

## **Résumé:**

Dans ce travail nous allons étudier le principe de fonctionnement d'un récepteur GPS, on s'intéresse particulièrement à la boucle de poursuite de code, DLL (Delay Lock Loop).

## **Abstract :**

In this work we will study the GPS receiver architecture; we are interested mainly by the tracking module, mainly the delay lock loop DLL.

## **ملخص**

في هذا العمل سوف نتطرق إلى دراسة مبدأ عمل الجهاز المستقبل ل (GPS) وكان اهتمامنا حصريا على حلقة التتابع للتشفير ( Delay lock loop) DLL



## *Remerciement*

*Nous remercions ALLAH qui nous a offert le pouvoir d'épargner toute cette patience.  
A M<sup>r</sup> : BENACHENHOU Kamel qui nous dirigé pour ce travail qui a été effectué au  
département d'aéronautique de Blida, a ce M<sup>r</sup> nous tenons à exprimer nos profondes  
reconnaissances pour l'attention et l'aide permanents qu'il a manifesté et pour la confiance  
qu'il a fait preuve à notre égard.*

*A nos chers parents qui nous ont soutenus le long de notre cursus d'études.  
Nous tenons aussi à adresser nos sincères remerciements à tous ce qui nous ont aidé de près  
ou de loin.*

*Nous remercions également tout l'ensemble des enseignants du département d'aéronautique  
de Blida, M<sup>r</sup> le président de jury ainsi que les membres des jurys.*

## *Dédicace*

*C'est avec un grand plaisir que je dédie ce  
modeste travail*

*A mes très chers parents*

*A mes grands parents*

*A mes frères et sœurs*

*A tous mes amis d'étude, d'enfance et jeunesse*

*Kadour*

# SOMMAIRE

<b>Introduction générale.....</b>	<b>08</b>
<b>Chapitre I : Généralité sur le système</b>	
<b>I-1/ Définition.....</b>	<b>09</b>
<b>I-2/Historique.....</b>	<b>10</b>
<b>I-3/Le réseaux GPS.....</b>	<b>11</b>
<b>I-4/ Utilisation de GPS.....</b>	<b>12</b>
<b>I-5/Architecture du système GPS.....</b>	<b>13</b>
<b>I-5-1/ Le segment espace.....</b>	<b>14</b>
<b>I-5-1-1/ Le satellite GPS.....</b>	<b>15</b>
<b>I-5-2/ Le segment de contrôle.....</b>	<b>16</b>
<b>I-5-3/ Le segment utilisateur... ..</b>	<b>17</b>
<b>I/6-Fonctionnements de GPS.....</b>	<b>17</b>
<b>I-6-1/ La position.....</b>	<b>17</b>
<b>I-6-2/ Le temps.....</b>	<b>18</b>
<b>I-6-3/ Calcul de position.....</b>	<b>19</b>
<b>I-6-6/ Données d'almanach.....</b>	<b>20</b>
<b>I-7/ Aides complémentaires à la navigation.....</b>	<b>20</b>
<b>I-8/ Inconvénients d'un système GPS.....</b>	<b>21</b>
<b>I-8-1/ Délais dus à l'ionosphère et à la troposphère.....</b>	<b>21</b>
<b>I-8-2/ Erreurs d'horloge du récepteur.....</b>	<b>21</b>
<b>I-8-3/ Erreurs d'orbites.....</b>	<b>21</b>
<b>I-8-4/ Signal par trajets multiples.....</b>	<b>21</b>
<b>I-8-4/ Nombre de satellites visibles.....</b>	<b>22</b>
<b>I-8-5/ Géométrie/blocage des satellites.....</b>	<b>22</b>
<b>I-8-6/ Détérioration intentionnelle du signal des satellites.....</b>	<b>22</b>

## **Chapitre II : Description du signal et du récepteur GPS**

<b>II-1/ Introduction.....</b>	<b>23</b>
<b>II-2/ structure du signal GPS.....</b>	<b>24</b>
<b>II-3/ Création du signal.....</b>	<b>25</b>
<b>II-4/ construction des codes de gold.....</b>	<b>26</b>
<b>II- 4-1/ La génération du code C/A.....</b>	<b>26</b>
<b>II-4-2/ Propriétés de corrélation des codes GOLD.....</b>	<b>27</b>
<b>II-3/ Architecture d'un récepteur GPS.....</b>	<b>31</b>
<b>II-3-1/ L'antenne.....</b>	<b>32</b>
<b>II-3-2/ L'étage RF.....</b>	<b>32</b>
<b>a. Gain en fonction d'élévation.....</b>	<b>32</b>
<b>b. Rejection d'interférence.....</b>	<b>32</b>
<b>c. Rejection des Multipath.....</b>	<b>32</b>
<b>d. Propriétés physiques.....</b>	<b>32</b>
<b>II-3-2/1 Conditionnement du signal.....</b>	<b>33</b>
<b>II-3-2/2 Conversion de fréquence.....</b>	<b>33</b>
<b>II-3-2/3 Fréquence Image.....</b>	<b>35</b>
<b>II-3/3 Le convertisseur A/N.....</b>	<b>36</b>
<b>II-4/ Le module numérique.....</b>	<b>36</b>
<b>II-4/1 L'acquisition.....</b>	<b>37</b>
<b>* La fréquence .....</b>	<b>37</b>
<b>* Le code phase .....</b>	<b>37</b>
<b>II-4-2/La poursuite.....</b>	<b>38</b>
<b>* La poursuite du code .....</b>	<b>38</b>
<b>* La poursuite de la phase .....</b>	<b>38</b>
<b>II-4-3/ Extraction des données de navigation.....</b>	<b>39</b>
<b>Calcul de la pseudo distance.....</b>	<b>39</b>

<b>II-5/ Calcul de la position.....</b>	<b>40</b>
<b>II-6/ Message de navigation.....</b>	<b>45</b>
<b>Chapitre III : Etude et simulation de la DLL</b>	
<b>III-1/ Introduction.....</b>	<b>47</b>
<b>III-2/ La poursuite.....</b>	<b>51</b>
<b>III-3/Le discriminateur.....</b>	<b>59</b>
<b>III-4/La boucle DLL.....</b>	<b>62</b>
<b>III-5/ Simulation et résultats.....</b>	<b>65</b>
<b>III-6/ Amélioration de la DLL.....</b>	<b>66</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>69</b>

## Listes de figures

<b>Figure I/1</b> : les trois segments.....	13
<b>Figure I/2</b> : Segment spatial.....	15
<b>Figure I/3</b> : Satellite Bloc-2.....	17
<b>Figure I/4</b> : Segments de control.....	18
<b>Figure I/5</b> : position en 2 dimensions.....	21
<b>Figure I/7</b> : retour et blocage de signal .....	23
<b>Figure II-1</b> : Construction d'un signal GPS.....	28
<b>Figure II-3</b> : Fonction d'autocorrélation d'un code C/A PRN1 .....	31
<b>Figure II-4</b> : Fonction d'autocorrélation d'un code C/A PRN1.....	32
<b>Figure II-5</b> : Fonction d'intercorrélation d'un code C/A (PRN1/PRN12) .....	33
<b>Figure II-6</b> : L'architecture générale du récepteur GPS.....	34
<b>Figure II-7</b> : L'étage RF.....	35
<b>Figure II-08</b> : Conditionnement du signal.....	36
<b>Figure II-09</b> : Le principe de conversion du signal RF en fréquence intermédiaire.....	37
<b>Figure II-10</b> : La fréquence image.....	38
<b>Figure II-11</b> : Positionnement autonome.....	44
<b>Figure II-12</b> : Message de navigation .....	45
<b>Figure III-1</b> : synoptique d'un canal .....	48
<b>Figure III-2</b> : fonction de corrélation .....	49
<b>Figure III-3</b> : fonction de corrélation zoomée.....	49
<b>Figure III-4</b> : principe de l'acquisition.....	50
<b>Figure III-5</b> : Schéma de base de la démodulation.....	51
<b>Figure III-6</b> ; bloc de base de la DLL.....	54
<b>Figure III-7</b> : les trois répliques E L P.....	55
<b>Figure III-9</b> : les trois répliques E L P.....	55
<b>Figure III -10</b> : Code reçu synchronisé avec 'Early'.....	56
<b>Figure III-11</b> : code reçu synchronisé avec 'Late'.....	56



<b>Figure III-12</b> : code reçu non synchronisé.....	57
<b>Figure III-13</b> : Code reçu synchronisé 'prompt'.....	57
<b>Figure III-14</b> : discriminateur RE-RL.....	58
<b>Figure III-15</b> : discriminateur RE-RL en puissance.....	60
<b>Figure III-16</b> : discriminateur RE-RL normalisé en puissance.....	60
<b>Figure II-17</b> : Interface de présentation des discriminateurs.....	61
<b>Figure II-16</b> : Interface de présentation les discriminateurs.....	65
<b>Figure III-17</b> : interface finale.....	67

**Listes des tableaux**

<b>Tableau II-1</b> : Les différentes combinaisons spécifiques pour chaque PRN.....	29
<b>Tableau III-1</b> : Les différents discriminateurs de la boucle DLL.....	59
<b>Tableau III-2</b> : valeurs associées au discriminateur.....	66

# **Introduction**

## **Générale**

## **Introduction Générale**

Le système de positionnement global (GPS) (Global Positioning system) est un système de radionavigation par satellite mis en place la Défense américaine en vue d'application de positionnement militaire et en second lieu, mis à la disposition de la communauté civile. La navigation et les systèmes d'informations géodésiques ne sont que quelques uns des domaines dans lesquels la technologie du GPS a été appliquée avec succès.

Le GPS est un système complexe qui peut servir à établir une position avec une exactitude allant de 10 m à quelques millimètres, selon l'équipement utilisé et la procédure suivie. En règle générale, plus l'exactitude du positionnement est grande, plus les coûts sont élevés et plus les procédures d'observation et de traitement sont complexes. Il importe donc aux utilisateurs de comprendre quelles techniques leur permettent d'atteindre l'exactitude souhaitée, moyennant des coûts et une complexité les moins grands possibles.

L'objectif recherché à travers notre travail est d'implémenter sous MATLAB un programme permettant de simuler une partie de l'étage de poursuite précisément de DLL (dealy lock loop)

Ce travail comprend trois chapitres principaux :

Le chapitre 1Une est consacré aux généralités sur le système GPS on trouve entre autre les trois segments de GPS.

Le deuxième chapitre présente une description du signal on trouve entre autre déférents étages de récepteur GPS.

Pour une raison de mieux comprendre le traitement de signal GPS a simulé au niveau de chapitre trois la boucle de poursuite DLL (dealy lock loop)

# **Chapitre I**

## **Généralité sur le système de Positionnement global (GPS)**

**I-1/ Définition :**

Le système de positionnement global GPS (Global positioning system) 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 en trois dimensions, 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 accessible au monde entier.

**I-2/ Historique :**

En 1963, division spatial de l'US. Air force accorde son support à l'étude d'un système de radionavigation initié par la société California Aerospace Aorporation. Le projet porte la référence 621B. En 1967, le premier satellite timation développé par laboratoire de la recherche vavale américaine (NRL, Naval Research Laboratory) est mis en orbite.

En avril 1973, le département de la défense (DoD, Departement of Defense) décide de regrouper en un seul projet le système 621B de lus, AIR force et le système Timation de l'US. Navy dans le but de fournir un moyen de positionnement totalement furtif, de réduire la vulnérabilité des stations terrestres de positionnement de l'époque et de couvrir la terre entière.

Le juillet 1974, le premier satellite comportant une horloge atomique est mis en orbite. Ce satellite, d'abord appelé timation-3, est renommé NTS-1(Nvigation Technology Satellite I). Le 22 février 1978, le premier satellite GPS est mis en orbite. Trois autre satellites GPS sont également mis en orbite cette même année constituant aussi les satellites du bloc I.

Bien que le GPS ait été développé à des fins strictement militaire, le département des transports américains (DoT, Departement of Transport) conclut un accord avec le

DoD. Le GPS peut être utilisé par les services de transport civils, afin de réduire le nombre de balises de radionavigation aérienne civiles.

Le 14 février 1989 le premier satellite de bloc II est mis en orbite. Les satellites du bloc II sont beaucoup plus précis. Ils peuvent ainsi rester 14 jours sans aucun contact avec les stations au sol, tout en conservant une précision suffisante.

En 9 juillet 1993, l'administration de l'aviation américaine (FAA, Federal Aviation Administration) approuve l'utilisation du GPS par les opérateurs de l'aviation civile, et le 8 décembre 1993, le secrétaire de la défense américaine annonce le GPS IOC, indiquant 24 satellites GPS de blocs I, II et IIA sont opérationnels sur leur orbite et utilisables pour la navigation.

Le 17 février 1994, le FAA annonce que le GPS est opérationnel et fait partie intégrante du système de contrôle du trafic aérien des Etas-Unis.

Le 30 mars 1998, IGEB annonce qu'un nouveau signal sera ajouté à la porteuse L2. Ce signal, accessible aux civils vers 2005, permettra d'améliorer considérablement la précision du système.

Le 21 août 1999, la remise à zéro du compteur de semaine transmis par les satellites, perturbe de nombreux récepteurs GPS. Certains d'entre eux, de la première génération, ont même cessé de fonctionner ou n'affichent plus la date correctement. Ce phénomène est connu sous le nom de la << semaine 1024 >> ou EOW.

Le 2 mai 2000, la dégradation volontaire SA de signaux émis par les satellites GPS, est totalement supprimée. La précision fournie par tous les récepteurs GPS civils passe alors de 100 mètres à 22 mètres.

### **I-3/ Le réseaux GPS :**

GPS nom acronyme pour: Système de positionnement à échelle mondiale 'Global Positioning System'. C'est un réseau de satellites qui émettent en permanence des informations codées. Ces informations permettent d'identifier précisément les positions géographiques sur terre, en mesurant la distance depuis les satellites.

Comme indiqué par la définition ci-dessus, GPS correspond à 'Global Positioning System' et réfère à un groupe de satellites du Ministère de la Défense des États Unis d'Amérique, en orbite permanente autour de la terre. Les satellites émettent des signaux radio de très basse fréquence, qui permettent à tous ceux qui possèdent un récepteur GPS de déterminer leur position géographique sur terre.

Ce système remarquable n'a pas été bon marché à construire, il a coûté des billions de dollars US. Sa maintenance constante, y compris le lancement de satellites de remplacement, alourdit encore son coût.

Aussi surprenant que cela puisse paraître, le GPS a précédé l'introduction de l'ordinateur personnel. Ses concepteurs n'avaient peut-être pas prévu qu'un jour nous transporterions de petits récepteurs portables pesant moins d'une livre, qui ne se limiteraient pas à donner les coordonnées de notre position (latitude/longitude), mais afficheraient aussi notre position sur une carte électronique, avec les villes, rues etc.

Ces concepteurs avaient, à l'origine une application militaire à l'esprit. Les récepteurs GPS devaient aider la navigation, le déploiement de troupes et les tirs d'artillerie (entre autres applications). Heureusement, un décret de 1980 a rendu le GPS accessible aussi à l'utilisation civile. Maintenant, chacun peut apprécier les avantages du GPS ! Ses capacités sont quasiment illimitées. Parfois, certaines personnes demandent si elles peuvent utiliser le système gratuitement. Oui ! (En fait ce sont nos impôts qui l'ont payé). Donc, déballez juste votre récepteur GPS, mettez-lui des piles et amusez-vous avec !

#### **I-4/ Utilisation de GPS :**

Le GPS offre une gamme d'applications sur terre, sur mer et dans les airs. À la base, le GPS permet d'enregistrer ou de créer la position de lieux sur terre et nous aide à naviguer vers et depuis ces points. Le GPS peut être utilisé partout, sauf là où il est impossible de recevoir les signaux des satellites, comme à l'intérieur des bâtiments, dans les grottes, les parkings et garages couverts et autres endroits sous-terrains ou sous-marins. Les applications aéronautiques les plus communes comprennent la navigation pour l'aviation générale et commerciale.

Les applications terrestres sont plus diverses. La communauté scientifique utilise le GPS pour ses capacités de précision dans l'espace et le temps et une myriade d'autres applications. Les géomètres utilisent de plus en plus le GPS dans leur travail. Le GPS offre une incroyable économie, en réduisant énormément les temps de mise en oeuvre pour les relevés. Le GPS fournit aussi une précision surprenante. Les appareils de mesure basiques apportent une précision au mètre près. Des systèmes plus onéreux peuvent offrir des précisions de l'ordre du centimètre. Les applications non professionnelles du GPS sont presque aussi variées que le nombre de sports existants. Le GPS devient de plus en plus populaire auprès des randonneurs, chasseurs, randonneurs des neiges, cyclistes tous terrains, skieurs de fond, pour en nommer quelques-uns. Si vous effectuez une activité ou un sport pour lequel vous devez conserver la trace du chemin parcouru, trouver votre route vers un endroit défini ou savoir dans quelle direction vous vous dirigez et à quelle vitesse, vous pouvez profiter du Système de positionnement à échelle mondiale.

