



# STI2D – Enseignement de spécialité SIN

## GPS OU SYSTEME NAVSTAR

### 1 – PRESENTATION

#### 1.1 – Système GPS ou NAVSTAR

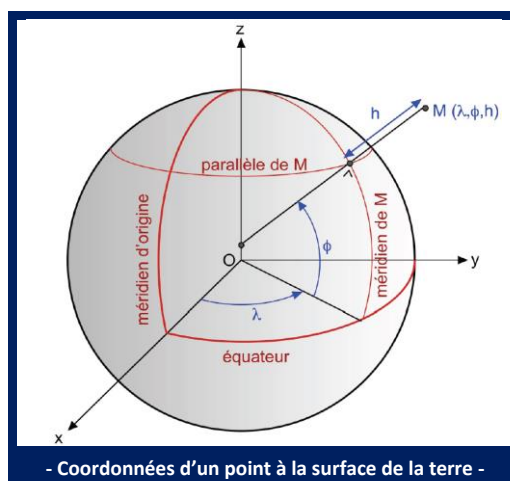
Le système **GPS** (**G**lobal **P**ositionning **S**ystem ou **S**ystème de **P**ositionnement **G**énéral) connu aussi sous le nom de système **NAVSTAR** (**NAV**igation **S**ystem by **T**iming **A**nd **R**anging) est un système de positionnement dans les trois dimensions : **latitude**, **longitude** et **altitude**. Ce système de positionnement par satellites créé par l'armée américaine permet donc de fournir à un utilisateur fixe ou mobile sa **position**, sa **vitesse** et une information de **temps** ; ceci à tout moment et à tout endroit du globe terrestre.

Le récepteur **GPS** est devenu un appareil tout à fait commun. Il intègre déjà la grande majorité des téléphones portables actuels et est de plus en plus utilisé dans les nouveaux objets connectés.

#### 1.2 – Coordonnées géographiques

Les coordonnées géographiques d'un point **M** de la surface de la Terre sont :

- la **longitude**  $\lambda$  : angle orienté entre le plan méridien origine et le plan méridien contenant le point M. Le méridien d'origine est celui de Greenwich ;
- la **latitude**  $\phi$  : angle orienté entre le plan de l'équateur et la normale à l'ellipsoïde passant par le point M ;
- l'**altitude**  $h$  : distance algébrique entre le point M et l'ellipsoïde.



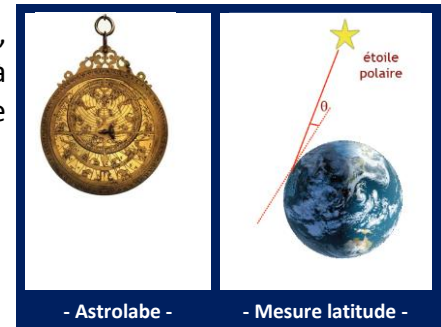
## 2 – UN PEU D'HISTOIRE

### 2.1 – Mesure de position

La détermination de la **position absolue** sur le globe a de tout temps été une préoccupation majeure des navigateurs.

La quantité la plus facile à mesurer est la **latitude**. Dès le XIII<sup>ème</sup> siècle, les navigateurs se sont servis d'**astrolabes** pour se situer par rapport à l'étoile polaire. Cependant cette mesure n'est pas toujours possible car :

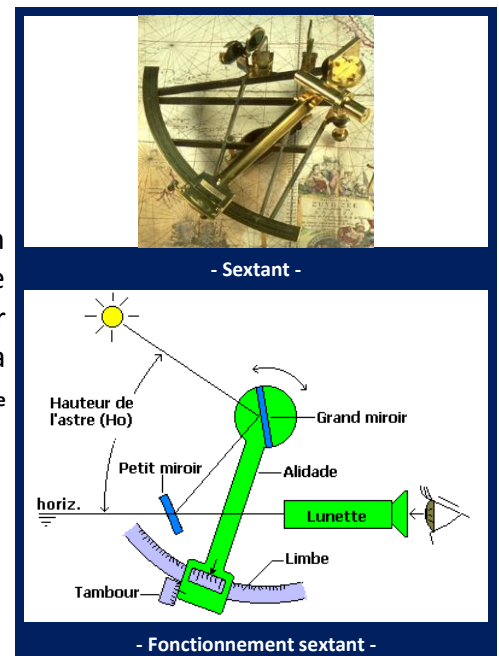
- l'étoile polaire n'est **visible** que dans l'**hémisphère nord** ;
- plus on se rapproche de l'**équateur** plus la mesure est **délicate** ;
- mesure de **nuît**, avec un **ciel dégagé**.



