

Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace  
ENSAE, 10 Avenue Edouard Belin. 31055 Toulouse Cedex 04  
France



Laboratoire Signaux Images Communications

## Rapport de Stage

Présenté pour obtenir le titre :

**Diplôme des Etudes Approfondies « DEA »**  
**Spécialité : Réseaux et Télécommunications**

**Par : Rouabah Khaled**

# Etude et Amélioration des Performances des Récepteurs GPS en Présence des Multitrajets

Responsable de Stage :  
Monsieur : **Vincent Calmettes**

Année Scolaire 2000/2001

# Table des Matières

Introduction.....	1
<b>I-Principes de navigation et Mesures GPS.....</b>	<b>3</b>
I-1-Les mesures GPS.....	3
I-1-1-La mesure de code.....	3
I-1-2-La mesure de phase.....	3
I-2-Les modes de positionnement.....	4
I-2-1-Le positionnement absolu.....	4
I-2-2-Positionnement relatif.....	4
I-3-Determination de la position Satellite – Utilisateur.....	5
I-3-1- Le système d'équations.....	5
I-3-2- Le calcul de la position de l'utilisateur.....	7
I-3-3- Equations linéaires.....	7
I-4-Les erreurs GPS.....	9
I-4-1-Définitions des différents types d'erreurs.....	10
I-4-2-L'erreur orbitale.....	10
I-4-3-L'erreur d'horloge.....	10
I-4-4-Sélective Availability.....	11
I-4-5-L'erreur de retard ionosphérique.....	11
I-4-6-Erreur de retard troposphérique.....	12
I-4-7-Les erreurs des multitrajets.....	12
I-4-8-Le bruit du récepteur.....	12
<b>II- Poursuite des signaux GPS.....</b>	<b>13</b>
II-1-Introduction.....	13
II-2-Processus de poursuite de code.....	14
II-2-1-Le circuit corrélateur.....	14
II-2-2-Boucle de code Cohérente.....	15
II-2-2-1-Principe de fonctionnement.....	15
II-2-2-2-Expression de la tension d'erreur de la boucle de code cohérente.....	16
II-2-2-3-La boucle de verrouillage de retard non cohérente.....	18
II-2-2-4-Expression de la tension d'erreur de la boucle de code non cohérente.....	18
II-3-Poursuite de phase.....	21
II-3-1-La boucle de phase en régime linéaire.....	21
II-3-2-La boucle de Costas.....	22
II-3-3-Tension d'erreur de la boucle de Costas.....	23
II-3-4-Résultats de simulation.....	24
<b>III-Pérfomances des récepteurs GPS en présence des Multitrajets.....</b>	<b>25</b>
III-1-Théorie des multitrajets.....	25
III-1-1-introduction.....	25
III-1-2-Propriétés électromagnétiques du signal GPS.....	25
III-1-2-1-Caractéristique de l'onde GPS.....	25
III-1-2-2-Polarisation de l'onde.....	26
III-1-3-La réflexion d'une onde électromagnétique.....	27
III-1-3-1-Critère de Rayleigh.....	27
III-1-3-2-Réflexion Spéculaire.....	27
III-1-3-3-Incidence oblique d'une onde sur une surface régulière.....	29
III-1-3-4-Dispersion diffusée.....	31

III-1-4-La largeur de Bande d'évanescence.....	32
III-1-5-Modélisation du signal reçu dans un milieu perturbé par les multitrajets.....	33
<b>III-2-Pérfomances des Différentes boucles de poursuite en présence des Multitrajets.....</b>	<b>34</b>
III-2-1-Introduction .....	34
III-2-2-Caractéristiques du signal reçu .....	
III-2-3-L'effet des multitrajets sur la poursuite de phase .....	34
III-2-3-1-Tension d'erreur de la boucle de Costas en présence des multitrajets diffus.....	35
III-2-3-1-1-L'évanescence rapide .....	35
III-2-3-1-2-L'évanescence lente .....	35
III-2-3-2-Expression de l'offset de phase en présence des multitrajets diffus.....	36
III-2-3-3-ension d'erreur de la boucle de Costas on présence des multitrajets spéculaires.....	37
III-2-3-4-Offset de phase en présence des multitrajets spéculaires .....	38
III-2-4-L'effet des multitrajets sur les boucles à verrouillage de code.....	39
III-2-4-1-Expréssion de la tension d'erreur de la boucle de code non cohérente en présence des multitrajets .....	40
III-2-4-2-Expression de la tension d'erreur de la boucle de code cohérente en présence des multitrajets.....	42
III-2-4-3-Caractérisation de l'erreur de poursuite en présence des multitrajets spéculaires.....	44
III-2-5-Comparaisons des performances des récepteurs code C/A et code P.....	47
III-2-6-Conclusions.....	48
<b>IV- Méthodes d'amélioration des performances</b>	
IV-1-Introduction.....	49
IV-2-Corrélateur Etroit .....	50
IV-3-Structure MEDLL ( Multipath Estimating Delay Locked Loop) .....	51
IV- 3-1-Introduction.....	51
IV- 3-2-Le banc de corrélateur.....	52
IV-4-Structure MRDLL ( Modified RAKE Delay Locked Loop).....	55
IV-4-1-Introduction .....	55
IV-4-2-Modélisation du signal reçu .....	55
IV-4-3-L'opération d'estimation MCEU .....	57
IV-4-4-L'opération de l'MCTL .....	59
IV-4-5-Quelque résultats de simulations .....	60
IV-5-Comparaison des différentes méthodes d'améliorations .....	62
IV-6-Perspectives .....	62
IV-7-Conclusion .....	65
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>66</b>
<b>Bibliographies .....</b>	<b></b>
<b>Annexes.....</b>	<b></b>
<b>A-I-Notion de Base Sur Le Système GPS.....</b>	<b>67</b>
A-I-1-Introduction.....	67
A-I-2-Déscription du Système.....	67
A-I-2-1-Le segment spatial.....	67
A-I-2-2-Le segment de contrôle .....	68
A-I-2-3-Le segment des utilisateurs .....	68
A-I-2-4-Différents types de services .....	69