Le GPS devient rapidement un lieu commun en automobile aussi. Certains systèmes basiques sont déjà installés au long de la route, fournissant une assistance en cas d'urgence, par des postes équipés d'un bouton à pousser et qui transmet votre position à un central. Des systèmes plus sophistiqués affichent la position du véhicule sur une carte électronique, permettant au conducteur de garder la trace de la route parcourue et lui permettant de rechercher des adresses, des restaurants, hôtels et autres destinations. Certains systèmes créent même automatiquement un itinéraire et donnent des instructions détaillées pour vous guider jusqu'au lieu choisi.

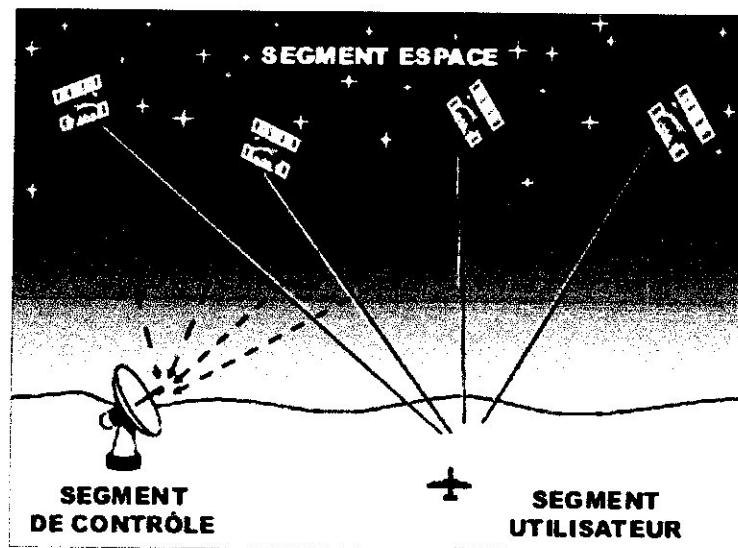


Vous n'avez pas besoin d'être un génie pour apprendre à utiliser un GPS. Tout ce dont vous avez besoin, ce sont quelques informations et le désir d'explorer et de comprendre le monde du GPS. Ne laissez pas des termes comme "pseudo-aléatoire", "anti-spoofing" et "Code P" vous effrayer. Nous allons les expliquer et commencer à vous familiariser avec le meilleur outil de navigation qui soit, depuis l'invention du compas.

### **I-5/ Architecture du système GPS :**

Le système NAVSTAR (acronyme pour **N**avigation **S**atellite **T**iming and **R**anging, nom officiel du GPS pour le Ministère de la Défense des USA) se compose d'un segment dans l'espace (les satellites), un segment de contrôle (les stations au sol) et un segment utilisateur (vous et votre récepteur GPS).

Maintenant, voyons ces trois parties du système et examinons-les plus en détail. Ensuite, nous regarderons de plus près le fonctionnement du GPS.



**Figure I/1 : les trois segments.**

**I-5-1/ Le segment espace :**

Le segment espace, composé d'un minimum de 24 satellites (21 actifs, plus 3 de rechange) est le coeur du système. Les satellites sont en orbite haute, à plus de 19.000 kilomètres, au-dessus de la surface de la Terre. Le fait d'opérer à une telle altitude, permet aux signaux de couvrir une très large zone. Les orbites des satellites sont organisées de telle façon, qu'un récepteur GPS sur terre reçoive toujours les signaux d'un minimum de quatre satellites, à un instant donné.

Les satellites voyagent à plus de 11.000 kilomètres à l'heure, ce qui leur permet de faire le tour de la terre toutes les 12 heures. Ils sont alimentés par l'énergie solaire et sont construits pour durer environ 10 ans. Si l'énergie solaire manque (éclipses, etc.), ils possèdent à bord, des batteries de rechange pour continuer de fonctionner. Ils sont équipés aussi de petits propulseurs pour conserver la bonne orbite.

Les premiers satellites GPS ont été lancés dans l'espace en 1978. Une constellation complète de 24 satellites a été achevée en 1994, complétant ainsi le système. De l'argent provenant du budget du Ministère de la Défense des USA continue d'acheter des satellites et des lancers pour prolonger le fonctionnement des systèmes dans le futur.

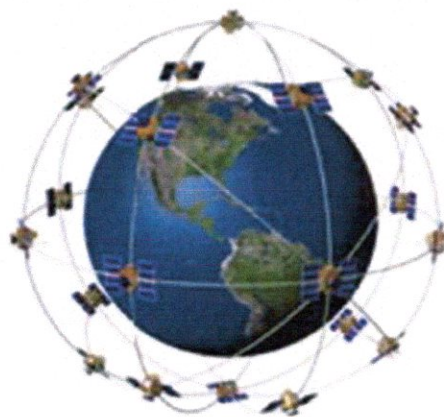
Chaque satellite émet des signaux radio de faible puissance, sur plusieurs fréquences (désignées L1, L2, etc.). Les récepteurs GPS civils "écoutent" la fréquence L1 sur 1575.42 MHz dans la bande UHF (bande d'ondes décimétriques). Le signal voyage en ligne de vue, ce qui signifie qu'il passe au travers des nuages, du verre et du plastique, mais qu'il ne traverse pas les objets plus solides comme les bâtiments ou les montagnes.

Pour vous donner une idée de l'endroit où se trouve le signal L1 dans la bande radio, votre station FM préférée émet à une fréquence située quelque part entre 88 et 108 MHz (et s'en porte mieux !). Les signaux des satellites sont aussi des signaux à très faible puissance, de l'ordre de 20 à 50 watts. Votre station radio FM locale tourne autour de 100.000 watts. Imaginez d'écouter une station radio de 50 watts émettant depuis 12.000

puissance, de l'ordre de 20 à 50 watts. Votre station radio FM locale tourne autour de 100.000 watts. Imaginez d'écouter une station radio de 50 watts émettant depuis 12.000 kilomètres ! Voilà pourquoi il est important d'avoir une vue claire sur le ciel, quand vous utilisez votre GPS.

L1 contient deux signaux "pseudo aléatoires" (schéma complexe de code digital), le code Protégé (P-code) et un code d'acquisition globale (C/A). Chaque satellite émet un code unique, permettant aux récepteurs GPS d'identifier les signaux. "L'Anti-spoofing" (anti-manipulation de données) se rapporte au brouillage du code P afin d'éviter les accès non autorisés. Le code P est aussi appelé code "P (Y)" ou "Y".

L'objectif principal de ces signaux codés est de permettre de calculer leur temps de voyage, du satellite au récepteur GPS situé sur terre. Ce temps de voyage est aussi appelé Temps d'arrivée. Le temps de voyage, multiplié par la vitesse de la lumière est égal à la distance du satellite (distance entre le satellite et le récepteur GPS). Le message de navigation (les informations que les satellites transmettent à un récepteur) contient l'orbite du satellite, des informations d'heure, des messages d'état général et un modèle de délai ionosphérique. Les signaux des satellites sont réglés grâce à des horloges atomiques extrêmement précises.



**Figure I/2 : Segment spatial**

### **I-5-1-1/ Le satellite GPS :**

Plusieurs générations de satellites se suivent, elles sont appelées Bloc 1, Bloc2, Bloc 2A, Bloc 2R, et Bloc 2F.

11 satellites du bloc 1 ont été lancés entre 1978 et 1985. Le dernier a été utilisé jusqu'en 1995. La constellation a été déclarée opérationnelle fin 1993, lorsque les 24 satellites du Bloc 2 ont été en service. 28 satellites de cette génération ont été commandés, chaque satellite pèse 846 Kg une fois placé sur son orbite.

Les 20 satellites du Bloc 2R seront lancés de 1996 à 2001 par des fusées DILTA-2. Chaque satellite pèse 1080 Kg mais vaut la moitié de la prise de la génération précédente.

Les fonctions d'un satellite sont les suivantes :

- recevoir et mémoriser les informations du segment de control.
- Maintenir un temps très précis par une moyenne sur plusieurs oscillateurs embarqués. Un satellite dispose de deux horloges au caesium et deux horloges aux rubidiums (stabilité meilleure que  $10^{-13}$ )
- Transmettre les informations aux utilisateurs par l'intermédiaire de deux porteuses L1 et L2.
- Asservir sa position son attitude.
- Transférer sa position si nécessaire.
- Assurer une liaison UHF entre les différents satellites (à partir des BLOCK IIR.

Les satellites de Bloc 2 ont 10 années d'autonomie et leur durée de vie estimée à 7.5 ans. Des panneaux solaires de  $7.25 \text{ m}^2$  fournissant une puissance électrique de 700 W

Les satellites du Bloc-2F seront mis en orbite au moyen des EELV entre 2001 et 2010.

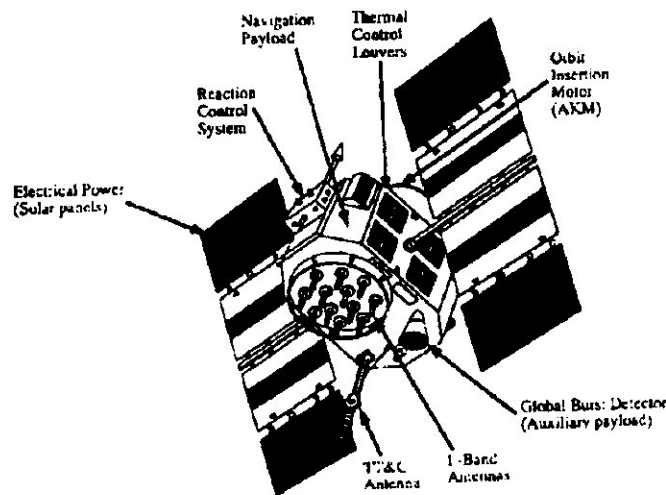


Figure I/3 : Satellite Bloc-2

### I-5-2/ Le segment de contrôle :

Le segment “contrôle” fait ce que son nom indique, il contrôle les satellites GPS en les suivant et en leur fournissant des corrections d’orbites et de temps. Il existe cinq stations de contrôle, situées tout autour de la Terre, quatre stations de surveillance automatiques et une station principale de contrôle. Les quatre stations de réception automatiques reçoivent constamment des données provenant des satellites et envoient ces informations à la station principale de contrôle. La station principale de contrôle “corrige” les données et conjointement avec deux autres sites d’antennes, envoie les informations aux satellites GPS.

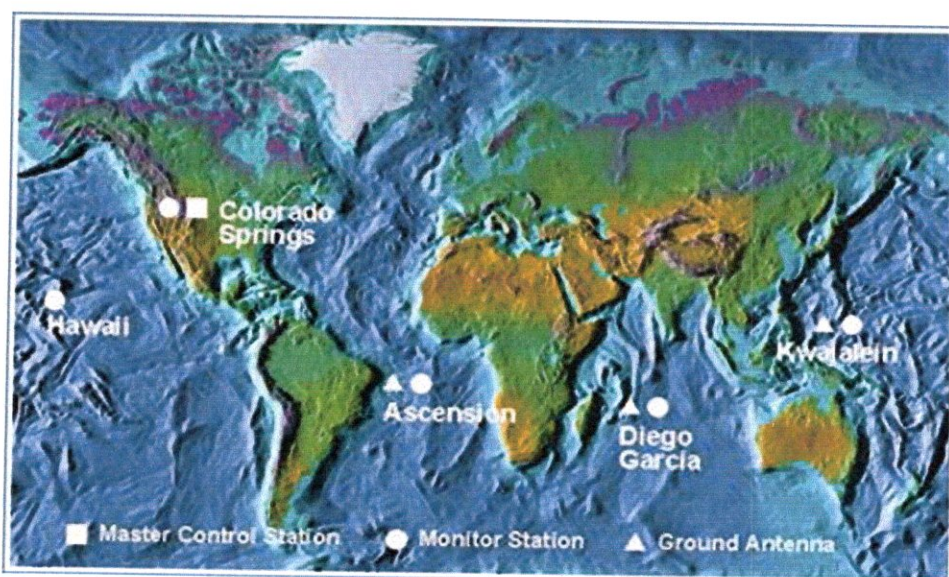


Figure I/4 : Segments de control.

### **I-5-3/ Le segment utilisateur :**

Le segment utilisateur consiste en une variété de récepteur GPS militaires ou civils un récepteur est conçu pour recevoir, décoder et traiter les signaux émis par les satellites GPS. les récepteur intégrés (carte ou circuits spécifique au GPS) dans d'autres systèmes sont également inclus dans le segment utilisateur.

Les utilisations disposent d'un moyen unique pour leur application de localisation, de navigation, de référence de temps, de géodésie voire de détermination d'attitude.

Ces applications diverses ont conduit a développer différent types de récepteur chacun pouvant incluse différentes fonctions adaptées au besoin.

### **I-6/ Fonctionnements de GPS :**

**I-6-1/ La position :** Le récepteur GPS doit savoir deux choses pour pouvoir faire son travail. Il doit savoir Où se trouvent les satellites (leur position) et à QUELLE DISTANCE ils se trouvent.

Regardons d'abord comment le récepteur GPS sait où les satellites se trouvent dans l'espace. Le récepteur GPS tire des satellites deux sortes d'informations codées. Le premier type d'informations, appelé "données d'almanach", contient les positions

dans la mémoire du récepteur GPS, afin qu'il connaisse les orbites des satellites et l'endroit où chaque satellite est censé se trouver. Les données d'almanach sont actualisées périodiquement avec de nouvelles informations, au fur et à mesure que les satellites se déplacent.

Tout satellite peut s'écarter légèrement de sa trajectoire, les stations de surveillance au sol gardent donc la trace des orbites des satellites, de leur altitude, de leur position et de leur vitesse. Les stations sol envoient des données d'orbites à la station principale de contrôle, qui à son tour envoie des données corrigées aux satellites. Ces données de position exactes et corrigées sont appelées "éphémérides". Elles sont valides pendant environ quatre à six heures et sont transmises au récepteur GPS, dans les informations codées.

Ainsi, ayant reçu les données d'almanach et d'éphéméride, le récepteur GPS connaît à tout moment la position des satellites.



#### **I-6-2/ Le temps :**

Même si le récepteur GPS connaît la position précise des satellites dans l'espace, il doit encore connaître la distance à laquelle ils se trouvent, afin de pouvoir déterminer sa position sur terre. Il existe une formule simple qui indique au récepteur à quelle distance il se trouve de chaque satellite.

La distance vous séparant d'un satellite donné est égale à la vitesse du signal émis, multipliée par le temps que le signal met à vous parvenir ( $\text{Vitesse} \times \text{Temps de voyage} = \text{Distance}$ ).

Rappelez-vous qu'étant enfant, vous saviez calculer à quelle distance se trouvait un orage. Quand vous voyiez un éclair, vous comptiez le nombre de secondes le séparant du coup de tonnerre. Plus le résultat était important et plus l'orage était éloigné. Le GPS fonctionne sur le même principe appelé 'Temps d'arrivée'.

La même formule de base est utilisée pour déterminer la distance, le récepteur connaît déjà la vitesse. C'est la vitesse d'une onde radio: 300.000 kilomètres/seconde (la vitesse de la lumière), moins le délai, comme le signal traverse l'atmosphère de la terre.

Maintenant le récepteur GPS doit déterminer la partie temps de la formule. La réponse réside dans les signaux codés que les satellites transmettent. Le code transmis est appelé "code pseudo-aléatoire" parce qu'il ressemble à un signal de bruit. Quand un satellite génère un code pseudo-aléatoire, le récepteur GPS génère le même code et essaie de le faire correspondre au code du satellite. Le récepteur compare alors les deux codes pour déterminer de combien il doit retarder (ou déplacer) son code pour qu'il corresponde au code du satellite. Ce laps de temps (déplacement) est multiplié par la vitesse de la lumière pour obtenir la distance.

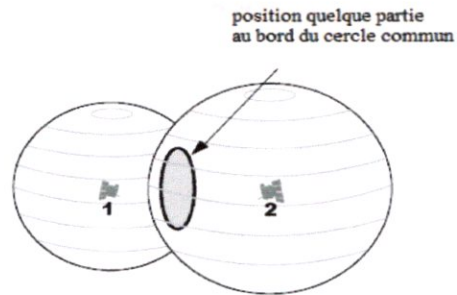
L'horloge de ~~votre~~ récepteur GPS ne conserve pas l'heure aussi précisément que les horloges des satellites. Installer une horloge atomique dans votre récepteur GPS le rendrait bien trop gros et trop cher ! Donc, chaque mesure de distance doit être corrigée pour prendre en compte l'erreur de l'horloge interne du récepteur GPS. Pour cette raison, la mesure de la distance est appelée "pseudo-distance". Pour déterminer la position en utilisant les données de pseudo-distance, quatre satellites au minimum, doivent être suivis et les quatre positions doivent être recalculées jusqu'à disparition de toute erreur d'horloge.

### **I-6-3/ Calcul de position :**

Maintenant que nous avons à la fois la position et la distance des satellites, le récepteur peut déterminer une position. Disons que nous nous trouvons à 18.000 kilomètres d'un satellite. Notre position serait quelque part à l'intérieur d'une sphère imaginaire ayant pour centre le satellite et d'un rayon de 18.000 kilomètres. Disons maintenant que nous sommes à 20.000 kilomètres d'un autre satellite. La seconde sphère recouperait la première sphère pour créer un cercle commun. Si nous ajoutons un troisième satellite, à une distance de 21.000 kilomètres, nous obtenons maintenant deux points communs où les trois sphères se coupent. Même s'il y a deux positions possibles, elles diffèrent largement en latitude/longitude et en altitude. Pour déterminer lequel des deux points communs correspond à votre position réelle, nous devons entrer votre altitude approximative dans le récepteur GPS. Ceci lui permet de calculer une position en deux dimensions (latitude et longitude).