- Astrolabe -

- Mesure latitude -

La **longitude** est une quantité plus difficile à estimer. Au début, on pensa pouvoir la déduire du champ magnétique. On réalisa ensuite qu'elle pouvait s'obtenir à partir de la **hauteur du Soleil** sur l'horizon, à condition de connaître l'**heure locale exacte**. Ce qui a entraîné le développement d'**horloges précises** (dès le **XVII<sup>ème</sup>** siècle) et le développement du **sextant**.



- Sextant -

- Fonctionnement sextant -

### 2.2 – Positionnement par satellite

Le **GPS** a été développé dans le contexte de la Guerre Froide, et a donc, à la base, une utilisation militaire. Le **GPS** est le résultat d'un projet, appelé **NAVSTAR**, lancé au début des années **60** aux Etats-Unis par l'armée de l'air et la marine américaines :

- **1965** : Premier concept suite aux recherches du Department of Defense ;
- **1972** : Etudes préliminaires de faisabilité ;
- **1974-79** : Validation du modèle ;
- **1978-86** : Mise en place de la 1<sup>ère</sup> constellation de satellites BLOCK I ;
- **1989-94** : Mise en place de la 2<sup>ème</sup> constellation de ses variantes BLOCK II ;
- **1995** : Le GPS est totalement opérationnel.

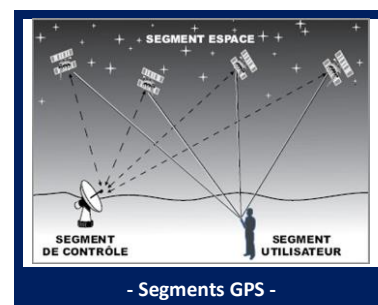
Les **3** autres grands systèmes positionnement par satellites sont :

- **GLONASS** : Il s'agit l'**équivalent russe du GPS** qui est en exploitation depuis le milieu des **années 1990**. Les difficultés économiques des années 2000 ont entraîné un niveau de performance considérablement réduit. Le système a été restauré dans les 2010 ;
- **COMPASS** : Il s'agit d'un programme d'extension du **système régional chinois BEIDOU**. Ce système déployé à partir de l'année 2000 sera totalement opérationnel vers 2020 ;
- **GALILEO** : Il s'agit d'un programme de l'**Union Européenne** et de l'**ESA** (Agence spatiale européenne), comprenant 30 satellites et des stations au sol. Les signaux du système GALILEO seront compatibles avec les signaux GPS. Les premiers services de GALILEO sont opérationnels depuis décembre 2016.

### 3 – ARCHITECTURE DU SYSTÈME GPS

Le **GPS** est constitué de **3** parties distinctes :

- le **segment spatial** constituée des **satellites** en orbite ;
- le **segment de contrôle** formée de **stations de poursuite au sol** ;
- le **segment utilisateur** qui comprend les **récepteurs GPS**



#### 3.1 – Le segment spatial

La **constellation GPS** est constituée de **30 satellites**. Les satellites sont maintenus en orbite autour. Ces satellites évoluent à une altitude de **20200 km** et mettent **12 heures** pour effectuer une rotation autour de la terre.

Ils sont répartis de telle façon qu'à **chaque instant** au minimum **4 satellites** soient visibles en **tous points du globe**.



#### 3.2 – Le segment de contrôle

Il s'agit de l'ensemble des **bases de contrôle au sol** qui suivent toutes les secondes la trajectoire des satellites. Le rôle de ces stations est d'assurer le **suiti des satellites**, mais aussi de leur **envoyer les corrections d'erreurs de positionnement** afin d'**augmenter la fiabilité** du système en vérifiant à tout instant que les informations générées par chacun des satellites sont correctes.



### 3.3 – Le segment utilisateur

Il s'agit de l'ensemble des **bases de contrôle au sol** qui suivent toutes les secondes la trajectoire des satellites. Le rôle de ces stations est d'assurer le **suivi des satellites**, mais aussi de leur **envoyer les corrections d'erreurs de positionnement** afin d'**augmenter la fiabilité** du système en vérifiant à tout instant que les informations générées par chacun des satellites sont correctes.



## 4 – PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La position d'un point sur la terre se calcule à partir **des mesures de distance entre ce point et plusieurs satellites** dont les positions sont connues précisément.