A-I-2-4-1-Service PPS.....	69
A-I-2-4-2-Service SPS .....	69
A-I-2-4-3-Protection d'accès .....	69
A-I-3-Structure du signal GPS .....	70
A-I-3-1-Fréquences du signal GPS .....	70
A-I-3-2-Le code GPS C/A .....	70
A-I-3-3-Fonction d'autocorrélation d'un code C/A .....	71
A-I-3-4-Le code GPS P .....	72
A-I-3-5-Les données GPS.....	72
A-I-4-Format complet du signal émis.....	73
<b>A-II- Principe de la Technique d'étalement de spectre.....</b>	<b>74</b>
A-II-1 –Introduction.....	74
A-II-2-Les avantages d'étalement de Spectre.....	74
A-II-3 –Différentes techniques d'étalement de Spectre.....	74
A-II-3-1 Séquence direct .....	75
A-II-3-2 –Technique d'étalement de spectre par saut de fréquence .....	76
A-II-3-3-Technique d'étalement de spectre par saut dans le temps .....	77
A-II-3-4-Téchnique d'étalement de spectre Hybride .....	77
A-II-4 Comparaison des différentes techniques d'étalement de spectre .....	78
A-II-5-Les codes pseudo-aléatoire .....	78
A-II-5-1-Séquences binaires à longueurs maximales (m-séquences ).....	78
A-II-5-2 Propriétés séquences binaires à longueurs maximales.....	79
A-II-5-3 Les séquences de GOLD.....	79
<b>A-III-Architecture des récepteurs GPS et Processus d'acquisition code.....</b>	<b>81</b>
<b>Porteuse.....</b>	<b>81</b>
A-III-1-Arcitectures des Récepteurs GPS.....	81
A-III-1-1-L' Antenne de Réception .....	81
A-III-1-2-La chaîne de réception RadioFréquence .....	82
A-III-1-3-Traitement du signal en bande de base.....	82
A-III-1-4-Processeur de Navigation .....	82
A-III-1-5-Interface homme machine .....	82
A-III-1-6-L'étage de réception haut fréquence .....	83
A-III-2-Les circuits d'acquisition Code – Porteuse .....	84
A-III-2-1-Modélisation du signal reçu.....	84
A-III-2-2-Différentes méthode d'acquisition.....	85
A-III-2-2-1Acquisition par recherche parallèle .....	85
A-III-2-2-2-Méthode d'acquisition par recherche Série.....	86
A-III-2-2-2-1-décalage temporel .....	88
A-III-2-2-2-2-Décalage fréquentiel.....	88
A-III-2-2-3-Recherche par FFT .....	89
<b>A-IV-Résultats de simulations.....</b>	<b>92</b>
A-V-1- Caractéristiques des Code C/A GPS.....	92
A-V-2- Acquisition des codes GPS.....	93
A-V-3- Fonction de corrélation pour différente bande de pré-corrélation.....	95
A-V-4- Tension d'erreur Idéale de la boucle de code cohérente .....	96
A-V-5- Tension d'erreur Idéale de la boucle de code non cohérente .....	97
A-V-6- Tension d'erreur Idéale de la boucle de Costas.....	97
A-V-7- Tension d'erreur de la boucle de code cohérente en présence des	98
Multitrajets.....	
A-V-8- Tension d'erreur de la boucle de code non cohérente en présence des	103

Multitrajets.....	
A-V-9- Offset de phase de la boucle de Costas.....	105
A-V-10- Offset de code de la boucle de code cohérente.....	107
A-V-11- Offset de code de la boucle de non code cohérente.....	110
A-V-12-Sortie du Banc de Corrélateur pour la MEDLL.....	113
A-V-13-Tension d'erreur de la boucle de code non cohérente après	116
amélioration.....	
A-V-14-Tension d'Erreur de la MRDLL.....	117
A-V-15-Estimation des paramètres Multitrajets.....	121
A-V-16-Outils de simulation Matlab.....	129
Remarques .....	153