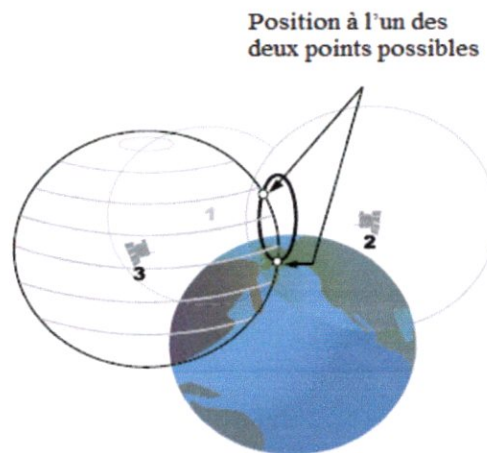


Même s'il y a deux positions possibles, elles diffèrent largement en latitude/longitude et en altitude. Pour déterminer lequel des deux points communs correspond à votre position réelle, nous devons entrer votre altitude approximative dans le récepteur GPS. Ceci lui permet de calculer une position en deux dimensions (latitude et longitude).



**Figure I/5 :** position en 2 dimensions

Cependant, en ajoutant un quatrième satellite, le récepteur peut déterminer votre position en trois dimensions (latitude, longitude et altitude).



**Figure I/6 :** position en 3 dimensions.

**I-6-6/ Données d'almanach :**

L'appareil enregistre des données indiquant l'emplacement où se trouvent les satellites, à un moment donné. Parfois, quand l'appareil GPS n'est pas mis sous tension pendant une longue période, l'almanach peut ne plus être à jour, on dit qu'il est "froid".

Quand le récepteur GPS est "froid", il prend plus de temps pour acquérir les satellites. Un récepteur est considéré comme "chaud" quand les données ont été recueillies des satellites dans les dernières quatre à six heures. Quand vous cherchez à acheter un appareil GPS, vous pouvez voir dans les spécifications, les temps d'acquisition "à froid" et "à chaud". Si le temps que l'appareil GPS prend pour accrocher les signaux et calculer une position est important pour vous, assurez-vous de vérifier les temps d'acquisition.

Quand le GPS a accroché suffisamment de satellites pour calculer une position, vous êtes prêt à commencer la navigation ! La plupart des appareils affichent une page de position ou une page montrant votre position sur une carte (écran carte), qui vous aide à naviguer.

**I-7/ Aides complémentaires à la navigation :**

Même si la technologie des GPS s'améliore chaque jour, il est intéressant d'avoir une navigation de secours. Avoir une carte papier, un simple compas, et la connaissance de la navigation manuelle est la règle bonne et sûre des navigateurs prudents ! Rappelez-vous que le GPS est un complément à la navigation et ne doit jamais être le seul outil de navigation utilisé.

**I-8/ Inconvénients d'un système GPS :**

Les récepteurs GPS civils présentent des erreurs de position potentielles, en raison d'erreurs accumulées, dues principalement à certaines des sources suivantes:

**I-8-1/ Délais dus à l'ionosphère et à la troposphère :**

Le signal du satellite ralentit quand il traverse l'atmosphère. Le système utilise un modèle intégré qui calcule une moyenne, mais pas un retard exact.

**I-8-2/ Erreurs d'horloge du récepteur :**

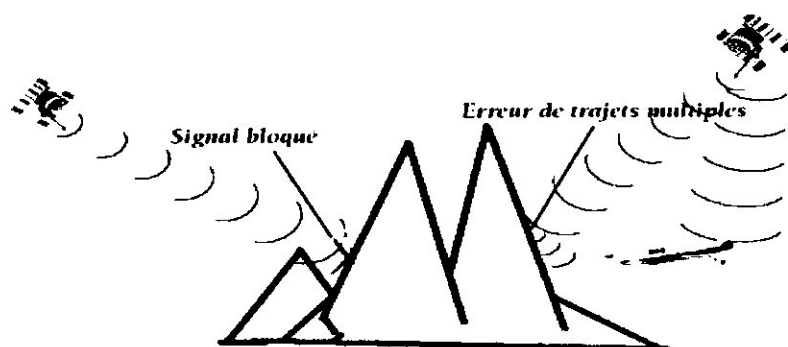
Comme il n'est pas pratique d'avoir une horloge atomique dans votre récepteur GPS, l'horloge interne peut présenter de légères erreurs de temps.

**I-8-3/ Erreurs d'orbites :**

Également connues comme "erreurs d'éphéméride", ce sont des inexactitudes dans la position rapportée d'un satellite.

**I-8-4/ Signal par trajets multiples :**

Intervient quand le signal est réfléchi par des objets, comme des grands bâtiments ou de larges surfaces de rochers, avant d'atteindre le récepteur. Cela rallonge le temps de voyage du signal, causant ainsi des erreurs.



**Figure I/7 : retour et blocage de signal**

**I-8-4/ Nombre de satellites visibles :**

Plus le nombre de satellites que le récepteur peut “voir” est grand, et meilleure est la précision. Les bâtiments, le terrain, les interférences électroniques et même parfois les feuillages denses peuvent bloquer la réception du signal, provoquant des erreurs ou l’absence d’information de position. Plus la vue est claire et meilleure est la réception. Les récepteurs GPS ne fonctionnent (normalement) pas à l’intérieur, sous l’eau ou sous terre.

**I-8-5/ Géométrie/blocage des satellites :**

Ces termes correspondent à la position relative des satellites, à un moment donné. La géométrie idéale des satellites existe, quand les satellites sont positionnés aux grands angles les uns par rapport aux autres. Une géométrie médiocre découle d’un positionnement en ligne ou groupé des satellites.

**I-8-6/ Détérioration intentionnelle du signal des satellites :**

La détérioration intentionnelle du signal par les militaires américains est connue sous le nom de “Disponibilité Sélective” (SA). Elle a pour objet d’éviter que des adversaires militaires puissent utiliser les signaux GPS de haute précision. La SA correspond à la majorité des erreurs de distance. La SA a été désactivée le 2 Mai 2000 et elle n’est actuellement plus active. Ceci signifie que vous pouvez escompter une précision GPS normale de l’ordre de 6 à 12 mètres (20 à 40 pieds).

## II-1/ Introduction :

Le système GPS (global positioning system) a été conçu pour permettre d'obtenir, partout dans le monde et rapidement, des données de positionnement tridimensionnelles, avec une précision de l'ordre de quelques mètres. Il se base sur une constellation de satellites, qui émettent en permanence un signal daté, et un réseau de stations au sol qui surveillent et gèrent les satellites. Les récepteurs sont passifs et le nombre d'utilisateurs est donc illimité. La localisation est possible dès lors que quatre satellites sont visibles, il y a en effet quatre inconnues à déterminer, les trois coordonnées spatiales, ainsi que le temps, puisque le récepteur au sol n'est pas synchronisé avec les satellites. Pour ce faire, les 24 satellites du système sont équirépartis sur six orbites de façon à garantir qu'au sur six orbites de façon à garantir mois quatre satellites soient visibles en permanence (un satellite étant considéré comme visible dès lors que son angle d'observation est supérieur à  $15^\circ$  par rapport à l'horizon), et ce, partout sur terre.

Chaque satellite transmet son signal s'étendant sur deux fréquences radio différentes : 1575.42 Mégahertz qui désigné sous le nom *de porteuses L1*, et 1227.60 Mégahertz indiqués comme *porteuse L2*.

Sur lesquelles sont superposés à ces derniers des codes pseudo-aléatoires, numériques, biphasés appelés les codes PRN (bruit pseudo-aléatoire) qui sont uniques à chaque satellite.

Ceci signifie simplement que le signal convoyeur est modulé en changeant sa phase dans les deux sens (biphasé). Cette modulation du signal est très longue et compliquée. Il ressemblerait simplement à groupe de bruit aléatoire qui n'a semblé aucun raisonnable du tout. Mais il est vraiment à un sens pour ceux dans le savoir. Ainsi le bruit pseudo-aléatoire a des limites. Il y a deux types de codes pseudo-aléatoires différents employés par le GPS, qui sont *le code brut d'acquisition (C/A-code)*, parfois appelé « le code civil » et *le code précis ou protégé (p-code) p(y)*.

## II-2/ Structure du 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 :

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

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

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 (précision)**, 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).

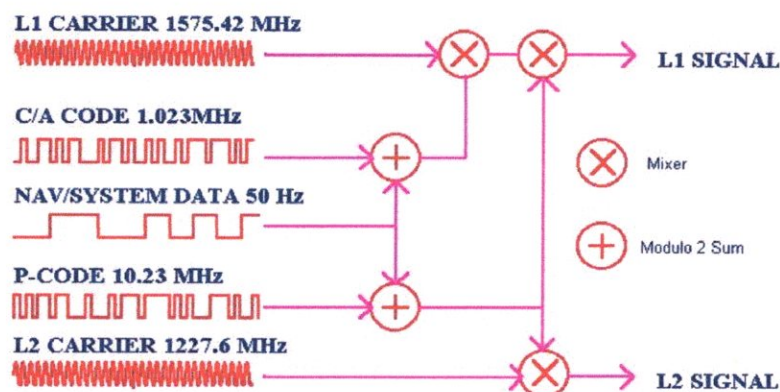


Figure II-1: Construction d'un signal GPS

### 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  $P \oplus D$  et en quadrature par le signal  $C/A \oplus D$  (où  $\oplus$  représente l'opérateur XOR). La porteuse L2 est simplement modulée en phase par le signal  $P \oplus D$ . 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:

$$S_1 = A_p(P \oplus D)(t) \cdot \cos(2\pi.L_1.t + \Phi) + A_c(C/A \oplus D)(t) \cdot \sin(2\pi.L_1.t + \Phi) \quad (\text{II-1})$$

$$S_2 = B_p(P \oplus D)(t) \cdot \cos(2\pi.L_2.t + \Phi) \quad (\text{II-2})$$

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/ Construction 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.

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'.

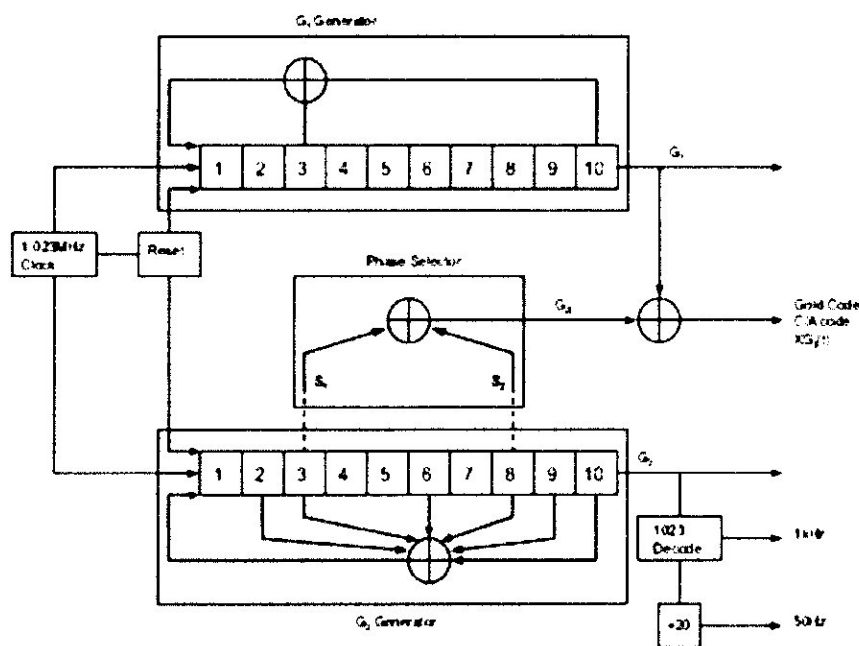


Figure II-2 : La génération du code C/A.



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

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

### II-4-2/ 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'autocorrélation 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 (II-6) prenne les valeurs suivantes :

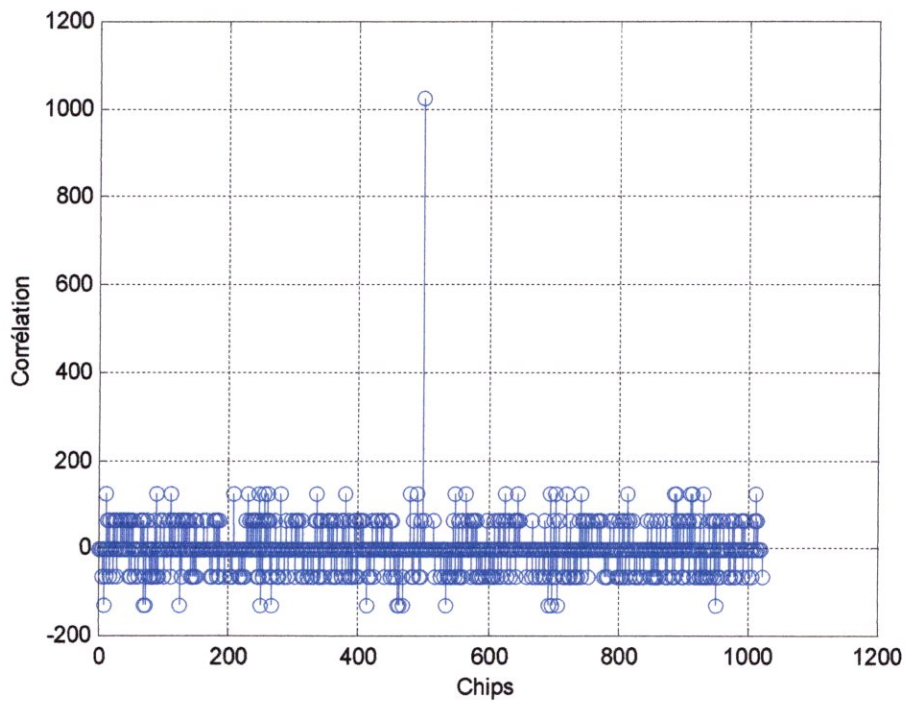
$$K_{c_i, c_i}(m) = \begin{cases} 1 \\ -\frac{1}{L} \text{ or} \\ -\frac{1}{L} t(n) \text{ or} \\ \frac{1}{L} [t(n) - 2] \end{cases} \quad \text{où} \quad t(n) = \begin{cases} 1 + 2^{\frac{n+1}{2}} & n \text{ impair} \\ 1 + 2^{\frac{n+2}{2}} & n \text{ pair et non divisible par 4} \end{cases}$$

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

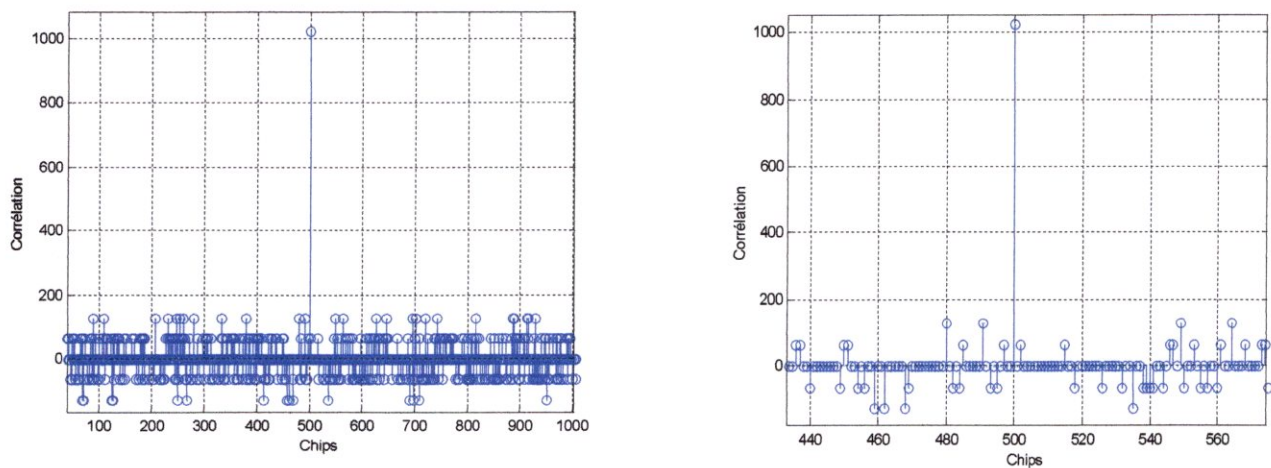
Par conséquent:

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

On peut alors en déduire l'allure de la fonction d'autocorrélation de ces codes qui est donnée par la figure (II-4). Les valeurs citées sont bien illustrées sur la figure (II-5).



