K,A*3D
$GNRMC,163720.00,A,4643.307103,N,00127.109880,W,0.0,,211218,2.9,W,A*09
$GNGGA,163720.00,4643.307103,N,00127.109880,W,1,12,0.9,76.0,M,49.0,M,,*58
```

Exemple de fichier texte.

3. Etudier la dernière ligne de type GGA obtenue et identifier tous les renseignements qu'elle donne. Si vous ne pouvez pas faire la manipulation sur téléphone, utilisez le fichier texte fourni au-dessus.