الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
Département du Génie Électrique

Projet de fin d'études

Présenté pour l'obtention du Diplôme De Master en Électronique

***Spécialité* :** Electronique Des Systèmes Embarqués

THEME

Guidage par GPS Cinématique Temps Réel RTK d'un Robot Mobile dans une exploitation agricole

Proposé et dirigé par
Encadreur : Dr. R. KARA

Préparé et présenté par
AHMED KHOUDJA yousra
SALI atika

AnnéeUniversitaire2019-2020

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A ma chère mère
A mon cher père

Qui n'ont jamais cesser de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A ma chère binôme
Pour sa entente et sa sympathie

A mon cher fiancé
Qui m'a aidé et supporté dans les moments difficiles

A toute ma famille et mes amis
pour leurs aides et supports tout au long de mes études.

ATIKA

Dédicaces

Je dédie ce travail :

A ma chère mère pour son amour, son tendresse, son soutien, encouragement et ses sacrifices.

A mon cher père pour son soutien, la confiance qu'il m'a accordé et ses prières tout au long de mes études.

A mes chères sœurs Yasmine et Amel et son mari Moussa, pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.
A mes chers frères Abdelatif et sa femme Hanane, Rachid et sa femme Mareime, pour leur appui et leur conseils précieux tout au long de mes étude.

A mon adorable nièce Anfel et Mes neveux Abderrahmane, Anes , Ines ,Youcef ,Mohamed et Amir.

A ma chère binôme Pour son entente et sa sympathie et sa Coopération avec moi.

A mon cher fiancé Qui m'a aidé et supporté dans les moments difficiles.

A toute ma famille et mes amis pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

Merci d'être toujours là pour moi.

YOUSRA

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la

patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr : KARA Reda de ses précieux conseils et son

aide durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

ملخص

يستهدف عملنا المزارعين الذين يستخدمون الروبوتات الزراعية و الذين يرغبون في معرفة الطرق التي سلكوها بأقصى دقة ممكنة ،و لا يوفر نظام تحديد المواقع ممكنة, ولا يوفر نظام تحديد المواقع العالمي افضل دقة.
لهذا, يجب أن نضمن توجيها جيدا باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي التفاضلي او ما نسميه (الوقت الحركي الحقيقي) , للقيام بذلك ،قمنا بتطوير بنية أجهزة مدمجة من خلال الجمع بين وحدتي GPS باستخدام وحدة ال NRF.
احداهما ثابت متصل ببطاقة اردوينو و الاخر ديناميكي متصل روبوت متحرك يتم التحكم فيه ببطاقة راسبيري,و يتم توصيل بالإضافة إلى ذلك قررنا اختبار نهج جديد يعتمد على تقنيات ذكية لحساب تصحيح تحديد الموقع الجغرافي الروبوت . في الواقع اخترنا استخدام شبكة ادالين العصبية لتحل محل المعادلة المستخدمة لحساب التصحيحات ، يتميز هذا النهج بسرعة النظام التي ستكون حاسمة في أداء التحكم في الروبوت.

الكلمات الرئيسية: نظام تحديد المواقع, نظام تحديد المواقع العالمي التفاضلي , الوقت الحركي الحقيقي, الروبوت المتحرك.

Résumé:
Notre travail est destiné aux agriculteurs qui utilise la robotique agricole et qui souhaitent connaître les trajets qu'ils ont parcourus avec la meilleure précision possible, le fameux GPS classique ne fournit pas la meilleure précision.
Pour cela on doit assurer un bon guidage avec le GPS différentiel ou ce qu'on l'appelle le RTK (real cinématique time) Pour ce faire, nous avons développé une architecture matérielle embarquée en combinant deux GPS l'un est statique connecté a une carte ARDUINO et l'autre est dynamique connecté à un robot mobile contrôlé avec carte ARDUINO et ce dernier est connecté à une carte Raspbery pi , les deux modules GPS sont connectés entre eux avec un module NRF.
Nous avons décidé ainsi de tester une nouvelle approche basée sur des technique intelligente pour calculer la correction de la géolocalisation du robot. En effet, nous avons choisi d'utiliser un réseau de neurone Adaline pour remplacer l'équation qui sert au calcul des corrections. Cette approche présente l'avantage de la rapidité du système qui sera déterminant dans les performances de la commande du robot.

Mots clés : GPS (système de positionnement global), GPS différentiel, RTK (real kinematic time), robot mobile.

Abstract:
Our work is aimed at farmers who use agricultural robotics and who want to know the routes they have traveled with the best possible accuracy, the famous classic GPS does not provide the best accuracy.
For this we must ensure good guidance with differential GPS or what we call RTK (real kinematic time) To do this, we have developed an on-board hardware architecture by combining two GPS one is static connected to a ARDUINO card and the other is dynamic connected to a mobile robot controlled with ARDUINO card and the latter is connected to a Raspbery pi card, the 2 GPS modules are connected to each other with an NRF module.
We thus decided to test a new approach based on intelligent techniques to calculate the correction of the geolocation of the robot. Indeed, we chose to use an Adaline neural network to replace the equation used to calculate corrections. This approach has the advantage of the speed of the system which will be decisive in the performance of the robot control.

