

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté des Sciences de l'Ingénieur  
Département d'Aéronautique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention de diplôme des  
Études universitaire appliquées

Spécialité : Aéronautique

Option : Avionique

# Simulation de l'acquisition au niveau d'un récepteur GPS



*Réalisée par :*

DOKMANE AMINA SARA

AYAD YASMINA

*Promotrice :*

Mme SARI El-kahina

*Copromoteur :*

M. K.BENACHENHOU

Promotion 2007

### **Résumé :**

Ce travail est consacré à l'étude et la simulation de l'acquisition d'un signal **GPS**. Après une présentation générale du système **GPS**, on a présenté les propriétés essentielles des codes de **Gold** puis nous avons adopté l'une des méthodes utilisées pour l'acquisition, cette dernière est simulée sous le logiciel **Simulink**, une analyse complète de notre simulation sera présentée.

### **Abstract:**

The goal of this work is to study the acquisition of **GPS** signal. First we present a general idea about **GPS** system; then we study the essentials properties of **Gold** codes, at this level we present a method of acquisition that we have simulate under **Simulink** software. Finally, a complete analyse will be presented.

## INTRODUCTION GENERALE

Le système de positionnement par satellite **GPS** (global positioning system) a trouver son application dans la surveillance civile et ainsi que dans les applications de la navigation (aérienne et maritime).dépassant son but original qui est le service militaire, son principe générale se repose sur l'utilisation d'émetteurs satellitaires et des récepteurs terrestres, dans le but de positionner au mieux les différents utilisateurs (avion, automobile.....)

Actuellement, il existe deux systèmes de positionnement par satellites connus dans le monde : le système américain **NAVSTAR** (navigation satellite and timing) basé sur une constellation de **28** satellites et le système russe (**GLONASS**) qui est basé sur l'emploi de 24 satellites.

A cause des difficultés qu'on peut trouver dans la réalisation pratiques et pour avoir une bonne appréciation de la partie traitement du signal **GPS**. L'objectif de notre modeste travail est d'étudier le mode de fonctionnement d'un récepteur **GPS**, principalement la partie acquisition. Pour cela nous avons simulé le module d'acquisition existant au niveau du récepteur, cette simulation est réalisée sous le logiciel '**simulink**', le générateur de code de Gold associé au **GPS**, les propriétés de corrélation du signal ainsi que l'acquisition seront présentés et analysés suivant les différentes phases de traitement.

Notre travail s'articule sur trois chapitre, dont :

- Le premier chapitre introduit en premier temps une description générale du système GPS, puis nous présentons quelques applications associées.
- Le deuxième chapitre, est réservé à l'étude détaillée des propriétés de corrélation des codes de **Gold**, ces propriétés sont très essentielles pour réaliser l'opération d'acquisition.
- Le dernier chapitre, présente notre méthode d'acquisition proposée ainsi que l'ensemble des simulations réalisées.

Finalement, une conclusion générale sera présentée.

# Chapitre I

## GENERALITES SUR LE SYSTEME GPS

## I.1 Introduction :

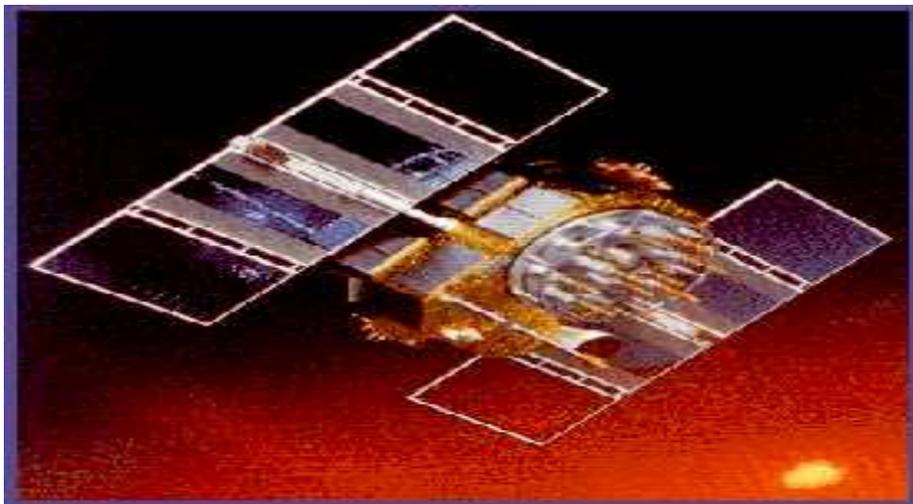
### I.1.1. Définition :

Le **Global Positionning System (GPS)** peut se traduire par Système de Positionnement Général. C'est un système de positionnement par satellites créé par l'armée américaine dans le contexte de la Guerre Froide. Son objectif est 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.

Afin de comprendre le contexte de son développement, il faut bien rappeler que c'est une propriété américaine accessible au monde entier.

### I.1.2. Historique :

TRANSIT c'est le premier des systèmes de navigation par satellites ,il a été développés par l'armée de la marine des ETATS UNIS et était opérationnel depuis 1967 ,le système était ouvert aux utilisateur civil, Le système NAVSTAR a été développé pour remplacer TRANSIT il est conçu pour répondre aux question « quelle l'heure ,quelle est la position et quelle est vitesse »,il est né en 1973 de la fusion de deux programmes expérimentaux ,l'un de L'U.S.NAVY ,l'autre de l'U.S.AIR FORCE.



**Figure I.1** : Un satellite.

Le GPS a été développé dans le contexte de la Guerre Froide, et a donc, à la base, une utilisation militaire. Les missiles téléguidés avaient parfaitement à l'époque la capacité de suivre exactement un itinéraire précis, cependant pour connaître le point d'impact exact, il fallait connaître précisément le point de tir. Or, souvent lancés d'un sous-marin, les missiles ne

connaissaient pas les coordonnées du point de départ. Le GPS permettait donc de repérer le positionnement du sous-marin et ainsi d'augmenter la précision des missiles. Evidemment le GPS pouvait servir également à positionner les installations ennemies ou à coordonner des déplacements d'armée. 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 Département of Défense.
- **1972** : Etudes préliminaires de faisabilité.
- **1974 - 79** : Validation du modèle.
- **1978 – 86** : Mise en place de la première constellation de satellites BLOCK I  
L'explosion de la navette Challenger survenue en janvier 1986 à interrompue la procédure de lancement, ce qui a entraîné une remise en cause du projet et la décision d'utiliser un lanceur spécifique (DELTA II) pour les prochains satellites. Les lancements ont repris en 1989.
- **1989 – 94** : Mise en place de la deuxième constellation et de ses variantes BLOCK II/IIA/IIR

Le département de la défense a déclaré le système GPS totalement opérationnel en **1995**.

## **I.2. Objectifs :**

A l'origine le GPS a été conçu afin de fournir aux forces armées un système de repérage globale et de très bonne précision. Cependant, il s'est très rapidement posé le problème de l'accessibilité du service. En effet, de nombreuses applications civiles pouvaient vouloir recourir à ce système et il n'était pas imaginable de laisser le service en libre accès à tout le monde, n'importe quel pays agresseur pouvant alors l'utiliser à son profit. Dès le début, les USA voulaient s'assurer la maîtrise totale quand à l'exploitation du système GPS, mais ne voulaient pas exclure les applications civiles. Ils ont alors su intelligemment allier leurs intérêts militaires à leurs intérêts économiques. Ce fût le départ de deux orientations: la version militaire et la version civile du GPS. Il fallait trouver un système permettant une utilisation simple et efficace du GPS pour les civils, tout en laissant à l'armée américaine le contrôle et l'utilisation optimale du concept.

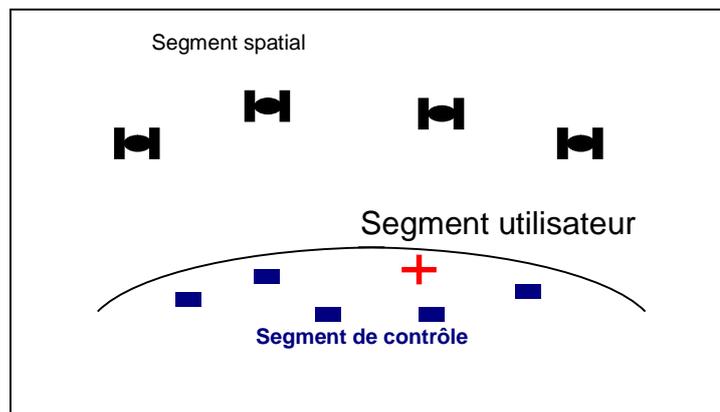
Le système GPS offre donc deux services se différenciant par la précision des résultats obtenus :

- **PPS (Précise Position Service)** : Ce service de grande précision (quelques mètres) est réservé aux militaires américains et à certains utilisateurs autorisés par le département de la défense.
- **SPS (Standard Position Service)** : Ce service a été mis à disposition des utilisateurs civils. Une dégradation volontaire a été mise en place par les gérants du système GPS et limite la précision de positionnement à +/- 100m en soumettant le système à une dégradation volontaire des signaux.

### 1.3. Architecture du système GPS :

Le GPS est constitué de 3 parties distinctes :

- **Le segment spatial.**
- **Le segment de contrôle.**
- **Le segment utilisateur.**

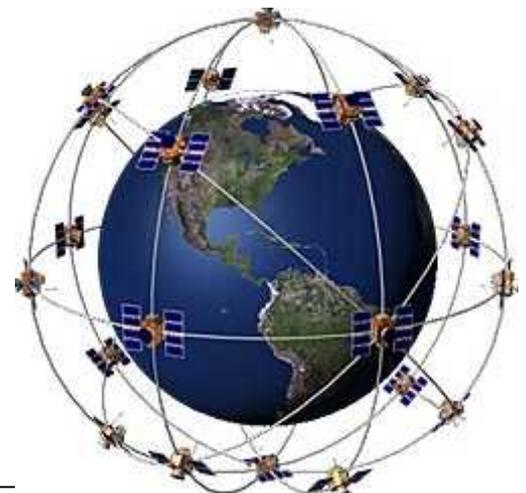


**Figure I-2** : Segment utilisateur et Segment contrôle.

#### 1.3.1. Le segment spatial :

La constellation GPS est constituée de 24 satellites maintenus en orbite, dont 21 sont garantis disponibles en permanence. Le terme "constellation" implique une orbite circulaire inclinée : le satellite est en orbite autour de la terre et maintient un rayon constant par rapport au centre de la terre, ainsi qu'une vitesse constante.

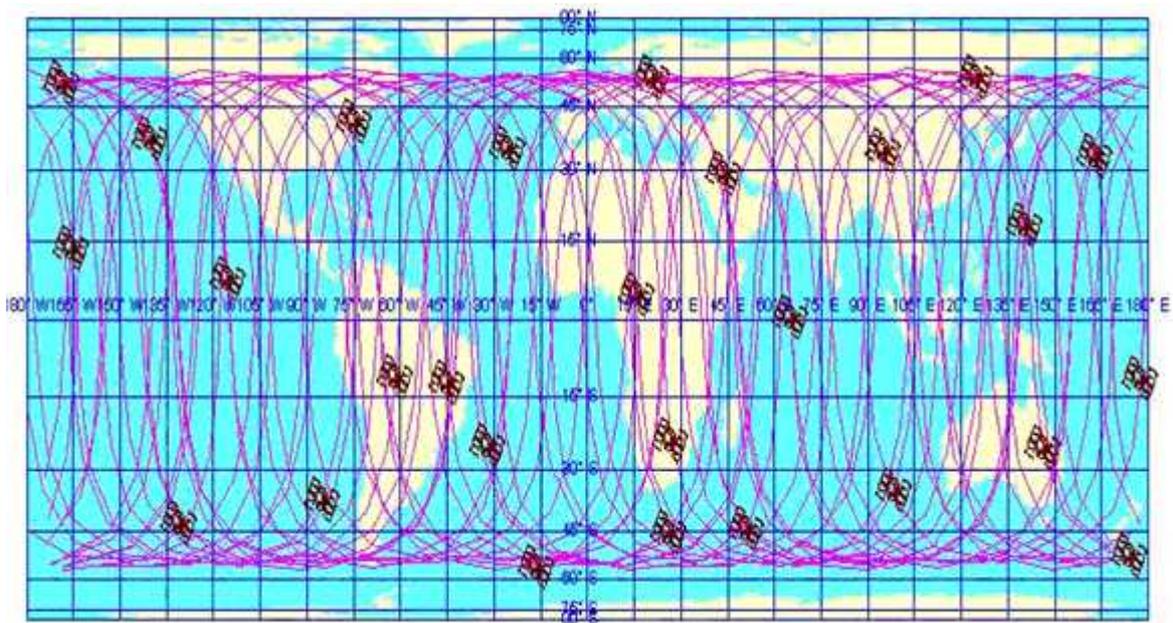
Ces satellites évoluent à une altitude d'environ 20200 km et mettent 12 heures pour effectuer une rotation autour de la terre. Le nombre, l'altitude des satellites et l'inclinaison des plans des orbites sont choisis de telle sorte qu'à tout instant, en tout point de la terre, on puisse voir le nombre de satellites minimal pour l'utilisation envisagée.



Ces satellites défilent par rapport à la terre dans des plans qui font des angles plus ou moins grands avec le plan équatorial terrestre :

- 6 plans orbitaux sont définis.
- On compte 4 satellites par plan.
- Chaque satellite est espacé de  $60^\circ$ , formant un angle de  $55^\circ$  avec l'équateur.

Le même trajet est répété toutes les 24 Heures. Ainsi, sur n'importe quel point de la planète, de 5 à 8 satellites sont toujours visibles alors que seulement 4 satellites sont nécessaires pour avoir un positionnement tri dimensionnel et la vitesse d'un récepteur.



**Figure I-3 :** Exemple de positionnement des 27 satellites lors d'une orbite terrestre.

Chaque satellite possède un oscillateur qui fournit une fréquence fondamentale de 10,23 MHz calibrée sur des horloges atomiques. L'émetteur génère deux ondes (L1 et L2) de fréquence respective 1575,42 MHz et 1227,60 MHz. Il transmet régulièrement des signaux horaires, la description de l'orbite suivie (éphéméride) et diverses autres informations.

Les caractéristiques d'un satellite :

- Durée de vie : 7 ans et demie
- Masse : entre 500 et 800 kg
- Puissance embarquée : 700 W en fin de vie
- 2 antennes : une bande L pour la localisation et une bande S pour la télémétrie

- 2 horloges au césium.
- 2 horloges au rubidium.

### 1.3.2. 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. Elles sont réparties sur différents pays afin qu'au moins une station contrôle un satellite donné. La station principale est située sur la Falcon Air Force Base dans le Colorado. Le rôle de ces stations est d'assurer le suivi des satellites, mais aussi de leur envoyer les corrections d'erreurs de positionnement. Ceci permet d'augmenter la fiabilité du système en permettant à tout instant de vérifier que les informations générées par chacun des satellites sont correctes.

Chaque station est capable de :

- Recevoir des données du satellite.
- Calculer des éphémérides (données orbitales).
- Corriger l'horloge.
- Contrôler les satellites.
- Echanger des données avec les autres stations.
- Transmettre au satellite les corrections qu'il doit adopter.

Il existe 5 stations de surveillance (monitor stations) dispersées dans le monde :

- Hawaï.
- Ascension.
- Diego Garcia.
- Kwajalein.
- Colorado Springs.

Et 4 stations de ré-émission (up load stations) : idem sauf Hawaï.

Colorado Springs est la station principale (master control station). Elle gère toutes les transmissions ainsi que les calculs (Ephémérides et horloge de chaque satellite).



Figure I-4 : Le segment de contrôle.

#### I.3.4. Le segment utilisateur :

La partie utilisateur comprend l'ensemble des récepteurs civils et militaires qui ne font que recevoir les informations des satellites. Les récepteurs convertissent les signaux émis par les satellites afin de récupérer les informations de position, vitesse et estimation de temps. Pour déterminer ces paramètres, quatre signaux satellites sont nécessaires.

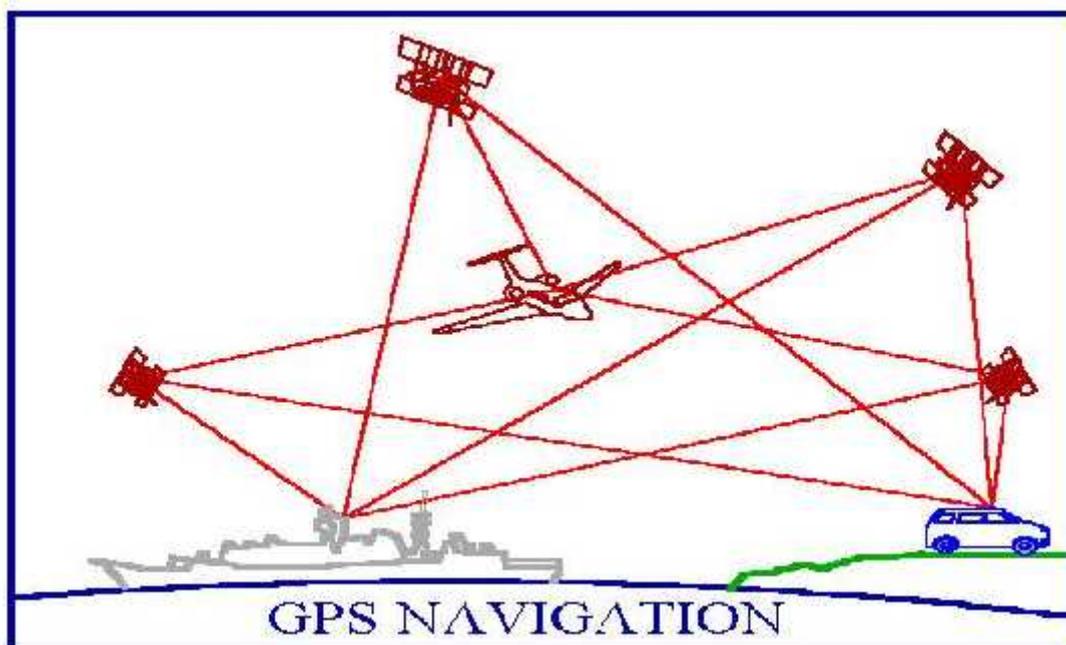


Figure 1-5 : Segment utilisateur.