**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 :

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

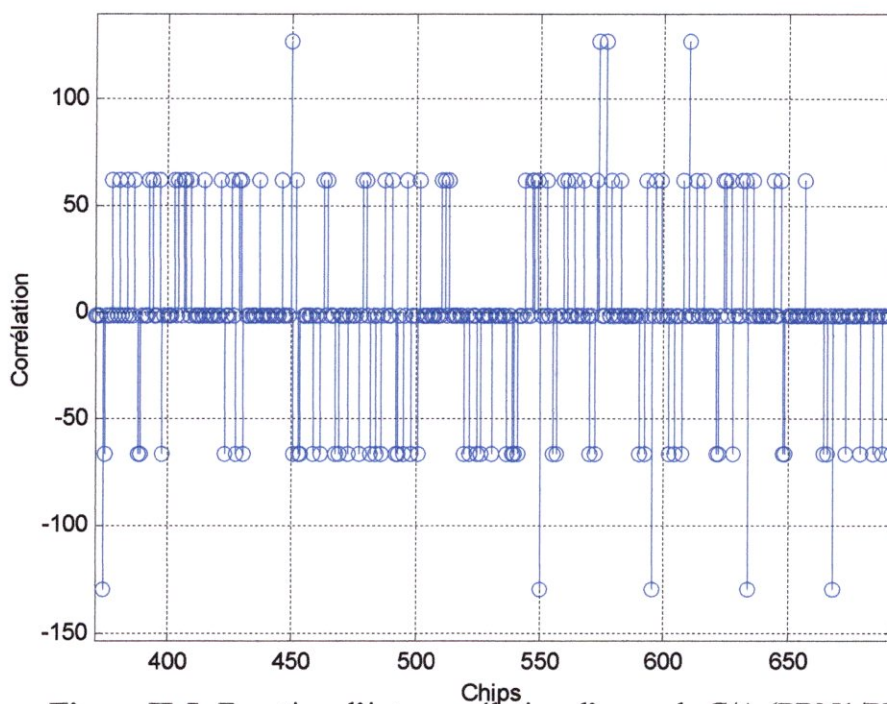
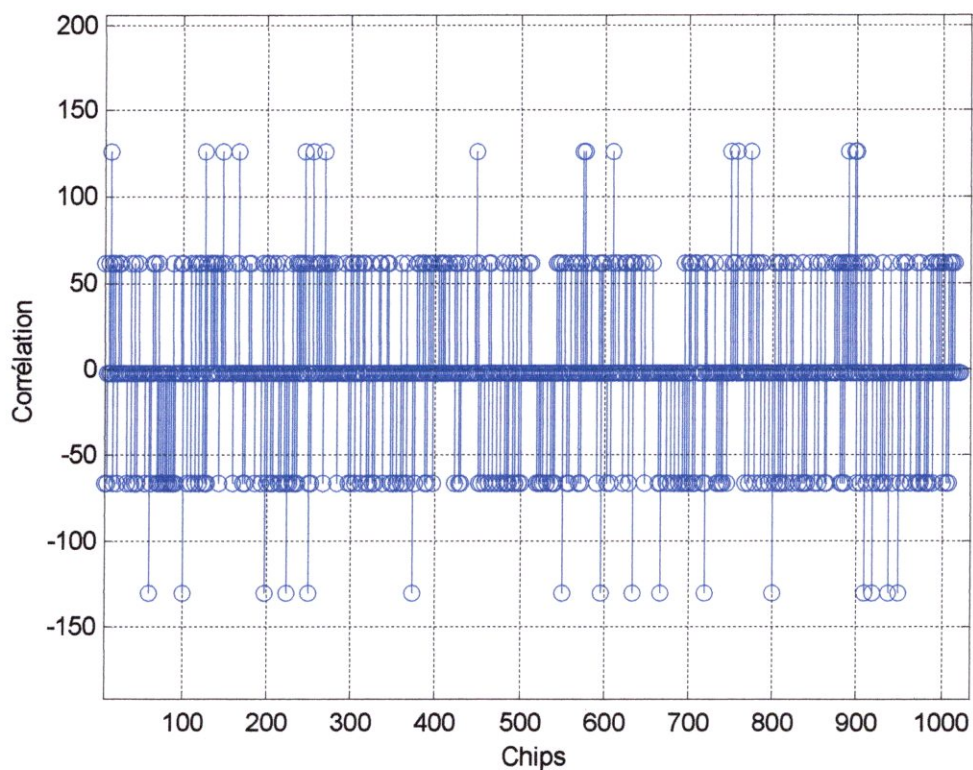
Les valeurs de cette fonction sont les suivantes :

$$-1/1023 = -0.001$$

$$-65/1023 = -0.0635$$

$$63/1023 = 0.0616$$

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-6) justifie l'utilisation du concept CDMA dans la réception des signaux GPS.



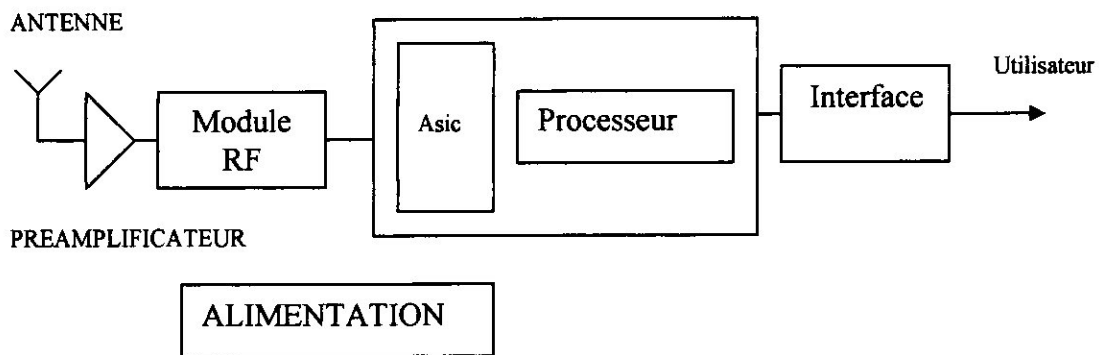
**Figure II-5:** Fonction d'intercorrélation d'un code C/A (PRN1/PRN12)

### II-3/ Architecture d'un 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 II-6 :** L'architecture générale du récepteur GPS.

### II-3-1/ 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 suit 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 la ou elle sera utilisée, par conséquent on défini la taille, la forme et les matériaux qui constituent l'antenne.

### II-3-2/ 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.

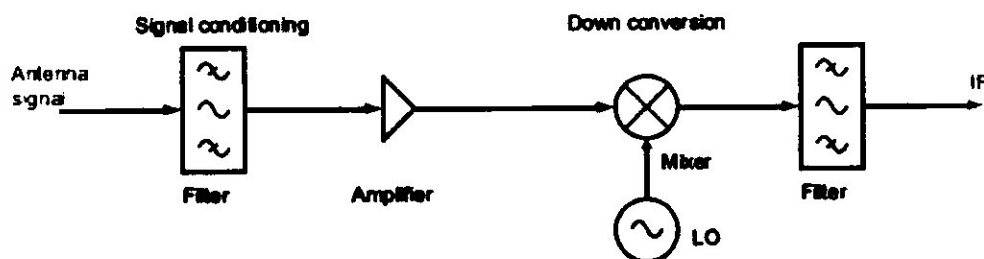


Figure II-7 : L'étage RF

### II-3-2-1/ 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.

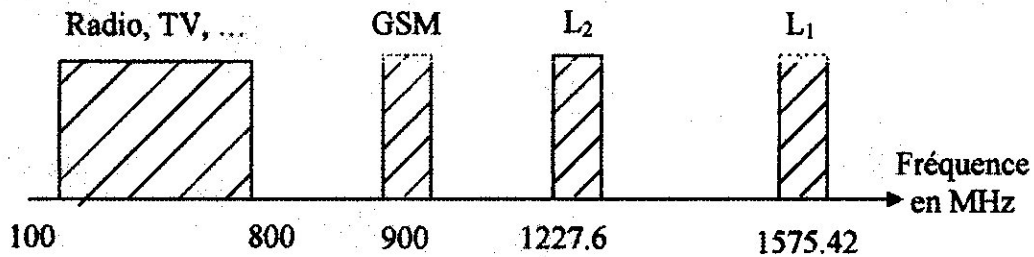


Figure II-08 : Conditionnement du signal

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.

### II-3-2-2/ 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 :

$$s_{out}(t) = s_{in}(t) \cdot s_{osc}(t) \quad (II-17)$$



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 :

$$S_{out}(f) = S_{in}(f) * S_{osc}(f) \tag{II-18}$$

La figure (II-9) 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 :

$$f_{osc} = f_{RF} - f_{FI} \tag{II-19}$$

Cette opération donne quatre composantes de fréquence là ou 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.

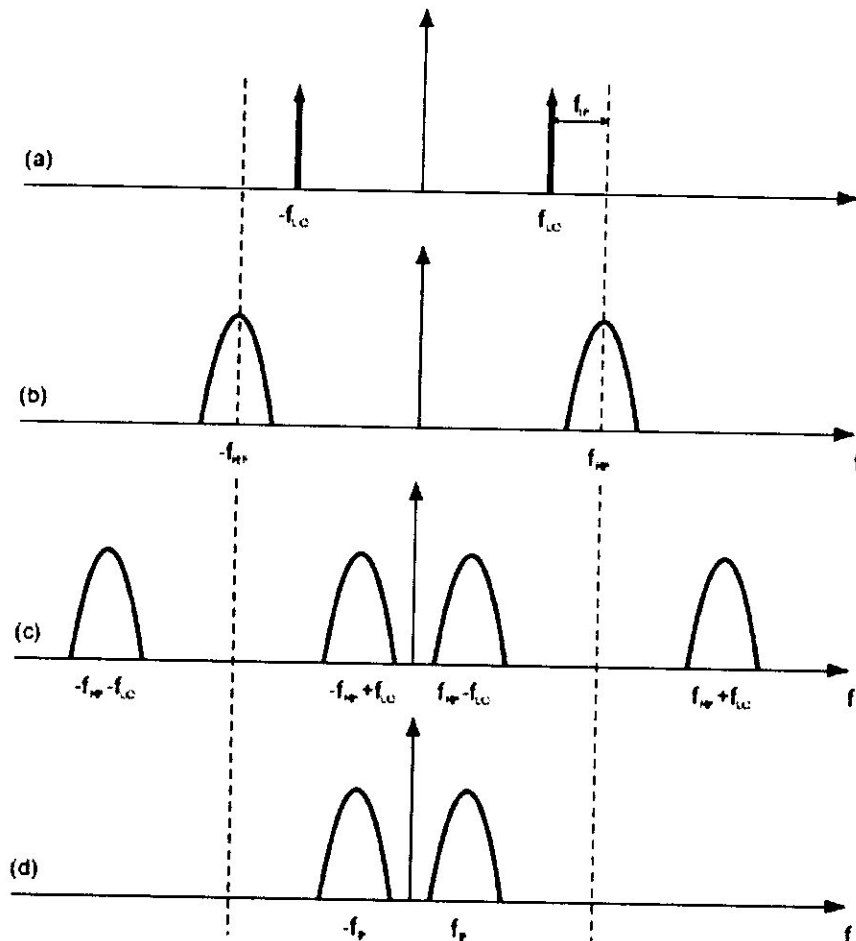


Figure II-09: Le principe de conversion du signal RF en Fréquence intermédiaire

### II-3-2-3/ 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 (II-10) montre comment la fréquence image immerge la fréquence du signal utile après conversion :

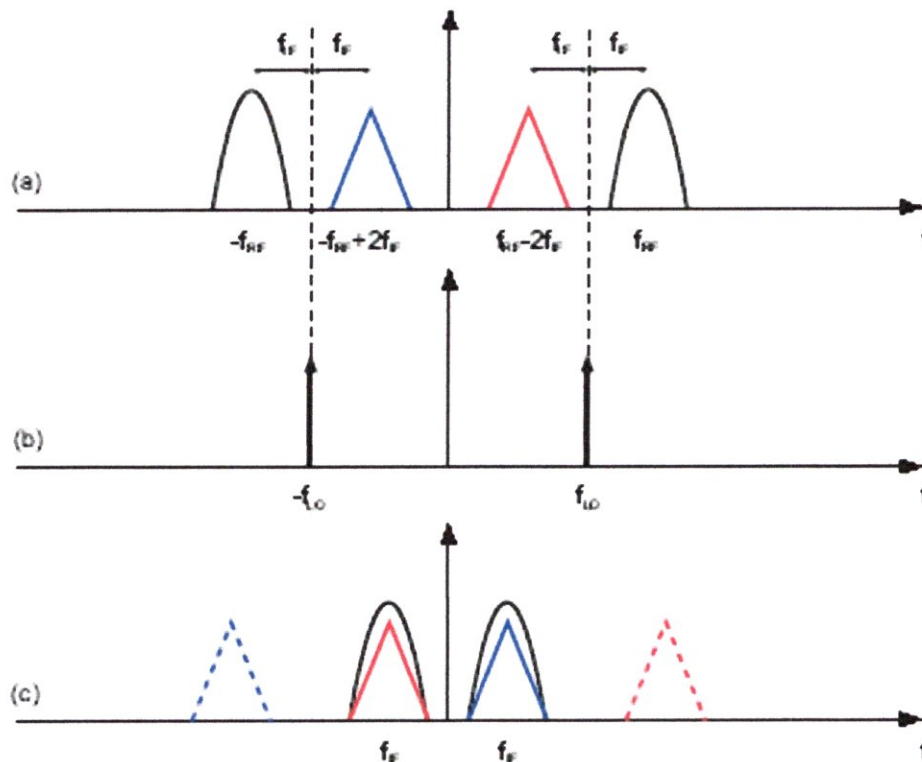


Figure II-10: La fréquence image

**II-3-3/ 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 :

$$f_e = 2 \cdot \Delta f \quad (\text{II-20})$$

Avec  $\Delta f$  Est la bande du signal

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

$$f_e = 2 \cdot f_{\max} \quad (\text{II-21})$$

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

Sur la fréquence  $L_1$  du GPS, la bande du signal est approximativement/

$$\Delta f = 2 \text{ MHz} .$$

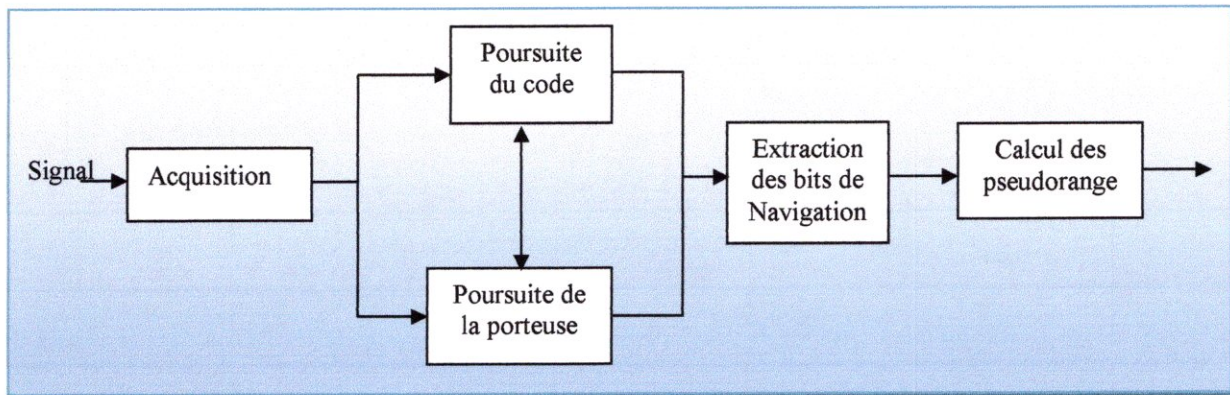
Et lorsque le signal est converti à la fréquence intermédiaire donnée FI, la composante de fréquence maximale est :

$$\begin{aligned} f_{\max} &= f_{FI} + \frac{1}{2} \Delta f \\ &= f_{FI} + 1 \text{ MHz} \end{aligned}$$

**II-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 figure ci-dessous donne une idée générale sur le traitement effectué dans un 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.

#### II-4-1/ 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 mobil.

\* **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-18 ) montre bien cette caractéristique pour le satellite PRN1 qui est présent dans ce cas, tandis que la figure (II-19 ) indique que le satellite PRN5 est absent.