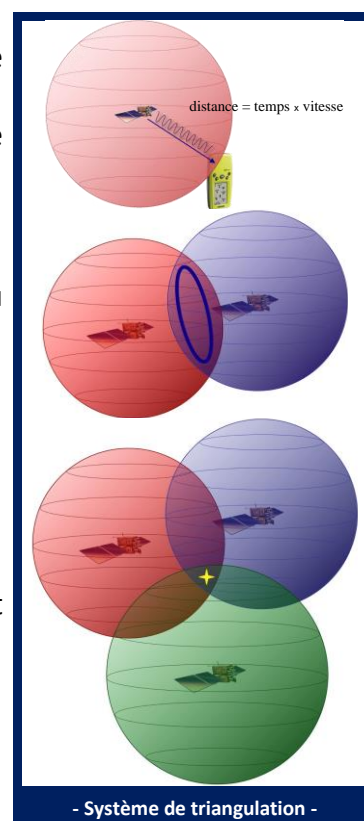
### 4.1 – Principe de triangulation

Le principe du positionnement GPS repose sur le principe de **triangulation**. La détermination d'un lieu géographique est basée sur **l'intersection de trois sphères dans l'espace**. Chaque sphère est définie par son centre correspondant à la position d'un satellite et par son rayon qui est la distance entre le centre et le récepteur GPS.

Un satellite émet une onde électromagnétique de vitesse connue. Le récepteur détermine le temps mis par cette onde pour l'atteindre donc la **distance qui le sépare** du satellite. Le récepteur sait alors qu'il se trouve sur une sphère centrée sur le satellite.

En recoupant les informations de **2 satellites**, le lieu géométrique du récepteur devient un cercle.

Avec **3 satellites**, l'intersection se **réduit à un point** (le 2<sup>nd</sup> point étant incohérent puisque se trouvant dans l'espace).





## 4.2 – Mesure de la position

Les satellites émettent, aux mêmes instants, des ondes électromagnétiques qui se propagent à la vitesse de la lumière. Connaissant la vitesse de propagation de la lumière, le récepteur peut **calculer la distance qui le sépare de chacun des satellites**, à partir du temps que l'onde a mis pour lui parvenir :

$$d = c \times t$$

Pour déterminer le temps mis par l'onde pour lui parvenir, le récepteur **GPS compare l'heure d'émission** (inclus dans le signal) et **de réception** de l'onde émise par le satellite.

Les signaux transmis par les satellites GPS sont pilotés par une **horloge atomique** d'une grande précision. Ce n'est pas le cas des récepteurs qui sont équipés d'une **horloge à quartz**. Celles-ci n'ont ni l'exactitude ni la stabilité d'une horloge atomique et donc dérivent avec le temps. Ce décalage entre les 2 horloges peut entraîner une erreur assez importante (une erreur d'un millionième de seconde provoque une erreur de 300 m). Pour déterminer le **décalage entre les 2 horloges** un **quatrième satellite** est nécessaire.

## 5 – LES SIGNAUX GPS

### 5.1 – Message de navigation

Chaque satellite GPS émet un **message de navigation** qui contient toutes les données nécessaires au récepteur pour effectuer les calculs de position. Afin qu'un récepteur puisse reconnaître le satellite observé, chaque satellite transmet un code qui lui est propre.

Ce code est une **trame binaire** c'est-à-dire une suite de bits transmise en **mode série à 50 bits/s (50 Hz, soit 20 ms/bit)**. Il est composé de **5 sous-trames de 300 bits** chacune. Une trame comporte donc **1500 bits** et il faut **30 s** au récepteur pour l'acquérir entièrement. Ces données comprennent :

- l'**identifiant** du satellite ;
- la **date** à laquelle le signal a été émis ;
- l'**almanach** qui donne la position de tous les satellites opérationnels de la constellation (précision d'environ 1 km) ;
- l'**éphéméride** qui donne sur la position du satellite à l'instant où le signal a été émis avec une précision de 1 à 10 m ;
- les **corrections d'horloge** qui donnent l'écart de l'horloge du satellite par rapport au temps système (temps UTC établi par les systèmes de contrôle au sol) ;
- les **paramètres de correction ionosphérique** qui donnent les informations concernant les dégradations de l'onde dues à son passage dans l'ionosphère.



## 5.2 – Trames NMEA

Une fois les données satellites traitées par et la position calculée le module GPS transmet à son environnement (microprocesseur du récepteur, traceur de route, ordinateur...) des **trames suivant un protocole prédéfini**. Il existe plusieurs protocoles de communication pour les récepteurs GPS. Certains sont **standardisés** comme les protocoles **NMEA** ou **Sirf** et d'autres sont propriétaires comme « GARMIN ».

Le protocole **NMEA 0183** (National Marine Electronics Association) utilise la **transmission série asynchrone** de caractères **ASCII**. Chaque séquence commence par une **en-tête** de longueur fixe (**5 lettres**) précédé par le **préfixe \$**. La **longueur** de la séquence suivant l'en tête est **variable**. La chaîne de caractères se termine par le caractère "**Retour Chariot**" parfois accompagné du caractère "**Nouvelle ligne**".