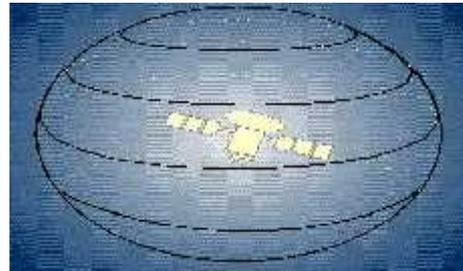
## I.4. Principe de fonctionnement :

### 1.4.1. Principe de triangulation :

Le principe du positionnement GPS est très proche du 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 de l'utilisateur. On peut décomposer ce principe en 3 étapes :

➤ **1<sup>ère</sup> étape :**

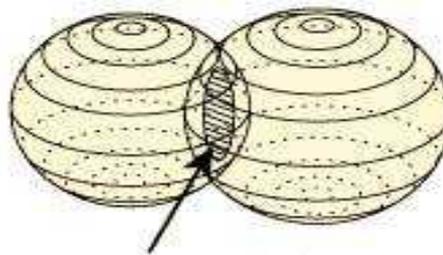
Supposons pour commencer que nous connaissons la distance séparant un satellite d'un récepteur GPS. Sachant que le satellite a une position X précise et définie dans un espace à 3 dimensions, l'ensemble des points possibles où pourrait se situer l'utilisateur du GPS est la sphère de centre le satellite et de rayon la distance connue (voir figure en face).



➤ **2<sup>ème</sup> étape :**

En faisant intervenir un 2<sup>ème</sup> satellite qui connaît la distance le séparant du récepteur, on obtient pour ensemble des points possibles, un cercle, issu de l'intersection des 2 sphères.

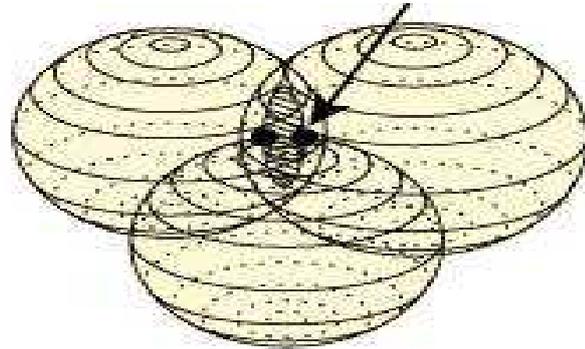
(Voir la figure).



➤ **3<sup>ème</sup> étape :**

Le raisonnement est identique avec un 3<sup>ème</sup> satellite. On obtient alors 2 points possibles. Dans notre contexte, l'utilisateur n'est pas un astronaute flottant dans l'espace, donc il se trouve sur la

surface terrestre. Connaissant cette donnée, on peut en déduire sa position exacte en éliminant le point donnant un résultat incohérent (voir figure ci-dessous).



#### I.4.2. Mesure de la position :

On mesure ainsi la distance entre l'utilisateur et un certain nombre de satellites de positions connues, le récepteur GPS étant capable d'identifier le satellite qu'il utilise à l'aide du signal pseudo aléatoire émis par chacun d'entre eux. Il charge, à l'aide de ce signal, les informations sur l'orbite et la position du satellite.

Pour mesurer la distance qui sépare le satellite du GPS, on mesure le temps  $T$  mis par le signal pour aller de l'un vers l'autre. Le signal voyageant à la vitesse de la lumière, la distance recherchée est donnée par :

$$d = c \cdot T$$

La mesure de  $T$  nécessite une manipulation : Le satellite et le récepteur émettent tous deux au même instant (instant réglé sur l'horloge générale du système GPS) le code pseudo aléatoire PRN (le récepteur en génère une réplique).

Le récepteur retarde ensuite le début de cette émission jusqu'à ce que son signal se superpose avec celui provenant du satellite. La valeur de ce retard est ainsi le temps mis par le signal pour se propager du satellite jusqu'à l'utilisateur.

L'utilisation de cette méthode avec trois satellites permet alors à l'utilisateur de déterminer ses distances  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  par rapport à trois satellites de positions connues.

Ainsi, si  $(x, y, z)$  sont les coordonnées de l'utilisateur et  $(x_i, y_i, z_i)$  celles des satellites, on obtient le système de trois équations à trois inconnues ci-dessous dont la résolution aboutit aux coordonnées de l'utilisateur.

$$R_i^2 = (x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2$$

$$R_2^2 = (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + (z-z_2)^2$$

$$R_3^2 = (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 + (z-z_3)^2$$

Ti correspond à la durée du trajet reliant le satellite au récepteur. ( $R_i = c \cdot T_i$ ),  $c = 3.333 \cdot 10^8$

### I.4.3. Mesure de la vitesse :

Le système GPS permet de déterminer la vitesse à laquelle se déplace l'utilisateur. Cette évaluation fait par mesure de doppler le signal provenant d'un satellite GPS .En effet , le signal perçu par le récepteur GPS n'a pas exactement la même fréquence que lorsqu'il est généré par le satellite .Suivant le principe Doppler ,le rapport des fréquences est en fonction des positions et des vitesses relatives de satellite et de l'utilisateur .Si N est la fréquence du signal généré dans le satellite et N' la fréquence à laquelle il est perçu par le récepteur , on a  $N' = N$  ,la vitesse du satellite est calculé à partir de l'éphéméride transmise et les coordonnées sont calculées lors de la détermination de la position.

## I.5. Les signaux GPS :

### I.5.1. Les signaux satellites (La modulation) :

Les satellites transmettent sur deux fréquences porteuses. La première, L1, de fréquence 1575,42 MHz, est utilisée pour le message de navigation et les signaux du code SPS, alors que la deuxième, L2, de fréquence 1227,60 MHz, est utilisée pour mesurer le temps de retard dû à la ionosphère pour les récepteurs travaillant en PPS.

L'utilisation de deux porteuses permet d'une part de mesure le temps de groupe, retard de la modulation d'un signal par rapport à la phase de sa porteuse. Dans le cas du GPS, le temps de groupe et la vitesse de la phase sont différents du fait de la nature de l'ionosphère et ce phénomène dégrade la précision de la mesure.

Le signal est modulé en modulation de phase. Trois codes binaires modulent la phase de la porteuse :

- Le code C/A (Coarse Acquisition) module la porteuse L1. Ce code est un code pseudo aléatoire répétitif de 1 MHz (Pseudo Random Noise Code) . Chaque satellite possède un code pseudo aléatoire différent. Il sert de base pour le système de mesure SPS.

- Le P-Code (Précise Code) module les deux porteuses L1 et L2. C'est un long code pseudo aléatoire de 10 MHz. Il sert de base pour le système PPS. Le cryptage de ce code dépend du département de la défense et nécessite une clef.
- Le message de navigation module également le code C/A sur la porteuse L1. Ce message est un signal de 50 Hz constitué de bits de données décrivant les orbites du satellite GPS, les corrections de son horloge, ainsi que d'autres paramètres système.

On note que le choix de la bande L résulte d'un compromis entre de nombreux critères .on peut citer deux des plus importants :

- Les pertes de propagation en espace libre croissantes en  $f^2$ .
- La complexité donc le coût des matériels croissant également avec la fréquence.

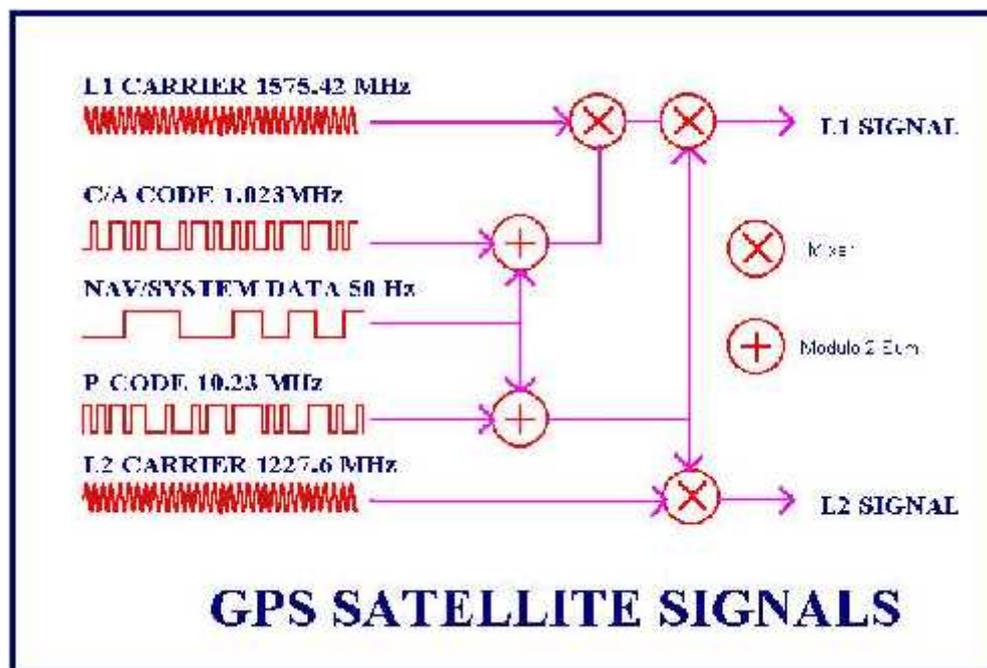


Figure I-6 : le signal de satellite GPS.

### I.5.2. Le message de navigation :

Chaque satellite GPS émet un message de navigation qui contient toutes les données nécessaires au récepteur pour effectuer les calculs de navigation (Orbite du satellite, correction d'horloges, etc....).

Ce message est une suite de données binaires transmises en mode série à 50 bits/s (50 Hz, soit 0.02s /bit). Il est composé de 5 sous-trame de 300 bits chacune. Donc pour chaque sous trame il faut ( $300 \times 0.02 = 6s$ ). Une trame comporte donc 1500 bits et il faut 30 secondes au récepteur pour l'acquérir entièrement. Ces données comprennent :

- une information de l'état de santé du satellite.
- les informations nécessaires à l'acquisition du code du message.
- les informations de précision du satellite.
- une information concernant le retard de propagation dû à la ionosphère.
- les éphémérides du satellite.

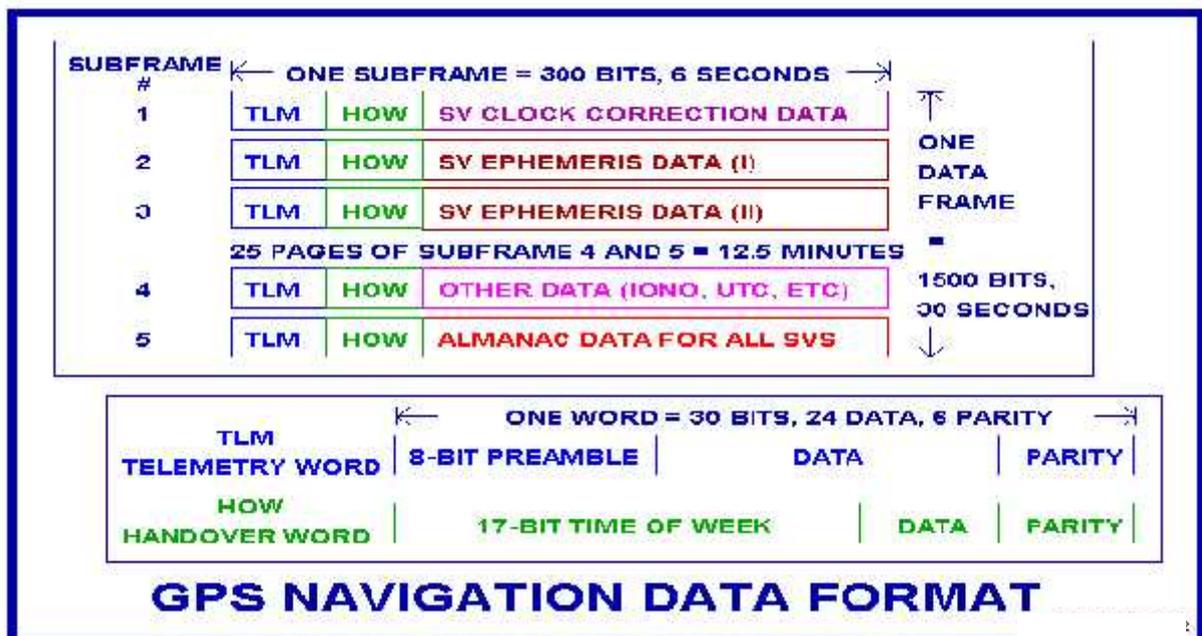


Figure I-7 : le message de navigation.

- Clock data décrit l'horloge du satellite et sa relation avec le temps GPS.
- Ephemeris data décrit l'orbite du satellite. Les données sont mises à jour toutes les heures et restent valides pour 4 heures sans trop d'erreurs.
- Almanachs data décrit les orbites de tous les satellites.
- Chaque message délivre les données sur la ionosphère qui permettent de calculer les délais à travers cette dernière depuis n'importe où et à n'importe qu'elle heure.
- L'heure GPS est calée sur l'heure universelle (UTC, Universal Coordinated Time).

### I.5.3. Le décodage :

La modulation par un signal pseudo aléatoire entraîne qu'un démodulateur normal verra le signal de réception comme du bruit. La réception dans le GPS est donc basée sur l'utilisation de corrélateurs qui déterminent la qualité "d'identité" de deux signaux.

A partir de la séquence pseudo aléatoire connue, le récepteur va générer une réplique du signal que produit le satellite. Le signal reçu va ensuite être corrélé au signal généré par le récepteur. La corrélation des deux signaux va permettre d'identifier ou non les deux signaux. Chaque satellite possède une signature pseudo aléatoire différente.

Les émissions sont effectuées toutes les secondes et synchronisées sur l'heure GMT. Toutes les horloges de bord des satellites étant au césium, il se trouve donc que les messages de tous les satellites sont émis rigoureusement simultanément. Le récepteur et le satellite émettent donc 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 sera reçue par le récepteur, celui-ci pourra 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.

#### **I.5.4. La génération du code pseudo aléatoire C/A :**

Lorsque le récepteur veut se positionner, il lui faut recevoir le code d'un satellite. Pour cela il génère une séquence pseudo aléatoire qui malheureusement risque d'être inexacte. Ceci a pour conséquence la non-détection par le corrélateur puisque les 2 séquences du récepteur GPS et du satellite n'étant pas synchronisées.

Après une milliseconde de scrutation, le récepteur décale la séquence d'un bit, puis recommence autant de fois que nécessaire pour les 1024 possibilités. Au bout d'une seconde environ ( $1024 \times 1\text{ms}$ ), le récepteur doit avoir trouvé le satellite. Dans le cas contraire, il recherche un autre satellite. La recherche complète lui prend donc au maximum 24 secondes (temps nécessaire pour scruter les 24 satellites). Dans le cas où le positionnement est une mise à jour à partir d'une mesure de position récente, le récepteur GPS est capable d'optimiser la recherche en mettant une priorité dans son choix des satellites à rechercher.

Une fois le récepteur synchronisé avec le satellite, il génère toutes les 1024 ms le code similaire à celui du satellite. Ce qui va lui permettre de mesurer sa pseudo distance vis à vis de ce premier satellite. Puis le récepteur refait de même pour trois autres satellites pour établir son système d'équations de positionnement.

Le code pseudo aléatoire C/A de chaque satellite est en réalité constitué de 2 générateurs pseudo-aléatoire, ils sont initialisés à 1 et les polynômes générateurs sont connus (code civil), les

signaux issus des 2 générateurs sont mélangé, mais le second est décalé de n bits, ce qui définit la signature du satellite, le tout forme toujours u code pseudo-aléatoire.

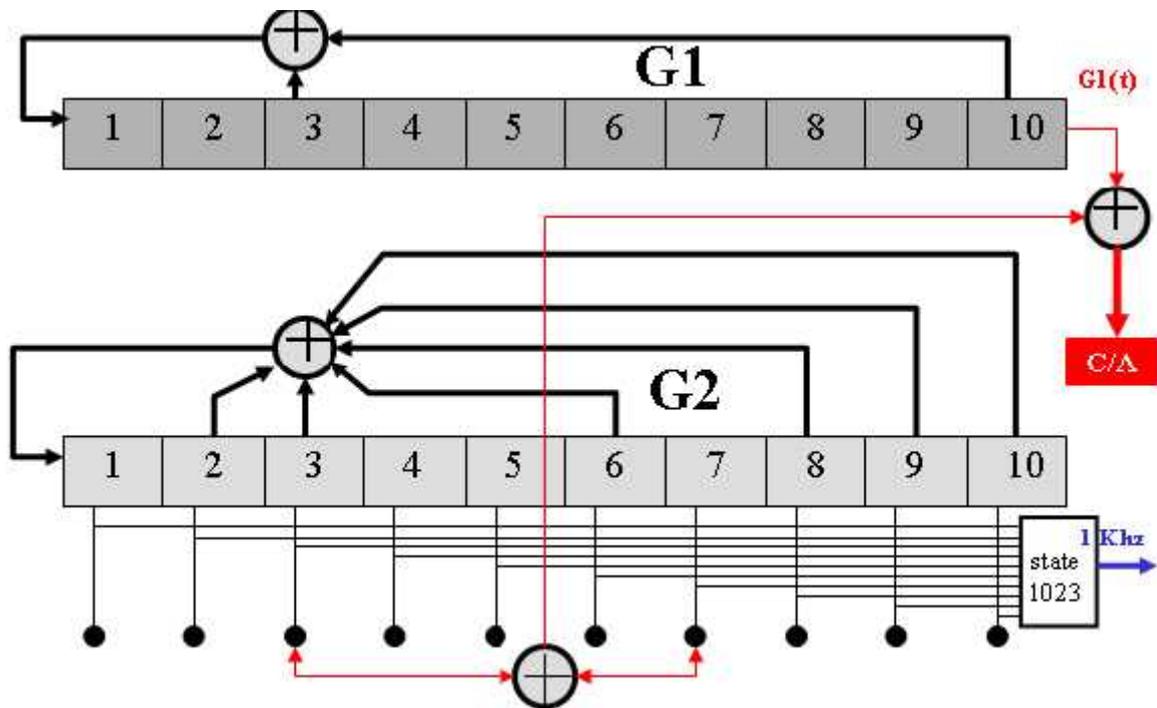


Figure I-8 : La génération du code pseudo aléatoire C/A.