**II-4-2/ La poursuite :**

Cette opération a 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-4-3/ 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 se 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 adjacentes 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-5/ Calcul de la 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 deux phases d'acquisition et de poursuite on peut récupérer les données de navigation. Sachant que le signal GPS est émis à un moment précis par le satellite, le récepteur doit mesurer l'instant de réception. Par conséquent on obtient le temps mis par le signal afin de parcourir le trajet satellite-récepteur, c'est la pseudo distance, pseudo car elle est entachée par plusieurs erreurs dont il faut les corriger. 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 fourni 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 au niveau du récepteur, le temps récepteur n'est donc pas exactement synchronisé aux deux autres temps. Par conséquent on a :

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

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 :

$$D_{pseudo} = c \cdot (t_r^r - t_s^e) \quad (\text{II-22})$$

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 :

$$D = D_{pseudo} + c \cdot (\Delta t_s^e - \Delta t_r^r) - \Delta_{propa} \quad (\text{II-23})$$

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

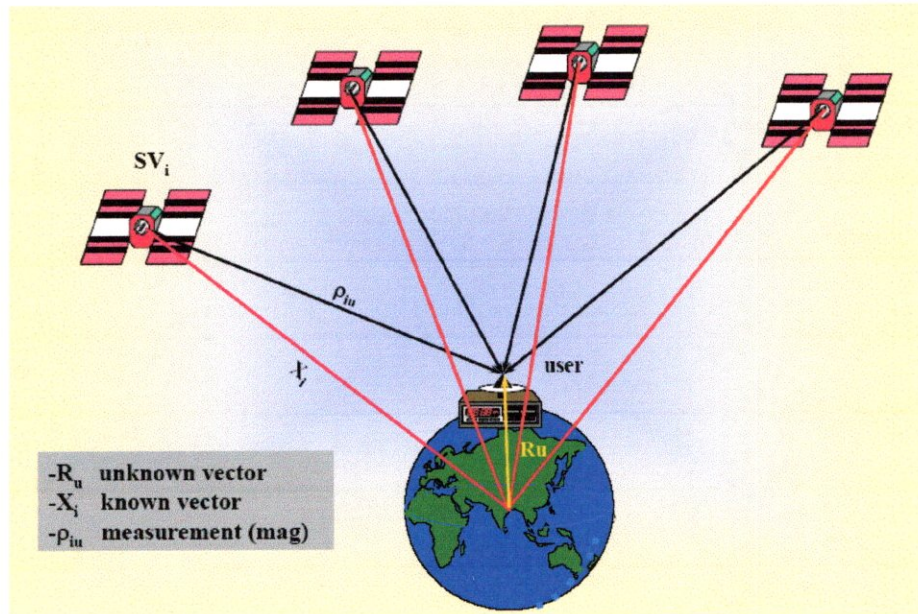
On note que  $\Delta_{propa}$  est estimable à partir des coefficients de corrections émis par le satellite. De même, on a :

$$\Delta t_s^e = a_0 + a_1 \cdot (t_s^e - t_s^0) + a_2 \cdot (t_s^e - t_s^0)^2 + \varepsilon_{alea} + \varepsilon_{rel} \quad (\text{II-24})$$

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

$\varepsilon_{alea}$  et  $\varepsilon_{rel}$  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-20),  $SV_i$   $i=1,4$  ; 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  $s1$  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,  $\rho_i$  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 :

$$\rho_i = \sqrt{(X_i - X_U)^2 + (Y_i - Y_U)^2 + (Z_i - Z_U)^2} + c.t_u \quad (\text{II-25})$$

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

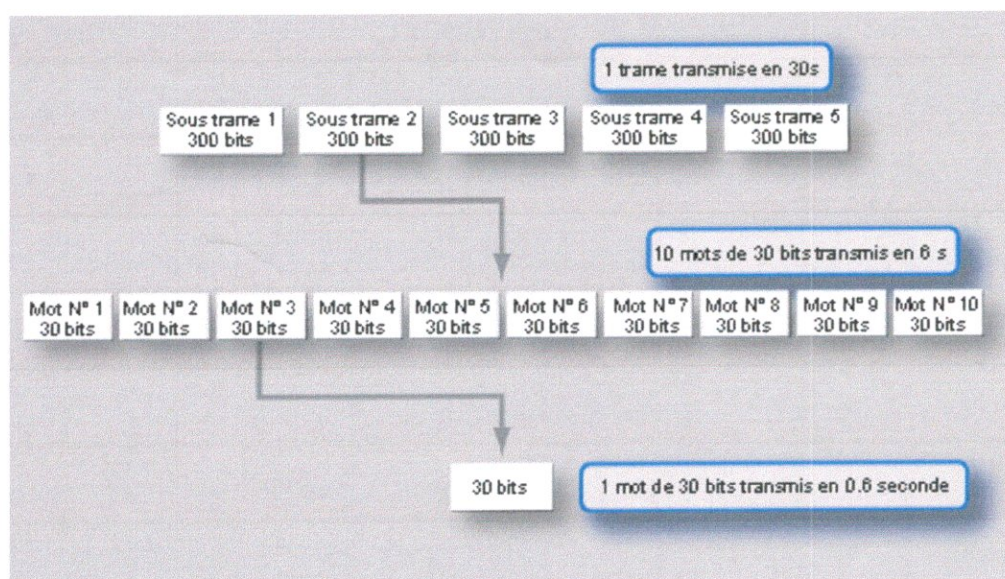
- ❖ Solution analytique.
- ❖ Méthodes des moindres carrés.
- ❖ Filtre de Kalman.



## II-6/Le message de navigation GPS :

Le message de navigation est une suite de données binaires transmises en mode série à 50 bits par seconde sur les deux fréquences L1 (1575,42 Mhz) et L2 (1227,60 Mhz).

Il est composé de cinq structures " Subframe " de 300 bits et compte donc 1500 bits. La durée de chaque structure est de 6 s. Il faut donc 30s pour acquérir la totalité d'un message.



**Figure II-12:** Message de navigation

Ce message contient toutes les données nécessaires au récepteur pour effectuer les calculs de navigation.

Ces données comprennent :

- une information sur l'état de santé du satellite.
- Les informations nécessaires à l'acquisition du code P.
- Les paramètres de corrections de l'horloge satellite.
- Les paramètres du modèle de correction des retards de propagation.
- Les éphémérides du satellite.
- Un almanach concernant les 24 satellites du système nécessaire pour la sélection des 4 satellites.

L'organisation, la structure et le contenu du message de navigation sont décrits ci-dessous :

La sous trame 1 contient les corrections d'horloge du satellite.

Les sous trames 2 et 3 contiennent les éphémérides.

La sous trame 4 contient un message évoluant sur 25 trames.

La sous trame 5 contient l'almanach et le statut santé du satellite évoluant sur 25 trames puis se répétant.

Comme on l'a vu précédemment, le système GPS est à même de servir de référence temporelle. En effet, les horloges embarquées sont d'excellentes qualités, et le système fournit les corrections nécessaires à apporter aux données horaires pour être synchrones de l'UTC.

# **Chapitre III**

## **Etude et simulation de la DLL**

### III-1/ Introduction :

Afin de poursuivre et de décoder l'information disponible au niveau du signal GPS, on procède en premier temps à une opération d'acquisition qui sert à détecter la présence d'un satellite donné, son code phase et sa fréquence associés. Ces résultats seront exploités pour initialiser la phase suivante, c'est l'opération de poursuite. Cette dernière permettra de se synchroniser en temps et en fréquence avec le signal reçu d'une façon permanente, cette synchronisation se réalise à travers deux boucles de verrouillage l'une de phase, c'est la PLL, l'autre pour le code, c'est la DLL.

Une boucle de poursuite de porteuse reconstitue la fréquence porteuse et une boucle de code asservit le maximum de la fonction d'autocorrélation en contrôlant le code généré localement. Chacune de ces boucles poursuit le signal d'entrée qui évolue avec la dynamique du porteur et du satellite. Un jeu de boucles (code et porteuse) est capable de poursuivre un seul satellite à la fois.

Le fonctionnement simultané de ces deux boucles permettra de récupérer l'information transmise dans le signal sous forme de message de navigation, qui sera par la suite exploité pour calculer la position des satellites, par conséquent la position du récepteur.

Dans ce chapitre, nous présentons une étude détaillée suivie de quelques simulations Matlab dans le but d'analyser le fonctionnement de la boucle de poursuite du code 'DLL'.

Considérons le synoptique correspondant au traitement numérique réalisé au niveau d'un canal donné du récepteur GPS, ce canal représenté par la figure III-1 suivante :

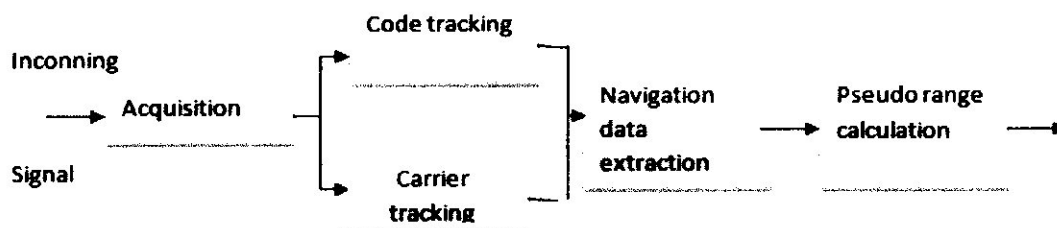


Figure III-1 : synoptique d'un canal

A partir de ce synoptique nous constatons que la première opération réalisée est Bien l'opération de l'acquisition, opération qui sert non seulement à déterminer les satellites visibles mais aussi leur code-phase et la fréquence associés. L'acquisition n'est autre qu'une opération de corrélation exploitant les propriétés des codes PRN déjà présentées au chapitre précédent, tout en notant une légère différence au niveau du traitement.

Cette différence réside dans la taille du code PRN traité, sachant que ce code est initialement à 1023 bits, mais lors du traitement nous considérons le code échantillonné qui dépend certainement de la fréquence d'échantillonnage, dans la présente étude nous l'avons fixé à  $F_e=10\text{Mhz}$ , par conséquent, le code PRN possèdera une longueur égale à 11253 échantillons. Dans ce cas la fonction d'autocorrélation est présentée par la figure III-2. Un zoom sur la même figure est effectué afin de clarifier le résultat trouvé, ceci est donné par la figure III-3.

Sur ces deux figures nous remarquons que le pic atteint une valeur maximale de 11253, les autres valeurs sont de : 10230, 9207, 8184, 7161,..... 1023.

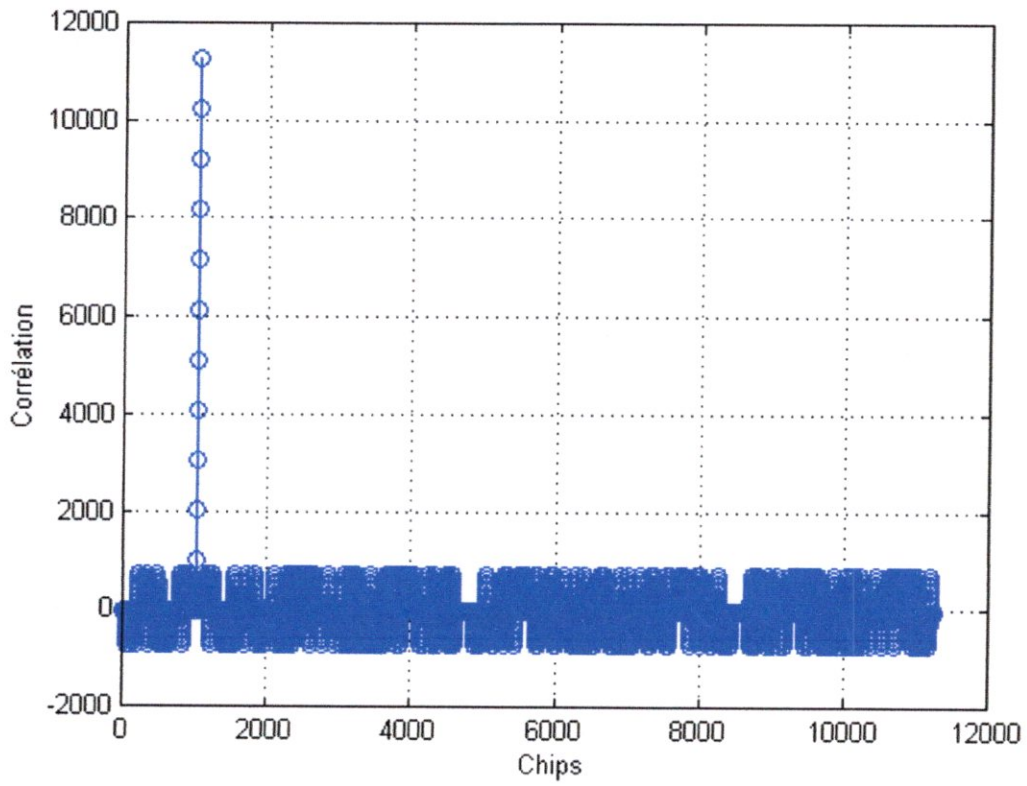


Figure III-2 : fonction de corrélation

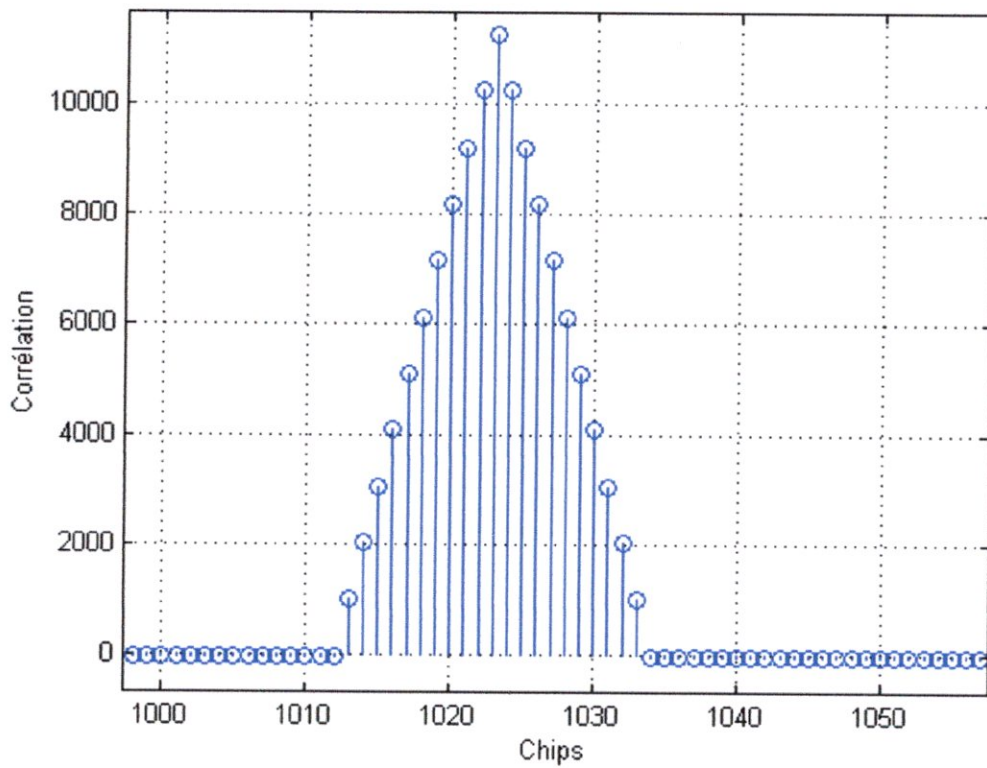


Figure III-3 : fonction de corrélation zoomée

Ces propriétés de corrélation seront exploitées au niveau de l'acquisition, cette dernière peut être effectuée selon plusieurs méthodes, dont la plus simple est donnée par le synoptique suivant :

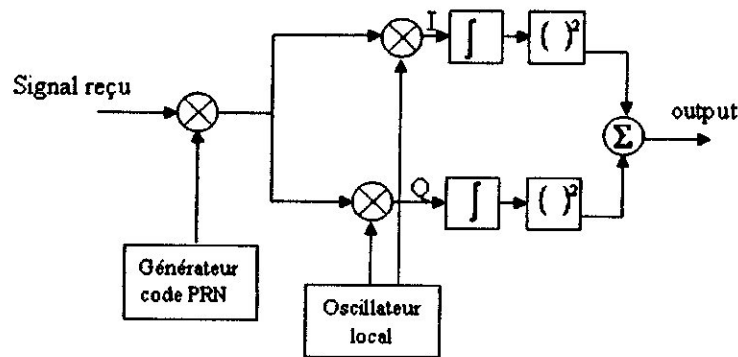


Figure III-4: principe de l'acquisition

D'après cette figure, on constate que l'acquisition est basée sur la multiplication du signal reçu par un code PRN puis par une porteuse générée localement. Le générateur PRN génère une séquence correspondante à un satellite donné, cette séquence possède un code phase entre 1 et 11254 chips. Le signal reçu est multiplié par le code PRN puis multiplié par une porteuse générée localement. Cette dernière constitue le signal 'I' tandis que la multiplication avec la porteuse déphasée de  $90^\circ$  génère le signal 'Q'.

I et Q sont intégrés sur un temps donné, qui est la longueur d'un code C/A donc 1ms, finalement ces deux voix sont mises au carré puis additionnées. Idéalement la puissance du signal doit être sur la voie I ce qui signifie que la démodulation doit être sur cette voie seulement, mais à cause du déphasage il est nécessaire d'examiner les deux voix I et Q.

La sortie est la valeur de la corrélation entre le signal reçu et le signal généré localement. Si cette sortie dépasse un certain seuil prédéterminé on le localise puis on récupère la fréquence et le code phase correspondant.

On note que cette méthode repose sur le balayage de deux paramètres selon valeurs possibles :

- La fréquence qui doit être balayée entre  $f_c - 5$  KHz et  $f_c + 5$  KHz avec un pas choisi.
- Un code qui doit être balayé sur les 11254 codes phase différents.

Par conséquent les résultats de l'acquisition sont l'identification du satellite visible, son code phase et sa fréquence. Ceci nous permet d'initialiser la phase de poursuite.

