



Cours GPS

3ème Année licence
Topographie & Géomatique

Mme MESSAADI ibtissem
Enseignant chercheur , univ-Constantine

Notion Géodésique

Introduction

- Il est physiquement impossible de représenter une surface sphérique à plat sur une carte, sans déformations. De plus, la terre n'est pas une sphère : elle est plus proche d'un « ellipsoïde » de révolution. Pour obtenir des cartes cohérentes à petite échelle, il faut donc étudier la forme de la terre – c'est une des finalités de la géodésie qui devra en particulier définir les axes de référence du système de coordonnées général ou encore définir la surface de référence des altitudes – et mettre au point des systèmes de projection qui minimisent les déformations

Géodésie

- La géodésie est une des sciences de base nécessaires au topographe. Sa maîtrise n'est pas indispensable : elle relève du domaine du spécialiste mais un aperçu centré sur les incidences de la forme et des caractéristiques de la terre sur la topographie est indispensable.

Géodésie : c'est la science qui étudie la forme de la terre. Par extension, elle regroupe l'ensemble des techniques ayant pour but de déterminer les positions planimétriques et altimétriques d'un certain nombre de points géodésiques et repères de nivellement.

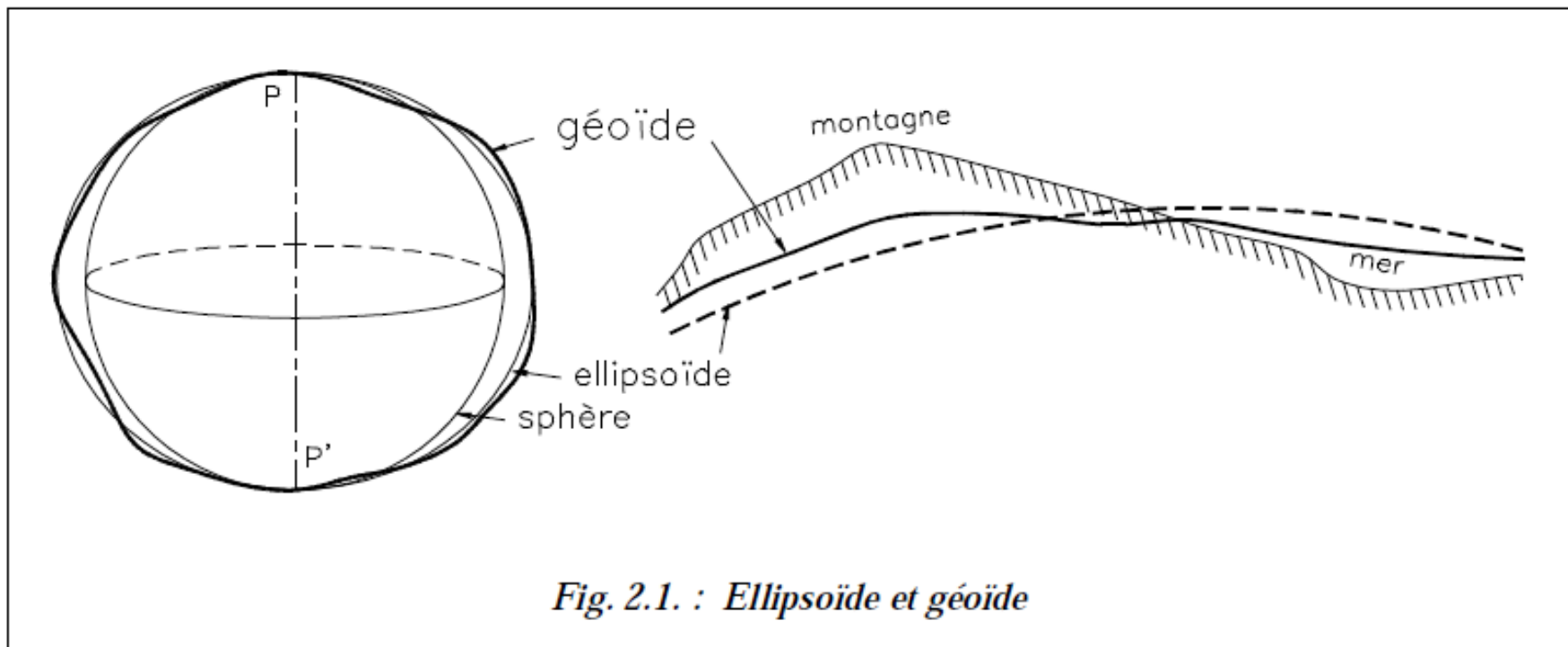
Forme et Dimension de la terre

En apparence la Terre a la forme d'une sphère. En fait, elle est légèrement déformée par la force centrifuge induite par sa rotation autour de l'axe des pôles : la Terre n'est pas un corps rigide. Cette déformation est relativement faible : « **tassement** » de **11 km** au niveau **des pôles** par rapport à un **rayon moyen de 6 367 km** et « **renflement** » de **11 km** au niveau **de l'équateur**. Elle a donc l'aspect d'un **ellipsoïde de révolution** dont le petit axe est l'axe de rotation : l'axe des pôles

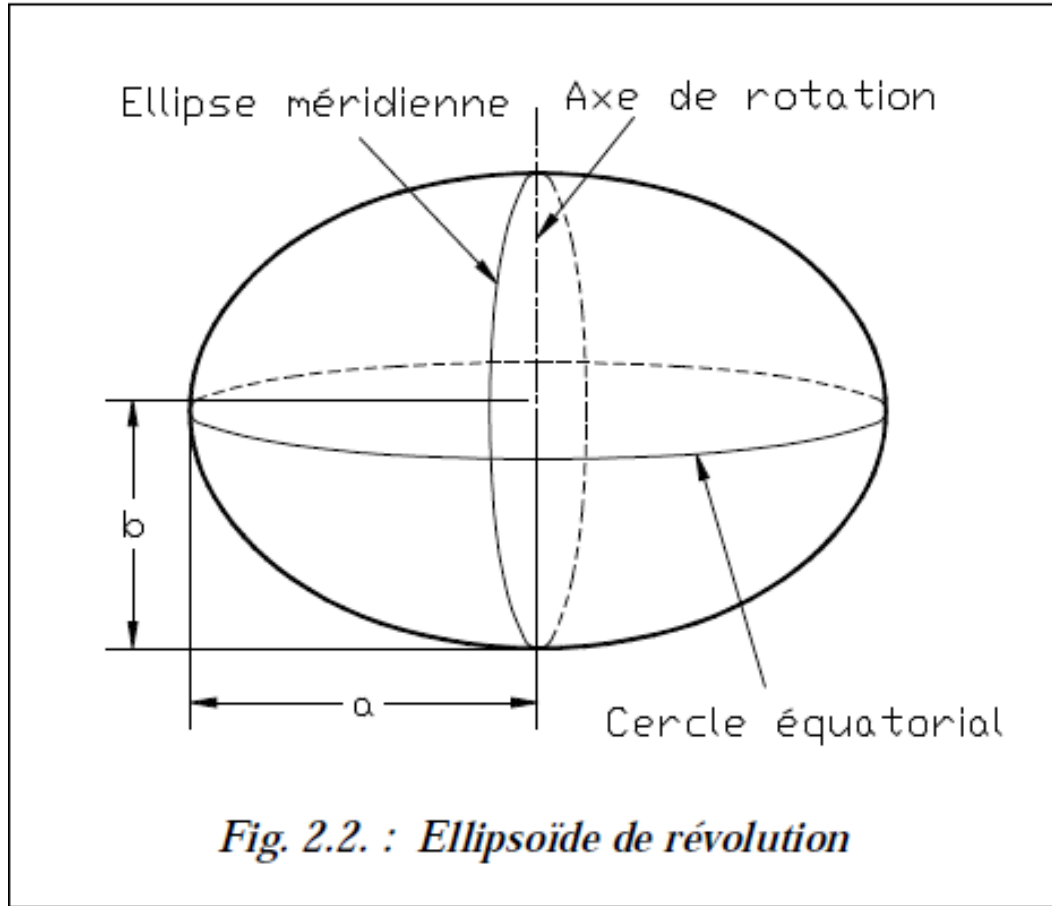
Géοïde

- La surface des mers et océans au repos recouvrant toute la Terre est appelée **géοïde**.
- Le **géοïde**, niveau des mers prolongé sous les continents, à laquelle on ne saurait appliquer des relations mathématiques de transformation. Il est la surface de référence pour la détermination des altitudes. autrement dit la surface de niveau zéro.

Lorsque le topographe (ou le maçon) cale la bulle de son niveau, il matérialise un plan tangent au géοïde qui correspond à la surface d'équilibre des eaux (pente d'écoulement des eaux nulle). On obtient ainsi **partout l'orientation de la verticale physique d'un lieu.**



Ellipsoïde de révolution



Un **méridien** est l'intersection de la surface de l'ellipsoïde avec un plan contenant l'axe des pôles : c'est donc une ellipse.

Un **parallèle** est l'intersection de la surface de l'ellipsoïde avec un plan perpendiculaire à l'axe des pôles : c'est donc un cercle.

les caractéristiques de l'ellipsoïde défini en 1880 par **Clarke**

- Demi-grand axe : $a = 6\,378\,249,20 \text{ m}$
- Demi-petit axe : $b = 6\,356\,515,00 \text{ m}$
- Aplatissement : $f = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{293,466\,021\,3} \quad ^1$
- Excentricité e : $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = 0,006\,803\,487\,646$

Ellipsoïde : IAGRS 80

.demi-grand axe $a = 6\,378\,137 \text{ m}$

.aplatissement $1/298,257\,222\,101$

Il n'existe pas un ellipsoïde global unique mais plusieurs ellipsoïdes locaux définis pour chaque pays,

Le système **WGS 84 (World Général System 1984)** sert de base au système géocentrique de référence utilisé en GPS. Son ellipsoïde IAGRS 80 est très proche de GRS 80 (*Geodetic Reference System 1980*).