### I.5.5. Le code P :

C'est la partie du système qui est chassée et réservée au militaire. Le débit est plus important, la génération pseudo-aléatoire est identique à celle du code C/A, mais les polynômes ne sont pas connus. La synchronisation se fait aussi par glissement d'une réplique. Pour que cela ne prenne pas trop de temps, le code HOW envoyé dans les messages donne une indication sur l'état du générateur P.

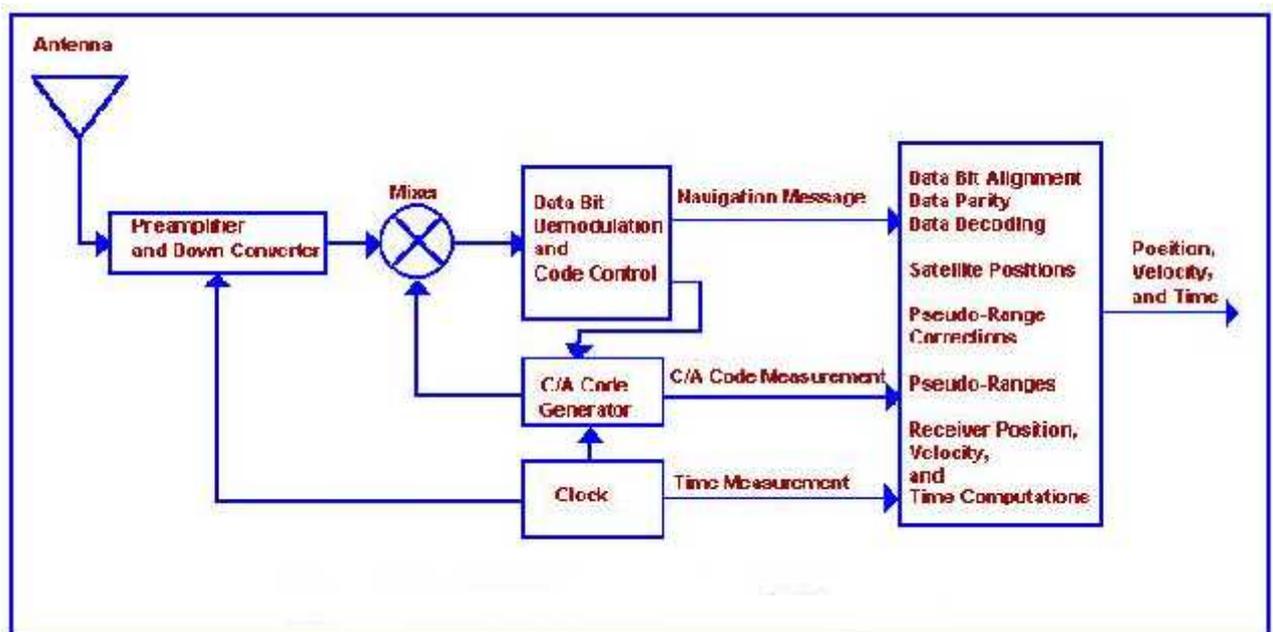
L1 et L2 étant utilisées, un recouvrement est possible. Ce qui en outre permet de mieux corriger les perturbations atmosphériques gênant les délais de transmission et donc faussant les pseudo-distances. En mode P cette correction est faite depuis un modèle mathématique.

### I.5.6. La démodulation :

Le GPS reçoit la fréquence L1 à un niveau de signal de -130 dBm et la largeur de sa bande est de 2 MHz. Le niveau de réception des signaux reçus étant très faible, il est nécessaire d'amplifier ce signal par l'intermédiaire d'un amplificateur (Il s'agit du premier étage du récepteur des ondes radio). C'est en fait un amplificateur faible bruit ayant un gain important permettant ainsi d'augmenter le niveau du signal reçu sans ajouter de bruits supplémentaires. A la suite de cet

amplificateur, se trouve un filtre passe bande laissant passer les fréquences utiles du signal (fréquences radio du satellite). La majorité des informations sont contenues dans la bande centrale d'1 Mhz.

Trois paramètres principaux sont à prendre en compte : le bruit, le gain en puissance et la sensibilité du récepteur. Le processus de traitement du signal consiste en deux étages diminuant la fréquence et trois étages d'amplification. Une simple diminution de fréquence est théoriquement préférable, mais avec un double abaissement on obtient des systèmes plus simples à réaliser. Un abaissement avec un double étage a été choisi car le gain est réparti sur trois étages d'amplification. De plus, l'oscillateur local est ainsi mieux isolé du bruit du récepteur.



**Figure 1-9 :** Bloc de diagramme de récepteur GPS simplifié.

Une PLL (boucle à verrouillage de phase) et une référence basse fréquence sont utilisées pour produire les signaux RF et IF du signal de l'oscillateur local (un Quartz génère la fréquence de référence). La majorité des PLL comportent un VCO. Un réseau LC est nécessaire pour les opérations du VCO et de la PLL.

En sortie du mélangeur, le signal est filtré à l'aide d'un filtre bande de base. La fonction de ce filtre est d'une part de supprimer les fréquences radio et les signaux de l'oscillateur local, et d'autre part de fixer une largeur de bande prédéfinie. Enfin, un amplificateur bande de base amplifie ce signal contenu dans la bande de fréquence désirée.

Le signal ainsi obtenu en bande de base constitue les trames d'informations des satellites. Ces dernières portent les éphémérides et sont analysées en utilisant des logiciels.

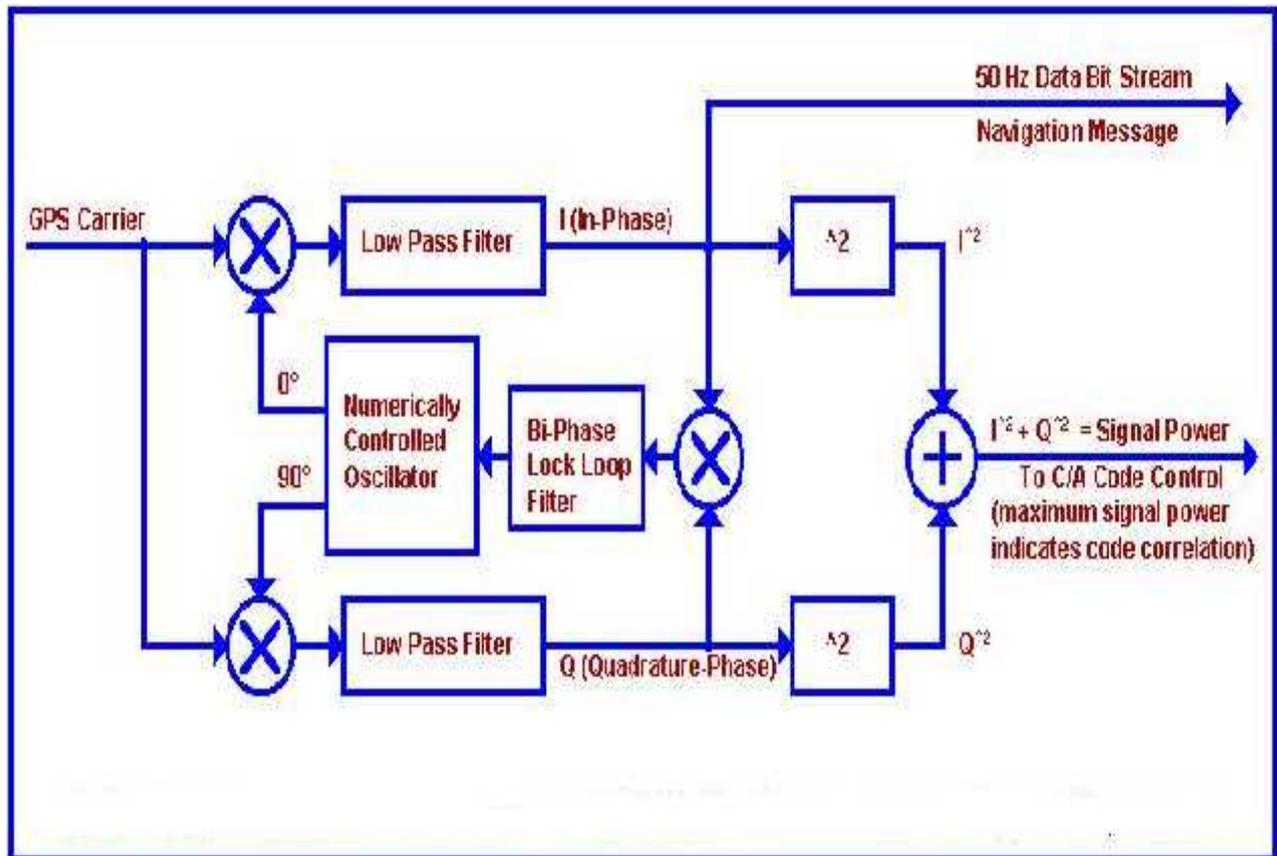


Figure I-10 : block de code C/A et de démodulation GPS.

### I.5.7. Les éphémérides :

Le satellite envoie les informations à un débit de 50 b/s, elles sont découpées en cinq sous trame de 30 bits. Chaque sous trame contient le mot de télémesures et le mot de passage du code C/A au code P (HOW). Les trois premières sous-trames contiennent les informations de corrections relatives aux satellites, les deux autres les éphémérides moins précises des autres satellites. Un faible débit est nécessaire pour que l'on obtienne une bonne synchronisation du récepteur. Celle-ci permet aussi d'assurer le bon fonctionnement du corrélateur de signaux. Il faut 12mn et demi pour transmettre l'ensemble des informations. Les données sont valides pendant 4 heures. Un allumage à froid (première fois) conduit le récepteur à charger toutes les éphémérides des satellites visibles. Ensuite il les réactualisera au fur et à mesure. Pour cette raison une première mise sous tension dure généralement près d'un quart d'heure, une mise sous tension à froid environ 1mn (TTFF Time To Fit Fix) et une mise sous tension à chaud (hors tension depuis peu de temps)

est très rapide car les éphémérides sont encore d'actualité.

## I.6. La précision du système :

### I.6.1. Sources d'erreurs :

Le signal reçu diffère du signal émis pour plusieurs raisons :

- le bruit du canal de transmission
- le décalage temporel dû au temps de propagation et aux décalages des horloges de l'émetteur et du récepteur
- le décalage fréquentiel dû à l'effet Doppler et aux instabilités des horloges d'émission et de réception.

La conception du récepteur doit tenir compte des incertitudes des signaux et de leurs variations.

D'autre part, le principe de positionnement GPS étant une triangulation, deux facteurs interviennent directement dans l'erreur sur la position finale :

- **La géométrie des satellites par rapport à l'utilisateur** : le facteur représentatif de cette géométrie est le G.D.O.P (Geometric Dilution Of Precision ). Si les angles entre le récepteur et les satellites sont proches, on a un GDOP pauvre, et inversement. Mais il ne suffit pas de se fixer par rapport aux éphémérides pour sélectionner les meilleurs satellites, car un obstacle peut toujours être présent et fausser les mesures. Le tableau suivant présente l'ordre de ces erreurs :

Source d'erreur	Erreur sur la mesure du temps (en nanosecondes)	Erreur sur la distance (en mètres)
Synchronisation sur l'horloge GPS.	3	1
Connaissance position du satellite	4.5	1.5
Traversée de l'ionosphère	9	3
Stabilité horloge utilisateur	3	1
Précision de la résolution équations	3	1
Contributions dynamique utilisateur	4.5	1.5
<b>Total (compensé)</b>	<b>16.6</b>	<b>4.2</b>

**Tableau I-1** : L'ordre de les erreurs de système GPS.

Cette erreur totale de 4.2 m associée à une valeur pessimiste du G.D.O.P de 6 donne une erreur approximative sur la position finale de 25 m.

### **I.7. Les applications :**

La navigation en temps réel est l'une des applications élémentaires et principales du GPS. Tout objet mobile muni d'un récepteur GPS peut connaître en temps réel sa position et sa vitesse dans un repère terrestre.

La précision attendue pour un tel mode de navigation est de 10 à 15 mètres sur sa position et de quelques centimètres par seconde sur sa vitesse si l'utilisateur utilise le code précis et une centaine de mètres dans le cas contraire.

Que ce soit sur terre, sur mer, dans les airs ou dans l'espace, ces performances excellentes et le faible coût du récepteur GPS, font de ce système un instrument de navigation très prisé.

Seule la navigation civile aérienne est encore réticente pour des raisons techniques. En effet, l'intégrité du système, c'est à dire la certitude dans un temps très court que tel ou tel satellite fournit ou non des données correctes, n'est pas assurée. Il faudrait installer de lourds moyens de surveillance de la constellation GPS et de lourds moyens politiques (il faut beaucoup de garanties pour faire accepter par la communauté internationale qu'un instrument essentiel de navigation soit entièrement dans les mains des militaires d'un pays).

Mais la navigation en temps réel est loin d'être l'unique application du GPS.

#### **I.7.1. Applications militaires :**

➤ Des essais de guidage de bombes ont eu lieu dans le désert de Yuma (Arizona, USA). Les bombes ont été larguées à une altitude de 10 000 pieds (environ 3 kilomètres). L'erreur maximale entre la déflagration et la cible initiale était en moyenne de 56 pieds (17 mètres).

L'application directe du GPS se trouve dans l'utilisation des missiles de croisière. A priori, le système NAVSTAR n'est pas approprié au guidage de missiles intercontinentaux en terrain ennemi sur des milliers de kilomètres. Cependant l'utilisation de la navigation par GPS permet d'accroître les performances de certains missiles utilisés par les américains.

➤ Les bombardiers utilisant le système NAVSTAR, pour déterminer la position de leurs cibles, peuvent potentiellement détruire de 400 à 600% d'unités ennemies de plus qu'en utilisant les systèmes de localisation habituels.

### I.7.8. Applications civiles :

Le système NAVSTAR est financé par des organismes militaires. Pourtant, nombreuses sont les applications civiles. Le GPS présente des avantages non négligeables vis-à-vis des conditions atmosphériques mais également vis-à-vis de sa non dépendance en luminosité (signal accessible jour et nuit). Ainsi il donne lieu à de multiples utilisations :

- L'utilisation du système NAVSTAR par d'autres satellites :

Certains satellites d'observation de la surface terrestre utilisent le GPS pour déterminer leur position. Le GPS leur permet de calibrer très précisément les images qui leur sont commandées.

- L'orbitographie des satellites de haute altitude :

La constellation NAVSTAR permet un positionnement précis aux satellites de basses et moyennes altitudes mais lorsqu'on franchit les 20200 Km d'altitude des satellites GPS, le positionnement est plus délicat. Au delà de cette altitude on ne peut recevoir des signaux GPS que des satellites situés dans l'hémisphère opposée de celle où l'on se trouve. La plupart de ces signaux sont cachés par la terre et ceux qui proviennent des satellites plus excentrés sont très affaiblis.

Le système GPS reste cependant exploitable pour des satellites munis d'antennes à gain très important. La géométrie des satellites utilisables n'étant pas optimum, la précision atteinte reste très en dessous de celle des satellites de basse altitude.

- Pour les compagnies de service public :

Les compagnies de transport en commun, de taxis, les ambulances ou encore les pompiers, utilisent le GPS afin d'améliorer leur efficacité, pouvant ainsi gérer en temps réel la position de leur 'flotte' de véhicules.

- La voiture du futur :

Très bientôt, nos véhicules seront tous équipés de systèmes de navigation GPS avec un système informatique embarqué permettant de donner des informations sur un chemin à suivre, sur des lieux à éviter ou à visiter et sur les conditions météo.

Ces systèmes nécessitent d'avoir une grande précision. Les systèmes de navigation pour automobiles font donc appel, pour une plus grande précision, à une centrale inertielle (gyroscope) et à une boussole électronique.

Avec le GPS complété de ces deux équipements, le système de navigation arrive alors à une précision record d'environ 5 mètres ! C'est l'effort à faire pour avoir un système fiable...

- Aide à la navigation pour les trains :

La navigation des trains est également touchée par le syndrome du système NAVSTAR. Des systèmes avancés de voies ferrées (ARES) sont actuellement développés. Les trains seront précisément positionnés en temps réel grâce au signal GPS. Leurs positions, par l'intermédiaire d'ondes radio à 900 MHz, seront relayées au central. Celui-ci contrôlera le cheminement du train sur un écran et informera les voyageurs de tout retard en temps réel. Il pourra effectuer plus rapidement les interventions de maintenance et contrôler les correspondances entre cars et trains.

### **I.8. Conclusion :**

Dans ce chapitre, on a présenté le système GPS d'une façon générale, nous avons assimilé son principe de positionnement et on a également vu son fonctionnement et ces différentes applications.

# Chapitre II

## PROPRIETES DE TRAITEMENT DU SIGNAL GPS

## II.1. Introduction :

Le signal satellitaire GPS reçu réellement sur l'antenne récepteur résulte de la combinaison de trois composantes :

- L'onde porteuse ;
- Les codes pseudo aléatoires PRN ;
- Le message de navigation.

La génération du signal peut être effectuée en un certain nombre d'étapes, et toutes les composantes de ses signaux sont produites d'une manière synchronisée.