Keywords: GPS (Global Positionning System) , GPS différentiel , RTK (real kinematic time), mobile robot.

Sommaire

Listes des figures

Liste des tableaux

Liste des ACRONYMES

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Introduction à la robotique mobile

I.1.Introduction..... 4

I.2. bref aperçu historique..... 5

I.3.Exemples d'application 5

I.4. Architecture des robots mobiles..... 6

I.4.1. La structure mécanique et la motricité..... 6

I.4.2. Les organes de sécurité..... 9

I.4.3. Traitement des informations et gestio2n des taches..... 10

I.5. Capteurs utilisées en robotique mobile..... 10

I.5.1.capteur pour Mesure de l'orientation : Gyromètres..... 11

I.5.2. Les télémètres 11

I.5.3. Les caméras..... 13

I.5.4.capteur pour Mesure de la position le GPS..... 14

I.6.Conclusion..... 15

chapitre II : présentation des système embarquées et des matériels utilisées

II.1.Introduction..... 17

II.2.Arduino..... 17

II.2.1. Définition..... 17

II.2. 2. Applications..... 17

II.2. 3. Pourquoi avons nous choisi le système carte Arduino..... 17

II.2. 4. Présentation de la carte Arduino 18

II.2.5. la carte arduino uno..... 18

II.2.6. Le Logiciel de gestion de la carte Arduino 19

II.3. La carte Raspberry Pi..... 21

II.3.1. Configurations..... 21

II.3.2. Les composants standards de Raspberry..... 22

II.3.3. Les GPIO..... 24

II.3.4. Le réseau..... 24

II.3.5. Système d'exploitation..... 25

II.3.6. Programmation..... 25

II.4. Le module GPS NEO-6M 25

II.4.1. Définition..... 25

II.4.2. Présentation matérielle du module GPS NEO-6M:..... 26

II.5. Le module nFR24L01 30

II.5.1. présentation 30

II.5..2. Définition..... 30

II.5.3. Fonctionnalités 30

II.5.4. La modulation FSK..... 30

II.5.5. La liaison SPI..... 31

II.5.6. Transmission…… 32

II.5.7. Consommation d'énergie…… 33

II.5.8. Diagramme…… 34

II.5.9. Configuration des broches du module émetteur-récepteur Nrf24l01…… 35

II.6.conclusion…… 35

Chapitre III : le système de positionnement GPS (global posotionning system)

III.1.Introduction…… 37

III.2.Les premiers pas du GPS, héritier de satellites !…… 37

III.3..composition..... 38

III.3.1.le segment spatial..... 39

III.3.2.le segment de contrôle..... 40

III.3.3.le segment utilisateur..... 40

III.4..principe de fonctionnement..... 41

III.4.1.Le principe de base : la triangulation..... 41

III.4.2.principe de mesure de la distance 44

III.4.3. la mesure précise de temps..... 45

III.5..Facteurs influant sur la précision des mesures. 46

III.6.Les premiers tests de fonctionnement du GPS NEO 6M (communication GPS avec ARDUINO)…… 49

III.6.1. Connexion du carte Arduino UNO avec le module GPS…… 50

III.6.2.Organigramme de la localisation par GPS..... 50

III.6.3 Analyses des phrases NMEA..... 52

III.7.Analyse des erreurs du capteur GPS…… 53

Expérience 1 …. ou doit on placer notre GPS pour le mesure ?(le choix de site de mesures)…… 54

Experience2 ….« intérêt de répéter judicieusement une mesure »…… 54

Expérience 3 ……. « intérêt de se placer dans de bonnes conditions »…….. 58

III.8.Conclusion…… 62

Chapitre IV : GPS différentiel

IV.1.Introduction…….. 64

IV.2.l'architecture générale du projet..... 65

IV.3. Le mode de positionnement différentiel..... 66

IV.4.Étude de précision du GPS en mode différentiel…… 77

IV.5.Conclusion …….. 81

IV.6.Réalisation d'un système DGPS à l'aide d'un réseau de neurones …… 82

IV.7.Présentation théorique du réseau de neurones ADALINE (adaptive linear network)…… 87

IV.7.1.Implémentation du reseau de neurones ADALINE sous MATLAB…… 83

IV.7.2. Programmation du réseau neurones ADALINE sous MATLAB…… 83

IV.8.Résultats Expérimentaux…… 85

IV.9.Conclusion…… 93

Conclusion Générale…… 94

Listes des figures:

Figure I.1 *– La tortue de Grey Walter (nommée "machina speculatrix" et surnommée Elsie)et une illustration de sa trajectoire pour rejoindre sa niche…….* 5