Ellipsoïde	$\frac{1}{2}$ grand axe a (m) $\frac{1}{2}$ petit axe b (m)	Excentricité e $1/\text{aplat. } 1/f$	Syst. géodésique Point fondamental	Projection Méridien origine
Clarke 1880	6 378 249,200 6 356 515,000	0,082 483 256 763 293,466 021 3	NTF Panthéon	Lambert Paris
Hayford 1909	6 378 388,000 6 356 911,946	0,081 991 890 22 297,000 000 0	ED 50 Potsdam	UTM Greenwich
GRS 1980	6 378 137,000 6 356 752,300	0,081 819 218 06 298,257 025	International	
IAGRS 1980	6 378 137,000 6 356 752,314	0,081 819 191 31 298,257 222 101	WGS 84	

Transformation de coordonnées

Ces paramètres permettent de transformer les coordonnées de points d'un système à un autre par une similitude euclidienne à trois ou à sept paramètres selon la précision cherchée

De : Vers :	IAGRS 80 Clarke 80
<i>tx</i> (m)	168
<i>ty</i> (m)	60
<i>tz</i> (m)	-320
<i>rx</i> (gon)	0
<i>ry</i> (gon)	0
<i>rz</i> (gon)	-0,554
<i>k = 1 + d</i>	$1 - 21,98 \cdot 10^{-8}$

Systemes de coordonnées

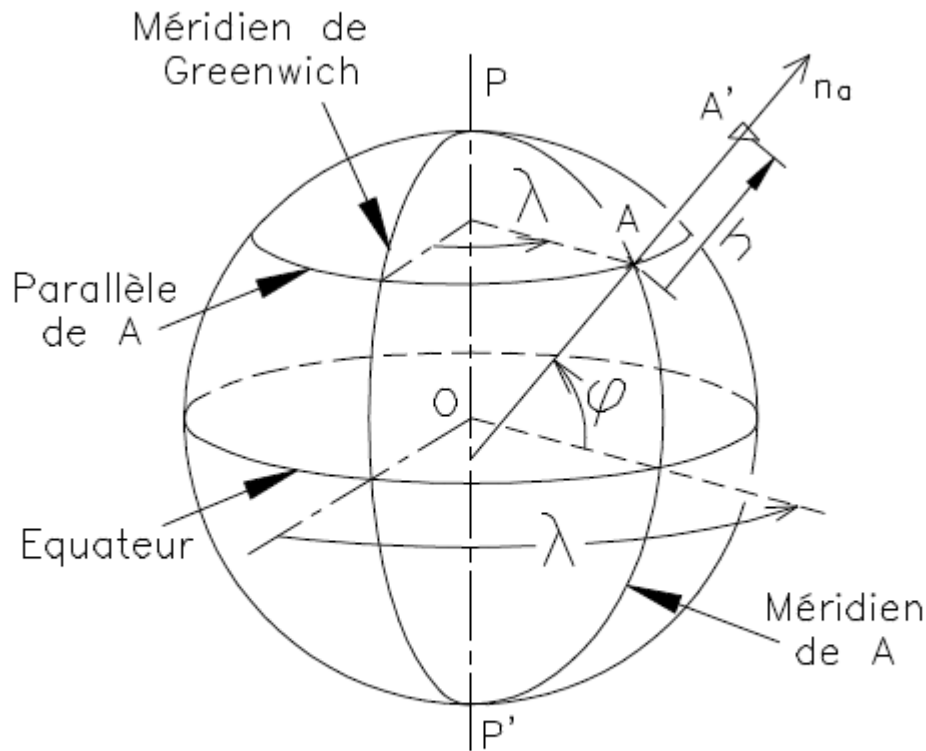


Fig. 2.3-b. : Coordonnées géographiques

Latitude : la latitude de A est l'angle que fait la verticale (n_a) de A avec le plan de l'équateur.

Longitude: la longitude l d'un lieu A est l'angle dièdre formé par le méridien du lieu avec le méridien origine.

Hauteur ellipsoïdale (h) : à un point A' situé sur la surface de la terre et sur la même verticale que A, on associera une troisième coordonnée correspondant à la hauteur au-dessus de l'ellipsoïde, notée h , mesurée suivant la normale (n_a).

Systemes géodésiques

Un système géodésique est défini par :

1. un ellipsoïde, choisi le plus proche possible du géoïde local ;
2. un système de représentation plane ;
3. un point fondamental (sauf dans le cas d'un système géocentrique où il n'y a pas de point fondamental) dont les coordonnées sont déterminées par des mesures astronomiques ; en ce point, la normale à l'ellipsoïde est confondue avec la verticale c'est-à-dire la normale au géoïde.

Représentation plane de l'ellipsoïde

Tous les systèmes de projection de la surface d'un ellipsoïde sur un plan déforment les longueurs.

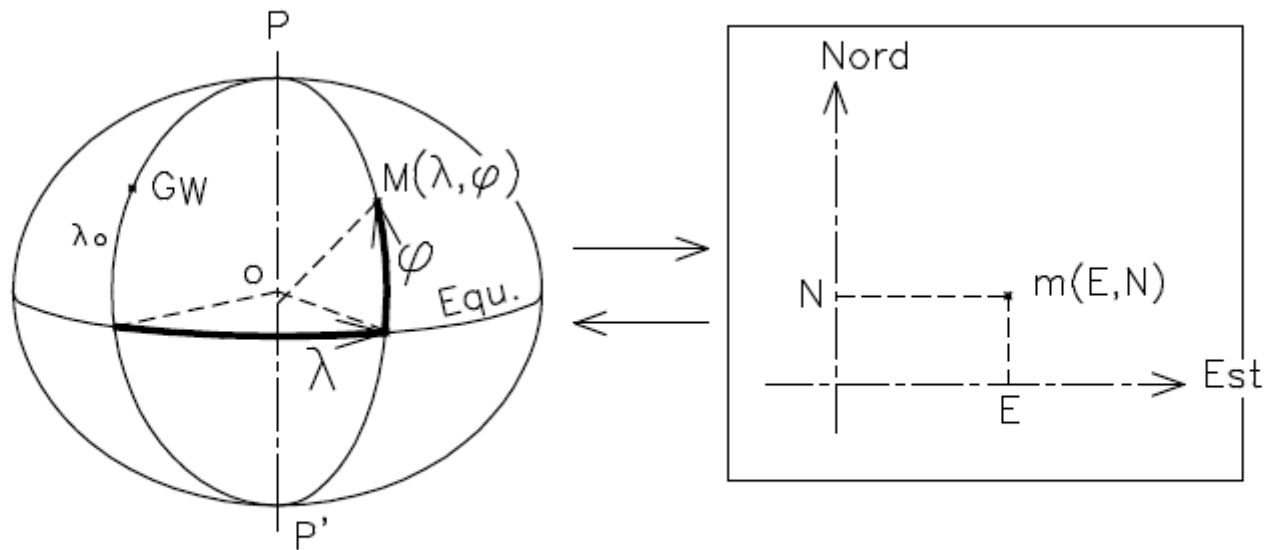
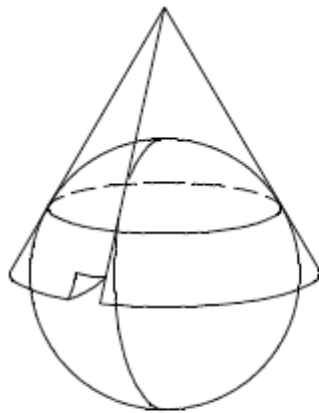


Fig. 2.12. : Représentation plane

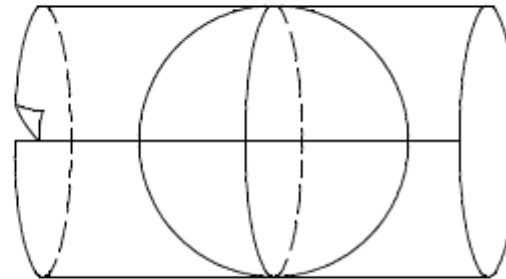
Classification des représentations

- Si les **angles entre courbes correspondantes sont égaux**, on dit que la représentation est **conforme**
- On utilise principalement deux types de représentation :
- le système de projection **conique** où l'ellipsoïde est projeté sur le cône tangent à un parallèle ; donc seule la région proche de celui-ci est correctement représentée.
- le système de projection **cylindrique** où l'ellipsoïde est projeté sur un cylindre circonscrit le long de l'équateur ou d'un méridien

- Si les **surfaces des figures élémentaires sont égales**, on dit alors que la représentation est **équivalente**.



Conique



Cylindrique transverse

Fig. 2.16. : Différentes projections planes

Représentation cylindrique transverse conforme de l'ellipsoïde « universal transverse mercator », UTM

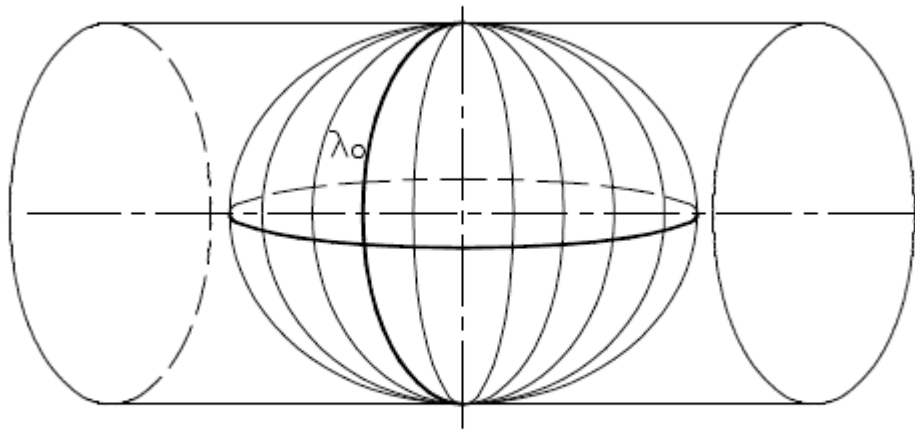


Fig. 2.30-b. : Projection UTM

Cette représentation consiste à circonscrire l'ellipsoïde dans un cylindre le long d'un méridien; le cylindre est dans ce cas d'axe perpendiculaire à la ligne des pôles. On représente un seul fuseau Les autres fuseaux sont identiques.

Les calculs dans un seul fuseau sont donc suffisants, ce qui est le principal avantage de cette représentation, la plus utilisée dans le monde.

- Ce système divise la terre en 60 fuseaux de 6° d'amplitude en longitude de manière à limiter l'altération linéaire en limite de fuseau. La numérotation commence au méridien 180° ; elle est croissante d'Ouest vers l'Est. Le méridien de Greenwich sépare les fuseaux 30 et 31. L'ensemble des fuseaux est identique.

Dans chaque fuseau :

sur l'isomètre l_0 , le module linéaire est pris égal à 0,9996 ;

l'isomètre centrale est l'image du méridien origine l_0 ;

pour éviter les abscisses négatives, le point O de coordonnées géographiques $l = l_0$ et $j = 0$, origine des axes E et N (X et Y), a pour coordonnées :

$EO = 500\ 000\ m$ (500 km),

$NO = 0$ dans l'hémisphère Nord, $10\ 000\ 000\ m$ (10 000 km) dans l'hémisphère Sud.