## II.2. Structure de signal GPS :

Le système GPS a une fréquence de base  $f_0 = 10,23$  MHz, qui définit toutes les autres fréquences utilisées par le système. Les satellites émettent ainsi sur deux fréquences porteuses L1 et L2 :

$$\mathbf{L1 = 1575,42\ MHz = 154.f_0.}$$

$$\mathbf{L2 = 1227,60\ MHz = 120.f_0.}$$

La fréquence de base est générée dans les satellites par des horloges atomiques, celle-ci étant légèrement décalée pour compenser les effets relativistes. Le système utilise de plus deux codes pour transmettre les données de navigation :

- **Le code P** (precision), cadencé à 10,23 MHz, est un code militaire dont l'encodage n'a pas été rendu public. Il a une période libre de 266 jours (soit 38 semaines).
- **Le code C/A** (coarse/acquisition) est quant à lui cadencé à 1,023 MHz ; c'est un code de Gold (nous reviendrons plus loin sur ses propriétés). Chaque satellite a un code unique, distinct des autres codes. Le code C/A permet une localisation plus rapide, mais moins précise. Il est de plus accessible à tous.

Les données de navigation sont transmises par un signal D prenant les valeurs 0 ou 1, dont la fréquence est de 50 Hz (ce qui signifie que l'on transmet 50 bits par secondes).

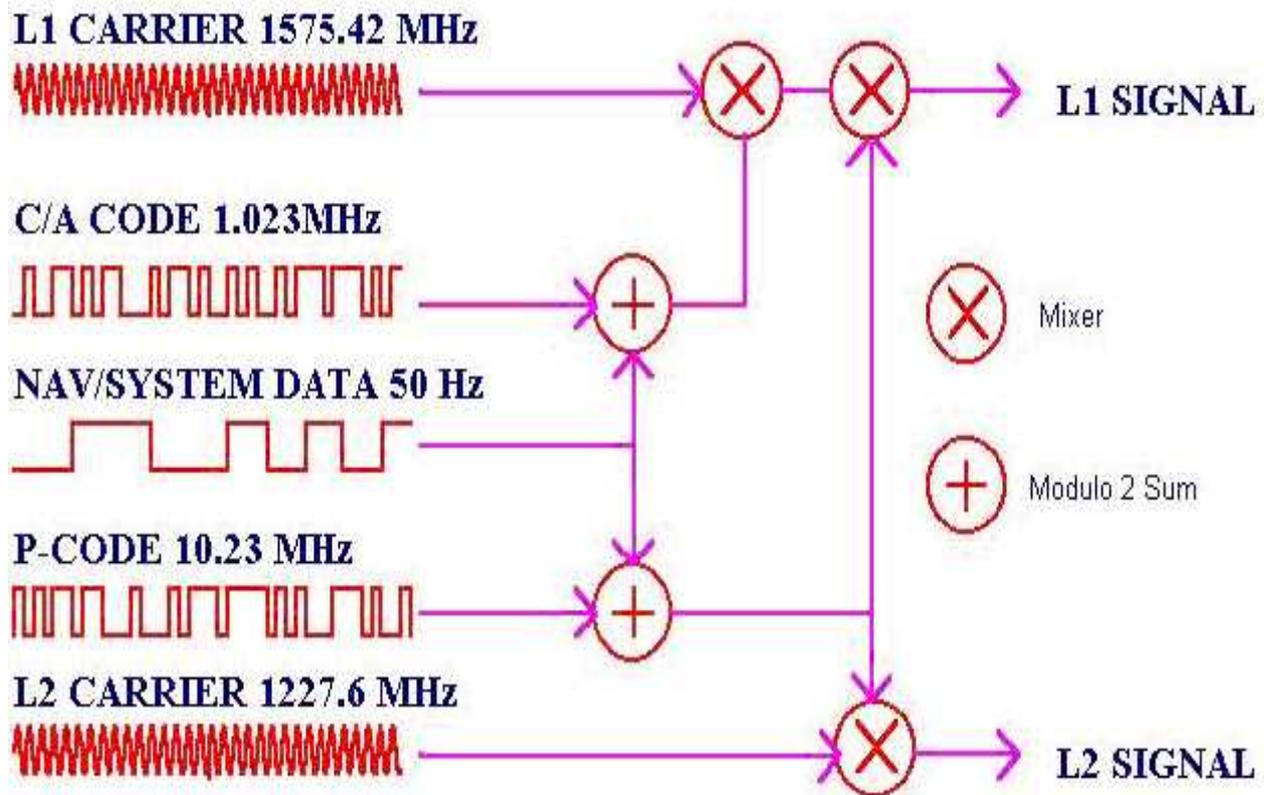


Figure II-1: Construction d'un signal GPS.

### II.3. Création du signal :

Afin de créer le signal GPS, on réalise en premier lieu une addition modulo 2 entre le message de navigation et le code choisi (P ou C/A), le signal résultant sera numérisé puis multiplié par la porteuse L1, par conséquent cette dernière est modulée en phase par le signal  $P \text{ XOR } D$  et en quadrature par le signal  $C/A \text{ XOR } D$ . La porteuse L2 est simplement modulée en phase par le signal  $P \text{ XOR } D$ . Le synoptique de la figure (II-1) illustre le processus de génération du signal GPS. Si on examine ce synoptique de gauche vers la droite, on constate que l'horloge de base ( $f_0 = 10,23$ ) est multiplié par 154 et 120 afin de générer les deux porteuses L1 et L2. Le générateur de données génère le message de navigation tandis que le générateur de code génère le code considéré. C'est deux codes sont combinés à travers une addition modulo 2 et le signal résultant sera numérisé puis multiplié par la porteuse L1, sur cette porteuse modulée en BPSK on note que le code C/A est en quadrature par rapport au code P, au contraire sur la porteuse L2 on ne trouve que le code P.

En résumé, le signal ainsi réalisé est donné sous la forme:

(II-1)

(II-2)

$$S_1 = A_p(P \oplus D)(t) \cdot \cos(2f \cdot L_1 \cdot t + \Phi) + A_c(C/A \oplus D)(t) \cdot \sin(2f \cdot L_1 \cdot t + \Phi)$$

$$S_2 = B_p(P \oplus D)(t) \cdot \cos(2f \cdot L_2 \cdot t + \Phi)$$

Où  $A_p$ ,  $A_c$ , et  $B_p$  correspondent aux niveaux de sortie des signaux,  $\Phi$  représente les imperfections de l'oscillateur, et où  $(P \oplus D)(t)$  et  $(C/A \oplus D)(t)$  prennent les valeurs (1) ou (-1).

#### II.4. Constructions des codes de GOLD :

Les caractéristiques du code de C/A sont définies ci-dessous en termes de sa structure et la méthode de base employée pour lui produire. Le récepteur d'utilisateur est alors exigé indépendamment pour se produire et synchroniser avec le code de C/A transmis par satellite et pour effectuer l'addition du modulo 2 afin de décoder et interpréter le message de navigation.

##### II.4.1. La génération du code C/A :

Le code C/A (Coarse /Acquisition) est un code relativement court de 1023 bits et d'une milliseconde de période, il est généré à 1.023 Mhz, on note que c'est un code de Gold qui est retenu grâce à ces propriétés de corrélation, ce qui autorise le multiple accès sur une seule fréquence car chaque satellite émet sur les fréquences L1 et L2 et la sélection se fait uniquement par le code.

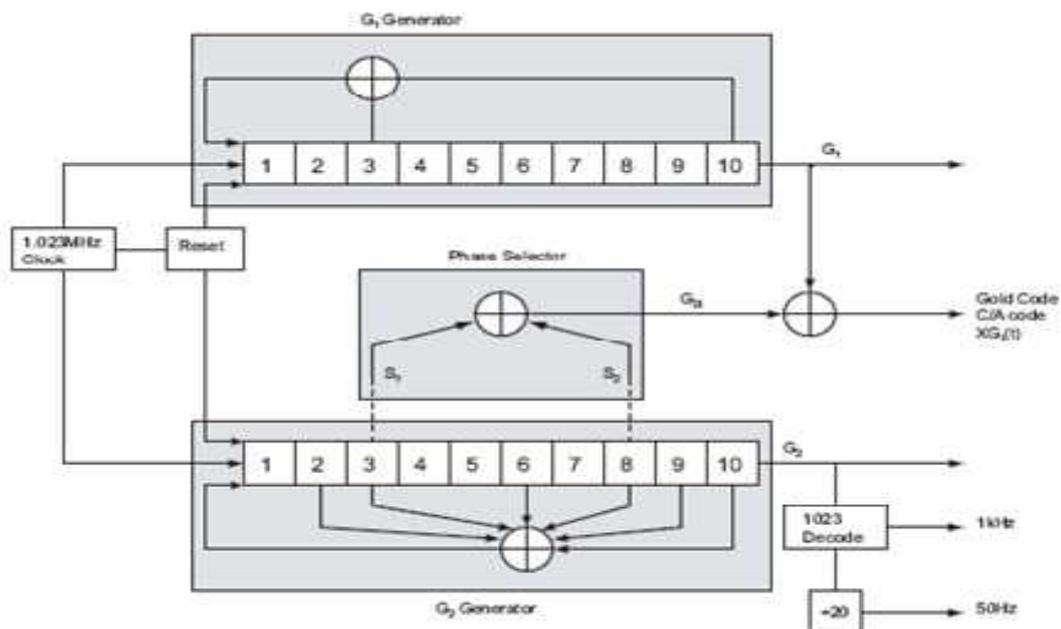


Figure II-2 : synoptique simplifié de la génération du code C/A.

La figure (II-2) montre un synoptique simplifié de la génération du code C/A. les deux registres à décalage de 10 étages sont cadencés à 1.023 Mhz, pratiquement le décalage est réalisé par deux multiplexeurs sélectionnant deux sorties du registre G2. Ces deux sorties sont additionnées modulo 2 avant d'être à leur tour additionnées à la sortie du registre G1. On note que le vecteur d'initialisation des registres G1 et G2 est '1111111111'.

N° ID du satellite	N° PRN en GPS	Sélection de code de phase	10 1 <sup>er</sup> chips octal
1	1	2 XOR □ 6	1440
2	2	3 XOR □ 7	1620
3	3	4 XOR □ 8	1710
4	4	5 □ XOR □ 9	1744
5	5	1 XOR □ □ 9	1133
6	6	2 XOR □ 10	1455
7	7	1 XOR □ □ 8	1131
8	8	2 XOR □ □ 9	1454
9	9	3 □ XOR □ 10	1626
10	10	2 □ XOR □ 3	1504
11	11	3 □ XOR □ 4	1642
12	12	5 XOR □ □ 6	1750
13	13	6 □ XOR □ 7	1764
14	14	7 □ XOR □ 8	1772
15	15	8 XOR □ □ 9	1775
16	16	9 XOR □ 10	1776
17	17	1 □ XOR □ 4	1156
18	18	2 □ XOR □ 5	1467
19	19	3 XOR □ □ 6	1633
20	20	4 XOR □ □ 7	1715
21	21	5 XOR □ □ 8	1746
22	22	6 XOR □ □ 9	1763
23	23	1 XOR □ □ 3	1063
24	24	4 □ XOR □ 6	1706
25	25	5 XOR □ □ 7	1743
26	26	6 XOR □ □ 8	1761
27	27	7 □ XOR □ 9	1770
28	28	8 XOR □ 10	1774
29	29	1 XOR □ 6	1127
30	30	2 □ XOR □ 7	1453
31	31	3 XOR □ 8	1625
32	32	4 XOR □ □ 9	1712
***	33	5 □ XOR □ 10	1745
***	34**	4 XOR □ 10	1713
***	35	1 XOR □ □ 7	1134
***	36	2 XOR □ □ 8	1456
***	37**	4 XOR □ □ 10	1713

**Tableau II-1 :** Les différentes combinaisons spécifiques pour PRN.

### II.5. Propriétés de corrélation des codes Gold :

L'accès au signal du satellite se fait par la sélection de son code (CDMA), par conséquent les codes C/A ont été choisis en fonction de leur propriété d'intercorrélation. Ceci permet à un récepteur GPS d'effectuer des mesures sur les signaux reçus d'un satellite sans être perturbé par la mesure simultanée des autres satellites visibles.

Un récepteur souhaitant s'accrocher sur un satellite doit générer un code identique au code reçu dans un canal de traitement. Puis le récepteur doit effectuer le produit des deux codes et intégrer le résultat sur un certain temps pour extraire le signal du bruit et pour éliminer les signaux des autres satellites. Cette fonction de corrélation s'exprime de la manière suivante :

$$K_{c_i c_j}(m) = \frac{1}{L} \sum_{k=0}^{L-1} c_i(k) c_j(k+m) \quad (\text{II-5})$$

Par décalage successif de sa réplique, le récepteur cherche un maximum obtenu lorsque les deux codes sont en phase. Une fois le maximum est trouvé, un verrouillage sur le signal est réalisé par des boucles de poursuite de code et de la porteuse. Celles-ci effectueront les mesures nécessaires afin d'élaborer les pseudo distances et les fréquences Doppler des satellites.

L'autocorrection s'exprime comme suit :

$$K_{c_i c_i}(m) = \frac{1}{L} \sum_{k=0}^{L-1} c_i(k) c_i(k+m) \quad (\text{II-6})$$

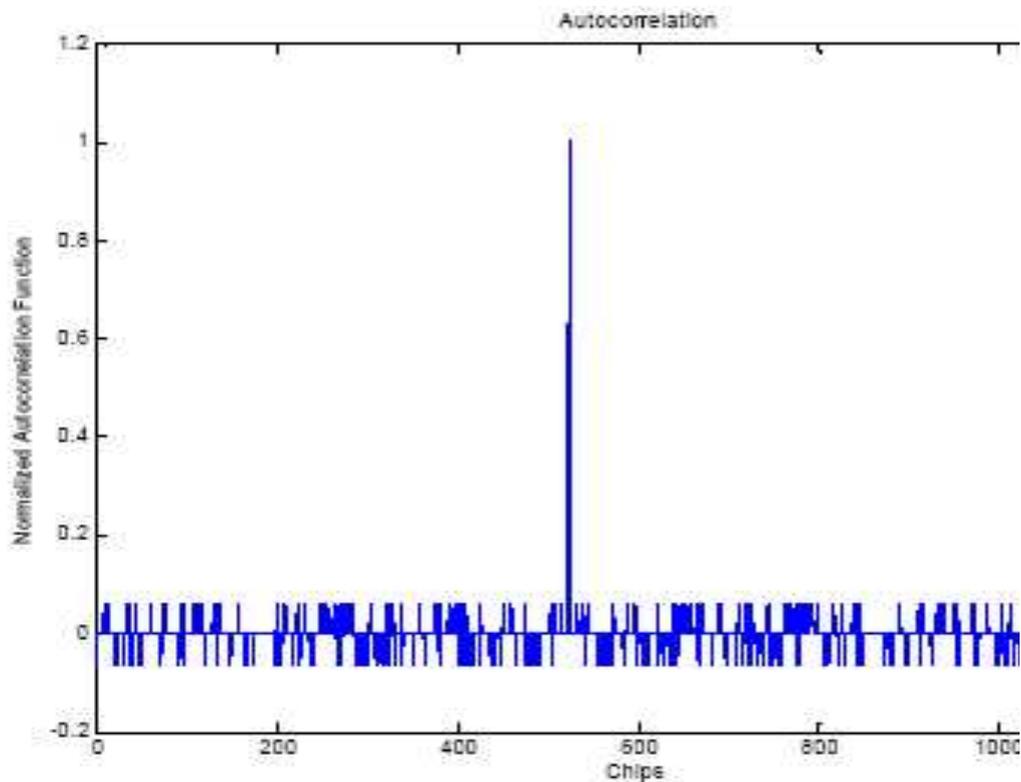
Les codes C/A sont des codes de Gold élaborés de telles manières que la fonction d'autocorrélation d'après l'équation (I-6) prenne les valeurs suivantes :

$$K_{c_i c_j}(m) = \begin{cases} 1 \\ -\frac{1}{L} \text{ or} \\ -\frac{1}{L} t(n) \text{ or} \\ \frac{1}{L} [t(n) - 2] \end{cases} \quad \text{où} \quad t(n) = \begin{cases} 1 + 2^{\frac{n+1}{2}} & \text{n impair} \\ 1 + 2^{\frac{n+2}{2}} & \text{n pair et non divisible par 4} \end{cases}$$

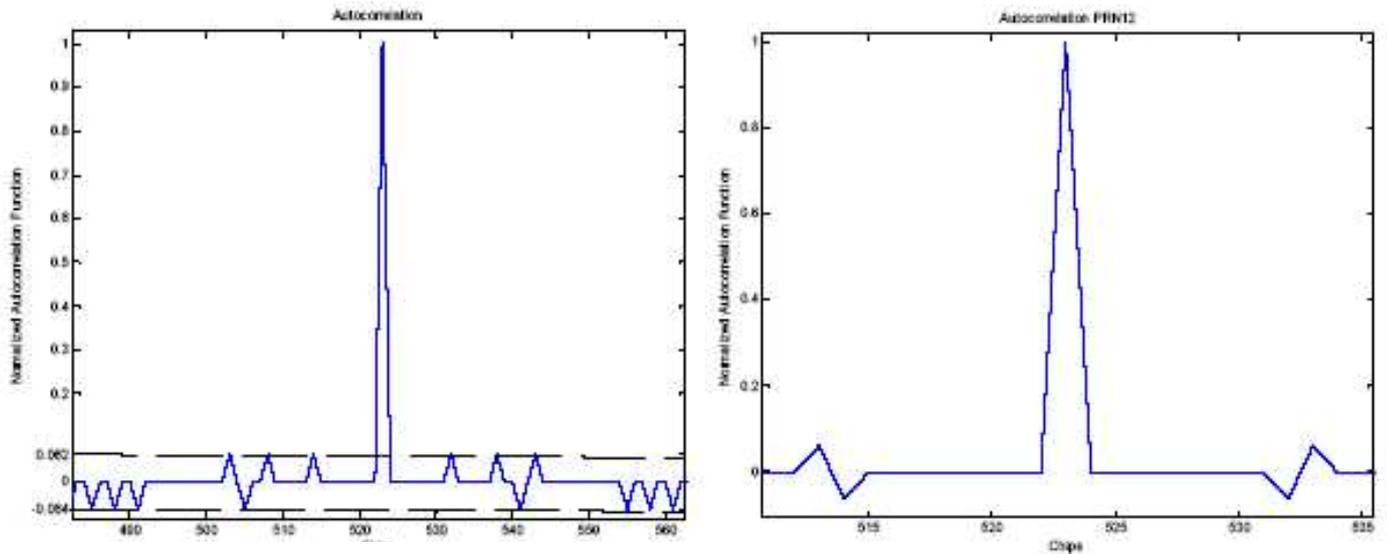
Ou  $n = 10$  dans le cas du GPS, ce qui donne :  $L = 2^{10} - 1 = 1023$

$$\text{Par conséquent: } K_{c_i c_j}(m) = \begin{cases} 1 \\ -\frac{1}{L} = \frac{-1}{1023} = -0.001 \\ -\frac{1}{L}t(n) = \frac{-65}{1023} = -0.0635 \\ \frac{1}{L}[t(n) - 2] = \frac{63}{1023} = 0.0616 \end{cases}$$

On peut alors en déduire l'allure de la fonction d'autocorrélation de ces codes qui est donnée par la figure (II-3). Les valeurs citées sont bien illustrées sur la figure (II-4).