Figure I.2.-s*chéma de L'architecture des robots mobiles……..* 6

Figure I.3- *schéma de robot mobile à commande différentielle……..* 7

Figure I.4. -s*chéma de Robot mobile de type unicycle……* 7

Figure I.5. *schéma de Robot mobile de type tricycle……* 8

Figure I.6. *schéma de Robot mobile de type voiture……* 8

Figure I.7. *schéma de Robot mobile à traction synchrone……* 9

Figure I.8.*Synoptique de la sécurité……* 10

Figure I.9*.principe de télémètre à ultrasons et exemple de télémétre réel……* 12

Figure I.10.p*rincipe du télémètre infrarouge à triangulation et exemple de télémètre réel(Sharp)……* 12

Figure I.11. *Exemple de données fournies par des caméras stéréoscopiques.....* 13

Figure I.12. *Principe des caméras panoramiques catadioptriques, exemple d'image obtenue et illustration du flux optique…….....* 14

Figure II.1. *logiciel arduino……..* 20

FIGURE II.2 -Présentation des boutons…… 20

Figure II.*3- Raspberry Pi Modèle B(image Raspberry Pi Foundation) ..... …….* 21

Figure II.4. *Les composants standards d'un raspberry……..* 23

Figure II.5.*la puce de GPS NEO-6M……* 26

Figure II.6.*indicateur de GPS NEO-6M.....……* 27

Figure II.7.*régulateur dans gps NEO-6M..……* 28

Figure II.8.*Batterie et EEPROM dans gps NEO-6M..……* 28

Figure II.9.'antennne de gps NEO-6M..... 29

Figure II.10.connecteur de l'antennne gps NEO-6M..... 29

Figure II.11. modulation FSK…… 31

Figure II.12.le bus SPI du module nRF24L01…… 31

Figure II.13.les canaux dans nRF24L01…… 32

Figure II.14. diagramme de module nRF24L01…… 34

Figure II.15..schéma synoptique de transmission des données…… 34

Figure II.16.des broches du module nRF24L01…… 35

Figure III.1.principe de mesure de distance…… 38

Figure III.2.structre du système GNSS…… 38

Figure III.3. Exemple de constellation de satellites(Les points noirs représentent les satellites visibles par le point bleu, sur Terre, les points rouges représentent les satellites non visibles) …… 39

Figure III.4.zones couvertes par trois satellites sue trois plans orbitaux différents…… 39

Figure III.5. disposition des stations de controle dans le monde 40

Figure III.6. le secteur utilisteur…… 41

Figure III.7. positionnement d'un satellite sur une sphère …… 41

Figure III.8. positionnement de deux satellite à l'intersection de deux sphères…… …… 42

Figure III.9.positionnement des 3 satellites sur les 3 sphères…… 42

Figure III.10. Positionnement d'un utilisateur sur la terre…… 42

Figure III.11. Principe de transmission en fonction de normes de satellites…… 43

Figure III.12. La trame pseudo aléatoire envoyée par le récepteur et le satellite…… 44

Figure III.13.influence de la position du satellite sur l'imprécision gnéré par l'effet de la troposphere….. 47

Figure III.14.*schéma type d'une erreur de multi trajets…….* 48

Figure III.15.*module GPS NEO 6M…….* 49

Figure III.16.*connexion du module GPS avec une carte arduino uno…….* 50

Figure III.17.*Organigramme illustrant le fonctionnement du programme du GPS…….* 51

Figure III.18.*Sortie de phrases NMEA GPS NEO-6M sur Arduino…….* 51

Figure III.19.*Organigramme illustrant le fonctionnement du programme du GPS…….* 53

Figure III.20.*sortie des coordonnées du GPS sur le moniteur série ……..* 53

Figure III.21.*sortie des coordonnées du GPS sur le moniteur série …….* 54

Figure III.22.*logiciel d'étude de précision du NEO 6M…….* 55

Figure III.23.*a précision de récepteur NEO 6M dans Google map…….* 56

Figure III.24.*assemblage des mesures x et y pendant 24h dans un graphe…….* 57

Figure III.25.*différence de distance entre le point fixe connu et les coordonnées (x,y) du GPS NEO 6M .* 58

Figure III.26.*difference de distance entre le point fixe connu et les coordonnés x' et y'……* 58

Figure III.27.*Influence de la géométrie de la constellation des satellites sur la dilution de la précision…* 59

Figure III.28.-*Valeur du PDOP en fonction de l'heure de la journée pour une date et un endroit donnés* 59

Figure III.29.*les coordonnées x et y de toutes les mesures pris…….* 60

Figure III.30.*es coordonnées x et y des .mesures pris chaque 2h.....…….* 60

Figure III.31.*les coordonnées x et y des mesures pris chaque4h .....…….* 61

FigureIV.1.*architecture générale du projet.....…….* 65

FigureIV.2.*Principe du DGPS (adapté e www.noaa.gov).....…….* 66

FigureIV.3.*positions de la station de référence (R) et de la station mobile (M)mesurées (.) et corrigées (X) à différents pas de temps (t 1 , t 2 , t 3)....…….* 67