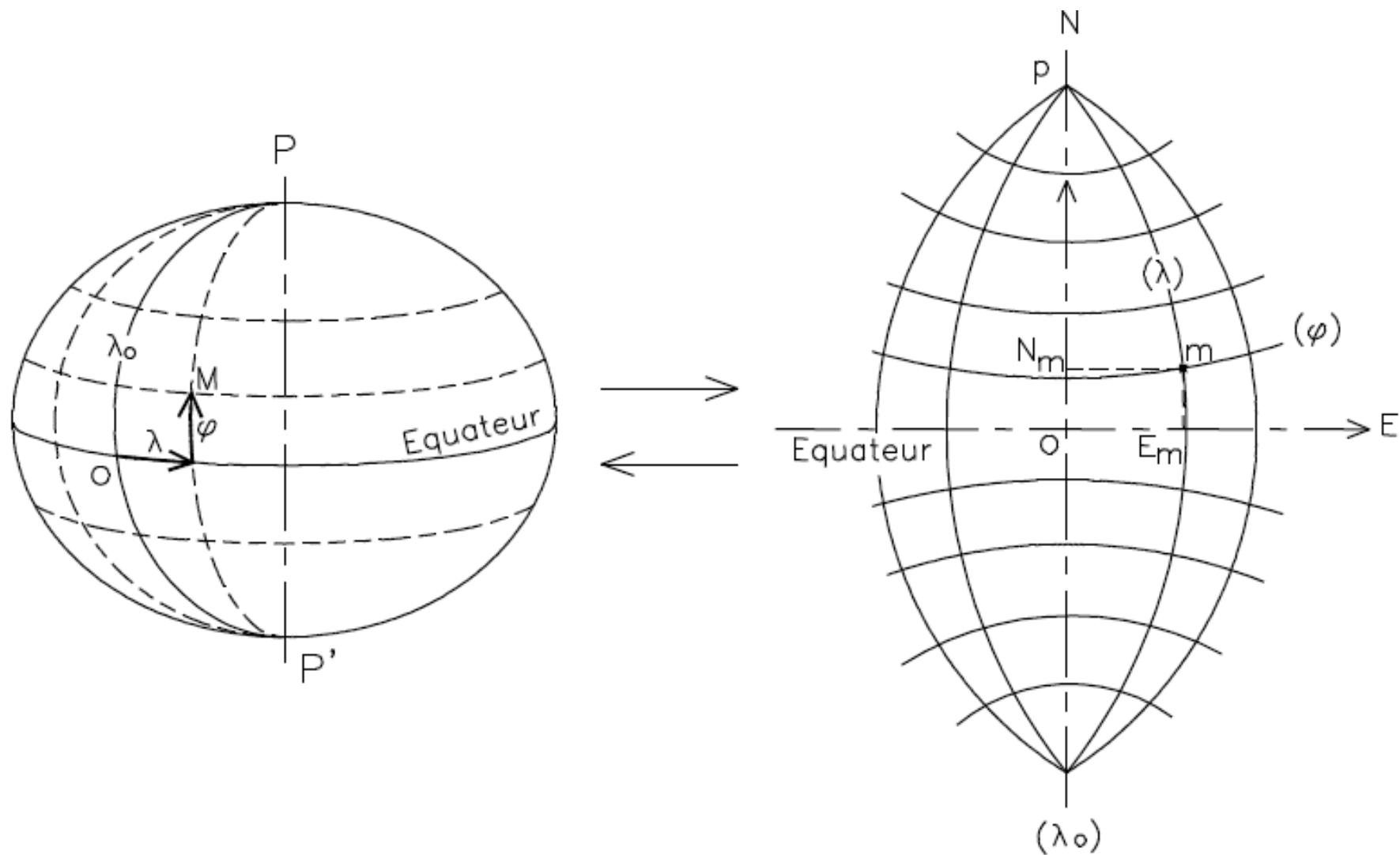


Fig. 2.31. : Projection UTM

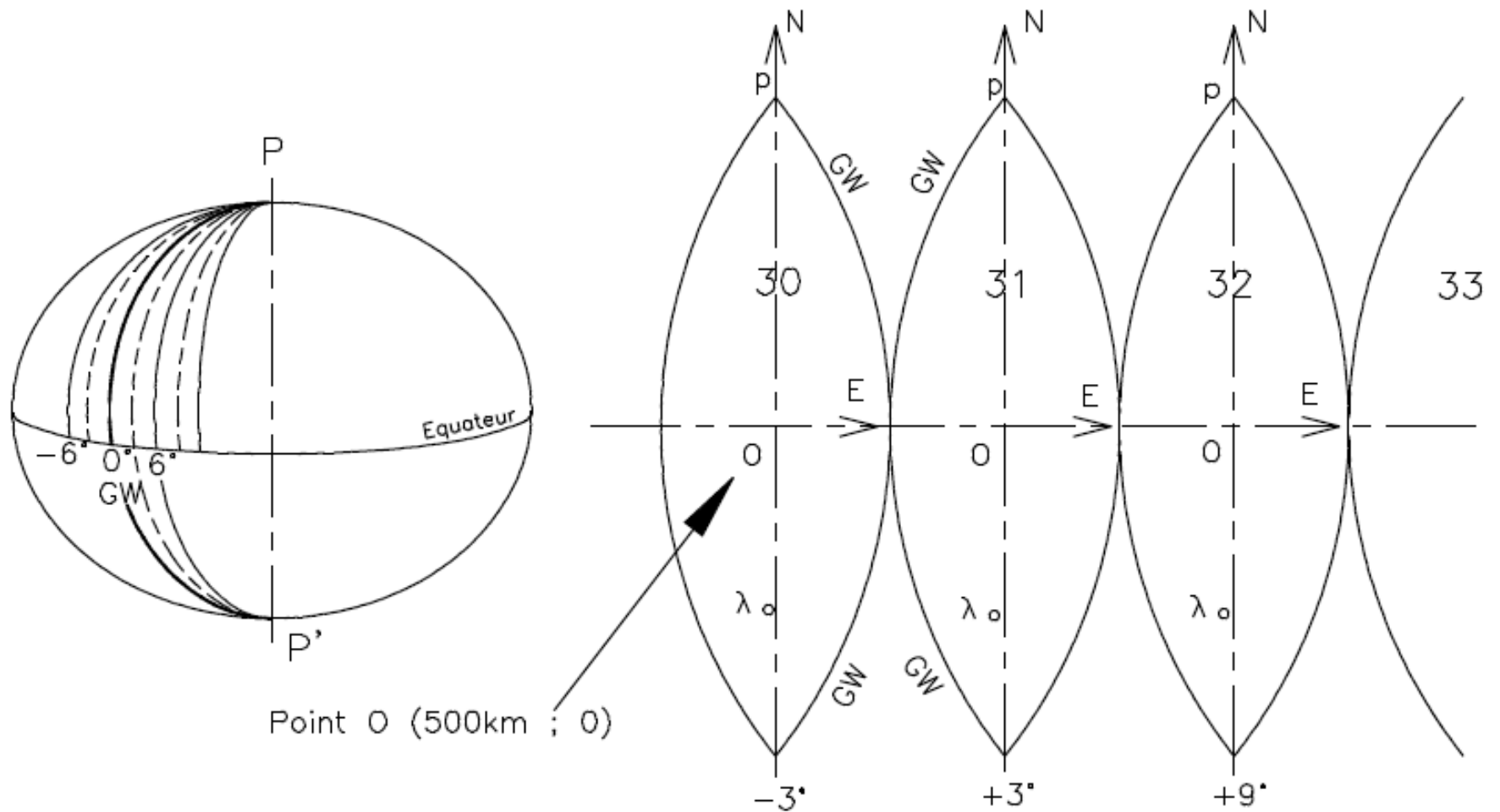
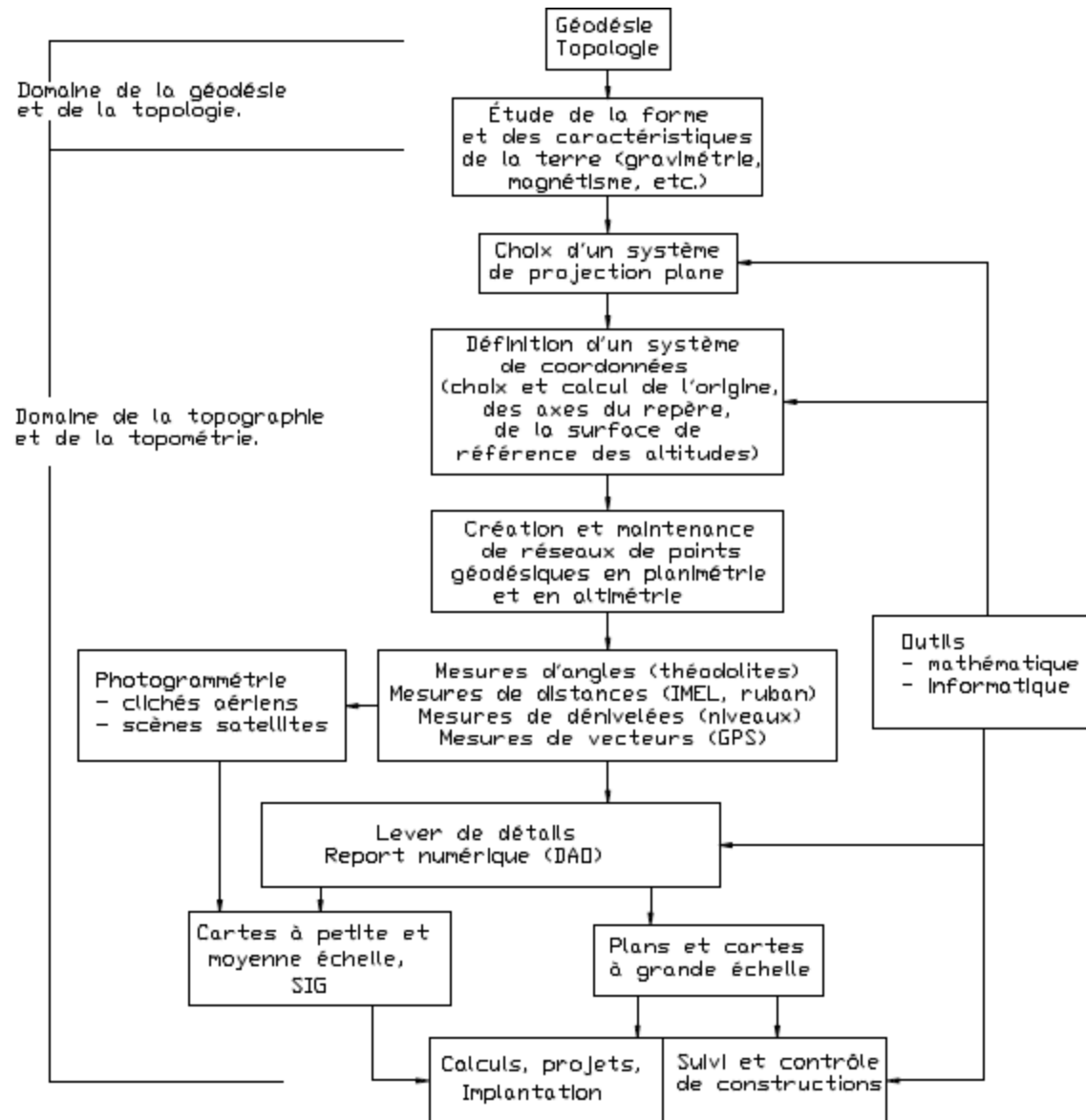


Fig. 2.32-a. : Différents fuseaux du système UTM

Dans un tel repère, les abscisses de points d'un même méridien ne sont pas égales.



Organigramme des opérations topographiques

classification des cartes en fonction de leur échelle et de leur finalité :

Échelles	Finalité
1/1 000 000 à 1/500 000	Cartes géographiques
1/250 000 à 1/100 000	Cartes topographiques à petite échelle
1/50 000, 1/25 000 (base), 1/20 000	Cartes topographiques à moyenne échelle (IGN)
1/10 000	Cartes topographiques à grande échelle
1/5 000	Plans topographiques d'étude, plans d'urbanisme
1/2 000	Plans d'occupation des sols (POS), descriptifs parcellaires
1/1 000, 1/500	Plans parcellaires, cadastraux urbains
1/200	Plans de voirie, d'implantation, de lotissement
1/100	Plans de propriété, plans de masse
1/50	Plans d'architecture, de coffrage, etc.

GLOBAL POSITIONNING SYSTEM (GPS)

Qu'est-ce que le GPS ?

- Le GPS est au départ un système militaire de navigation réalisé et contrôlé par les États-Unis depuis 1970. Son appellation initiale est NAVSTAR (*Navigation System by Timing and Ranging*). Il est géré par le Département des Transports qui en tolère actuellement l'utilisation civile.

Le but du GPS est de fournir à **un utilisateur terrestre**, voiture, avion, bateau, **sa position, sa vitesse** et sa synchronisation instantanée dans un **système de référence mondial** en **tout lieu et à tout instant**. Pour réaliser ce but, il est nécessaire de pouvoir **observer** en permanence **quatre satellites GPS** simultanément ; pour cela, on dispose d'une constellation de 24 satellites répartis sur six plans orbitaux à une altitude d'environ 20 200 km

Les secteurs de GPS

Le système GPS comprend 3 secteurs principales:



Spatial



Contrôle



Utilisateur

I. Le segment spatial : les satellites

- Les orbites des satellites sont choisies de façon que l'on puisse observer toujours un minimum de quatre satellites avec une élévation d'au moins 15° en tout point de la planète et à tout instant.
- Les six plans orbitaux sont inclinés à 55° sur l'équateur.
- Un satellite GPS parcourt son orbite en 12 heures à une vitesse d'environ 4 km/s , soit 14000 km/h .