### III-2/ La poursuite :

Afin d'exploiter les informations envoyées dans le signal GPS reçu il est nécessaire de réaliser une démodulation, cette opération peut être réalisée en considérant le synoptique suivant :

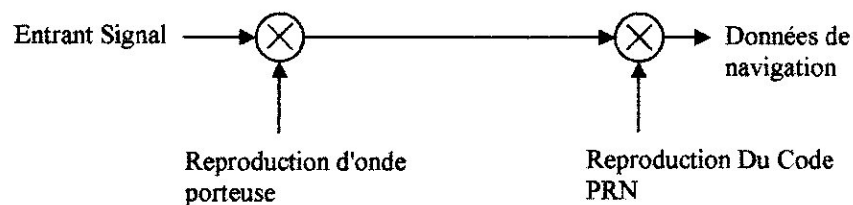


Figure III-5 : Schéma de base de la démodulation.

Tout d'abord, le signal d'entrée est multiplié avec une réplique locale de la porteuse dans le but d'éliminer la porteuse du signal, puis nous réalisons une multiplication avec une réplique locale du code. Le résultat de ces deux multiplications successives donne le message de navigation. Ainsi le module de poursuite doit produire deux répliques locales, une pour la porteuse et l'autre pour le code afin de démoduler correctement le signal satellite reçu. Analytiquement ce signal peut être décrit par:

$$s^K(t) = \sqrt{2P_C} (C^K(t)D^K(t)) \cos(2\pi f_{L1}t) + \sqrt{2P_{PL1}} (P^K(t)D^K(t)) \sin(2\pi f_{L1}t) \\ + \sqrt{2P_{PL2}} (P^K(t)D^K(t)) \cos(2\pi f_{L2}t) \quad (\text{III-1})$$

Où :  $P_C$ ,  $P_{PL1}$ , et  $P_{PL2}$  sont les puissances du signal C/A ou P,  $C^K(t)$  est l'ordre du code C/A assigné au nombre satellite  $K$ ,  $P^K(t)$  est l'ordre du code P(Y) assigné au nombre



satellite  $K$ ,  $D^K(t)$  est l'ordre de données de navigation,  $f_{L1}$  et  $f_{L2}$  sont les fréquences porteuses de L1 et de L2 respectivement. En raison du filtre et à la bas conversion dans l'étage RF, la sortie peut être décrit comme :

$$s^K(t) = \sqrt{2P_C} (C^K(t)D^K(t)) \cos(\omega_{IF}t) + \sqrt{2P_{PL1}} (P^K(t)D^K(t)) \sin(\omega_{IF}t) \quad (\text{III-2})$$

Où :  $\omega_{IF}$  est la fréquence intermédiaire.

Après conversion analogique/numérique réalisée par un filtre passe-bande étroit autour du code C/A, le code de P sera détruit, on le considère par conséquent comme bruit et on peut écrire :

$$s^K(n) = (C^K(n)D^K(n)) \cos(\omega_{IF}n) + e(n) \quad (\text{III-3})$$

Où :  $n$  indique que le signal résultant est discret

$e(n)$ : un bruit blanc.

Afin d'obtenir les données de navigation  $D^K(n)$  du signal ci-dessus, le signal doit être converti en bande de base ceci en multipliant le signal d'entrée avec une réplique de la porteuse comme montré sur la figure II-6. Si cette réplique est exacte, le produit donne:

$$\begin{aligned} s^K(n) \cos(\omega_{1F}n) &= (C^K(n)D^K(n)) \cos(\omega_{1F}n) \cos(\omega_{1F}n) \\ &= \frac{1}{2} (C^K(n)D^K(n)) - \frac{1}{2} \cos(2\omega_{1F}n) (C^K(n)D^K(n)) \end{aligned} \quad (\text{III-4})$$

Où le premier terme est le message de navigation multiplié par le code PRN tandis que le deuxième correspond à une porteuse avec double fréquence intermédiaire qui sera éliminée en appliquant un filtre passe-bas.

Donc le signal après le filtrage est:

$$\frac{1}{2} (C^K(n)D^K(n)) \quad (\text{III-5})$$

En multipliant ce résultat par une réplique exacte du code  $C^K(n)$ , opération réalisée par corrélation, on écrit:

$$\sum_{n=0}^{N-1} C^K(n) (C^K(n)D^K(n)) = ND^K(n) \quad (\text{III-6})$$

Où  $ND^K(n)$  est le message de navigation multiplié par le nombre de points dans le signal 'N'.

On note qu'on a considéré dans la description ci-dessus un signal provenant d'un seul satellite seulement. Ceci est fait dans le contexte de réduire la complexité des équations en donnant une idée générale sur la démodulation. Réellement il y a une contribution de plusieurs satellites visibles dans le signal reçu ayant pour influence des limites plus large de bruit.

Afin de réaliser la démodulation présentée, le récepteur doit asservi les signaux générés localement (code et doppler) sur le signal reçu il est très difficile de suivre le pic maximum de l'autocorrélation car le récepteur ne connaît pas a priori sa valeur. Ille est liée au rapport signal à bruit et à la distorsion du signal reçu. On montre qu'il est plus opportun de s'asservir en s'appuyant sur des répliques du code générées localement. En premier lieu nous allons utiliser deux répliques l'une étant en avance, elle est appelée 'Early' et la seconde en retard, appelée 'Late', ces deux répliques sont évidemment en retard et en avance par rapport à une réplique de référence appelée 'Prompt'. On note L'avance/retard est typiquement d'un demi chip de manière avoir un niveau du signal suffisant. Le synoptique correspondant à ce traitement est donné par la figure III-6.

Le principe de cette technique est illustré par les deux figures III-7 et 8. On remarque à partir de figure III-7, que le code Late possède la corrélation la plus élevée, de ce fait le code phase de la réplique P doit être augmenté ceci en décalant ce code vers la droite. La figure III-7 montre que le pic le plus élevé est situé dans la réplique Prompt, de plus les répliques Early et Late ont la même valeur, sa signifie que la réplique Prompt est en phase avec le code reçu par conséquent aucun décalage ne sera réalisé. Plusieurs situations autres illustrées sont possibles d'où la nécessité d'un discriminateur dont la réponse doit être un indicateur de décalage à gauche, à droite ou aucun.

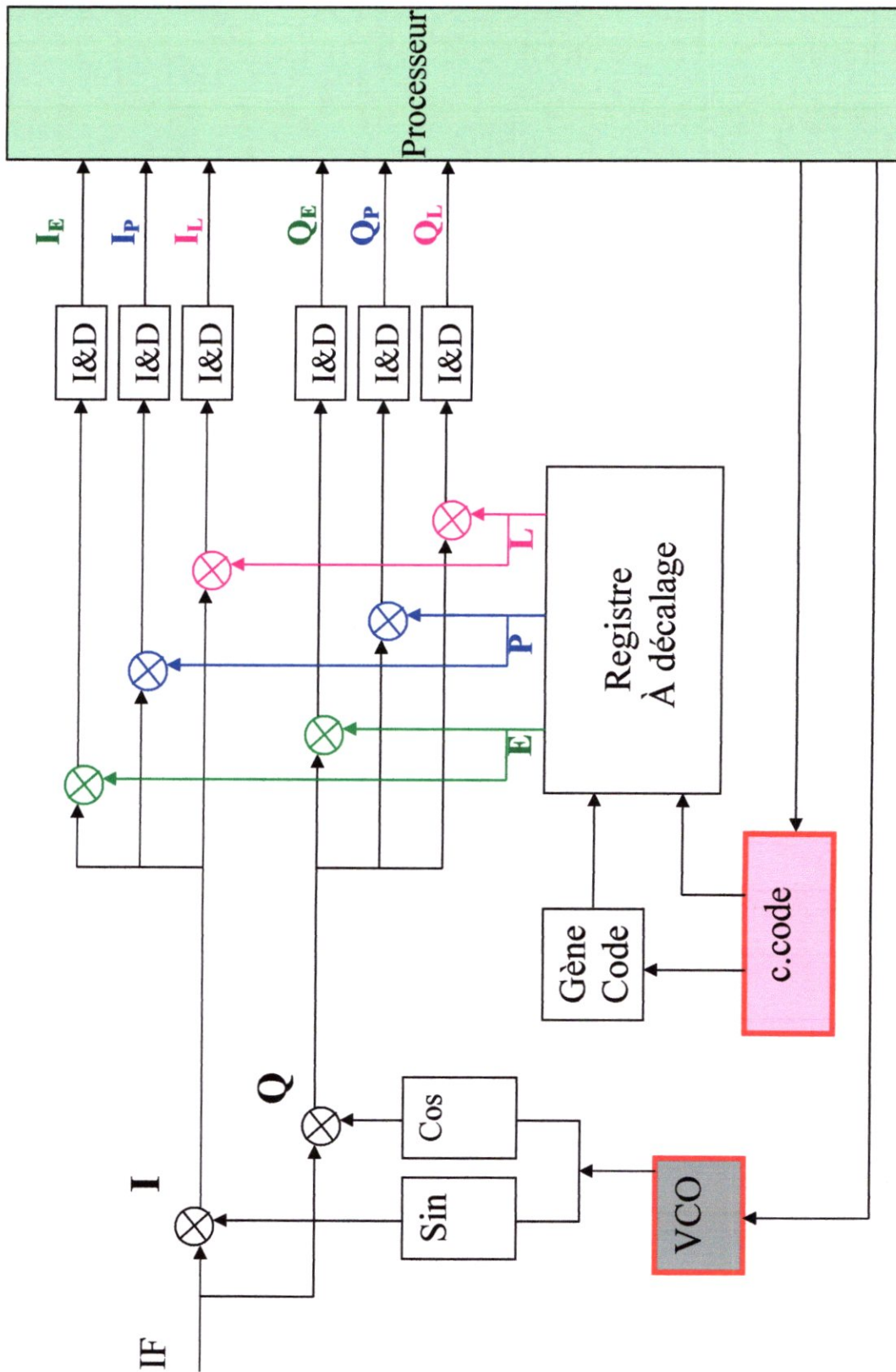


Figure III-6 : Bloc de base de la DLL

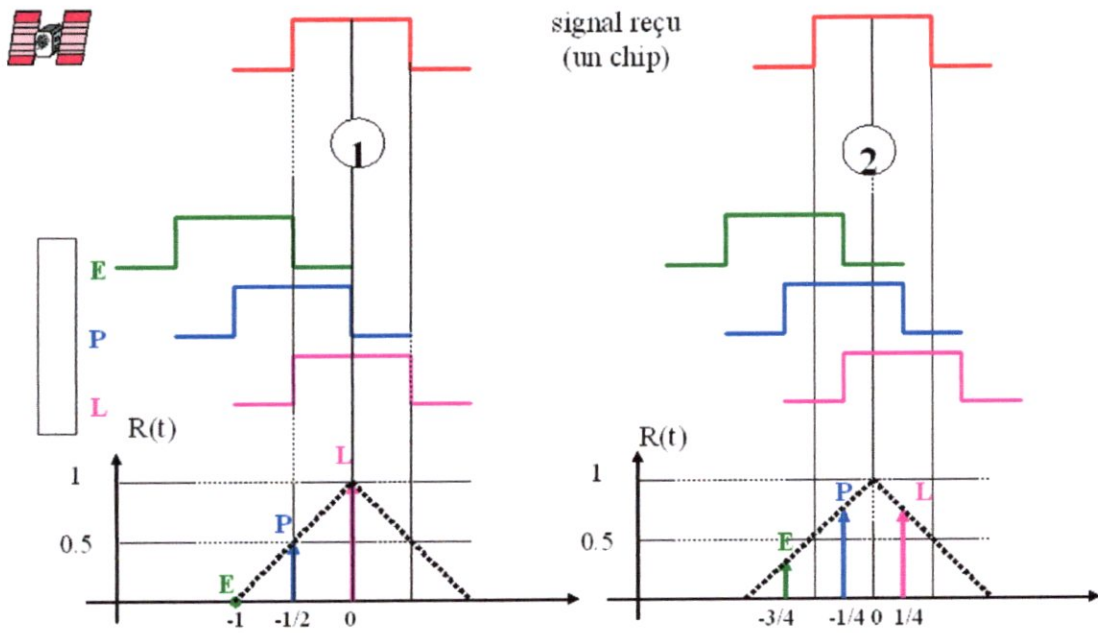


Figure III-7 : les fonctions de corrélation des trois répliques E L P

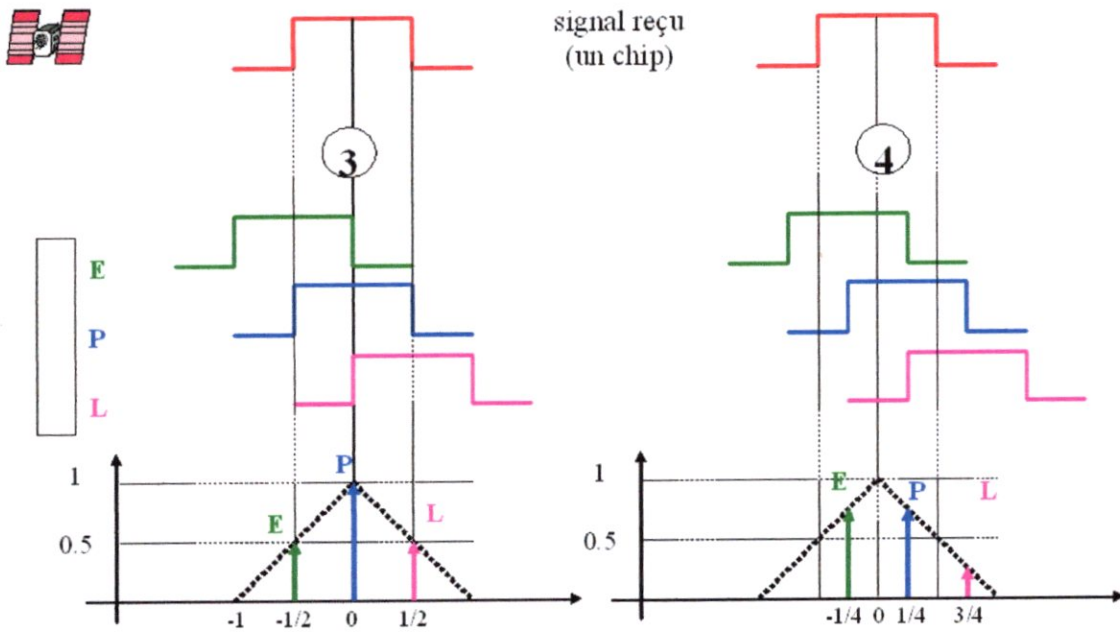
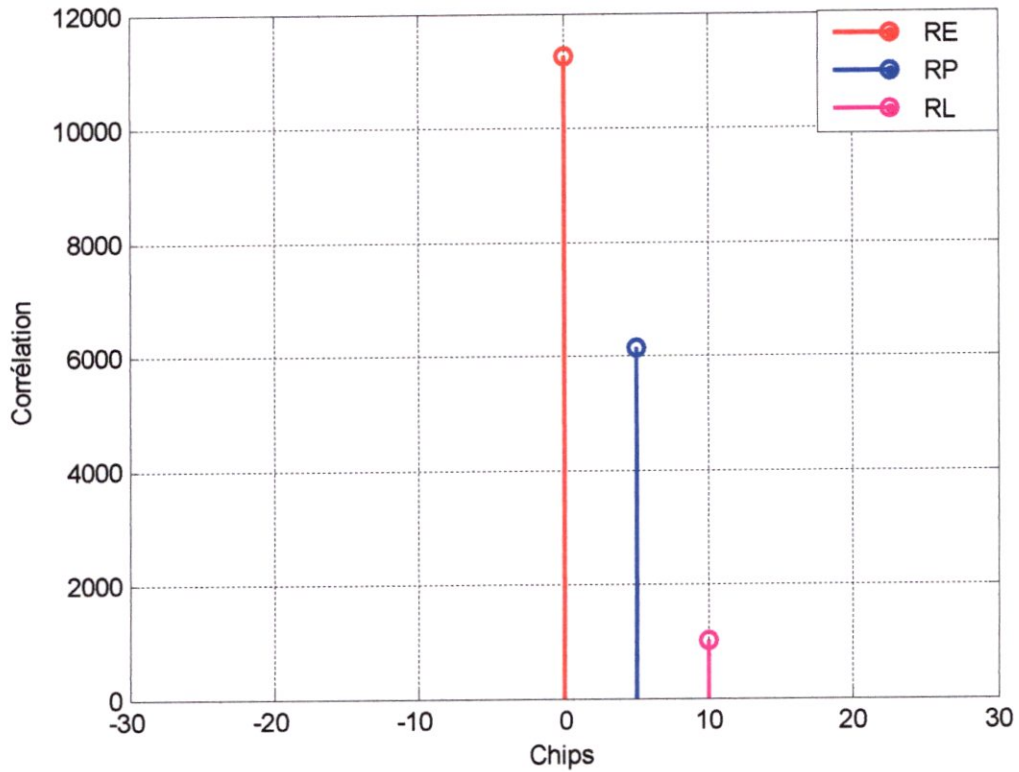


Figure III-8: les fonctions de corrélation des trois répliques E L P

A travers des simulations Matlab, nous avons simulé plusieurs situations semblables aux figures précédentes, ces simulations sont présentées par les figures III-9, 10 et 11 12. Ces figures correspondent aux valeurs de la fonction de corrélation :