FigureIV.4. *schéma bloc expliquant la communication entre les deux gps*..... 68

FigureIV.5.*Arduino uno / NRF24L01*..... 69

FigureIV.6.*module NRF24L014*..... 69

FigureIV.7.*organigramme de code de l'émetteur*..... 70

FigureIV.8.*organigramme de code du récepteur*..... 71

FigureIV.9.*les coordonnées reçus des deux récepteurs GPS* 72

FigureIV.10.*installation du PIP sur Ubuntu* 73

FigureIV.11.*organigramme du code de stockage des donnes sur CSV sur python*..... 73

FigureIV.12.*affichage des données sur le terminal.* 74

FigureIV.13.*enregistrement des données sur un fichier CSV*..... 74

FigureIV.14.*organigrammedu code de la fonction différentiel établie sur ARDUINO*..... 76

FigureIV.15. *Cas b GPS en mode différentiel*..... 77

FigureIV.16.*cas a GPS en mode absolue*..... 77

FigureIV.17.*différence de la précision (avec mètres) entre le GPS classique et le GPS différentiel*..... 80

FigureIV.18. *Le réseau ADALINE*..... 82

FigureIV.19.*organigramme du code sur MATLAB*..... 84

FigureIV.20.*estimation de la valeur de l'erreur e(t) pour chaque nombre d'itérations*..... 86

FigureIV.21.c*omparaison entre les valeurs de la latiitude x fournie par l'ADALINE et celle de la sortie désirée d(t)*..... 86

FigureIV.22. *Comparaison entre les valeurs de la sortie a(t) duRN et celles de la sortie désirée d(t)* 87

FigureIV.23.*évolution de l'erreur de l'apprentisage e(t) sur la longitude x*..... 88

FigureIV.24.*évolution de l'erreur d'apprentissage e(t) sur la lattitude y*..... 89

FigureIV.25. *Comparaison entre les valeurs e lattitude x fournie par l'ADALINE a(t) et celles de la sortie sésirée* 90

d(t) ……..

FigureIV.26.*comparaison entre les valeurs de la longitude y fournie par l'ADALINE a(t) et celles des ortie désirés d(t) ……* 90

FigureIV.27.*différence de la précision entre le GPS classique , le DGPS , et le GPS avec RN……..* 92

Liste des tableaux

Tableau II.1 *.Configuration d'un raspberry…….. 22*

Tableau II.2 : *spécifications du module NEO6M…….. 28*

Tableau III. 1 *: Sources d'erreur influençant la précision d'un relevé au GPS…….. 49*

Tableaux III.2 *: explication de phrase $ GPRMC NMEA…… 52*

Tableaux III.3 *: Résultats des relevés GPS sur un point fixe…… 61*

Tableaux IV .1 *: illustration des erreurs en mètres entre le point mobile et le point fixe (GPS en mode absolu)…… 78*

Tableaux IV .2 *: illustration des erreurs en mètres entre le point mobile et le point fixe (GPS en mode différentiel)…….. 79*

Tableaux IV.3: *assemblage des entrées p(t) , des sortie désirés et les sorties a(t) du RN …… 85*

Tableaux IV.4: *Résultats du processus d'apprentissage .(px et py sont les coordonnées x et y du DGPS, tx et ty sont les coordonnées x et y désirés)…… 88*

Tableaux IV.5 *: Comparatif des résultats obtenus avec les point tests…….. 89*

Tableaux IV.6 *: étude de la précision du GPS implémenté dans RN avec mètres …… 91*

Liste des ACRONYMES

CIR: Centre Instantané de Rotation.
AGV: Automatic Guided Vehicle. Véhicule à guidage automatique, ou véhiculeautoguidé.
GPS: Global Positioning System.
Mini-PC: mini personal computer
PIC: Peripheral Interface Controller (contrôleur d'interface périphérique)
LED : light-emitting diode
USB: Universal Serial Bus
IDE: integrated development environment
PWM: Pulse width modulation (Modulation de la largeur des pics)
ICSP: In-Circuit Serial Programming ou (Programmation Série Dans le circuit)
GND: Ground (la masse)
TTL: Transistor-Transistor Logic
SPI : Interface Série Périphérique
MISO : multi-input single-output
MOSI : multi-output single-input
UART: Universal Asynchronous Receiver Transmitter ou (émetteur-récepteur asynchrone universel)
I2C : inter-integrated circuit
FPGA: field-programmable gate array
HDMI: High Definition Multimedia Interface
WIFI: Wireless
CPU: Central processing unit
RAM: Random Access Memory (mémoire vive)
LCD: liquid crystal display
GPIO: General Purpose Input/Output
DVI: Digital visual interface
VGA: Video Graphics Array
MDI: Medium dependent interface
LX: réception data
TX: émission data
HTML: Hyper Text Markup Language
CIR : Centre Instantané de Rotation
CMOS : Complementary Metal Oxide Semiconductor
RCA: Radio Corporation of America
WAAS: Wide Area Augmentation System
MSAS: Multi-functional Satellite Augmentation System
EGNOS: The European Geostationary Navigation Overlay Service
GNSS: Global Navigation Satellite Systems
NMEA: National Marine Electronics Association
TTFF: Time-To-First-Fix
PMS: power saving mode
EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
FSK: Frequency-Shift Keying
GFSK : Gaussian Frequency Shift Keying