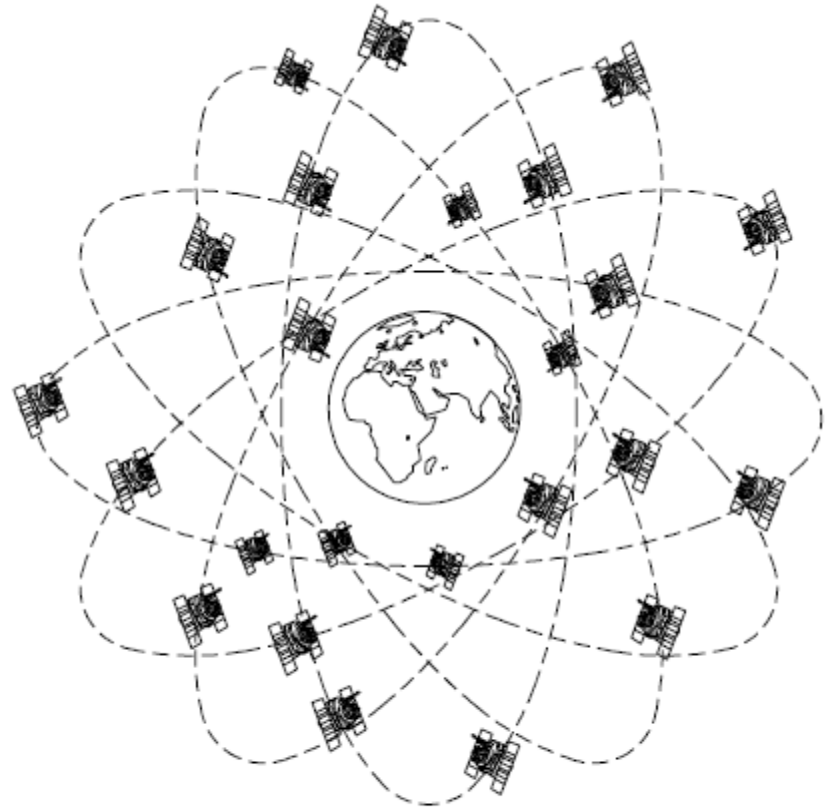


Fig. 7.1. : La constellation GPS

- Le temps GPS a pour origine le 5 janvier 1980 à 0 h UTC (temps universel de l'U.S. *Naval Observatory*) ; les journées et les semaines GPS sont comptées depuis cette date. Une des applications du système GPS est l'obtention du temps UTC avec une précision de 100 nanoseconde, soit 10^{-7} seconde, et jusqu'à 10^{-8} seconde sur un jour.
- La constellation des satellites est complète depuis la fin de l'année 1993. Progressivement, les satellites de première génération (bloc 1) sont remplacés par des satellites de deuxième génération bloc 2 puis 2R (horloges atomiques à l'hydrogène leur précision jusqu'à 10^{-15} seconde sur un jour).
- La durée de vie d'un satellite est de 8 à 10 ans, ce qui donne une idée du coût de maintenance d'un tel système : il faut lancer plus de trois satellites par an.

- Chaque satellite (SV ou Space Vehicle) émet en permanence sur deux fréquences différentes : L1 et L2.
- Les fréquences utilisées sont:
 1. $f_1 = 1\,575,42$ MHz soit $L_1 = 19$ cm
 2. $f_2 = 1\,227,60$ MHz, soit $L_2 = 24$ cm.
- Ces ondes porteuses sont modulées par des codes qui sont des séquences binaires répétitives :
 1. code C/A, Coarse Acquisition ou bien acquisition grossière, pour la fréquence L1 ;
 2. code P, Precise ou acquisition précise, pour les fréquences L1 et L2.

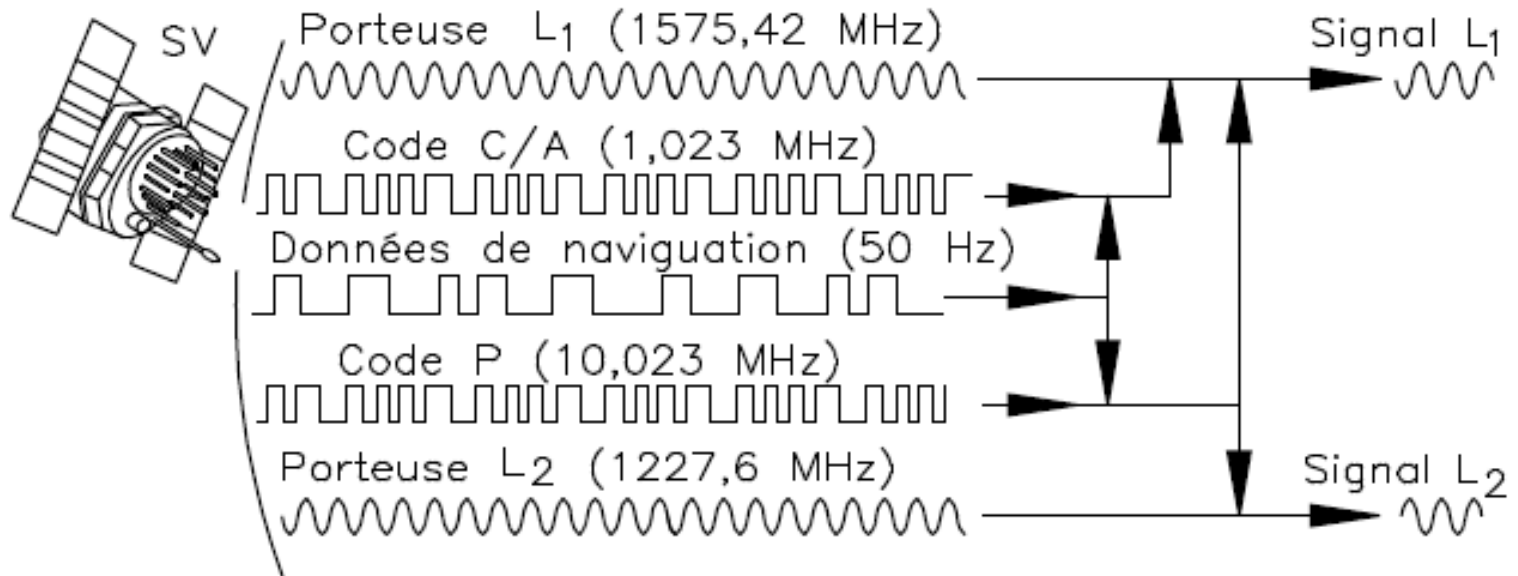


Fig. 7.3. : Différents messages émis par le satellite

Des données de navigation sont aussi émises par chaque satellite, paramètres de son orbite indispensables pour les calculs de positionnement.

- Depuis les satellites du bloc 2, les militaires américains utilisent deux cryptages pour dégrader la précision du système :
 1. la dégradation **S/A (Sélective Availability ou disponibilité sélective)**....*désactivé pendant la guerre du Golf*
 2. le cryptage **A/S (Anti Spoofing ou anti-brouillage)**,
- Le code C/A donne accès au service **SPS (Standard Positioning service)** *qui permet avec un seul récepteur (fonctionnement en mode naturel, et en temps réel d'obtenir une précision de 20 à 40 m lorsque la précision du système n'est pas dégradée.*
- Le code P donne accès au service **PPS (Precise Positioning service)** *qui permet avec un seul récepteur d'obtenir une précision de 15 à 20 m lorsqu'il n'est pas dégradé.*