Dans le cas d'une trame GPS, l'entête commence par l'**identifiant « GP »** suivi d'un code de 3 lettre selon le type de trame transmise.

## 5.3 – Trame GGA

Une trame GGA fournit l'heure du système GPS, la latitude, la longitude et toutes les données relatives à la précision de la mesure et du repère.

### Exemple trame GGA

```
$GPGGA,081954.000,4856.4290,N,00213.4983,E,1,05,1.9,43.0,M,47.3,M,,0000*61
```

| Données  | Valeur              | Description                                 |
|--|---------------------|---|
| En-tête  | <b>\$GPGGA</b>      |   |
| Heure du système   | <b>081954.000</b>   | 08:19:54 UTC                                |
| Latitude   | <b>4856.4290,N</b>  | Latitude : 48°56'25,8" NORD                 |
| Longitude  | <b>00213.4983,E</b> | Longitude : 2°13'29,9" EST                  |
| Type de positionnement<br>(0 = Invalid, 1 = GPS Fix, 2 = DGPS Fix)     | <b>1</b>            | Positionnement par système GPS              |
| Nombre de satellites   | <b>05</b>           | 5 satellites visibles                       |
| Dilution de précision horizontale (HDOP)                               | <b>1.9</b>          |   |
| Altitude   | <b>43.0</b>         | 43 m au dessus du niveau de la mer          |
| Correction de la hauteur de la géoïde par rapport à l'ellipsoïde WGS84 | <b>47.3M</b>        | Correction de 47,3 m                        |
| Temps écoulé depuis la dernière mise à jour du DGPS                    | <b>blank</b>        |   |
| Identifiant de la station DGPS   | <b>blank</b>        | Identification de la station différentielle |
| Somme de contrôle (Checksum)   | <b>*61</b>          |   |



## 5.4 – Trame GLL

Une trame GLL fournit l'heure du système GPS, la latitude et la longitude.

### Exemple trame GLL

\$GPGLL,4916.45,N,12311.12,W,225444,A

| Données  | Valeur            | Description                   |
|--|-------------------|-------------------------------|
| En-tête  | <b>\$GPGLL</b>    |                               |
| Latitude   | <b>4916.45,N</b>  | Latitude : 49°16'27" NORD     |
| Longitude  | <b>12311.12,W</b> | Longitude : 123°11'7,2" OUEST |
| Heure du système                                     | <b>225444</b>     | 22:54:44 UTC                  |
| Validité des données (A : Valides – V : Non valides) | <b>A</b>          | Données valides               |

## 5.5 – Trame VTG

Une trame VTG fournit la direction et la vitesse.

### Exemple trame GGA

\$GPVTG,054.7,T,034.4,M,005.5,N,010.2,K

| Données   | Valeur         | Description |
|---|----------------|-------------|
| En-tête   | <b>\$GPVTG</b> |             |
| Cap par rapport au nord réel ou géographique (T : True) | <b>054.7,T</b> | 54,7 degrés |
| Cap par rapport au nord magnétique (M)                  | <b>034.4,M</b> | 34,4 degrés |
| Vitesse du déplacement par rapport au sol en Nœuds (N)  | <b>005.5,N</b> | 5,5 Nœuds   |
| Vitesse du déplacement par rapport au sol en Km/h (K)   | <b>010.2,K</b> | 10,2 Km/h   |

## 5.6 – Trame RMC

Une trame RMC fournit les données minimales recommandées pour la localisation GPS.

### Exemple trame GGA

\$GPRMC,225446,A,4916.45,N,12311.12,W,000.5,054.7,191114,020.3,E\*68

| Données  | Valeur            | Description             |
|--|-------------------|-------------------------|
| En-tête  | <b>\$GPRMC</b>    | Recommande minimum data |
| Heure  | <b>225446</b>     | 22:54:46 UTC            |
| Validité des données (A : Valides – V : Non valides) | <b>A</b>          | Données valides         |
| Latitude   | <b>4916.45,N</b>  | 49°16'27" NORD          |
| Longitude  | <b>12311.12,W</b> | 123°11'7,2" OUEST       |
| Cap par rapport au nord réel ou géographique         | <b>054.7</b>      | 54,7 degrés             |
| Date   | <b>191114</b>     | 19 novembre 2014        |
| Déclinaison Magnétique                               | <b>020.3,E</b>    | 23 degré Est            |
| Somme de contrôle (Checksum)                         | <b>*68</b>        |                         |