CRC: Cyclic Redundancy Check
OSI : open system interconnection
ACK: acknowledgement
DGPS: GPS différentiel
RN : réseau neuronal

Introduction générale

L'homme a toujours souhaité se libérer du travail dans ce qu'il y a d'astreignant, de fatiguant, d'intéressant. Les progrès qu'ont connu les technologies depuis un demis siècle ont répondu en bonne partie à son désire. Les technologies de l'embarqué sont en effet le premier secteur de croissance des technologies de l'information et de la communication.

On qualifie de « système embarqué » un système électronique et informatique autonome dédié à une tâche précise, souvent en temps réel, possédant une taille limitée et ayant une consommation énergétique restreinte.[17]

Le concept des systèmes embarqués a vu le jour suite à l'apparition **Apollo Guidance** computer en **1967** et en **1971**. Ils ont connu encore beaucoup plus d'envergure avec l'invention d'Intel 4004 qui était considérée comme le premier microprocesseur. A la base ces systèmes contenaient qu'un seul processeur mais actuellement ils peuvent même contenir des centaines. On les utilise souvent quotidiennement sans même qu'on ne s'en rende compte.[17]

En effet, ils prennent une place de plus en plus importante dans notre société. Ils servent à contrôler presque tous les appareils électroniques qu'on connaît aujourd'hui.

On les retrouve vraiment partout, dans les véhicules, les appareils photos consoles de jeux, téléphones portables, machines électroménagères, caméras numériques, ordinateurs…Aujourd'hui dans une voiture ordinaire, plus de 40% de sa valeur vient de ses systèmes embarqués contrôlant la climatisation, la boîte de vitesse, le tableau de bord, le moteur……etc.

En effet, chaque jour, on achète un produit comportant un ou plusieurs systèmes embarqués permettant ainsi de rendre un meilleur service à l'utilisateur.

Dans le présent travail nous allons réaliser une tache embarqué sur un robot autonome voyant le rôle principale de la robotique à aider l 'homme dans plusieurs domaines.

La robotique mobile n'a cessé de connaître des progrès spectaculaires. En effet, les générations de robots mobiles se sont vite suc cédées offrant à chaque fois plus de performances en matière de perception, d'autonomie et de pouvoir décisionnel. Ces progrès étaient un résultat inévitable des développements qu'ont connu la mécanique, la microélectronique et l'informatique. On les retrouve dans plusieurs domaines, à titre d'exemple on les retrouve dans le monde agricole.

La robotique agricole est l'usage des robots conçu pour accomplir des taches dans le domaine agriculture, aujourd'hui les progrès réalisés en robotique offrent de nouvelles perspectives ; Parmi elles, on peut noter les nombreuses avancées réalisées en mobilité autonome telles que l'automatisation de certaines fonctions de machines mobiles classiques comme la conduite (à l'aide de GPS).

L'agriculture utilise donc des robots autonomes guidés par GPS, ainsi des technologies de l'information et de la communication, des technologies d'acquisition de données, de transfert et de stockage.

L'objectif principal de notre travail est de réaliser un asservissement visuel d'un robot autonome guidés par GPS afin de l'utiliser dans les grandes espaces comme l'espace agricole qui nécessitent une meilleure précision de localisation , nous allons nous centrer ainsi sur les innovations technologiques susceptibles d'apporter des solutions pour garantir le bon guidage et avoir une meilleure précision de géolocalisation , c'est ce qu'on l'appelle l'agriculture de précision en utilisant une technique de positionnement par satellite , le RTK autrement dit cinématique temps réel , qui peut atteindre une précision au sol de quelques centimètres ce qui est très important dans le domaine de l'agriculture.

Le présent travail est composé et organisé en quatre chapitres comme suit :

Le premier chapitre présente une introduction à la robotique mobile, des descriptions des différents éléments constituants les robots mobiles ainsi que les différentes applications.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des systèmes embarqués utilisés dans notre projet, tel que les modules GPS et NRF, la carte **Raspberry** et la carte **Arduino.**

Le troisième chapitre est consacré à la description du système de positionnement GPS (**global posotionning system**). Pour une meilleure compréhension, nous l'avons illustré par des applications génériques.

Quant au 4^{éme} chapitre notre solution matérielle intégrant le nouveau capteur GPS à la plate-forme robotique. Par ailleurs, pour améliorer le positionnement du robot mobile nous avons implémenté et testé notre système de GPS en mode différentiel (DGPS).

Enfin, la conclusion nous permettra de résumer l'ensemble des travaux réalisés. Nous terminerons ce mémoire par quelques perspectives envisageables dans un futur proche ou plus lointain.