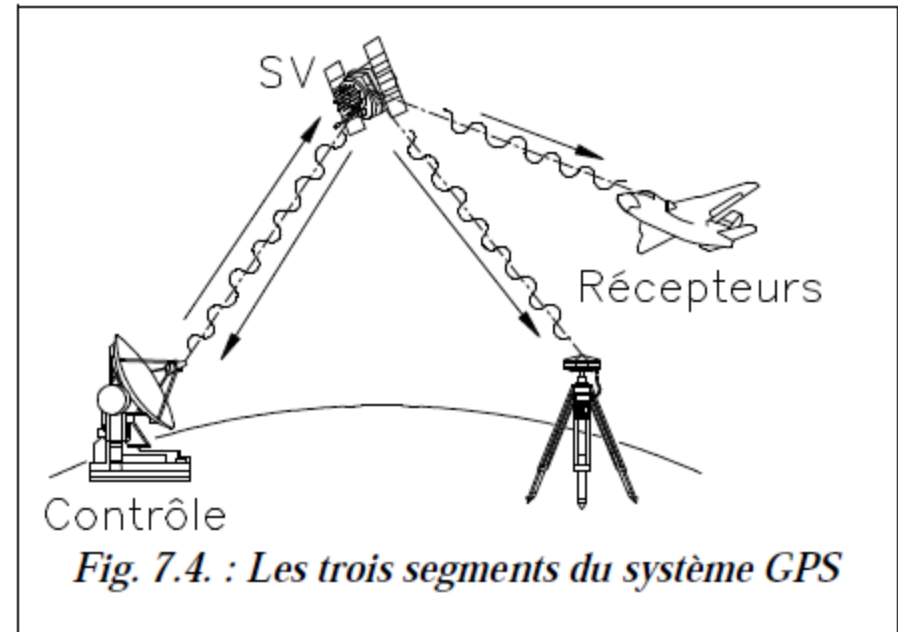
Le segment de contrôle

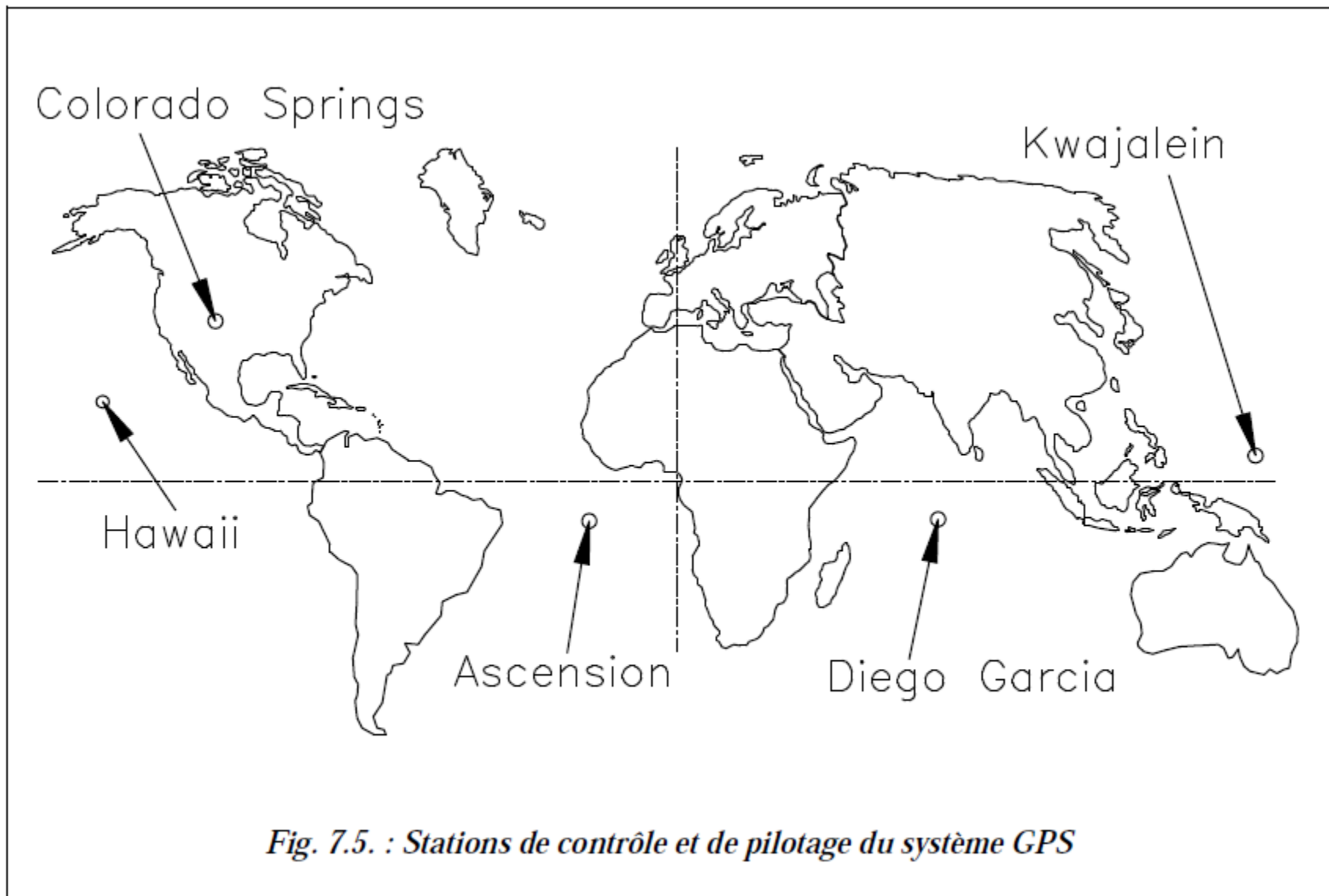
Les satellites reçoivent des informations de cinq stations de contrôle situées au sol : ces informations permettent (toutes les 12 heures):

- de régler la position orbitale et la vitesse du véhicule spatial;
- de synchroniser parfaitement les horloges atomiques de tous les satellites.

Un satellite en fonctionnement normal est déclaré *healthy* (bien portant) ;

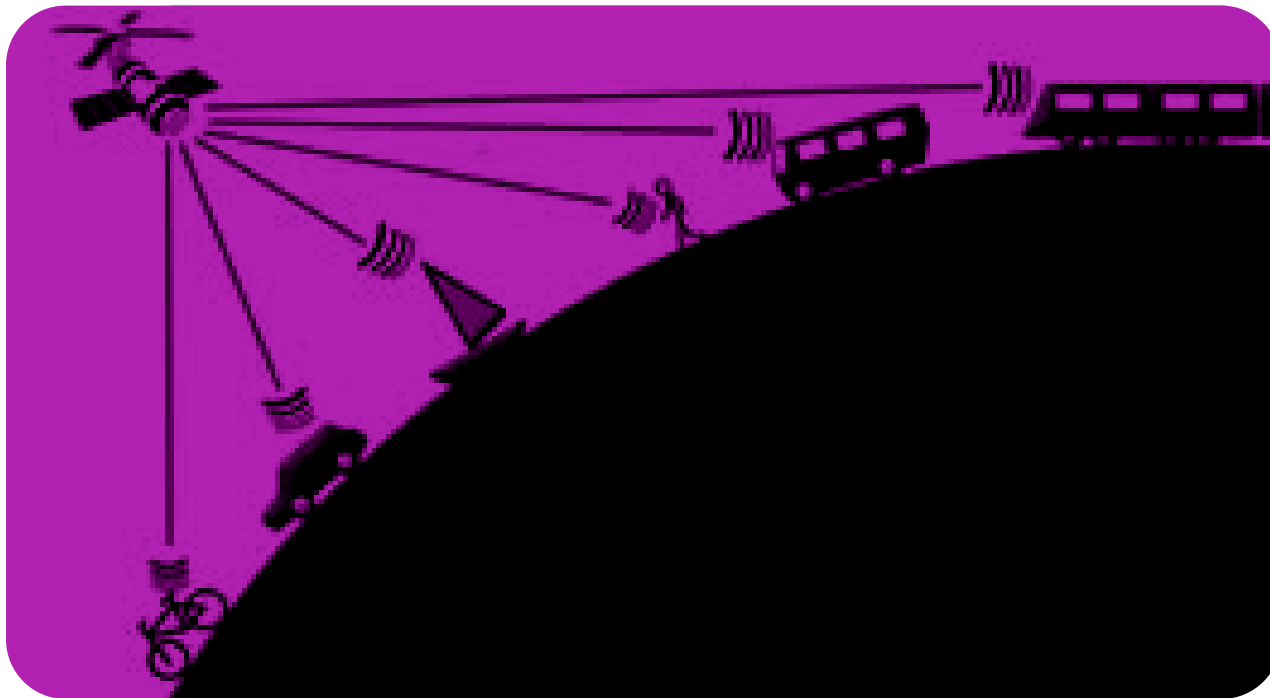
un satellite en cours de repositionnement est déclaré unhealthy (malade) et ne sera pas pris en compte dans les mesures





Le segment utilisateur

Il regroupe l'ensemble des utilisateurs civils et militaires qui ne font que recevoir et exploiter les informations des satellites : de ce fait le système ne peut être saturé et le nombre maximum d'utilisateurs GPS est illimité.



Le segment utilisateur

- Ces récepteurs se composent donc d'une antenne couplée à un calculateur, une horloge de précision et un décodeur de messages.
- Les récepteurs **de navigation** et de **topométrie** sont très différents :
- *les récepteurs de navigation* fonctionnent seuls (mode naturel). Ils mesurent des **distances** à partir de la mesure du **temps** de trajet de l'onde de l'émetteur au récepteur ; cette mesure est malheureusement **peu précise** du fait de la précision des horloges des récepteurs et des variations de la vitesse de propagation des ondes.
Ils se présentent sous la forme de petits appareils portables et autonomes.

les récepteurs géodésiques

- Destinés à un fonctionnement en mode Différentiel;
- nécessitant deux récepteurs.
- Dans ce mode, les calculs de position sont généralement effectués après les mesures (post-traitement) par la mise en commun et le recoupement des informations enregistrées sur chaque récepteur.
- Les distances sont calculées par des **mesures sur la phase** des ondes. Ces mesures sont **précises** mais **ambiguës**.
- Chaque récepteur est donc constitué d'une antenne, associée à un trépied de manière à pouvoir stationner à la verticale d'un point et d'un ordinateur distinct, relié par câble à l'antenne. Ce dernier enregistre des mesures à des intervalles de temps réguliers.

Monofréquence et bifréquence

- Les ondes émises par les satellites traversent l'ionosphère (couche de l'atmosphère qui s'étend de 50 à 1 000 km où l'air est fortement ionisé, ce qui le rend conducteur d'électricité et qui constitue une importante source d'erreurs dans les mesures de positionnement).
- Une manière de s'affranchir de ces erreurs est de faire des mesures sur les deux fréquences différentes émises par les satellites L1 et L2 : on parle alors de **récepteur bifréquence**.

Un récepteur **monofréquence ne capte** que la fréquence **L1** et il corrige les effets de l'ionosphère par un calcul fondé sur un modèle mathématique (moins précis qu'une mesure sur deux fréquences) dont les paramètres sont diffusés par les satellites.

La durée d'observation sera toutefois plus longue en monofréquence,

Comparaison des deux types de récepteur

Monofréquence L_1 Capte le code C/A et la phase L_1	Bifréquence L_1 et L_2 Capte les codes C/A et/ou P et la phase $L_1 + L_2$
Mesure les lignes de base < 10 km	Précision identique pour les lignes de base < 10 km Indispensable pour les grandes lignes de base : > 15 à 20 km et en atmosphère difficile (exemple des régions équatoriales)
10 à 20 mn d'observation en statique	2 à 10 mn d'observation en statique rapide

les différentes techniques à la disposition de l'utilisateur GPS.

Mode	Application	Type de mesure	Longueur d'onde λ / bruit *	Précision (avec S/A)	Technologie
Absolu	Navigation	Pseudo-distance (code C/A ou P)	300 m / 1 à 3 m	100 m (C/A) 15 m (P)	Récepteur isolé **
Relatif	Navigation différentielle (DGPS)	Pseudo-distance (code C/A)	300 m / 1 à 3 m	1 à 15 m	2 récepteurs + liaison radio **
		Pseudo-distance (code P)	30 m / 10 à 30 cm	1 à 2 m	
	Topométrie	Phase (L_1 et/ou L_2)	20 cm / 1 à 2 mm	qqes mm	2 récepteurs ***

* Le bruit de mesure est de l'ordre de 0,01. l.

** Résultats en temps réel.

*** Résultats en différé.

Le mode naturel ou positionnement absolu

- Si l'on arrive à mesurer le temps Dt mis par l'onde émise par un satellite pour parcourir la distance qui le sépare du récepteur, on peut en déduire la distance D parcourue par cette onde par la relation $D = c.Dt$.

La nécessité d'observer quatre satellites se justifie également par le fait que le problème est à quatre inconnues (x, y, z et le temps t),

il faut donc disposer de quatre équations.