**Figure III -9:** Code reçu synchronisé avec 'Early'

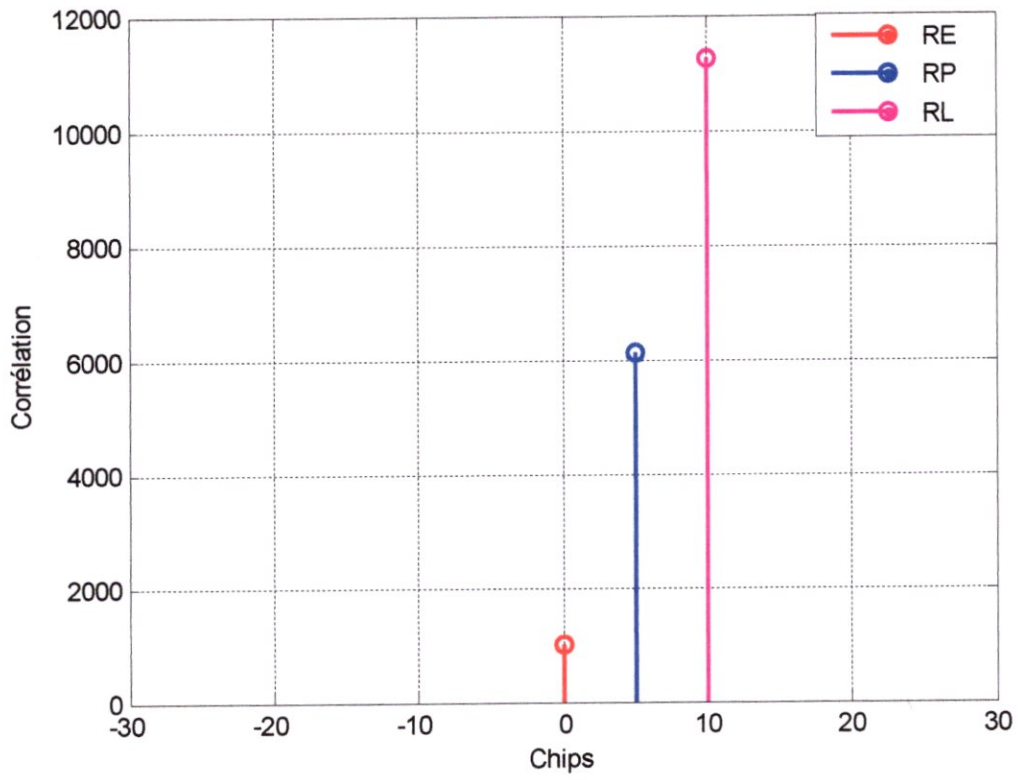


Figure III-10: code reçu synchronisé avec 'Late'

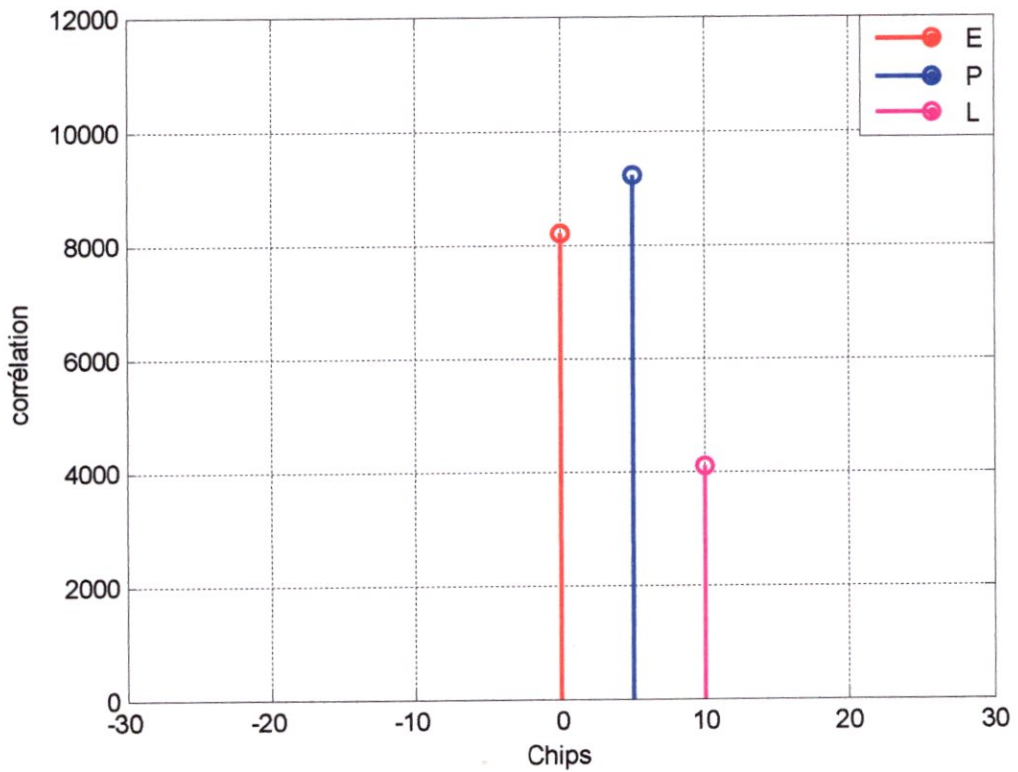


Figure III-11 : code reçu non synchronisé

Si on examine encore une fois la figure III-12, qui correspond au cas où le signal reçu est synchronisé avec le code local 'Prompt', nous constatons que dans ce cas les valeurs de 'Early' et 'Late' sont les mêmes. Ceci explique l'intérêt d'utiliser un discriminateur de code évaluant la différence 'E-L', si cette différence est égale à zéro, on conclut que le signal reçu est synchronisé avec 'Prompt', mais si ce n'est pas le cas nous aurons recours à d'autres valeurs qui sont données par la caractéristique du discriminateur, tel que celui représenté par la figure suivante :

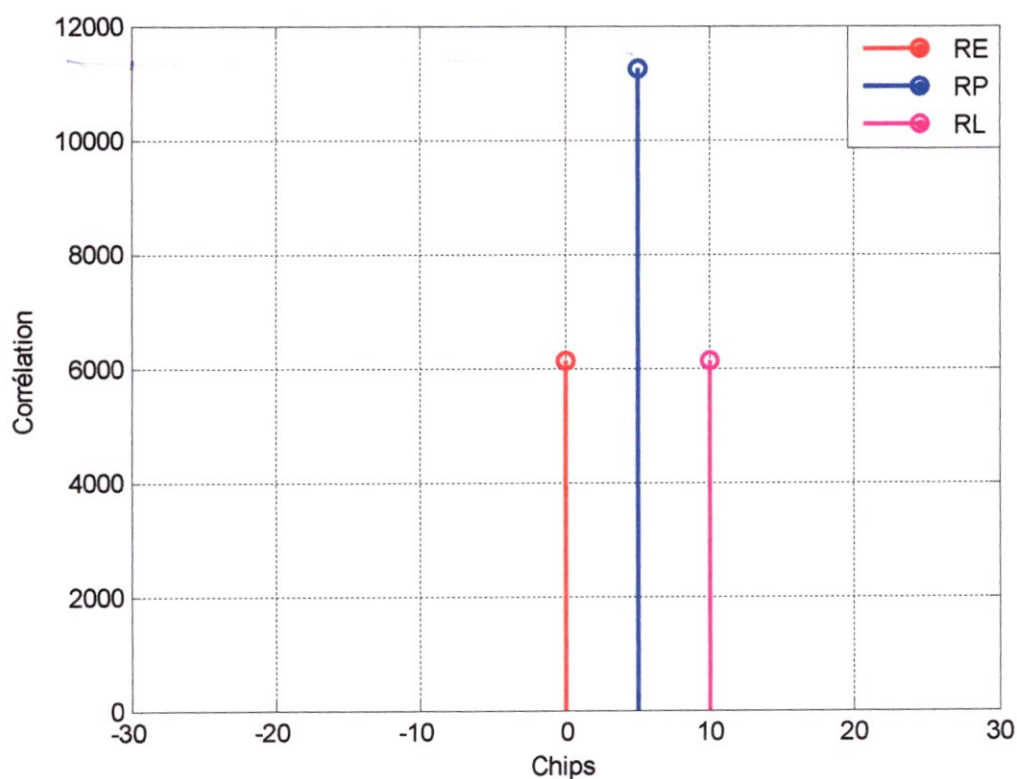


Figure III-12 : Code reçu synchronisé 'prompt'

**III-3/ Le discriminateur :**

Comme cité ci-dessus, le discriminateur est un élément indispensable afin de réaliser la poursuite, dans contexte on note qu'il y a plusieurs types de discriminateurs qui peuvent être utilisés, les principaux sont résumés par le tableau suivant :

<b>Discriminateur</b>	<b>Caractéristiques</b>
$D = RE - RL$	Le plus simple de tous les discriminateurs.
$D = RE^2 - RL^2$	Early moins late en puissance
$D = (RE - RL) / (RE + RL)$	Early moins Late normalisé
$D = (RE^2 - RL^2) / (RE^2 + RL^2)$	Normaliser en puissance
$D = RP (RE - RL) + RP (RE + RL)$	Produit scalaire. C'est le seul discriminateur de DLL qui emploie les six sorties de corrélateur.

**Table III-1 :** Les différents discriminateurs de la boucle DLL

Le discriminateur de distance ainsi obtenu génère l'erreur d'alignement du code. Les réponses de ces discriminateurs sont illustrées par les figures III-13, 14 et 15 suivantes.

On note que l'ensemble des discriminateurs présente une valeur nulle lorsque le signal reçu est synchronisé avec le code local 'Prompt'. Aussi on remarque que trois types de discriminateur présentent une zone de linéarité. Le discriminateur 'RE-RL' est linéaire sur les trois phases considérées.



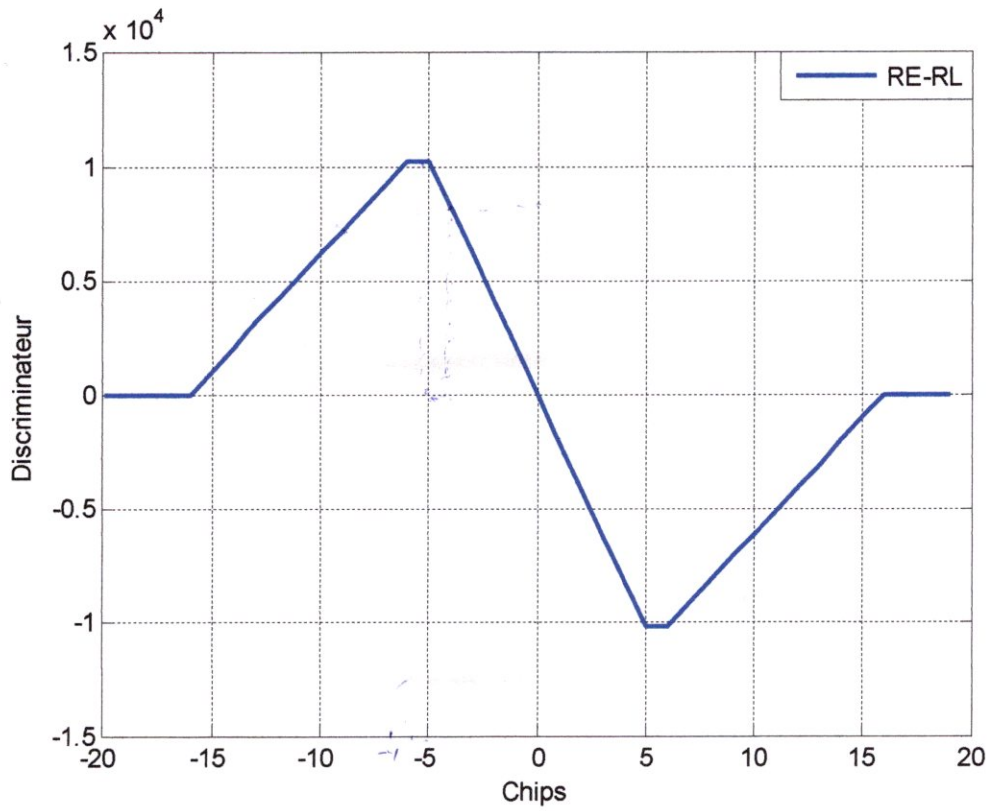


Figure III-13: discriminateur RE-RL

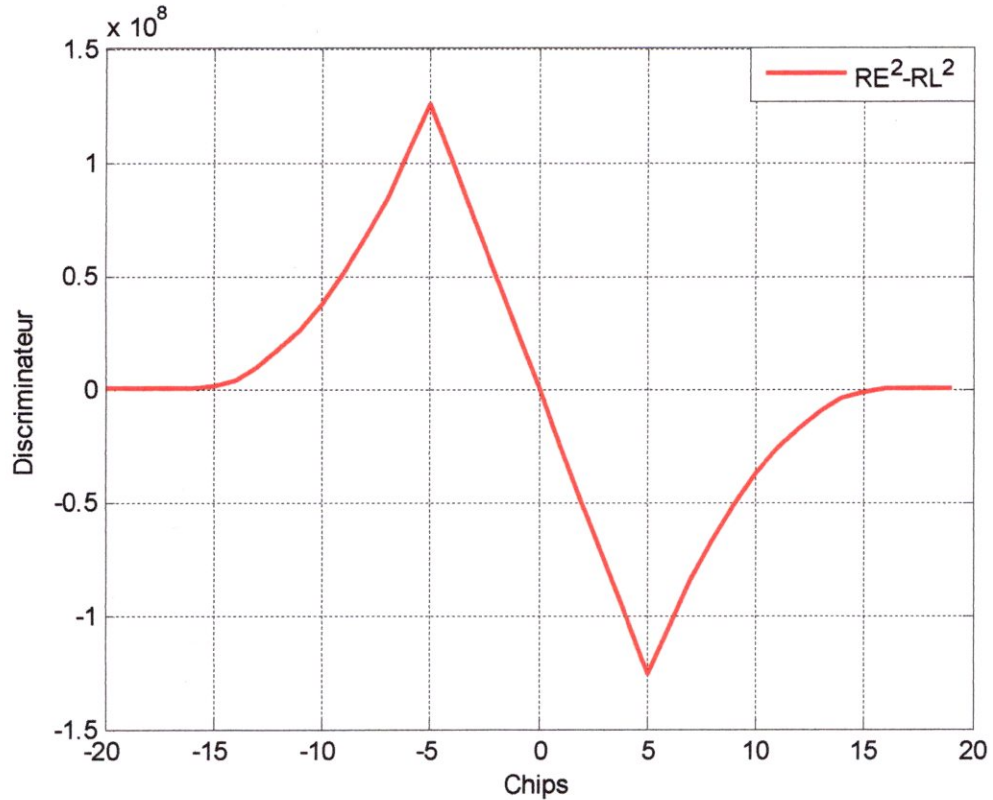
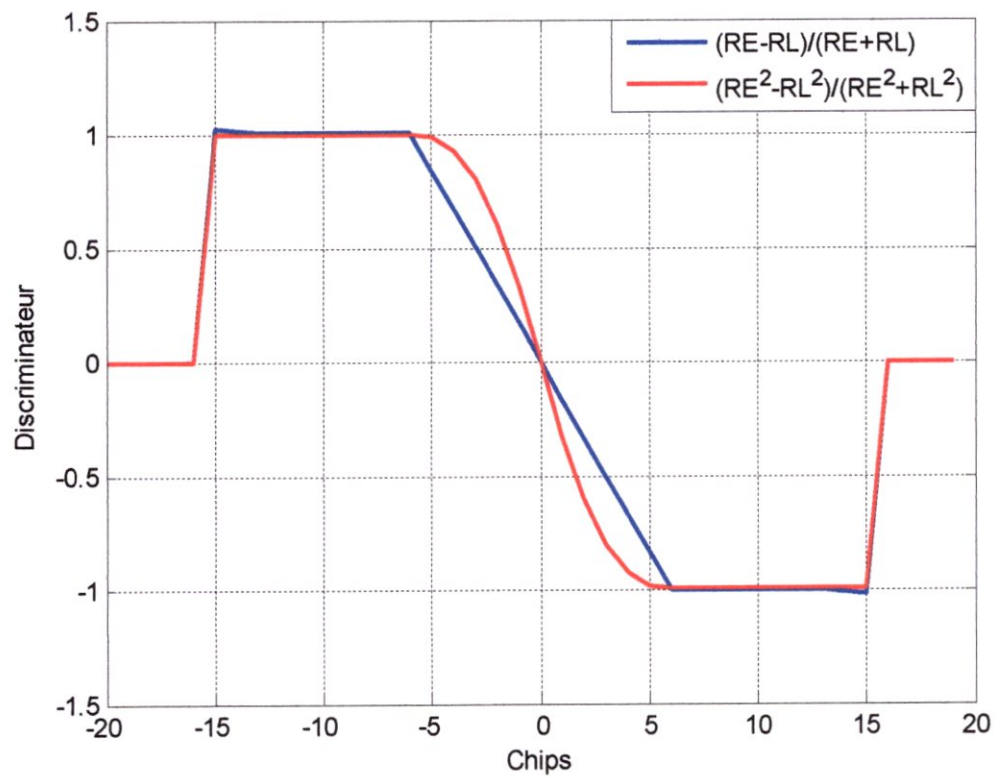


Figure III-14 : discriminateur RE-RL en puissance



**Figure III-15:** discriminateur RE-RL normalisé en puissance

### III-4/ La boucle DLL :

La DLL acronyme de 'Delay Lock Loop' est une boucle de verrouillage de code permettant de réaliser un asservissement sur le code local 'Prompt' afin de le synchroniser avec le code reçu. Son principe est illustré par l'organigramme III-1 ci-dessous.