**Figure II-3** : Fonction d'autocorrélation d'un code C/A PRN1



**Figure II-4:** Fonction d'autocorrélation d'un code C/A PRN1.

L'autre propriété importante des codes Gold et la fonction d'intercorrélation, cette dernière s'exprime par :

$$K_{c_i c_j}(m) = \frac{1}{L} \sum_{k=0}^{L-1} c_i(k) c_j(k+m) \quad (\text{II-7})$$

Les valeurs de cette fonction sont les suivantes :

$$-1/1023 = -0.001$$

$$-65/1023 = 0.0635$$

$$63/1023 = 0.0616$$

On constate que la valeur maximale est 65 seulement au lieu de 1023 (ou 65/1023) ce qui signifie qu'on peut considérer qu'il n'y a aucune corrélation entre deux codes différents. Cette propriété très importante clarifiée par la figure (II-5) justifie l'utilisation du concept CDMA dans la réception des signaux GPS.

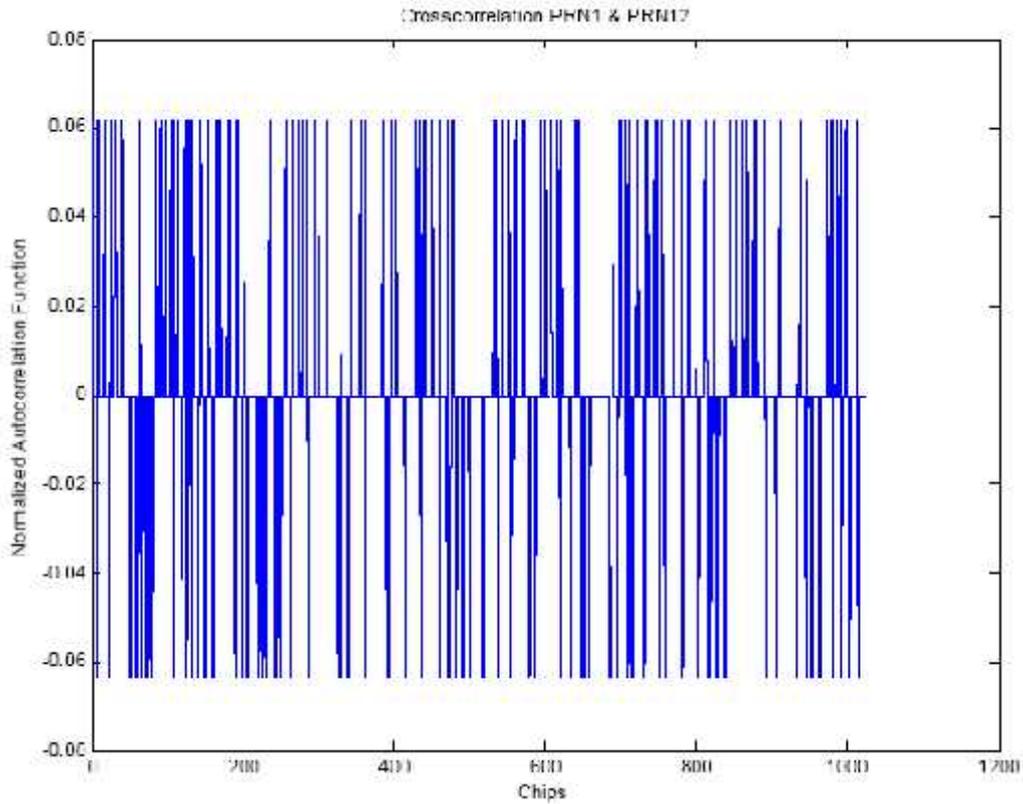


Figure II-5 : Intercorrélation entre PRN1 et PRN12

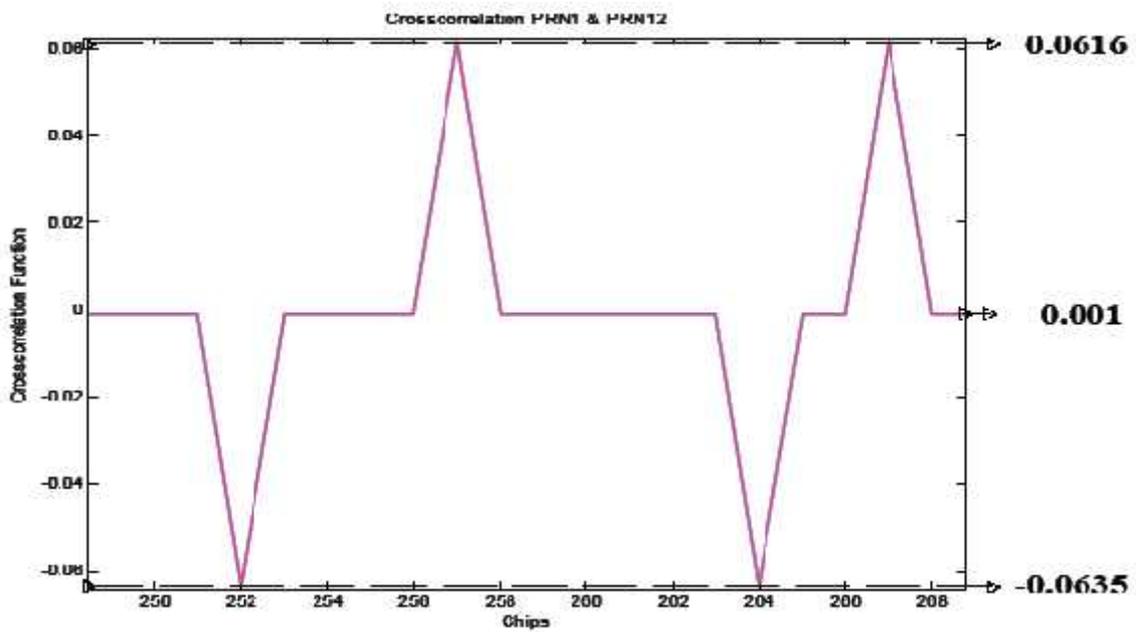
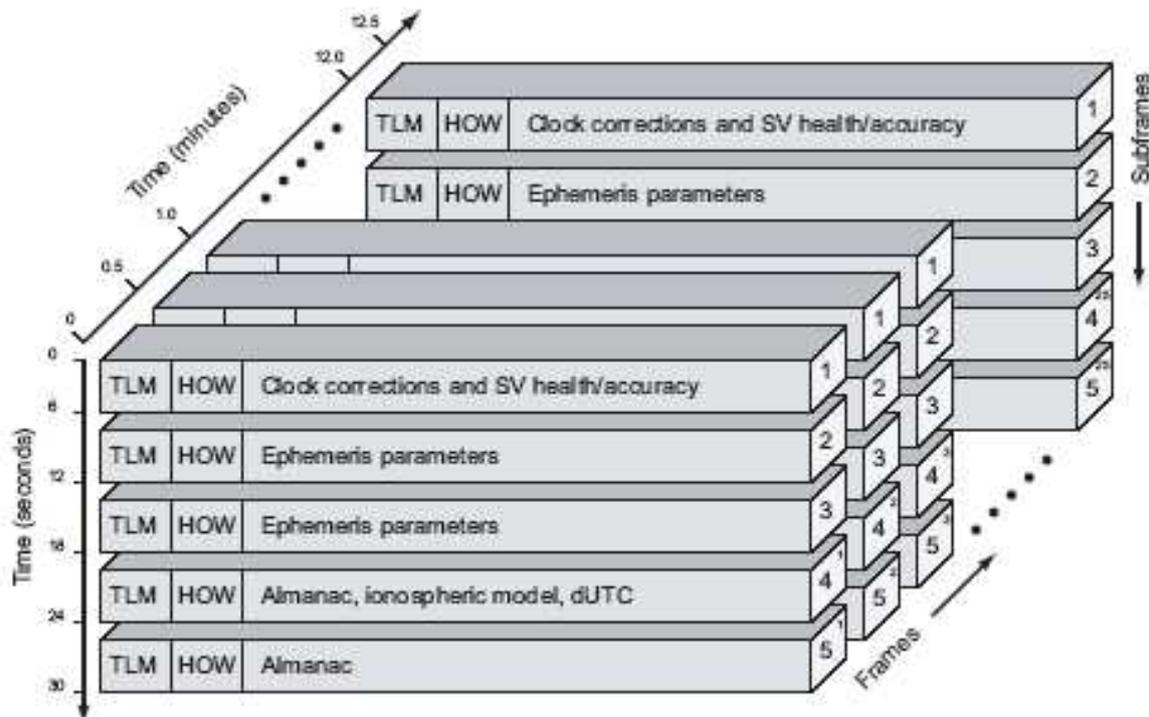


Figure II-6 : Intercorrélation entre PRN1 et PRN12

## II.6. Message de navigation :

### II.6.1. Structure de message de navigation :

Le message de navigation est composé de trames de 1500 bits. Chaque trame dure 30 secondes du fait du débit de 50 bps (bits par seconde). Chaque trame contient 5 sous-trames de 10 mots de 30 bits. Les sous trames 1 à 3 ont leur contenu qui ne change pas en général de trame à trame alors que les sous trames 4 et 5 contiennent différentes pages à chaque trame.



**Figure II-7:** Message de navigation.

La trame principale contient à son tour toutes les pages des sous-trames 4 et 5 et consiste en 25 trames complètes. Le temps de transmission de la trame principale est de 12,5 minutes. Chaque bit a une durée de 20 ms, dans ce laps de temps le code C/A est répété exactement 20 fois. Les 30 bits de chaque mot se décomposent en 24 bits d'information et de 6 bits de contrôle de parité.

### II.6.2. Le Contenu du message de navigation :

Pour qu'un utilisateur puisse déterminer sa position à l'aide du signal satellite, il faut qu'il connaisse la position des satellites et la distance qui le sépare de ceux-ci.

Les satellites GPS doivent donc émettre des éléments permettant de calculer leur position, ainsi que l'âge de ces informations, afin de déterminer les satellites à utiliser en priorité pour obtenir une meilleure précision. Tous ces éléments se retrouvent dans les sous trames 1, 2, et 3 répartis comme suit :

Sous-trame	1	2	3
Contenu	N°du satellite. N°de semaine. Age des données. Précision, état de santé de satellite. Coefficients de correction de l'horloge.	Paramètres d'orbite (éphémérides)	Paramètres d'orbite (éphémérides)

**Tableau II-2 :** Contenu sous trame des du signal GPS

Les éphémérides contiennent les paramètres orbitaux du satellite ainsi que leurs coefficients de correction. Comme nous les utiliserons au niveau de notre simulation on les présente d'une façon détaillée dans la figure (II-10).

La sous trame 4 contient suivant les pages, les paramètres du modèle ionosphérique, les paramètres de passage du temps GPS au temps UTC, des indicateurs signalant le cryptage éventuel du code P et si plus de 24 satellites sont en orbite, l'almanach et état de santé des satellites en excès.

La sous trames 5 contient de la page 1 à 24 les almanachs de chaque satellite en orbite, tandis que la page 25 contient l'état de santé de ces 24 satellites.

L'almanach est une information qui permet de calculer une position approximative d'un satellite. Il est utilisé pour déterminer si un satellite est visible, ceci facilite la recherche des satellites et leur acquisition. Une fois un satellite acquis et son message de navigation démodulé, le récepteur utilise les éphémérides.

On note que chaque sous-trame commence par un mot de télémessure dont le préambule est fixe et identique pour tous les satellites opérationnels, ce préambule permet la synchronisation mot du message.

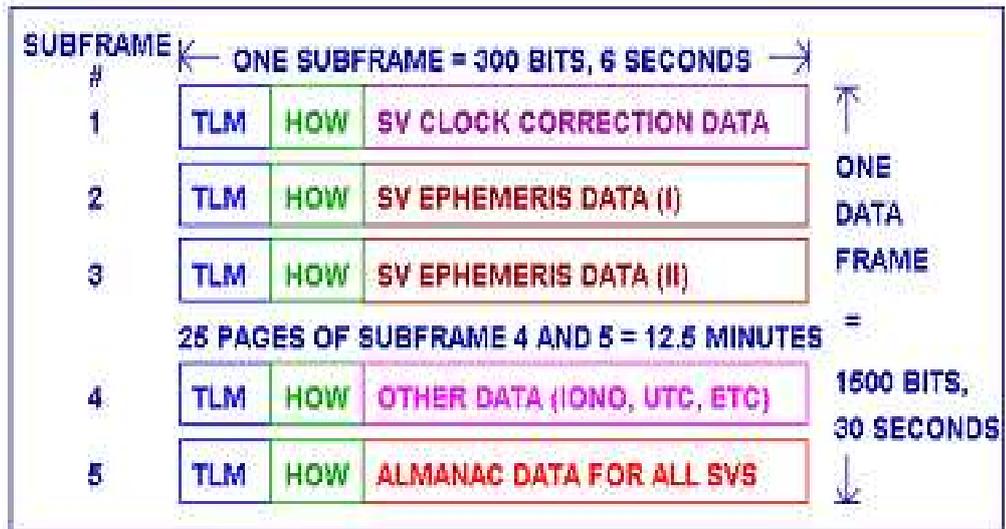


Figure II-8 : La structure du message GPS.



### II.6.3. TLM et HOW :

Chaque subframe commence par un mot de la télémétrie (TLM) et une paire de mot de Handover (HOW). Le mot de TLM est transmis d'abord, immédiatement suivi de HOW. Le dernier est suivi de huit mots contenant des données. Chaque mot dans chaque armature contient la parité.

Chaque mot de TLM est de 30 bits, se produit toutes les six secondes dans l'armature de données, c'est le premier mot dans chaque subframe/page. Chaque mot de TLM commence par un préambule '10001100', suivi de 16 bits réservés et de six bits de parité.

Le mot de télémétrie est suivi du mot HOW qui multiplié par '4' donne le temps GPS au début de la sous-trame suivante. Ce temps est le temps écoulé depuis le début de la semaine GPS et il s'incrémente toutes les six secondes. La figure ci-dessous illustre notre explication.

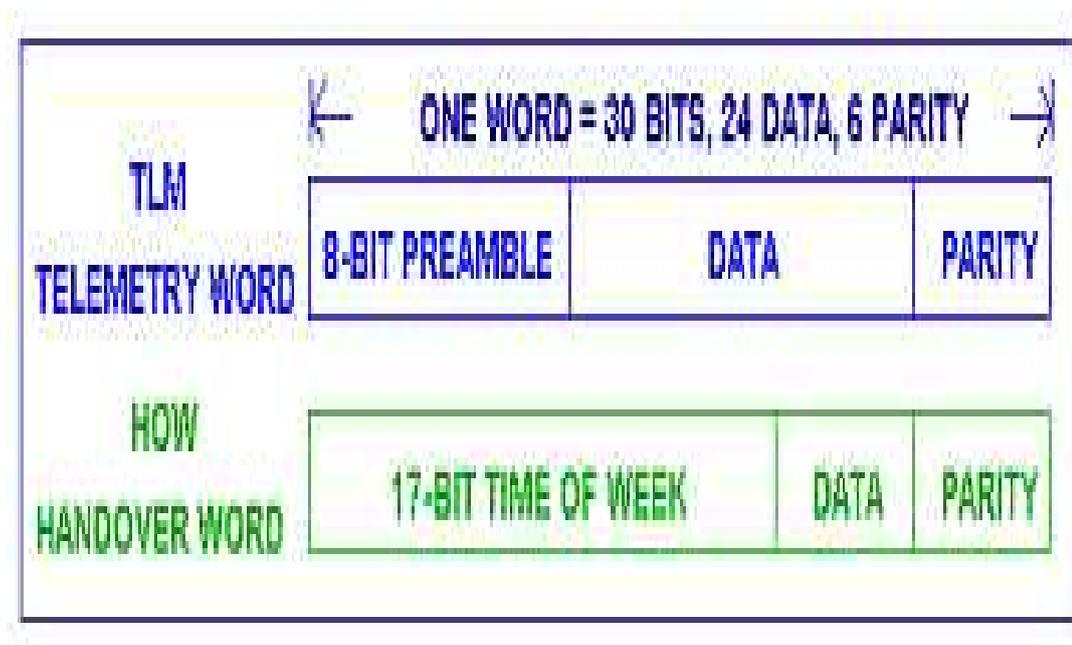


Figure II-10 : Format de TLM et HOW.

#### II.6.4. Le décalage fréquentiel doppler :

L'effet Doppler est le décalage entre la fréquence de l'onde émise et l'onde reçue lorsque l'émetteur et le récepteur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre. Cet effet fut découvert par Christian Doppler sur les sons en 1845 et par Hippolyte Fizeau sur les ondes électromagnétiques en 1848. On le désigne parfois simplement sous le nom d'effet Doppler. Le but de l'effet Doppler sur le système GPS c'est déterminer les incertitudes commises sur le système.

Dont l'effet Doppler est définie comme un émetteur d'onde produit des ondes sphériques. Toutefois, si cet émetteur se déplace, chaque couche est forcément émise à des endroits différents.