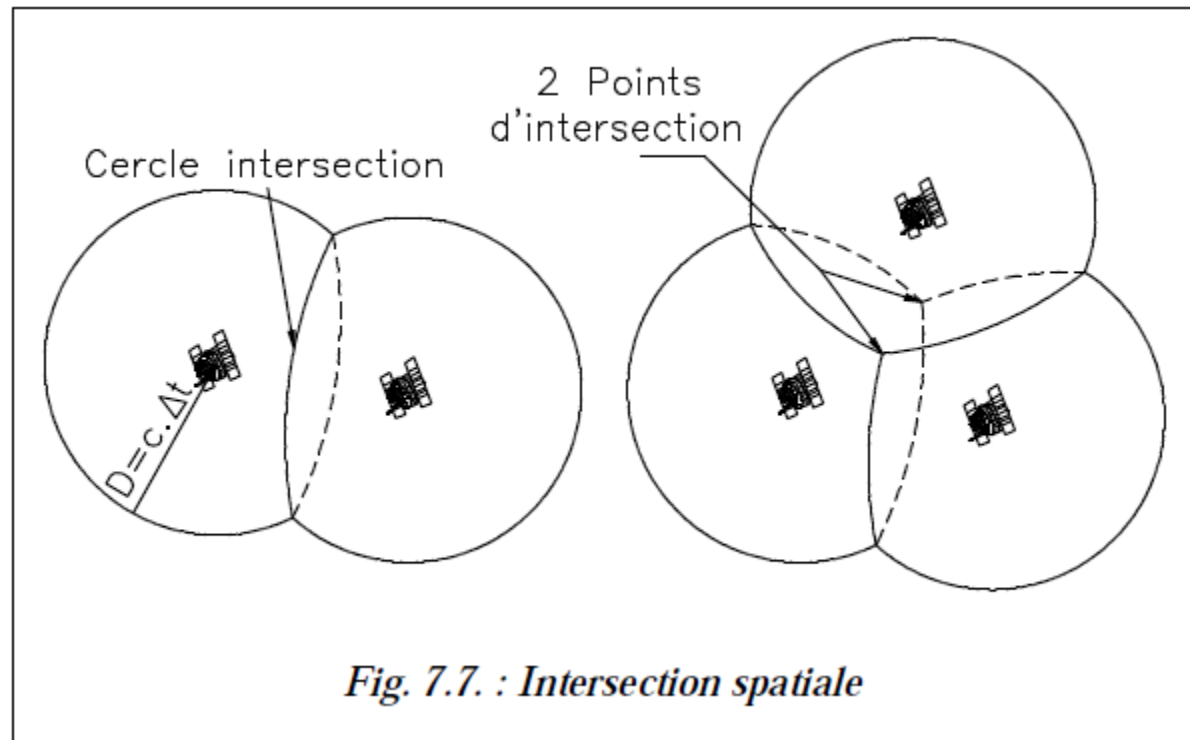
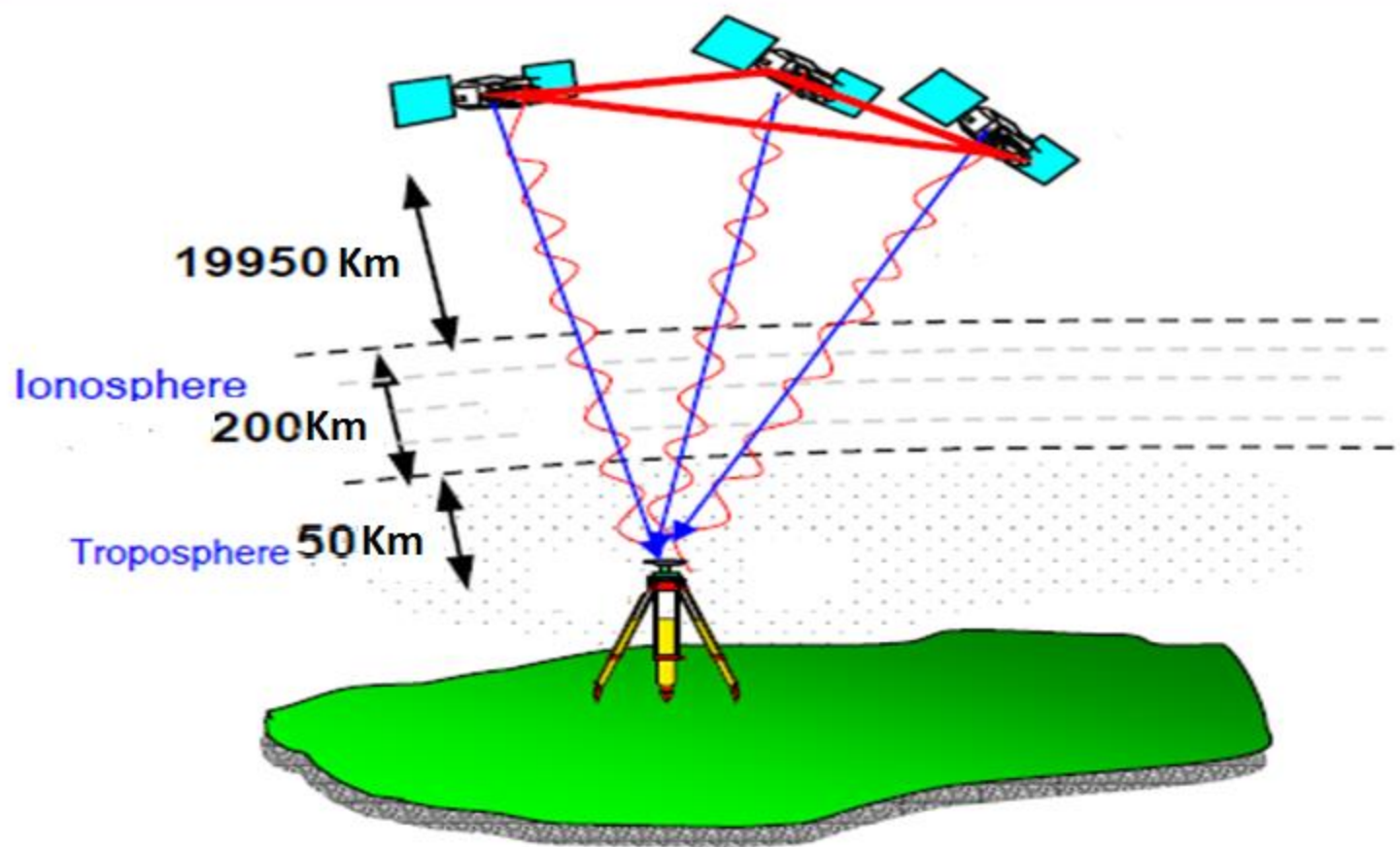


Fig. 7.7. : Intersection spatiale

Difficultés de la mesure du temps de trajet

- En fait, de nombreuses sources d'erreur altèrent la précision de cette mesure absolue de temps et font que la précision est au mieux de l'ordre de quelques mètres, on parle aussi de « bruit de mesure ».
- La mesure du temps de trajet dépend des facteurs suivants:
- La vitesse de propagation des ondes électromagnétiques est celle de la lumière **dans le vide**.
- La propagation des ondes à travers l'atmosphère terrestre est surtout retardée par l'**ionosphère**(Un écart d'une vingtaine de nanosecondes donc 6 m d'écart ($20 \cdot 10^{-9} \times 3 \cdot 10^8$))
- Les problèmes de réfraction atmosphérique conduisent aussi à éviter les mesures avec de grandes dénivelées
- Les molécules de vapeur d'eau de l'atmosphère (la **troposphère** la

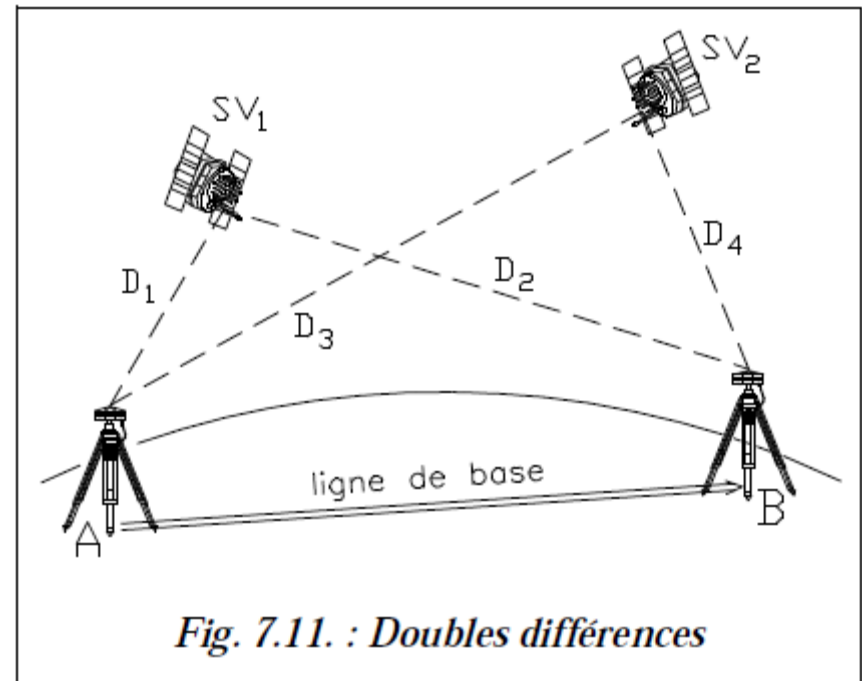


- plus voisine de la terre dont l'épaisseur augmente de 5 km aux pôles à 18 km à l'équateur) peuvent également retarder les signaux par absorption, Le retard troposphérique est de l'ordre de 2 m pour un satellite situé au zénith jusqu'à 30 m pour une élévation de 5°.
- L'horloge des récepteurs est moins précise que celle des satellites pour une question de coût et de transport (L'horloge des récepteurs est généralement un quartz qui donne la nanoseconde ce qui, à la vitesse de la lumière, donne une incertitude de $3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \times 10^{-9} \text{ s} = 30 \text{ cm}$)
- Les phénomènes de multitrajet (C'est pour limiter ce phénomène que certaines antennes géodésiques disposent d'un disque en acier destiné à les protéger des réflexions en provenance du sol.)
- Effet Doppler...etc
- **Donc on mesure les pseudo-distance.**

Le mode différentiel ou positionnement relatif

- On parle de mode différentiel parce qu'on travaille par différence sur deux récepteurs placés sur deux points distincts et observant au même instant les mêmes satellites.

Dans le mode différentiel, on mesure des différences de distances et non des distances absolues. les deux récepteurs placés en A et B permettent, par la corrélation de leurs mesures (en post-traitement), de calculer les différences de distances ($D_1 - D_2$) et ($D_3 - D_4$).



- ❖ Grâce à ce mode différentiel, la plupart des erreurs citées précédemment sont éliminées (cryptage S/A, influence de l'ionosphère, erreurs d'horloges), il est ainsi possible d'atteindre des précisions centimétriques, voire millimétriques : on a déjà enregistré des mesures qui, après répétition, ne varient pas de plus d'un millimètre (récepteurs bifréquence de haute précision et mesure statique de longue durée).
- ❖ Ce type de mesure ne nécessite pas d'intervisibilité des points A et B,
- ❖ il n'y a pas de limitation de portée,
- ❖ le terrain doit être dégagé pour que les deux récepteurs puissent capter **les mêmes satellites** (au moins quatre et pendant une durée suffisante variant selon les méthodes de 1 à 60 minutes) cette durée est fonction, entre autres, du type de récepteur, des conditions ionosphériques, troposphériques et de la position relative des satellites observés

- donc calculer qu'une **différence de position entre deux points**, c'est-à-dire les deux stations des deux antennes utilisées. Ceci permet, si l'on connaît la position de l'un des deux points stationnés, de déterminer avec précision la position de l'autre point

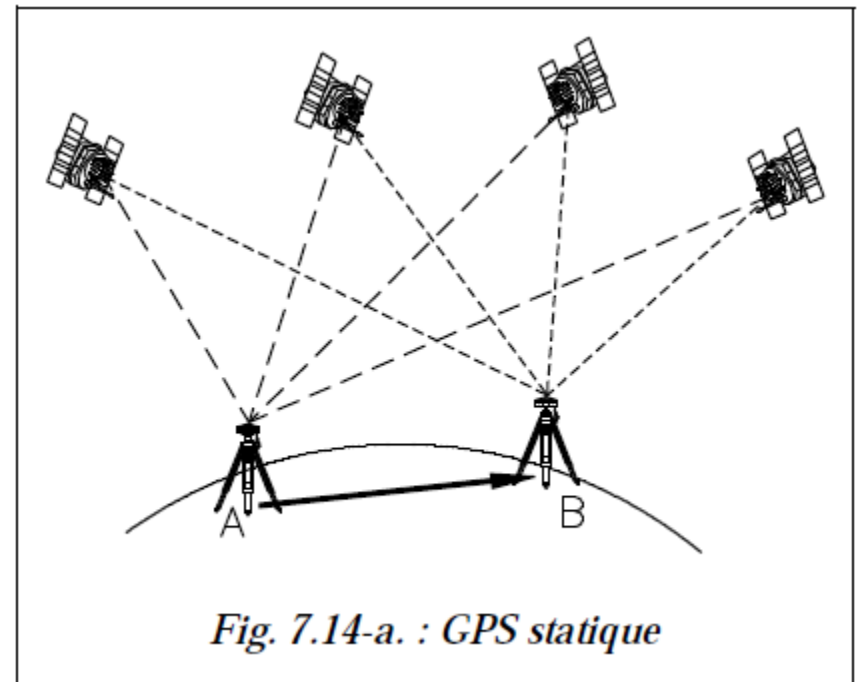
Différentes techniques de mesure en mode différentiel

Pour toute mesure GPS, la résolution des ambiguïtés est plus rapide et plus fiable si la position du récepteur est pré-déterminée à une dizaine de mètres près et entrée dans le contrôleur de l'antenne (en WGS84). Si cette position est inconnue, le contrôleur GPS utilise comme position de départ la **solution de navigation qu'il** détermine en temps réel sur le terrain à quelques dizaines de mètres près ; la précision de cette solution de navigation peut être améliorée en commençant le calcul par une détermination en **point isolé à partir des mesures GPS collectées sur ce point**.