Chapitre I

Introduction à la robotique mobile

I.1.introduction :

La robotique a atteint son plus grand succès jusqu'à ce jour dans le monde de la fabrication industrielle.

Boulonné à son épaule à une position spécifique dans la ligne d'assemblage, le bras de robot peut se déplacer avec une grande rapidité et précision pour effectuer des tâches répétitives telles que le soudage par points et la peinture. Dans l'industrie de l'électronique, le manipulateurs place des composants montés en surface avec une précision surhumaine, ce rend le téléphone portable et ordinateur portable possible.

Cependant, pour tous leurs succès, ces robots commerciaux souffrent d'un inconvénient majeur: le manque de mobilité. Un manipulateur fixe dispose d'une gamme limitée de mouvement qui dépend de l'endroit où elle est boulonnée. En revanche, un robot mobile serait en mesure de voyager à travers l'usine de fabrication, en appliquant avec souplesse ses talents partout où il est le plus efficace

De manière générale, on regroupe sous l'appellation robots mobiles l'ensemble des robots à base mobile, par opposition notamment aux robots manipulateurs.

L'usage veut néanmoins que l'on désigne le plus souvent par ce terme les robots mobiles à roues. Les autres robots mobiles sont en effet le plus souvent désignés par leur type de locomotion, qu'ils soient marcheurs, sous-marins ou aériens.

L'objectif de ce chapitre de fournir un aperçu sur le robot mobile qui est l'objet de notre étude, á partir des descriptions des différents éléments constituants les robots mobiles ainsi que les différentes structures mécaniques qui existent, ainsi les différentes applications des robots mobiles.

I.2.Bref aperçu historique :

Le terme de robot apparaît pour la première fois dans une pièce de **Karel Capek** en 1920 : Rossum's Universal Robots. Il vient du tchèque '**robota**' (~servitude) et présente une vision des robots comme serviteurs dociles et efficaces pour réaliser les taches pénibles mais qui déjà vont se rebeller contre leurs créateurs.

La Tortue construite par **Grey Walter** dans les années 1950 (**Figure I.1**), est l'un des premiers robots mobiles autonomes. **Grey Walter** n'utilise que quelques composants analogiques, dont des tubes à vide, mais son robot est capable de se diriger vers une lumière qui marque un but, de s'arrêter face à des obstacles et de recharger ses batteries lorsqu'il arrive dans sa niche [1].

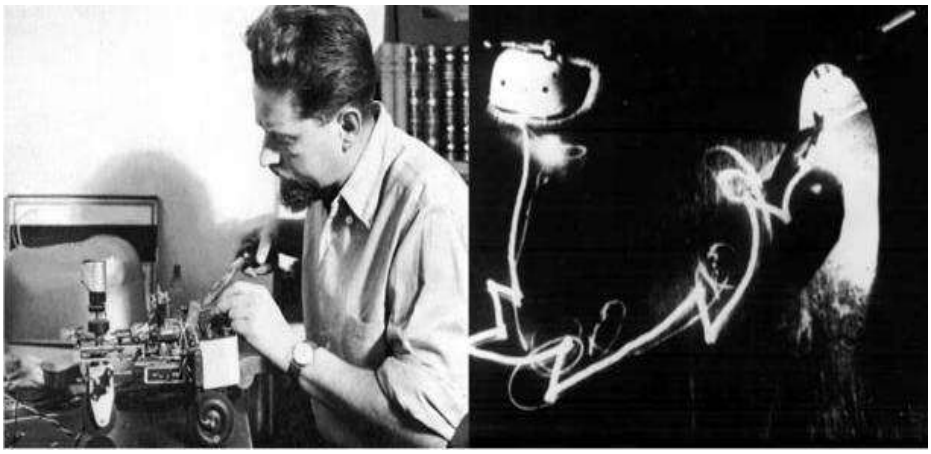


Figure I.1 – La tortue de Grey Walter (nommée “machina speculatrix” et surnommée Elsie) et une illustration de sa trajectoire pour rejoindre sa niche.

I.3. Exemples d’application :

Aujourd’hui, le marché commercial de la robotique mobile est toujours relativement restreint en dehors des robots aspirateurs vendus à plusieurs millions d’exemplaires. Cependant, il existe de nombreuses perspectives de développement qui en feront probablement un domaine important dans le futur. Les applications des robots peuvent se trouver dans de nombreuses activités parmi lesquelles nous citerons :

Les robots industriels : robots industriels sont des robots utilisés dans un environnement de fabrication industrielle. Ils sont utilisés dans la fabrication des automobiles, des composants et des pièces électroniques, des médicaments et de nombreux produits.

Robots domestiques ou ménagers : Robots utilisés à la maison. Ce type de robots comprend de nombreux appareils très différents, tels que les aspirateurs robotiques, robots nettoyeurs de piscines, balayeuses, nettoyeurs gouttières et autres robots qui peuvent faire différentes tâches. En outre, certains robots de surveillance et de télé présence pouvaient être considérées comme des robots ménagers se il est utilisé dans cet environnement.