La longueur d'onde est étirée vers l'arrière et comprimée vers l'avant. En conséquence par exemple la sirène d'une ambulance émettra un son plus aigu si elle s'approche. Le son deviendra au contraire plus grave si elle s'éloigne.

Dans le cas du système GPS, le signal reçu est affecté d'un décalage Doppler causé par le mouvement relatif entre le satellite et le récepteur. Par conséquent on mesure un décalage maximum lorsque le satellite est en élévation  $0^\circ$  et un minimum à l'élévation  $90^\circ$ .

### II.7. Traitement de signal GPS :

#### II.7.1. L'acquisition :

L'intérêt de l'acquisition est d'identifier les satellites visibles. Si cette opération réussie à accomplir sa mission c'est qu'elle peut nous fournir :

➤ **La fréquence :** à cause du Doppler la fréquence du signal varie au tour d'une valeur nominale qui est la FI. Le décalage Doppler maximal est de  $\pm 5\text{KHz}$  pour un récepteur fixe et de  $\pm 10\text{KHz}$  pour un récepteur mobile.

➤ **Le code phase :** le code phase indique le début du code C/A considéré. Si on examine un bloc de données de 1ms nous aurons un code C/A qui contient un seul début.

Dans ce contexte plusieurs méthodes sont élaborées, mais d'une façon ou d'une autre elles sont toutes basées sur les caractéristiques particulières de la corrélation du code C/A et elles seront traitées l'une après l'autre dans le travail qui suit.

Afin de donner une idée générale sur l'acquisition, on peut la décrire comme une opération de recherche sur le code et la fréquence, une fois un satellite considéré est présent, un pic bien identifié apparaît dans la fonction corrélation, placé sur le code phase correspondant ainsi que la fréquence correspondante. La figure (II-3) montre bien cette caractéristique pour le satellite PRN1 qui est présent dans ce cas, tandis que la figure (II-5)

indique que le satellite PRN5 est absent.

### II.7.2. La poursuite :

Cette opération à pour but de raffiner les valeurs de fréquence et code phase résultantes de l'acquisition, puis assurer leurs poursuite en fonction du temps. Elle consiste en deux parties :

➤ **La poursuite du code :**

Généralement implémenté comme une DLL (Delay Lock Loop) où trois répliques locales du code du satellite concerné sont générées et corrélées. Elles s'appellent (Early-Late-Prompt), chacune d'elles représente un décalage de  $\frac{1}{2}$  chip.

➤ **La poursuite de la phase :**

Cette opération est aussi réalisée d'une façon continue et elle est assurée par une boucle à verrouillage de phase, appelée PLL (Phase Locked Loop).

Chacune de ces boucles poursuit le signal d'entrée qui évolue en fonction du temps.

### II.7.3. Extraction des données de navigation :

Une fois que la poursuite est réalisée, la sortie de cette opération sera convertie en données de navigation. Cette étape ce fait par la conversion en valeur +1 et -1. Cependant, il y a plusieurs manières d'accomplir ceci; une manière commune est de trouver la différence entre les sorties adjacente de chaque milliseconde. Si la différence est au delà d'un certain seuil, il y a une transition de données. Pour le programme de poursuite, le seuil est habituellement obtenu à partir de l'amplitude prévue minimum de la sortie. Lorsque on obtient les données qui comporte des différentes informations concernant les éphémérides. La position de satellite est obtenue grâce à ces éphémérides qui nous permet de calculer la position du récepteur.

### II.8. Calcul de position :

Une fois qu'on a accroché un satellite et qu'on a pris connaissance des données de navigation, il reste à déterminer la distance entre le satellite et le récepteur. On pourra alors, en connaissant la position du satellite (grâce aux éphémérides), calculer la position du récepteur. La distance satellite-récepteur déterminée par le récepteur est alors appelée pseudo distance : en effet, elle est entachée d'un certain nombre d'imprécisions.

➤ **Calcul de la pseudo distance:**

Après les étapes d'acquisition et de poursuite, on réalise le calcul de la pseudo-distance puis on récupère les données de navigation; on note que normalement chaque satellite est synchrone avec le récepteur,. On sait que le signal GPS est émis à un moment précis associé au satellite, le récepteur doit mesurer le temps de réception. Grâce a la différence entre ces deux moments on obtient le temps mis par le signal pour parcourir le trajet satellite-récepteur, dont on déduit la distance qui nous intéresse. Cependant il faut apporter de nombreuses corrections à cette mesure afin d'obtenir une distance fiable. En particulier, il faut tenir compte du fait qu'on a trois références temporelles :

- ◆  $T$  : le temps GPS, qui sert de temps de référence ; il est coordonné au temps de l'USNO (United States Naval Observatory) et correspond au temps mesuré par une horloge parfaite pour un utilisateur immobile à la surface de la Terre.
- ◆  $T_S$  : le temps satellite est celui donné par l'horloge du satellite. Pour corriger la dérive interne de cette horloge, le satellite transmet des coefficients de correction pour chaque satellite.
- ◆  $T_R$  : le temps récepteur. Il est impossible d'avoir une horloge atomique dans le récepteur, le temps récepteur n'est donc pas synchronisé aux deux autres temps. Par conséquent on a :

$$T_S = T + \Delta T_S, \quad \text{et} \quad T_R = T + \Delta T_R$$

Si l'on note  $t^e, t_S^e, t^r, \text{et} t_r^r$  les temps d'émission (référentiel GPS et satellite) et de réception (référentiel GPS et récepteur), la pseudo distance est donc donnée par :

$$D_{pseudo} = c \cdot (t_r^r - t_s^e) \quad (II-8)$$

Pour obtenir la vraie distance, il nous faut donc rajouter les termes d'erreurs :

$$\Delta t_r^r = t_r^r - t^r, \Delta t_s^e = t_s^e - t^e$$

et  $\Delta_{propa}$  qui correspondent aux décalages d'horloge et aux erreurs lors de la propagation du signal. La formule générale de la distance est alors :

$$D = D_{pseudo} + c \cdot (\Delta t_s^e - \Delta t_r^r) - \Delta_{propa} \quad (II-9)$$

Pour pouvoir estimer la distance, il faut donc estimer les erreurs commises.

On note que  $\Delta_{propa}$  est estimable à partir des coefficients de corrections émis par le satellite.

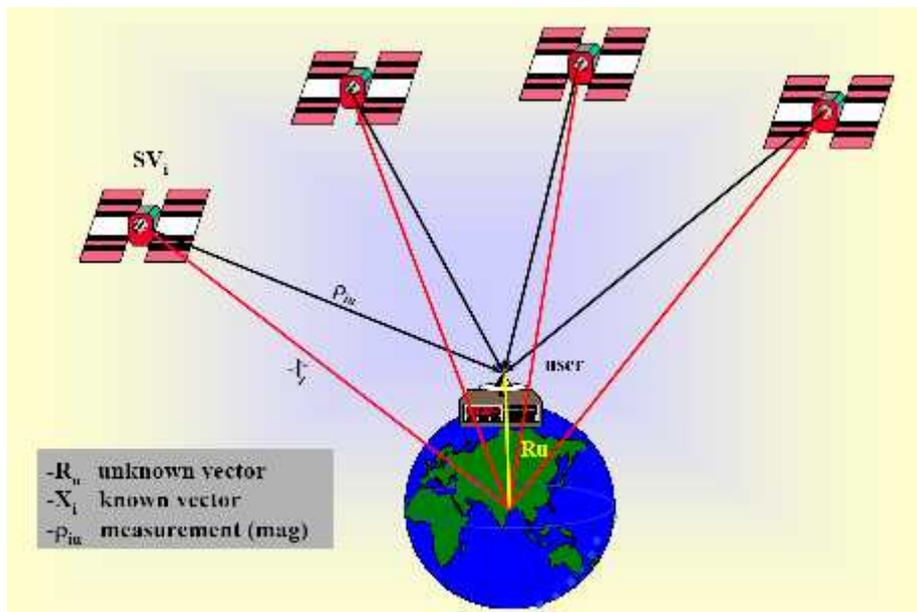
De même, on a :

$$\Delta t_S^e = a_0 + a_1 \cdot (t_S^e - t_S^0) + a_2 \cdot (t_S^e - t_S^0)^2 + V_{alea} + V_{rel} \quad (II-10)$$

Où  $a_0, a_1, a_2$  sont les coefficients de corrections de l'horloge,

$V_{alea}$  et  $V_{rel}$  représentent les imprécisions dues aux phénomènes aléatoires et aux termes relativistes.

Il reste donc à déterminer  $\Delta t_r^r$ , ce qui se fait par résolution des équations de navigation.



**Figure II-11 : Positionnement autonome**

Sur la figure (II-11), Si  $V_i$   $i=1,4$  ; représentent quatre satellites différents qui sont suivis. La position de ceux-ci est donnée par rapport au centre de la Terre dans le système de coordonnées ECEF. Les coordonnées de  $s_1$  sont notées  $(X_{S1}, Y_{S1}, Z_{S1})$ . Les coordonnées de

$R_U$ , le point inconnu, relativement au centre de la Terre, sont

$(X_U, Y_U, Z_U)$ . La pseudo distance observée, permet d'établir la relation entre les coordonnées connues du  $i^{\text{eme}}$  satellite et les coordonnées inconnues du récepteur au moyen de l'équation d'un vecteur dans l'espace tridimensionnel :

$$\rho_i = \sqrt{(X_i - X_U)^2 + (Y_i - Y_U)^2 + (Z_i - Z_U)^2} + c.t_u \quad (\text{II-11})$$

Finalement, ces équations non linéaires peuvent être résolues par l'une des méthodes suivantes :

- ❖ Solution analytique.
- ❖ Méthodes des moindres carrées.

### II-9- Conclusion :

Dans ce chapitre on a examiné les caractéristiques des codes C/A (coarse acquisition), La raison principale pour l'utilisation de ses codes PRN dans le système GPS est la possibilité d'identifier un satellite d'un autre, aussi on a présenté les étapes essentielles liées au traitement du signal GPS sont :

- L'acquisition.
- La poursuite.
- Extraction des données de navigation.
- Finalement, le calcul de la position.

# Chapitre III

## LA SIMULATION DE L'ACQUISITION

### III.1. Introduction :

Comme il a été décrit au chapitre I, le signal GPS est constitué d'une porteuse (L1 ou L2) un code C/A et un message de navigation qui contient les informations nécessaires utiles afin de réaliser un positionnement GPS; aussi de cette description on a constaté la possibilité d'utilisation du logiciel MATLAB qui est un système interactif et conviviale de calculs numérique et de visualisation graphique ;il possède un langage a la fois puissant et simple d'utilisation, pour simuler un signal GPS plus proche de la réalité. Dans ce contexte, le code C/A, la porteuse, le message de navigation ainsi qu'un bruit additionnel, seront tous réalisés sous MATLAB et dans ce qui suit on présente des explications concernant notre simulation.

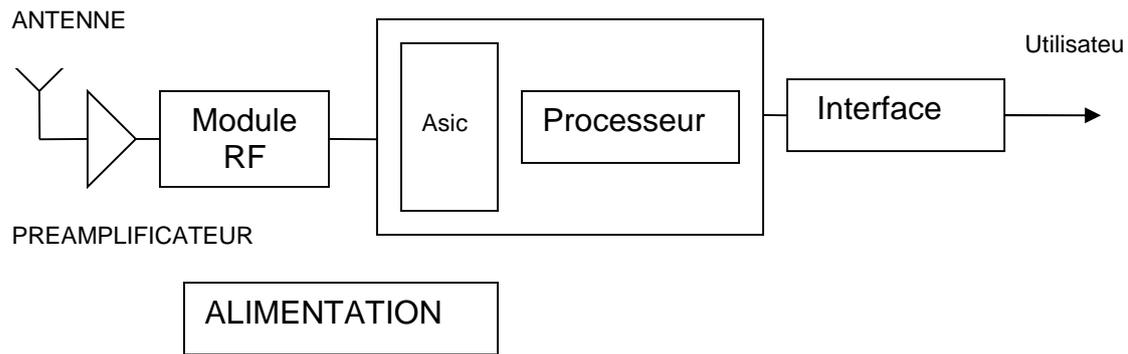
Nous avons utilisé aussi comme moyen de simulation le logiciel Simulink, c'est l'extension graphique de MATLAB permettant de travailler avec des diagrammes en blocs. Il est développé par le MathWorks, est un outil pour modeler, simuler et analyser les systèmes dynamiques de multi domaines. Son interface primaire est un outil diagramming de bloc graphique et un ensemble customizable de bibliothèques de bloc. Elle offre l'intégration serrée avec le reste de l'environnement de MATLAB. Simulink est employé couramment dans la théorie de commande et le signal numérique traitant pour la simulation et la conception de multi domaines.

### III.2. Le récepteur GPS :

Ce passage est consacré à la description du synoptique d'un récepteur GPS en décrivant les éléments essentiels qui le constitue, dont on peut citer principalement des sous ensembles parfaitement délimités, qui sont :

- Une antenne ;
- Un préamplificateur à faible bruit ;
- Un module radiofréquence RF ;
- Un module numérique ;
- Une interface utilisateur ;
- Une alimentation.

Ainsi l'architecture générale du récepteur GPS est illustrée par la figure (II-6) ; dans ce qui suit nous donnons une description pour chaque élément.



**Figure III-1 :** L'architecture générale du récepteur GPS.

### III.2.1. L'antenne :

L'antenne convertit l'énergie des ondes électromagnétiques en provenance des satellites en un courant électrique capable d'être traité par les circuits électroniques du récepteur. L'antenne GPS est désignée particulièrement selon des exigences bien définies, dont on note :

#### a. Gain en fonction d'élévation :

L'antenne doit avoir un gain important pour un angle qui dépasse une élévation donnée, par conséquent le signal provenant d'un satellite sera plus amplifié par rapport à un signal provenant d'une source d'élévation inférieur.

#### b. Rejection d'interférence :

L'antenne GPS doit à certain niveau rejeter les interférences qui résultent des sources radio de bande adjacente.

#### c. Rejection des Multipath :

L'antenne GPS doit aussi rejeter les multipath au maximum possible car ces signaux sont difficiles à les enlever dans les étages qui suivent du récepteur. On note que cette rejection est liée au gain en fonction d'élévation car les multipath résultent de la réflexion des signaux GPS sur terre. (A partir de la terre).

#### d. Propriétés physiques :

L'antenne est désignée pour l'environnement où elle sera utilisée, par conséquent on définit la taille, la forme et les matériaux qui constituent l'antenne.

### III.2.2. L'étage RF :

L'étage RF est le bloc qui prépare le signal analogique à la discrétisation dans le convertisseur A/N, selon la figure (II-7) il effectue deux fonctions principales, le conditionnement du signal puis la conversion de fréquence.

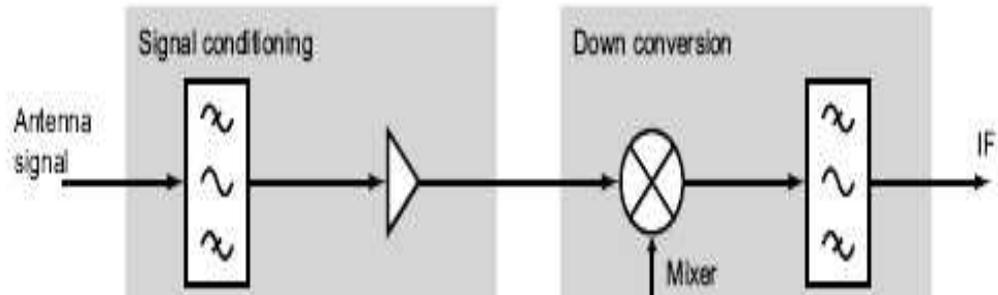


Figure III-2 : L'étage RF

#### III.2.2.1. Conditionnement du signal :

Le but du conditionnement est de filtrer les interférences pour cela on utilise un filtre passe-bande. La figure (II-15) montre les fréquences du GPS ainsi que d'autres sources radio proches, dans ce cas le filtre doit les rejeter.

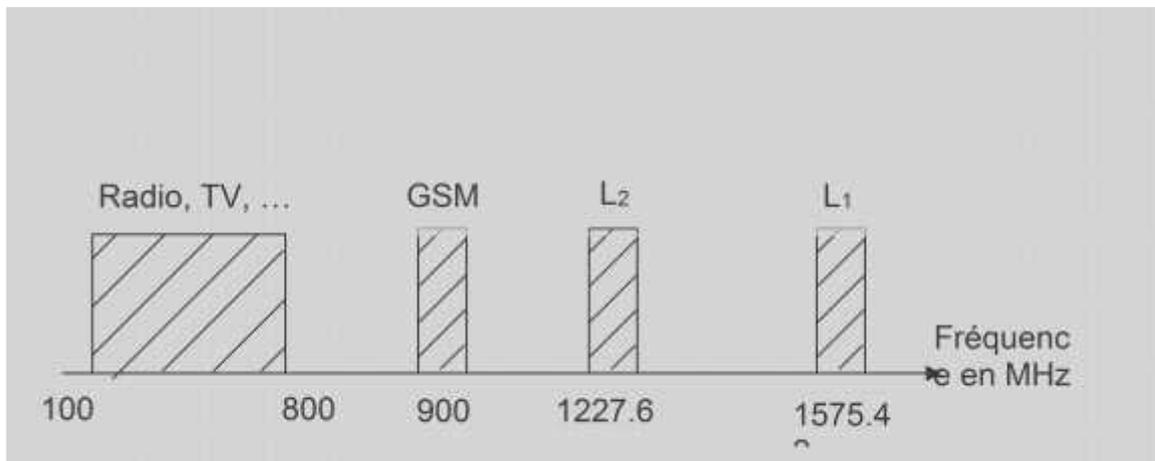


Figure III-3 : Conditionnement du signal

Le rôle du préamplificateur à faible bruit est d'amplifier le signal utile tout en minimisant le niveau du bruit thermique. Le niveau des signaux captés est très faible, le préamplificateur doit donc amplifier ces signaux sans dégrader de façon notable leur qualité. Ce sous ensemble doit se situer à proximité de l'antenne pour limiter la dégradation du rapport signal à bruit.