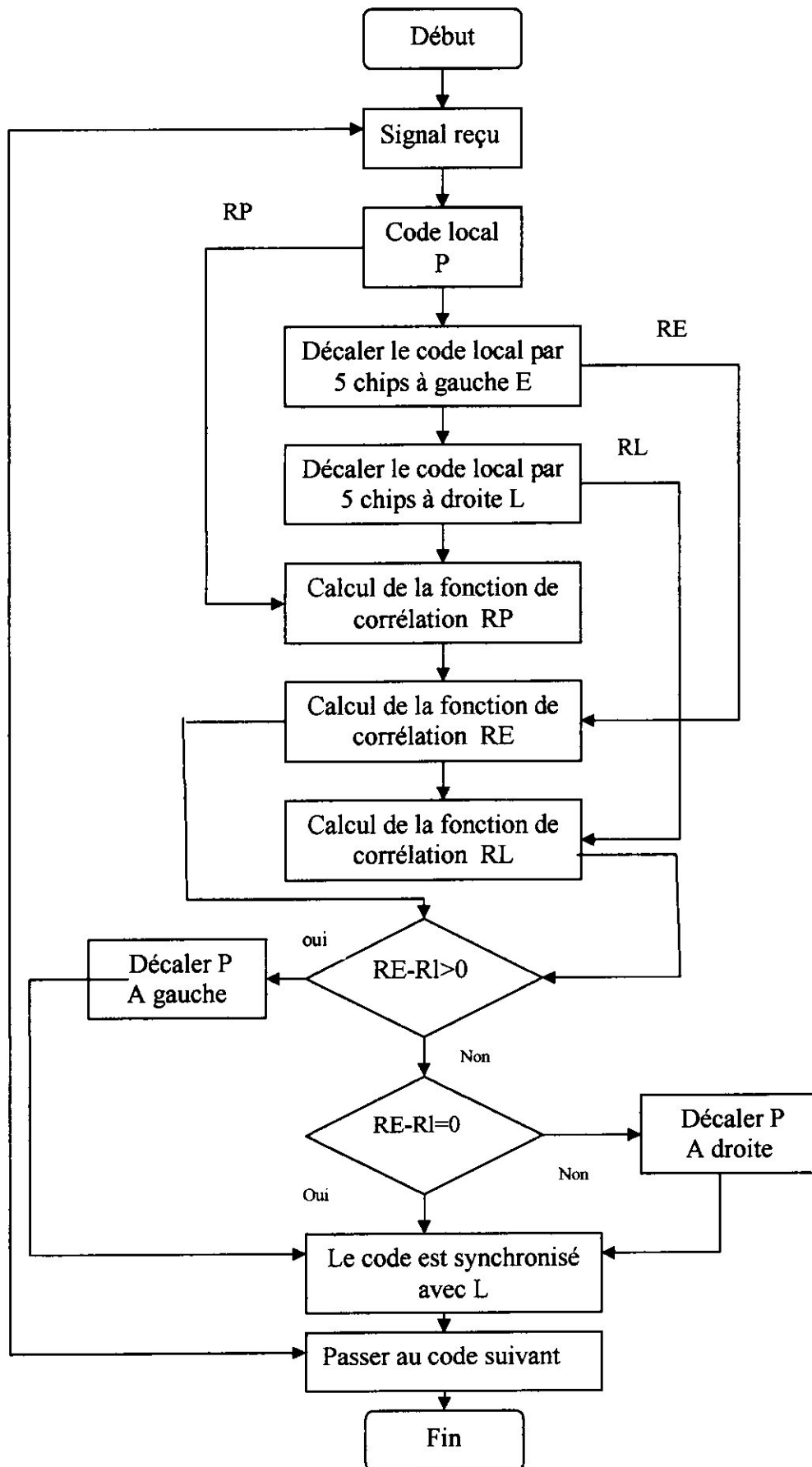
Le signal reçu au niveau du récepteur GPS résulte en réalité de la combinaison de plusieurs signaux provenant de chaque satellite. Après une transposition de fréquence la première opération réalisée au niveau du récepteur est l'opération d'acquisition, cette dernière permet d'identifier le signal issu de chaque satellite, ou chaque signal sera mis dans un canal différent. L'acquisition ne permet pas seulement d'identifier les satellites visibles mais aussi elle fournit leur code phase associé, ce dernier sert à initialiser notre boucle DLL.

Après l'acquisition, une phase de poursuite doit être réalisée, elle consiste en deux boucles fonctionnant simultanément, l'une de verrouillage de phase 'PLL' dont le but est d'enlever le signal sinusoïdal modulant, l'autre c'est la DLL objet de notre étude servant à enlever le code C/A. la sortie de ces deux boucles fournit le message de navigation.

Par conséquent, notre simulation est réalisée sur le signal après l'acquisition, et afin de rester dans le contexte de notre travail, nous traitons le signal sans porteuse, donc composé du code C/A et le message de navigation seulement. La première étape de l'organigramme consiste à générer trois répliques locales du code C/A, l'une de référence appelée 'Prompt', l'autre décalée de cinq chips à gauche du signal de référence, c'est le code 'Early', finalement une réplique décalée de cinq chips à droite c'est le code 'Late'.

La deuxième étape, correspond au calcul de la fonction de corrélation, à ce niveau on calculera deux ou trois fonctions de corrélation selon le type de discriminateur qui sera utilisé ; les fonctions de corrélation qui doivent être évaluées sont :

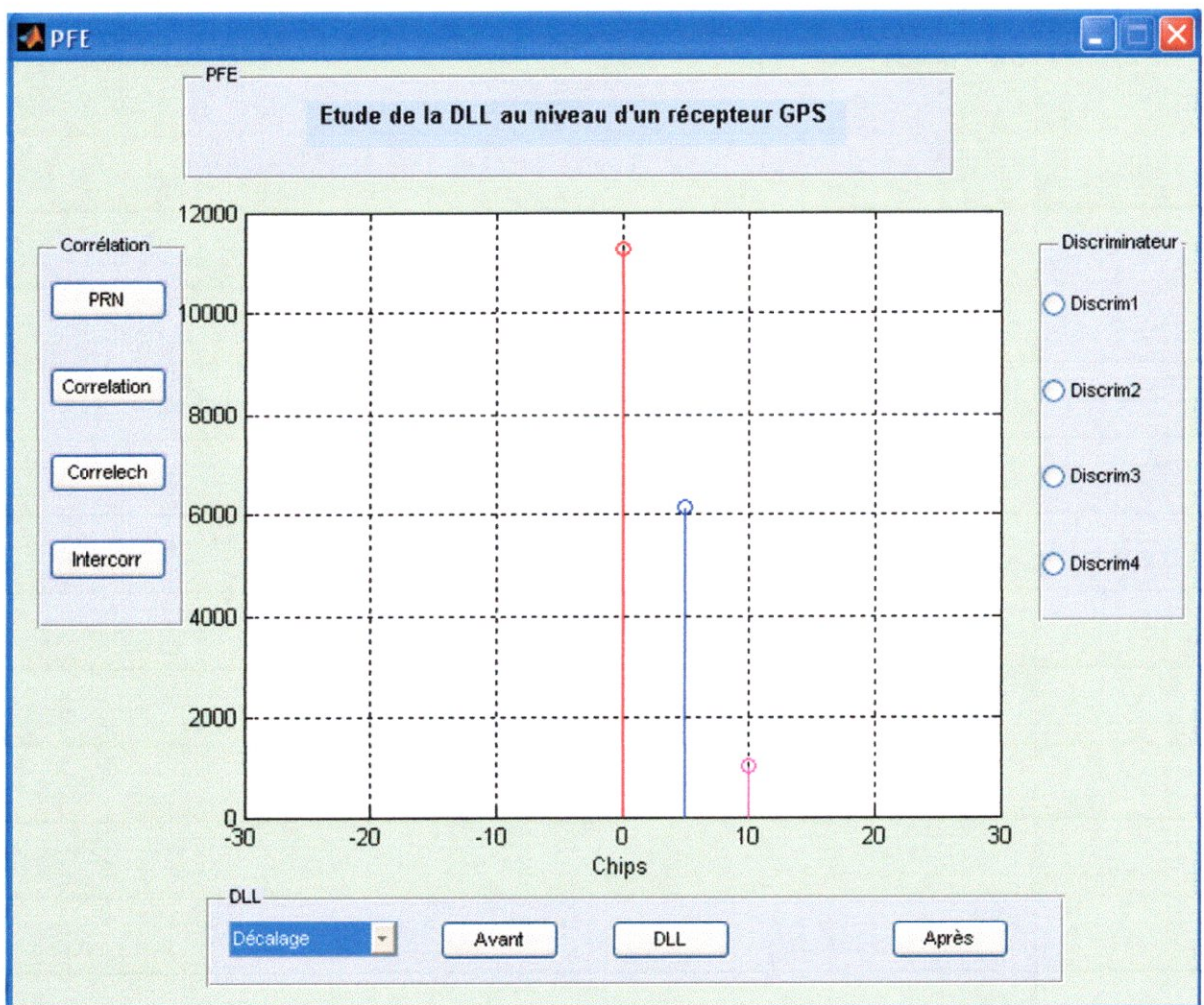
- La fonction de corrélation RP, entre le code reçu et le code 'Prompt'.
- La fonction de corrélation RE, entre le code reçu et le code 'Early'.
- La fonction de corrélation RL, entre le code reçu et le code 'Late'.



L'étape suivante est le choix du discriminateur, selon les courbes tracées ci-dessus, on réalise la discrimination. Nous considérons à titre d'exemple le discriminateur le plus simple 'RE-RL'. Sa caractéristique exprime que si la valeur 'RE-RL=0', on conclut le code est synchronisé avec le code local 'Prompt', mais si cette valeur égale à 11253, on conclut que le code reçu est synchronisé avec le code local 'Early', à ce moment la DLL décale les trois répliques de cinq chips vers la gauche, par conséquent le code reçu sera synchronisé avec le nouveau code 'Prompt'. Dans le cas où la valeur 'RE-RL=-11253', on conclut que le code reçu est synchronisé avec le code local 'Late', la même opération sera réalisée mais cette fois elle décale les réplique vers la droite, le code reçu sera synchronisé dans ce cas aussi avec le nouveau code 'Prompt' résultant.

**III-5/ Simulation et résultats :**

La simulation de la DLL est basée sur l'ensemble des idées exposées dans ce chapitre et selon l'organigramme III-16 présenté ci-dessus, notre programme réalisé sous Matlab permet d'effectuer un choix entre plusieurs discriminateurs. Une interface globale est réalisée afin de mieux gérer l'accès aux différentes simulations. Cette interface est donnée par la figure III-16 suivante :



**Figure II-16.** Interface de présentation les discriminateurs

**III-6/ Amélioration de la DLL :**

La simulation ci-dessus de la DLL ne permet que la synchronisation avec des codes reçus retardés de + ou – 5 chips. Dans le but d'améliorer son fonctionnement on propose l'alignement avec un code reçu retardé d'un nombre de chip compris entre -5 et +5 avec un pas de 1, c'est-à-dire l'ensemble des valeurs -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5 chips.

Cette idée sera réalisée à l'aide de la caractéristique du discriminateur, car on doit formuler l'équation de la droite, qui est donnée à titre d'exemple pour le discriminateur E-L :

$$Y = \frac{-11254}{5}x$$

*pour k = 0 r 1, 2, 3, 4, 5*

Notre calcul de la corrélation fourni la valeur de Y, le décodage en terme de chip est le variable x, par conséquent on peut formuler le tableau suivant :

Corrélation	Décalage
1023	-5
3069	-4
5115	-3
7161	-2
9207	-1
11254	0
9207	1
7161	2
5115	3
3069	4
1023	5

**Tableau III-2 :** valeurs associées au discriminateur

Afin de réaliser cette simulation on a changé un seul composant sur notre interface précédente, ce n'est autre que le menu qui permet de sélectionner le décalage du code reçu. La figure III-16 correspond à notre interface finale :

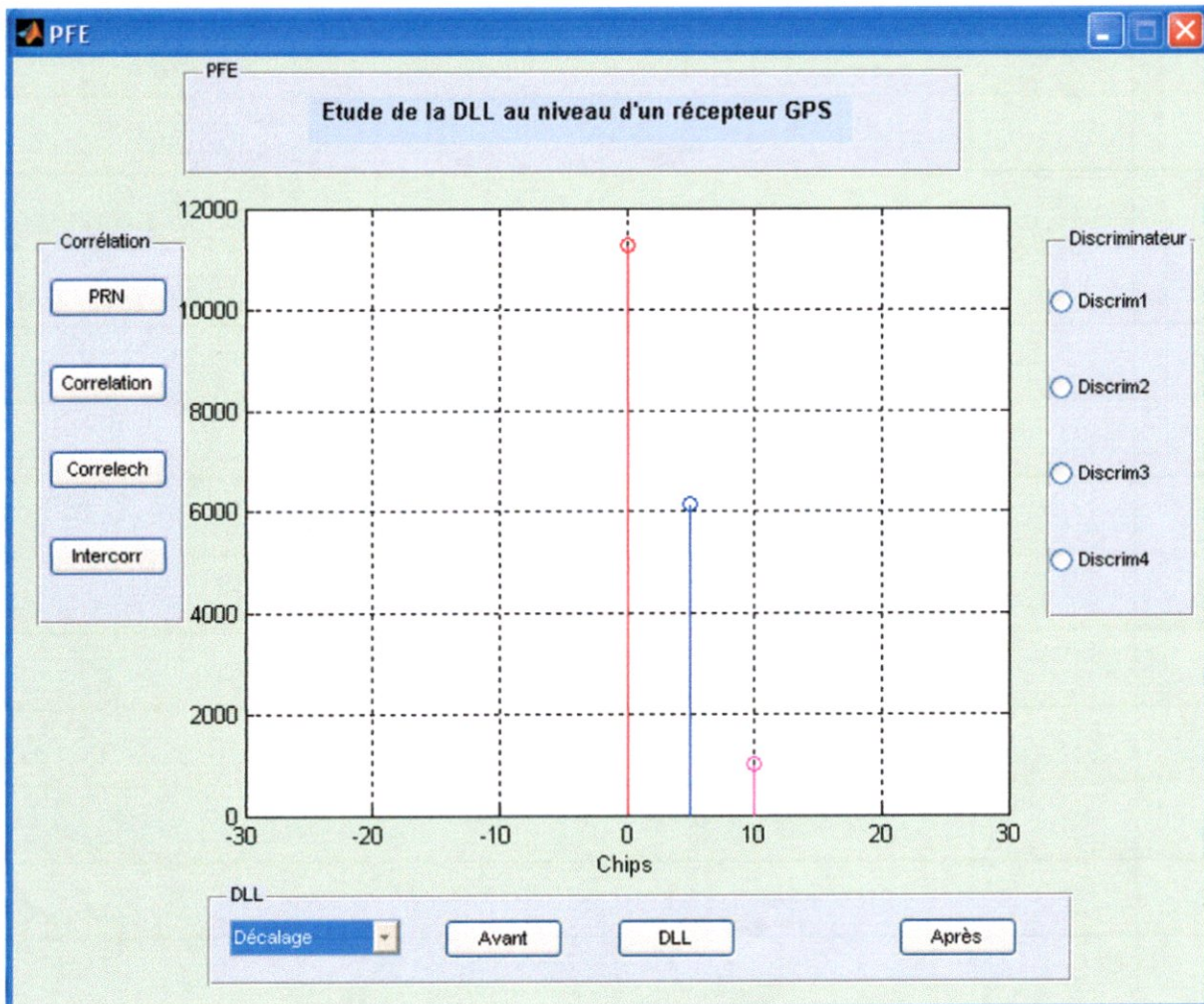


Figure III-17 : interface finale



**Conclusion**

**Générale**

## **Conclusion générale**

On a eu l'occasion à travers ce travail de bien comprendre le fonctionnement du système GPS, aussi de comprendre les fonctionnalités de son récepteur, on a analysé l'architecture de ce dernier puis on a décidé d'étudier avec plus de détail la boucle de verrouillage de délai DLL. Une boucle qui permet d'enlever le code C/A du signal composite reçu.

L'utilisation du logiciel MATLAB et son interface graphique offre la possibilité de réaliser une interface finale permettant de gérer plusieurs programmes d'une façon simple et efficace.

Vers la fin, nous proposons dans le cadre d'un autre projet la simulation des deux boucles PLL et DLL en fonctionnement simultané.

Nous espérons que notre travail sera considéré comme un plus pour notre département d'aéronautique.

## References

- Fundamentals of Global positioning system a software approach.

Auteur: **James Bao-Yen tsui**

- Principe de GPS
- Global positioning system standard positioning service signal specification

Edite par: NAVSTAR.

2<sup>nd</sup> Edition June 2 1995