Robots en médecine et chirurgie : Les robots semblent avoir de l'avenir à l'hôpital. Robodoc aide à réaliser certaines opérations de chirurgie.

I.4. Architecture des robots mobiles :

L’architecture des robots mobiles se structure en quatre éléments :

1. La structure mécanique et la motricité.
2. Les organes de sécurité.
3. Le système de traitement des informations et gestion des tâches.
4. Le système de localisation.

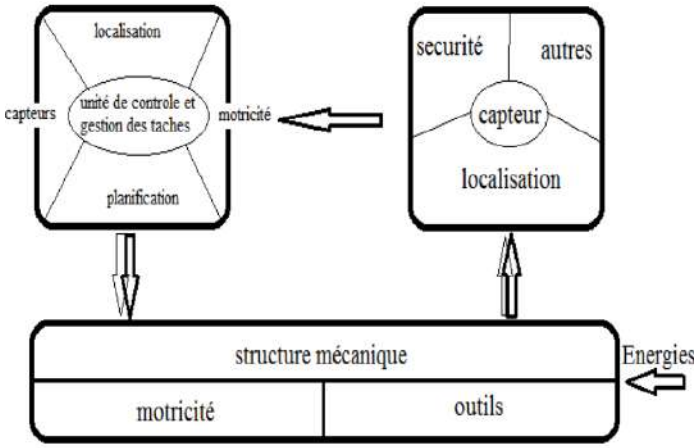


Figure I.2– schéma de L'architecture des robots mobiles.

I.4.1.La structure mécanique et la motricité :

On peut dénombrer quatre types de structures mécaniques assurant la motricité.

I.4.1.1 Les mobiles à roues :

La mobilité par roues est la structure mécanique la plus communément appliquée. Cette technique assure selon l'agencement et les dimensions des roues un déplacement dans toutes les directions avec une accélération et une vitesse importante. Les roues sont le moyen de locomotion le plus répandu en matière de robotique mobile.

En fait, les robots mobiles à roues sont faciles à réaliser et présentent de grandes possibilités de déplacement et de manœuvrabilité avec une vitesse et une accélération importantes. Bien évidemment, pour un ensemble donné de roues, toute disposition ne conduit pas à une solution viable.

Un mauvais choix peut limiter la mobilité du robot ou occasionner d'éventuels blocages. Par exemple, un robot équipé de deux roues fixes non parallèles ne pourrait pas aller en ligne droite ! Pour qu'une disposition de roues soit viable et n'entraîne pas de glissement des roues sur le sol, il faut qu'il existe pour toutes ces roues un unique point de vitesse nulle autour duquel tourne le robot de façon instantanée.

Ce point, lorsqu'il existe, est appelé centre instantané de rotation (CIR). Les points de vitesse nulle liés aux roues se trouvent sur leurs axes de rotation, il est donc nécessaire que le point d'intersection des axes de rotation des différentes roues soit unique.

Pour cette raison, il existe en pratique trois principales catégories de robots mobiles à roues, que l'on va présenter par la suite. En général, les robots mobiles à roues ont des structures à locomotion différentielle. La figure I.3 montre une structure type de robot mobile à commande différentielle où le déplacement est assuré par le biais de deux moteurs d'entraînement indépendants, chacun d'eux est lié à une roue motrice.

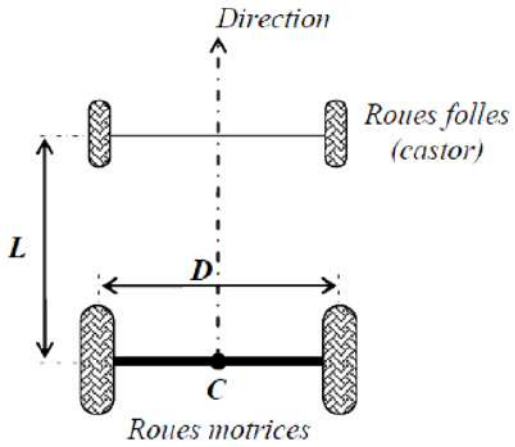


Figure I.3 – schéma de robot mobile à commande différentielle

En ce qui concerne la commande des moteurs, cette indépendance permet au robot mobile de changer de direction en jouant uniquement sur les vitesses des deux roues motrices. Les roues folles sont libres, leur rôle essentiel est d'assurer la stabilité de la plate-forme du robot.

- **L'unicycle :**

On désigne par uni cycle un robot actionné par deux roues indépendantes et possédant éventuellement un certain nombre de roues folles assurant sa stabilité. Le schéma d'un robot de type uni cycle est donné à la figure I.4 On y a omis les roues folles, qui n'interviennent pas dans la cinématique, dans la mesure où elles ont été judicieusement placées. Ce type de robot est très répandu en raison de sa simplicité de construction et de ses propriétés cinématiques intéressantes.