### III.2.2.1. Conversion de fréquence :

Le module RF assure la transposition des signaux L1 et L2 vers des fréquences plus faibles appelées fréquence intermédiaires FI de l'ordre de quelques MHz, ces FI permettent de traiter plus aisément le signal. La transposition de fréquence est effectuée grâce au produit du signal d'entrée avec une sinusoïde pure générée par l'oscillateur local, ce dernier est piloté par l'horloge à quartz du récepteur. On note que le signal FI contient la modulation du signal, seule la fréquence porteuse a été décalée en préservant la dérive due à l'effet Doppler.

Le signal produit résultant peut être calculé à partir de :

$$s_{out}(t) = s_{in}(t) \cdot s_{osc}(t) \quad (III-1)$$

En appliquant la TF sur cette dernière équation et sachant que le produit en domaine temporel se transforme en convolution en domaine fréquentielle on aura :

$$S_{out}(f) = S_{in}(f) * s_{osc}(f) \quad (III-2)$$

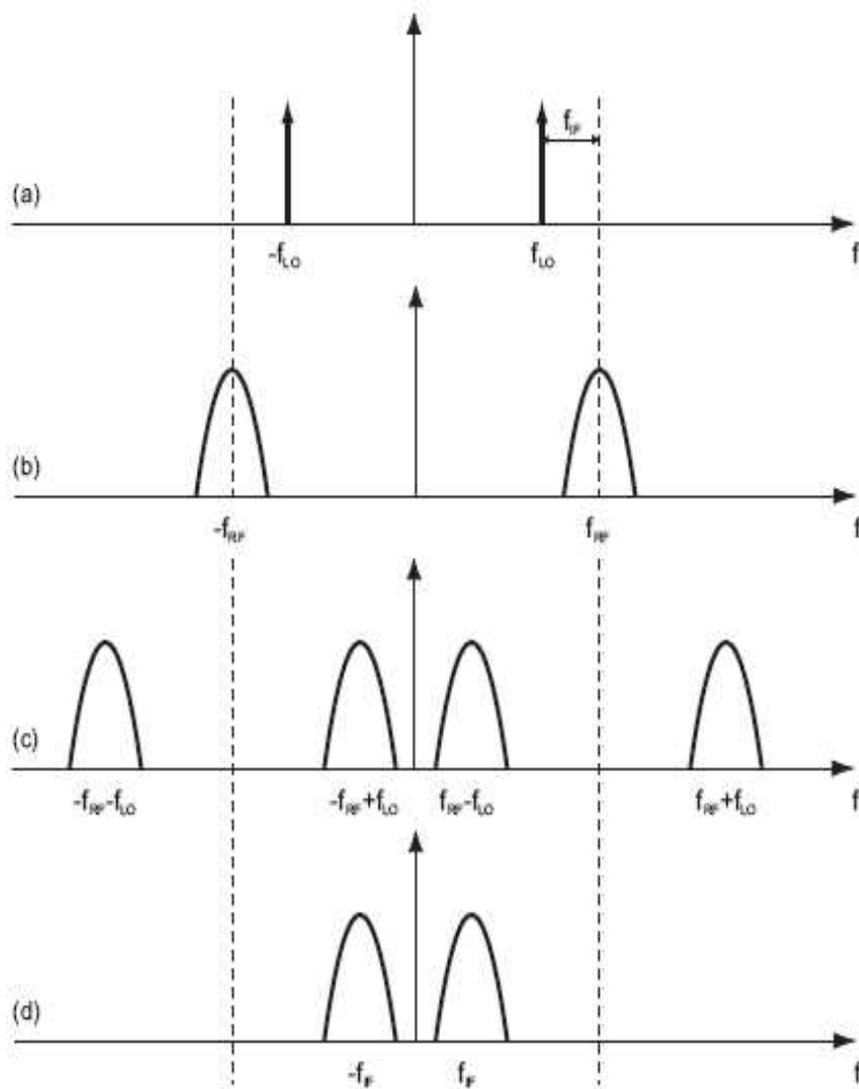
La figure (I-16) montre le principe de conversion du signal RF en fréquence intermédiaire. Si en interprètent cette figure on peut en déduire que le mélangeur ne fait que réaliser une opération de convolution dans l'espace de la fréquence. Par conséquent la fréquence de l'oscillation est choisie comme :

$$f_{osc} = f_{RF} - f_{FI} \quad (III-3)$$

Cette opération donne quatre composantes de fréquence là où le signal est localisé

$$\{-f_{RF} - f_{osc}, -f_{RF} + f_{osc}, f_{RF} - f_{osc}, f_{RF} + f_{osc}\}$$

Seulement les fréquences basses seront retenues après passage dans un filtre Passe-bas.



**Figure III-4:** Le principe de conversion du signal RF en Fréquence intermédiaire

### III.2.2.2. Fréquence Image :

En plus de la fréquence intermédiaire, la notion de la conversion de fréquence nous exige d'examiner une autre fréquence qui est une conséquence de cette conversion ; c'est la **fréquence Image**.

Une fréquence image est la fréquence qui se situe dans la même bande de fréquence après la conversion, mais qui ne résulte pas du signal utile. Elle doit être prise en compte à fin d'éviter un brouillage significatif dans le signal résultant.

La figure (III-4) montre comment la fréquence image immerge la fréquence du signal

utile après conversion :

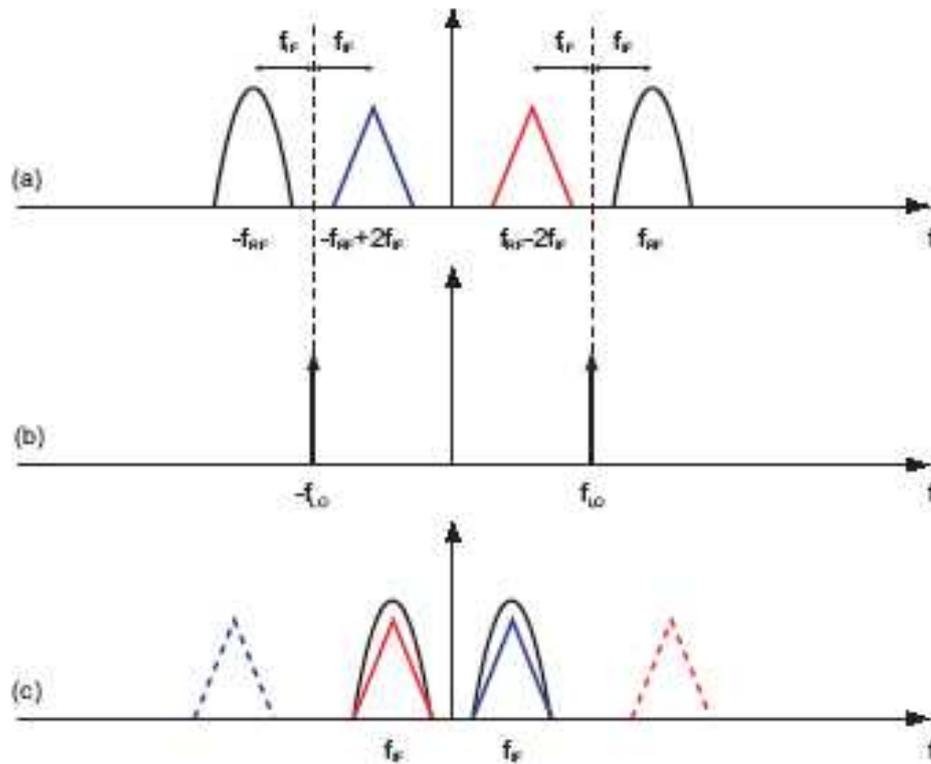


Figure III-5: La fréquence image.

### III.2.2.3. Le convertisseur A/N :

Le convertisseur A/N est responsable de l'échantillonnage du signal analogique après la conversion de fréquence. En respectant la condition de *Shanon*, qui indique que la fréquence d'échantillonnage doit être au moins deux fois la bande considérée :

$$f_e = 2 \cdot \Delta f \quad (\text{III-4})$$

Avec  $\Delta f$  Est la bande du signal

Si on s'intéresse à la porteuse, le signal doit être échantillonné avec :

$$f_e = 2 \cdot f_{\max} \quad (\text{III-5})$$

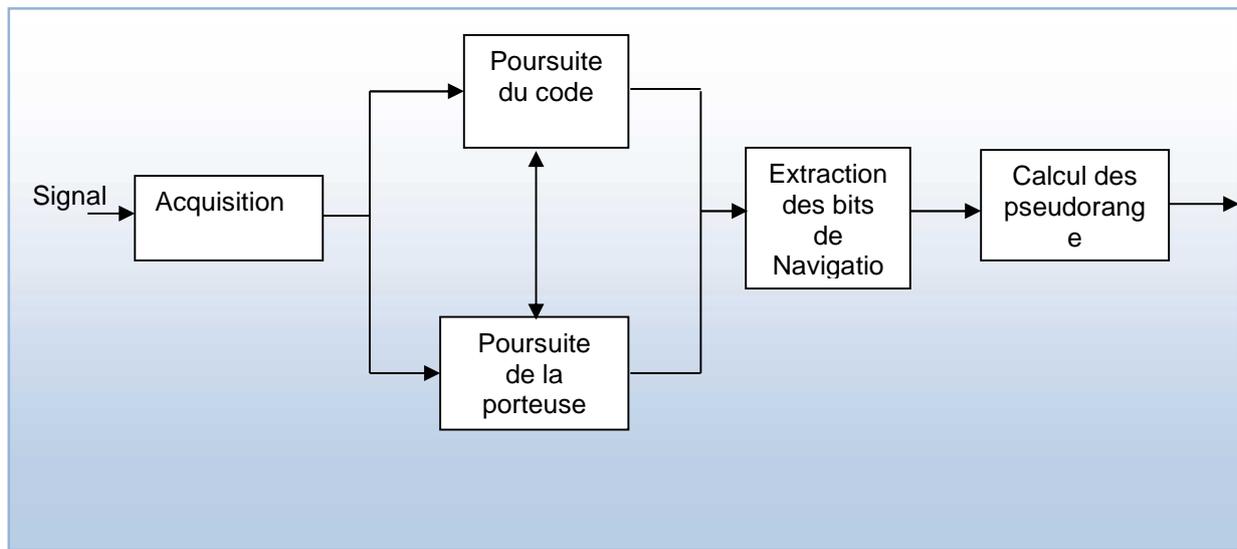
Sachant que  $f_{\max}$  est la fréquence maximale de signal.

### III.2.2.4. Le module numérique :

Les premières architectures de récepteur GPS ont été analogiques. Actuellement les récepteurs GPS traitent numériquement le signal au plus tôt dans la chaîne. Dans le module numérique, on distingue principalement un ou deux circuits ASIC (Application Specific Integrated Circuit) dédiés au traitement GPS et un processeur de signal. L'ASIC est contrôlé par un processeur de signal numérique. Celui-ci réalise les fonctions asservissement des signaux des satellites, la démodulation des messages de navigation, les calculs de navigation...

Le traitement du signal GPS se réalise dans des canaux indépendants. Chaque satellite visible est affecté à un canal, par conséquent le nombre maximal des canaux est une caractéristique du récepteur.

La figue ci-dessous donne une idée générale sur le traitement effectué dans un canal :



**Figure III-6** : le traitement dans le canal

Avant que le récepteur réserve un canal à un satellite il doit d'abord identifier les satellites visibles, c'est l'opération d'acquisition.

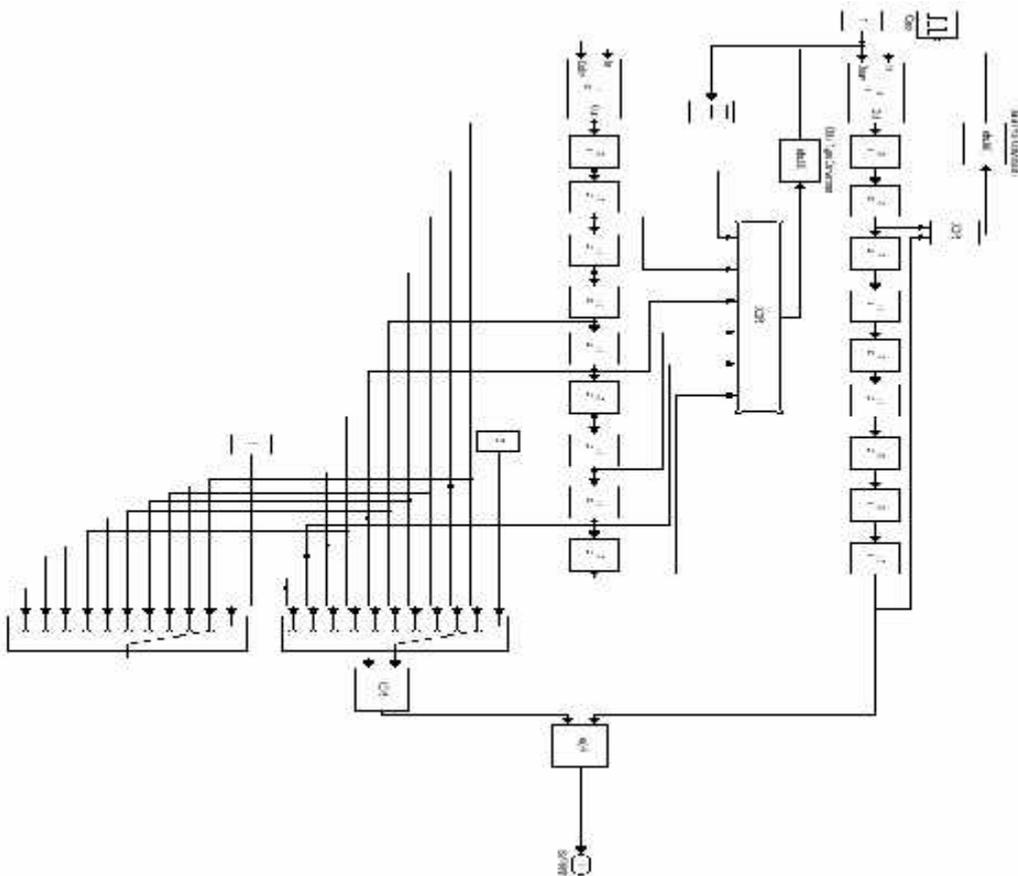
### III.3. Génération du code C/A :

L'implémentation d'un générateur de code C/A de longueur 1023, comme elle a été décrite au premier chapitre, sera réalisée sous SIMULINK à l'aide de deux registres à décalage, G1 et G2 dont chacun est composé de dix cases, dont on associe une contre réaction à travers des portes XOR (addition modulo 2), comme présenté sur le synoptique II-2

Afin de différencier les codes de chaque satellite, on rappelle qu'ils sont de type Gold dont chaque combinaison réalisée sur le registre G2 est spécifique à un satellite donné et définie selon le tableau (II-1) précédent.

#### III.3.1. Implémentation Simulink :

Le schéma (III-7) illustre le générateur de code C/A que nous avons réalisé sous Simulink. Dans cette simulation, on note que le code C/A est composé de 1023 chips ce qui correspond à 1.023 ms, pour cela on utilise une horloge fonctionnant à une fréquence de 1.023 Mhz.



**Figure III-7** : Le block Simulink pour la simulation du code GOLD.**III.4. Génération du signal GPS :**

Le signal GPS contient le code C/A, le message de navigation et la porteuse à haute fréquence. Ce n'est pas toujours évident de réaliser un tel signal en temps réel, car il est d'une certaine complexité qui lui rend un peu délicat à la simulation pratique.

Pour la simulation du signal on va tout d'abord essayer de multiplier le code C/A et le message de navigation, ce dernier contient 20 codes C/A. La réalisation de cette multiplication se fait en utilisant la fonction simulink (Look-up Table) qui permet de sauvegarder les PRN de l'ensemble des satellites, ainsi que le message de navigation traduit par quelques bits. Cette fonction simulink est commandée par des compteurs permettant le comptage des codes C/A nécessaire pour la génération d'un bit de navigation. Notons que les PRN sont utilisés comme variables sont stockés sous forme de vecteur, l'utilisation du bloc 'Product', permet de réaliser l'opération :

$$D(t) \cdot C(t) \quad (III-6)$$

Il nous reste maintenant la multiplication par la porteuse; pour cela on a simulé directement une porteuse à la fréquence intermédiaire FI, ceci correspond à un signal obtenu directement à la sortie de l'étage RF lors de la réception. Dans notre simulation on a employé le bloc 'Discret-Time VCO' car non seulement il permet de générer une porteuse FI, mais aussi de générer un décalage Doppler selon la forme du signal donnée au chapitre I. Dans notre travail le VCO est conditionné par un signal de type rampe dont la pente correspond à des valeurs réalistes liées au mouvement du satellite GPS. A l'issue de cette étape nous pouvons avoir un signal de la forme suivante:

$$D(t) \cdot C(t) \cdot \cos(2\pi \cdot F_I \cdot t + \phi(t)) \quad (III-7)$$

Signalant que  $\phi(t)$  contient la phase du signal utile ainsi que le Doppler qui est fonction du temps.

Finalement afin d'obtenir notre signal GPS reçu, on multiplie en utilisant le bloc 'PRODUCT' la porteuse issue du VCO avec le produit du code C/A et le message de navigation issus de la première partie de la simulation du signal.

L'opération précédente sera faite de la même manière pour l'ensemble des satellites choisis, puis on construit le signal total qui est la somme des signaux satellitaires.