Le mode statique

Les combinaisons des doubles différences avec quatre, cinq, six satellites permettent la détermination précise du vecteur AB au sol. Malheureusement, le calcul de ces combinaisons requiert un minimum de temps d'observation pendant lequel la réception des signaux satellites doit être parfaite, sans coupure, et les récepteurs doivent demeurer immobiles :

La durée d'observation est d'environ 30 minutes pour un récepteur bifrquences sur une base de 20 km. La précision espérée est au mieux de l'ordre de $\pm (5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$.



- Cette méthode est utilisée pour de longues lignes de base supérieures à 10 km. Elle est donc réservée aux réseaux géodésiques
- Avec des récepteurs monofréquence, le temps de mesure est plus long ; on se limite à des lignes de base inférieures à 10 km,

Le mode statique rapide

Le mode statique rapide est basé sur le même principe que le mode statique mais en **limitant la portée,**

en utilisant plutôt des récepteurs **bifréquences, permettant ainsi de** réduire la durée de station. Il permet de déterminer en 5 à 10 mn d'observation tout point dans un rayon d'une vingtaine de kilomètres autour de la station de référence (10 à 20 mn avec un GPS monofréquence pour des lignes de base allant jusqu'à 10 km).

La précision est au mieux de : $\pm (5 \text{ à } 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$.

Le GPS s'applique particulièrement bien aux travaux de triangulation en canevas d'ensemble et même de polygonation.

Le mode cinématique

Un récepteur fixe étant en A, point connu ou inconnu, un récepteur mobile est positionné en B proche de A. Après une première phase d'initialisation statique sur un point connu ou inconnu, le récepteur mobile calcule sa position en relatif par rapport au récepteur fixe.

il suffit qu'à un moment donné récepteur mobile passe sur un point connu, ou qu'un des points A ou B soit connu.

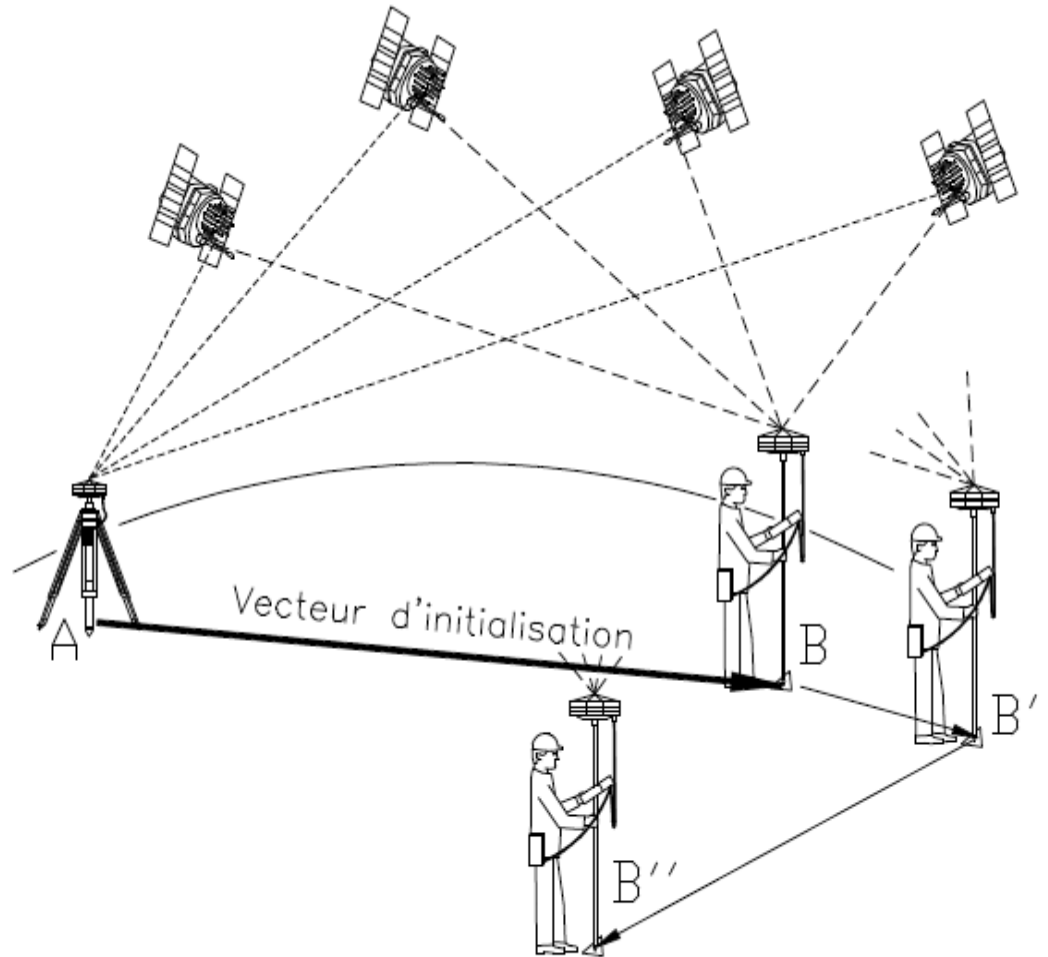
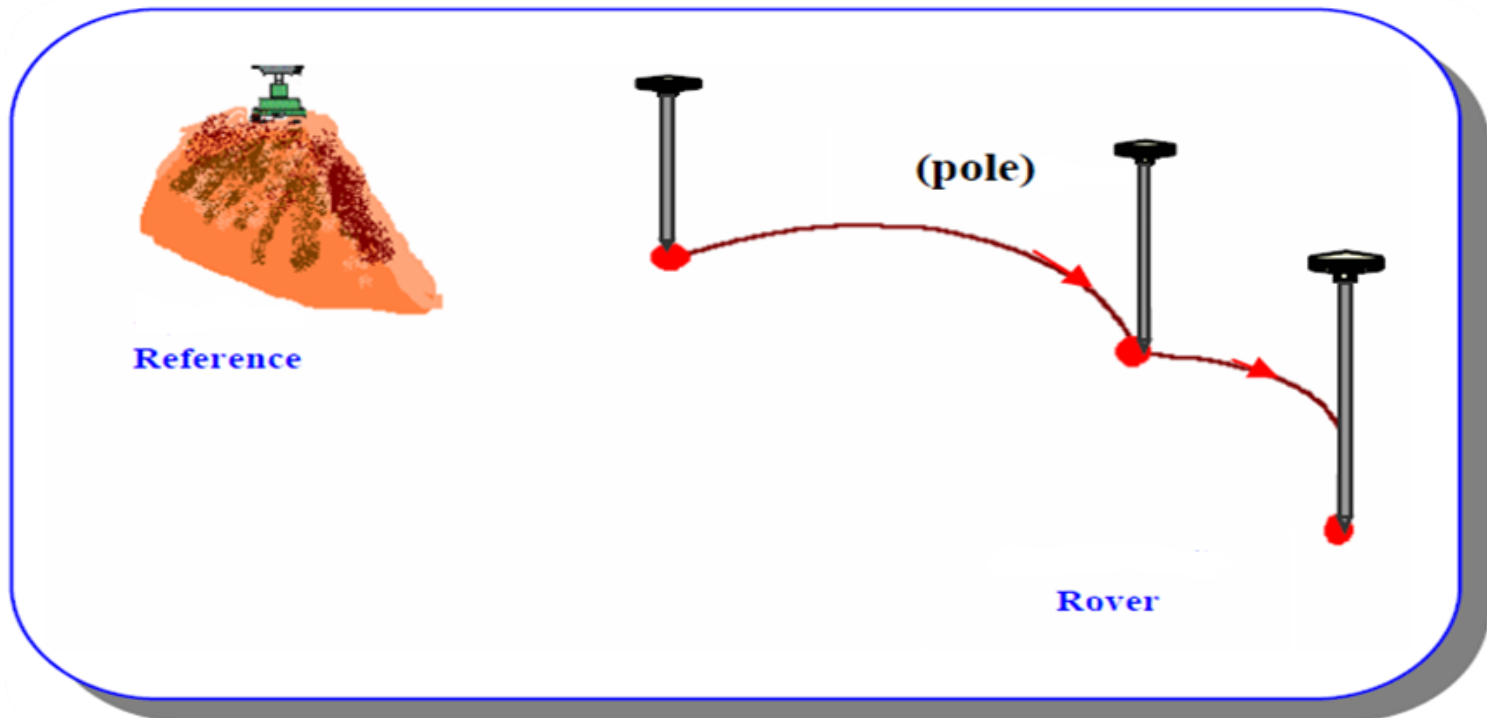


Fig. 7.15. : GPS cinématique

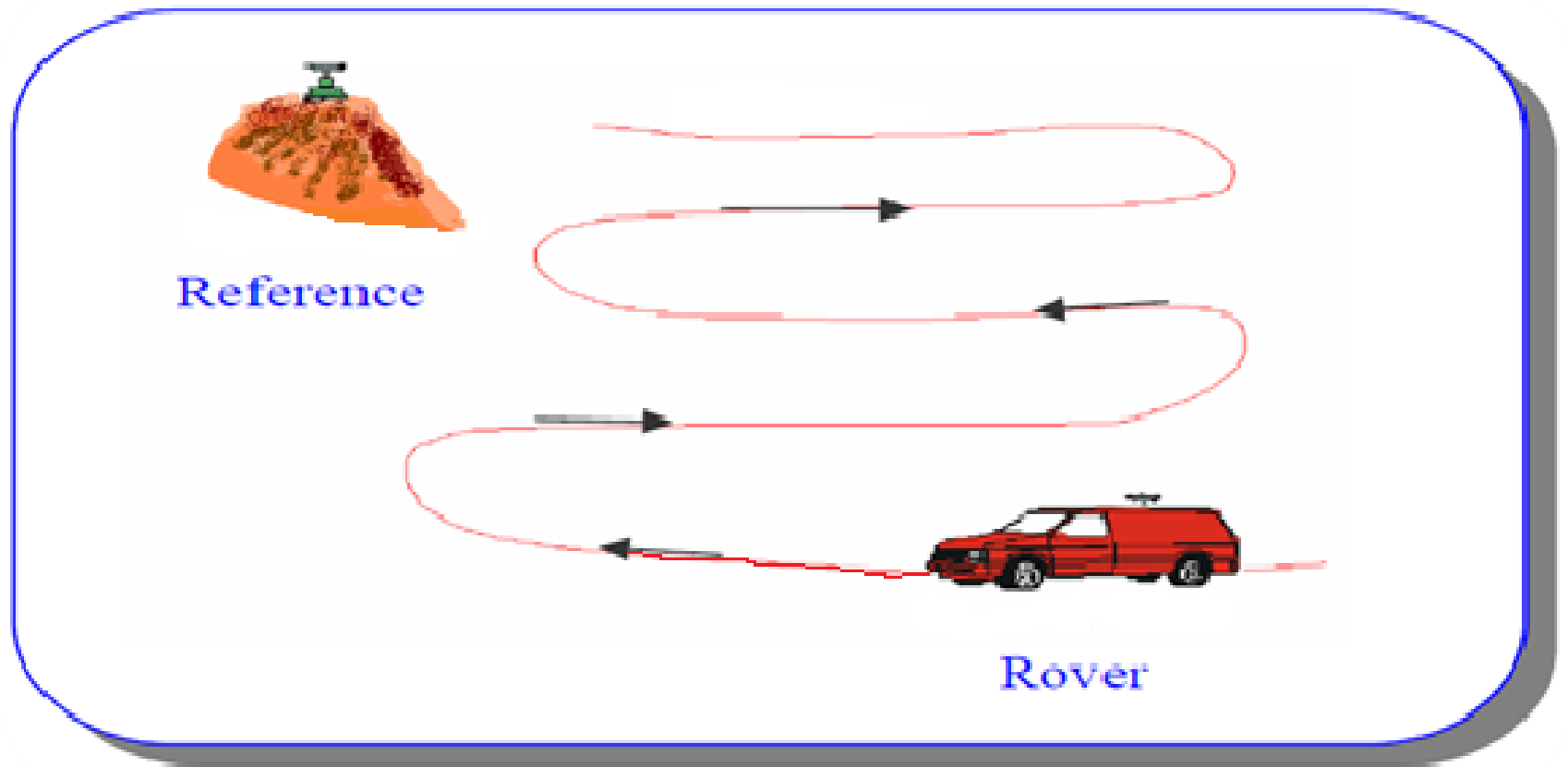
- Si l'on passe à moins de quatre satellites, il faut reprendre l'initialisation statique et commencer une nouvelle chaîne ; l'opérateur est informé de cette interruption par son terminal de contrôle de l'antenne (message du type : *loss of lock ou perte de connexion*).
- Cette technique est efficace pour effectuer des levés ou de la densification intense sur des superficies de faibles étendues et bien dégagées. On obtient une précision qui est d l'ordre de $\pm (1 \text{ cm} + 2 \text{ ppm})$.

Différentes méthodes de mesure

- 1 - le *stop and go (marche-arrêt)* qui est une méthode très proche de celle du lever de détails avec une station totale. L'opérateur enregistre les informations en s'arrêtant sur des points fixes et se contente de maintenir le contact avec les satellites pendant les déplacements .



2 - la trajectographie où le récepteur mobile enregistre les informations en permanence, toutes les secondes par exemple, ce qui permet de tracer la trajectoire du mobile.



Différentes méthodes d'initialisation

- **1 - l'initialisation statique rapide** où le récepteur mobile stationne un premier point proche du récepteur fixe pendant quelques minutes ; si ce premier point est connu, l'initialisation ne dure que quelques secondes ;
- **2 - l'initialisation en vol (*on the fly ou OTF*)** qui permet d'effectuer du lever en cinématique en évitant la phase d'initialisation statique.

L'intérêt de cette technique est le positionnement précis, centimétrique, **d'objets mobiles tels que les bateaux** lors des opérations de bathymétrie.

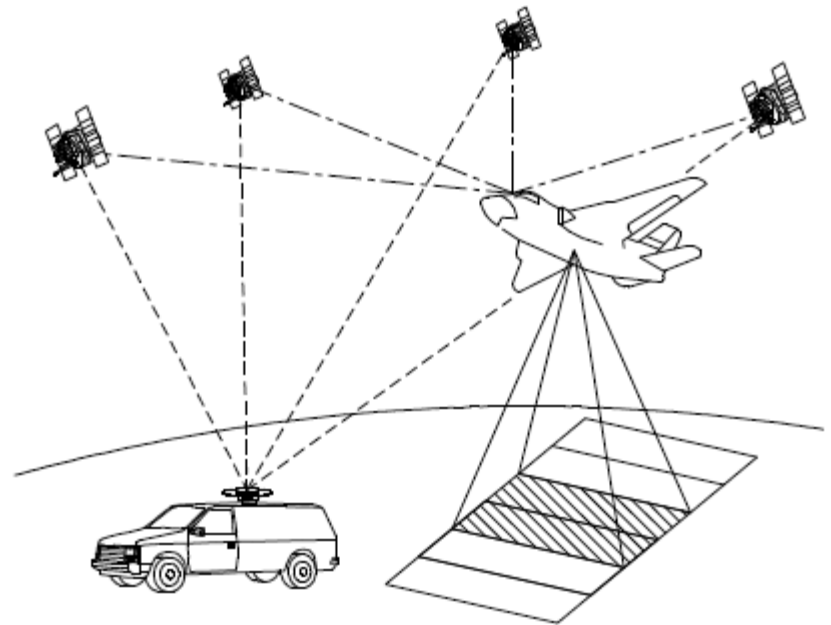


Fig. 7.16. : Initialisation OTF

Le cinématique en temps réel (real time kinematic ou RTK)

- Le cinématique en temps réel permet de connaître immédiatement les coordonnées du récepteur mobile, ce qui permet de faire de l'implantation en GPS, de vérifier à tout instant la qualité des mesures effectuées et de se rendre compte d'une rupture de faisceau.

Pratiquement, le récepteur fixe stationné sur un point connu émet en permanence par liaison radio des informations au récepteur mobile qui, en les recoupant avec ses propres acquisitions, recalcule sa position à chaque instant.

On trouve aussi pour cette méthode l'appellation **RTDGPS** (*real time differential GPS*) ou GPS différentiel en temps réel ; ainsi l'avantage principal du mode naturel est repris en traitant les données en temps réel mais avec deux récepteurs.

Mode	Statique	Statique rapide	Cinématique	En vol
Cas d'emploi	Pour les grandes lignes de base (> 10 km avec récepteur bifréquences).	Bases courtes : < 20 km (bifréquence) < 10 km (monofréquence).	Grand nombre de points à observer dans une zone réduite et dégagée.	Positionnement précis d'objet en mouvements (avions, bateaux, etc.).
Précision : monofréquence bifréquence	5 mm + 1 ppm	5 à 10 mm + 1 ppm 5 à 10 mm + 1 ppm	1 à 2 cm + 1 ppm 1 à 2 cm + 1 ppm	1 à 2 cm + 2 ppm
Temps d'observation	30 mn à 1 heure	2 à 20 mn selon les cas.	Quelques minutes d'initialisation puis quelques secondes sur chaque point.	Temps réel en mouvement.
Applications	Réseaux géodésiques sur de grandes étendues.	Canevas polygonaux. Canevas d'ensemble : remplace la triangulation et la polygonation.	Levers de détails en zone dégagée.	Photogrammétrie, bathymétrie.
Avantages	Précis, plus efficace et plus économique que les méthodes traditionnelles.	Rapide, efficace. Nul besoin de garder le contact avec le satellite.	La plus rapide des méthodes de lever de détails par GPS.	Pas d'initialisation statique.
Inconvénients	Temps d'observation plus long que par les autres méthodes. Réservé aux récepteurs bifréquence.	Limitation en portée.	Une interruption de la réception nécessite une nouvelle initialisation.	Méthode GPS la plus onéreuse.

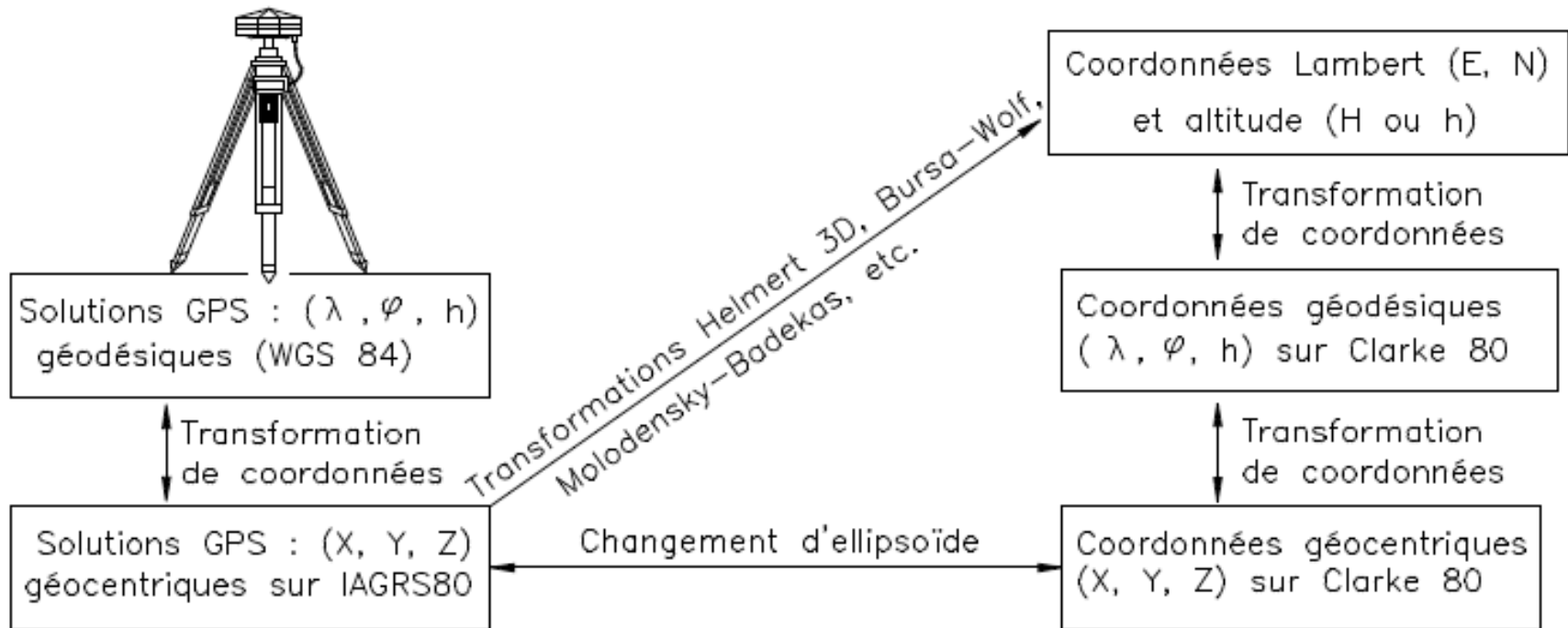


Fig. 7.13.-a. : Transformations de coordonnées

Erreurs de mesure

Les différentes sources d'erreurs et les ordres de grandeur de l'erreur de Positionnement attendue sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Source d erreur	Erreur attendue (en m)
Horloge satellite	0,5 à 1
Horloge récepteur	1 à 1,5
Ephémérides	0,5 à 1
Ionosphère	0 à 50
Troposphère	2 à 30
Multi-trajets	0 à qqes dizaines de m
Code SA	0 à 30
Somme des erreurs :	4 à 130

Erreurs de mesure

Erreur	Solution
Orbite satellite	Mode relatif
Horloge satellite	Termes correctifs radiodiffusés, mode relatif
SA	Mode relatif
Ionosphère	Mode relatif, récepteurs bi-fréquence
Troposphère	Mode relatif, modèle fonction des conditions météo
Multitrajets	Surfaces réfléchissantes à proximité des antennes à éviter, sélection des antennes, masque d'élévation
Horloge du récepteur	<ul style="list-style-type: none">• Paramètre intervenant directement dans le calcul de la position• En général, plus les récepteurs sont dispendieux, plus l'horloge est précise
Bruit pseudodistance (SNR [<i>signal-to-noise ratio</i>])	Redondance d'observations, filtrage avec mesures de phase

Conclusion

On peut dire comme une conclusion que le système GPS provoque une grande révolution de technologie moderne dans le domaine de topographie et faciliter les obstructifs que l'on trouve dans les instruments traditionnelle avec son rapidité, précision et le facilité de calcule.