A cause de l'influence de l'atmosphère et de bruit du récepteur le signal utile sera certainement bruité. Pour se rapprocher des conditions réelles il est nécessaire d'ajouter à

notre signal un bruit que nous considérons comme un signal aléatoire généré à l'aide du bloc 'Random Number' et on l'additionne à l'équation (III-7), d'où le signal final à la sortie de cette simulation :

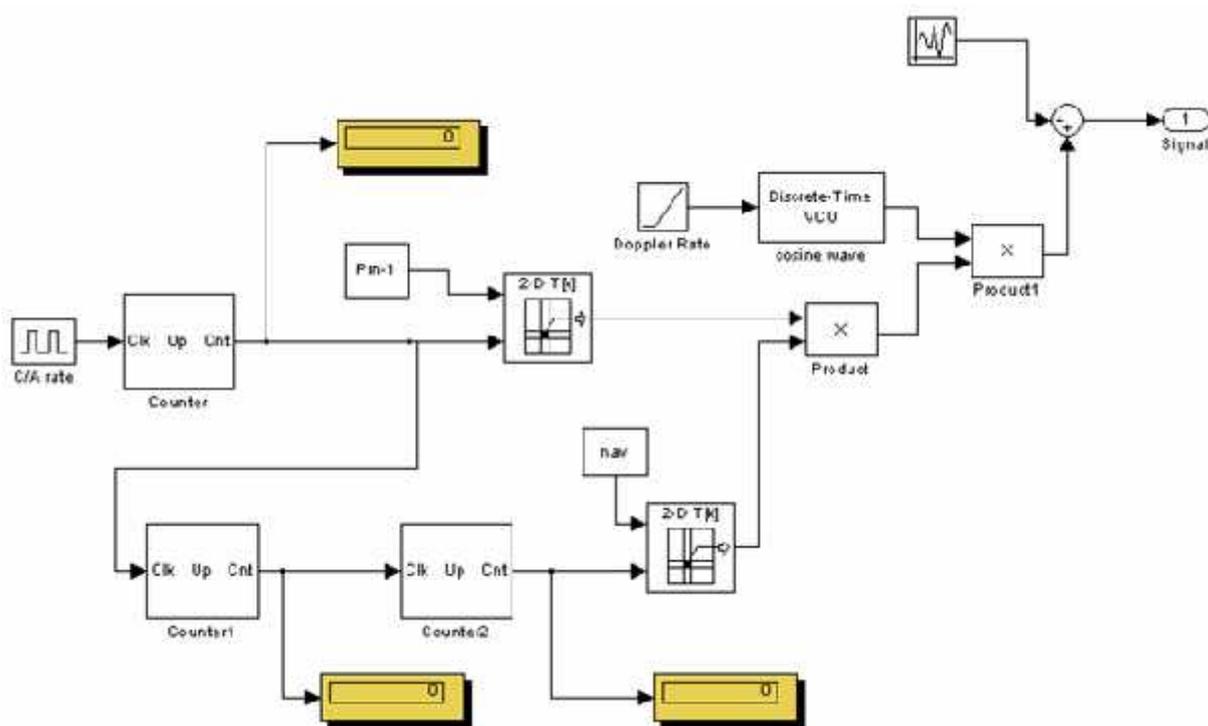
$$D(t) \cdot C(t) \cdot \cos(2\pi \cdot F_c t + \phi(t) + n(t)) \quad (\text{III-8})$$

Où  $n(t)$  est le bruit.

### III.4.1. Implémentation Simulink :

Le schéma (III-8) résume ce qu'on arrive d'élaborer en ce qui concerne la simulation du signal GPS présenté ci-dessus.

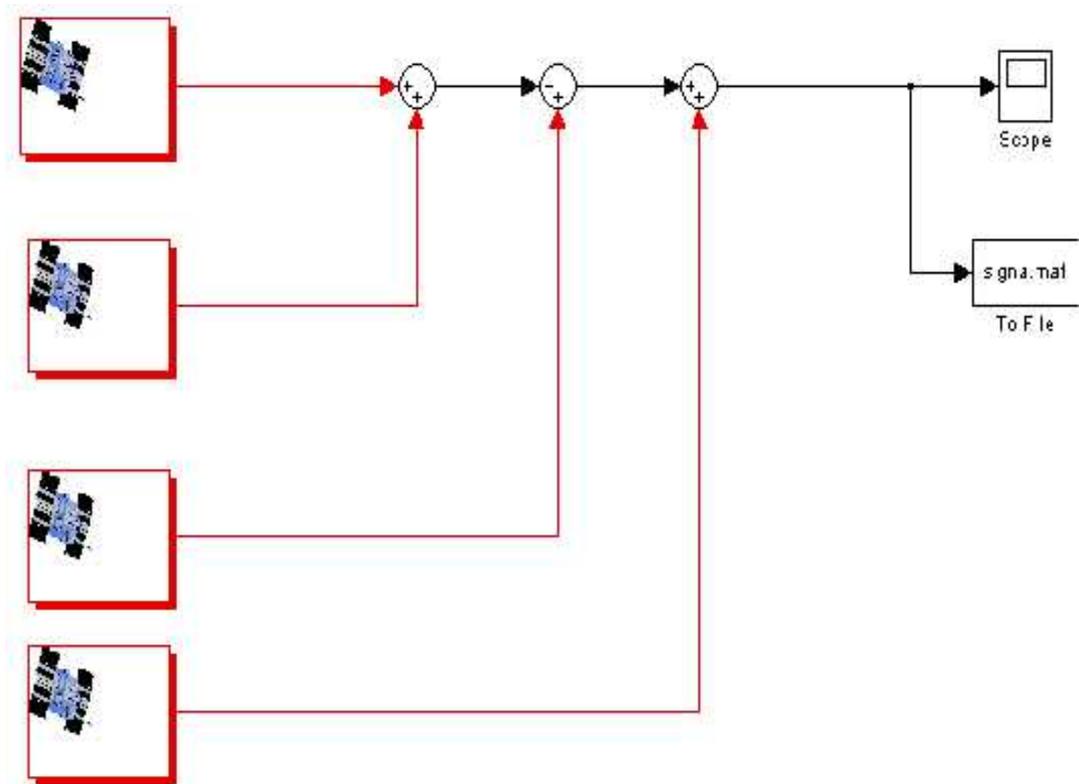
On note que la fréquence d'échantillonnage utilisée dans cette simulation est de l'ordre de 11.253 MHz.



**Figure III-8 :** Le block Simulink pour la simulation du signal d'un satellite.

Nous savons que le signal reçu à l'entrée du récepteur ne contient pas seulement le signal d'un seul satellite mais d'un mélange de signaux reçu à partir des satellites visibles. Nous avons choisi pour notre simulation une séquence qui correspond à quatre satellites, dont les signaux reçus sont simulés puis additionnés, l'ajout du bruit donne un aspect très proche à la réalité d'un vrai signal GPS.

Le schéma (III-9) montre une description globale de la simulation Simulink du signal GPS.



Figure

III-9 : représentation globale de la simulation

### III.5. L'acquisition :

L'algorithme de cette méthode, comme elle a été décrite au Chapitre II, consiste à la multiplication successive du signal GPS reçu par un PRN généré localement et en suite par une porteuse générée aussi localement ; donc pour mieux récapituler cette méthode, on dit qu'elle n'est qu'une application directe du concept de corrélation.

III.5.1. Implémentation Simulink :

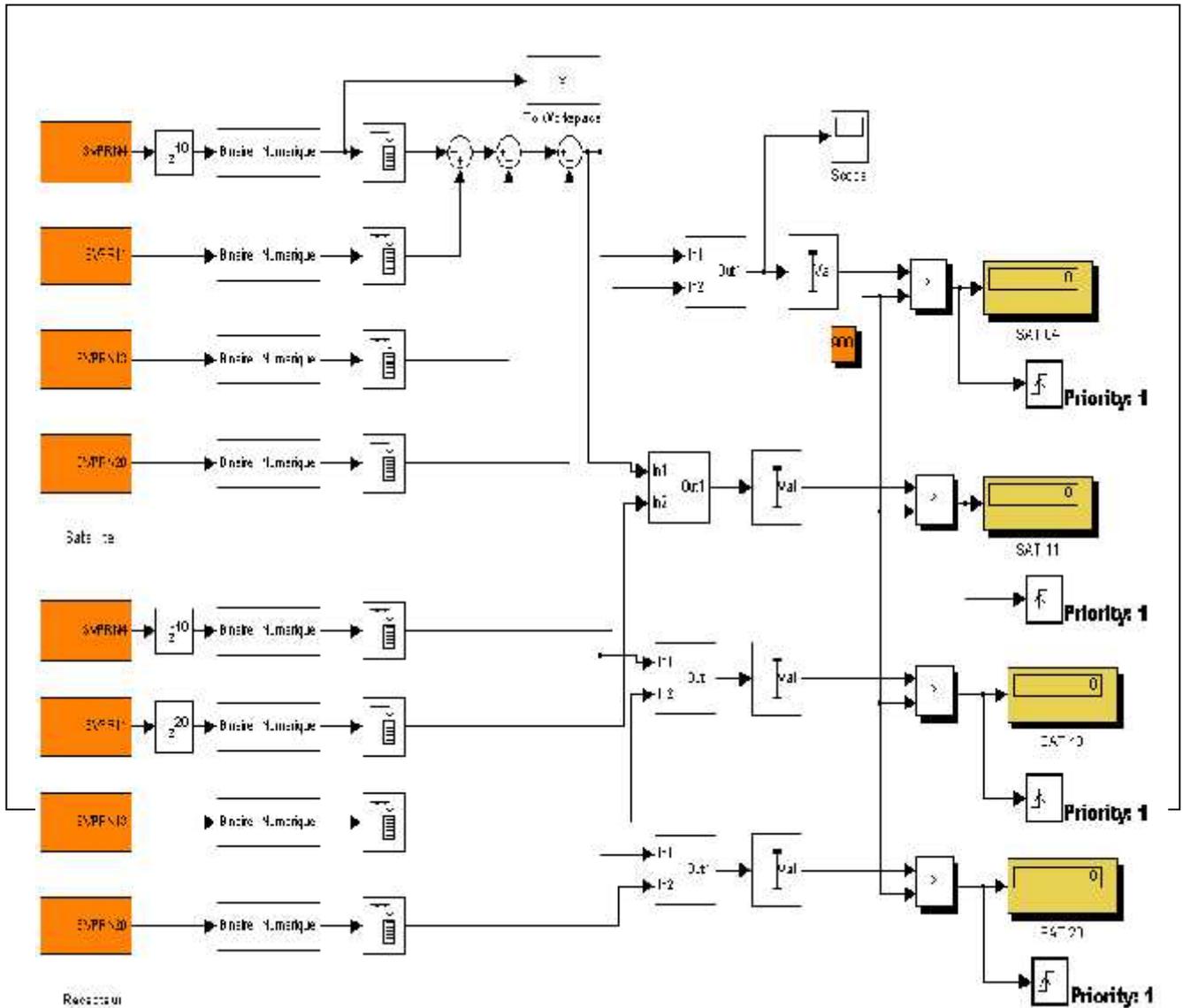


Figure III-10 : Schéma block de l'acquisition.

La figure ci-dessus (III-10) représente une partie de l'implémentation Simulink de l'acquisition qui es composée d'un nombre de boites de l'ordre de (1023\*32), sachant aussi que ce schéma ne fait que visualiser le traitement effectué sur le code après avoir ramener la porteuse à la fréquence intermédiaire en suite extraire le code seul. Donc si c'était une représentation réelle complète de cette méthode et si on adoptera un pas de fréquence de 500Hz, sachant qu'on tolère un Doppler qui varie de **10 KHz** de part et d'autre de le

fréquence centrale, elle contiendra alors un nombre de boîte de l'ordre de  $(1023 \times 32 \times 21)$ .

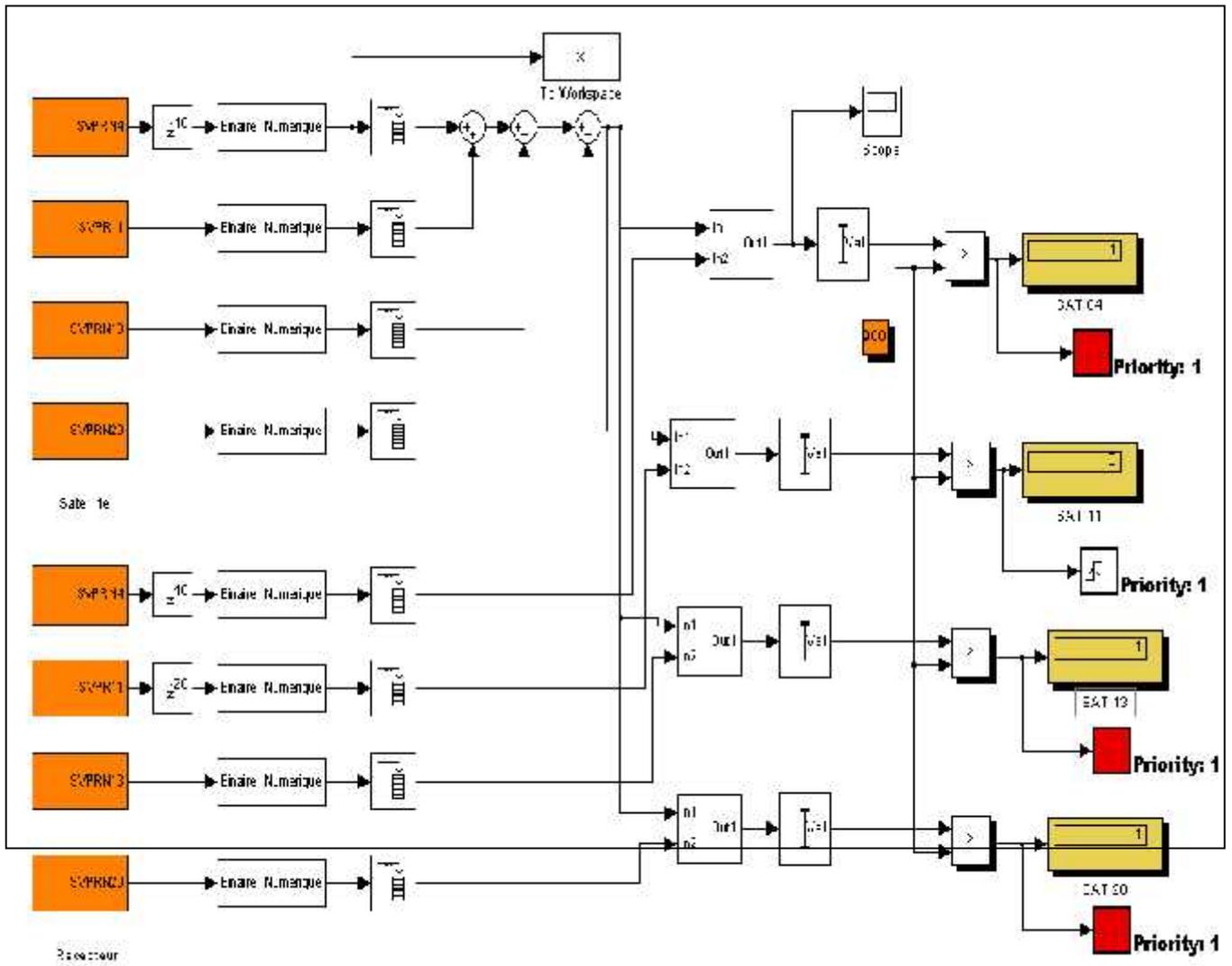


Figure III-11 : Illustration de méthode de l'acquisition.

La figure (III-11) représente le résultat obtenu après l'exécution de la 1<sup>ère</sup> méthode, et les lampes qui signalent au rouge représentent la présence du satellite ainsi que son code phase à travers le code dont lequell la corrélation dépasse le seuil voulu (précisé à 900 dans notre simulation).

Le compteur présent en jaune sert à compter le nombre de dépassement qu'effectue la valeur maximale du vecteur de corrélation.

L'avantage du synoptique réalisé réside dans le fait qu'il répond au but principal de l'acquisition qui est la décision de la présence d'un satellite ou non, ainsi que l'obtention de

son code phase, qui servira en suite comme élément d'initialisation de la phase de poursuite par conséquent, le calcul de la position du récepteur. Par contre, on note que le nombre d'opération effectué lors de cette simulation est assez élevé par conséquent le temps d'exécution sera important, d'où la nécessité de diminuer le nombre d'opération, ( $1023*32*21=687456$ ) a travers l'analyse d'une autre méthode d'acquisition.

### **III.6.Conclusion :**

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances acquises, sur le système de positionnement par satellite GPS.

Par la simulation des signaux GPS sous logiciel MATLAB nous avons permis de ressentir de difficultés qui peuvent exister lors de la réalisation de ce genre de circuit .nous avons simulé l'étape d'acquisition sous simulink son exécution montre son bon fonctionnement et il fournit des résultats convenables .

## CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre du projet de fin d'études, nous avons présenté dans ce mémoire l'acquisition au niveau d'un récepteur GPS.

Au terme de ce travail présenté, on peut conclure que le signal GPS est une combinaison de deux signaux, le code C/A (coarse acquisition) appelé également code pseudo aléatoire PRN et le message de navigation, ces deux composant sont modulés par une modulation BPSK à la fréquence porteuse L1.

Pour rendre notre travail plus complet, on a réalisé plusieurs simulations, comme la génération des codes PRN, la simulation du signal GPS... . Après la récupération du signal GPS utile on est passé au stade de la simulation de l'acquisition, une technique qui repose sur le principe de corrélation.

Par ailleurs, pour la réalisation des simulations, on a utilisé le logiciel MATLAB, qui est un système interactif et convivial de calculs numérique et de visualisation graphique, il possède un langage à la fois puissant et simple d'utilisation.

Notre travail peut être sujet d'une amélioration en utilisant toujours le logiciel Simulink. Dans ce contexte on propose de simuler l'étage de poursuite, ce qui va permettre certainement de comprendre le détail de fonctionnement du récepteur GPS.

Finalement, on souhaite que notre travail sera un plus pour notre département d'aéronautique.

# BIBLIOGRAPHIES

## **Thèse**

- ❖ Elaboration d'un outil de simulation des signaux GPS code 24

## **Documentation**

- ❖ Le GPS marine aviation ran données
- ❖ Méthodes et techniques de traitement du signal et application aux mesures physique

## **Site Internet**

<http://www.sapelec.fr/radio/GPS/DGPS.htm>

[fr.wikipedia.org/wiki/GPS](http://fr.wikipedia.org/wiki/GPS)

<http://www.ghgcorp.com/wagenx/GPS.htm>