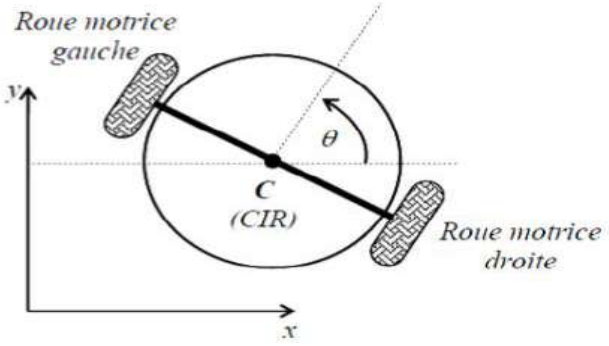


Figure I.4– schéma de Robot mobile de type uni cycle.

- **Le tricycle :**

L'architecture d'un robot mobile de type tricycle est donnée sur la figure I.5, il utilise une roue motrice avant et deux roues passives arrières (ou vice versa). Le mouvement est conféré au robot par deux actions : la vitesse longitudinale et l'orientation de la roue orientable. Ce type de robots est très connu dans les applications des AGVs pour leur simplicité inhérente. Pour la commande et la localisation ce type de robot : un capteur d'orientation est associé à la roue orientable, et deux encodeurs sont associés aux roues motrices.

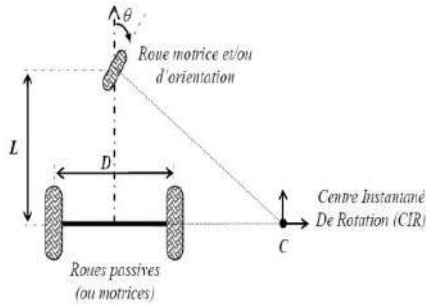


FIGURE I.5– schéma de Robot mobile de type tricycle.

- **Les véhicules (structure d'Ackermann) :**

Le cas du robot de type voiture est très similaire à celui du tricycle. La différence se situe au niveau du train avant, qui comporte deux roues au lieu d'une., on rencontre beaucoup plus souvent ce type de systèmes. On parle de robot dès lors que la voiture considérée est autonome [2], donc sans chauffeur ni télé pilotage.

Il s'agit là d'un des grands défis issus de la robotique mobile. La figure I.6 représente ce type d'architecture.

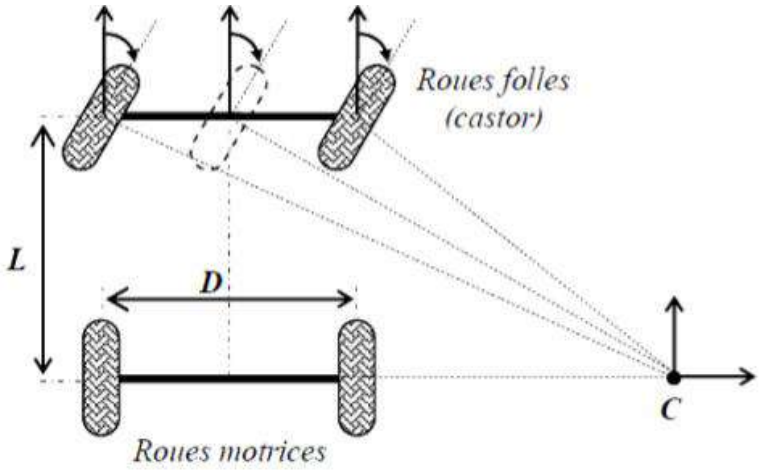


FIGURE I.6– schéma de Robot mobile de type voiture

- **Robot à traction synchrone :**

La traction synchrone est une technique utilisée pour minimiser l'effet de glissement et augmenter la force de traction. On rencontre ce type de robot dans l'industrie automobile, et dans les robots tous terrains. La configuration du robot à traction synchrone est similaire à un robot à trois roues couplées de façon qu'elles soient actionnées en même temps. La figure I.7 montre un robot à quatre roues couplées avec des chaînes.

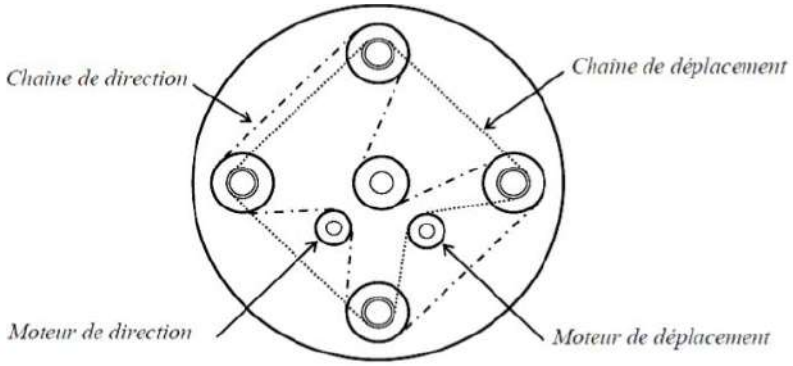


Figure I.7– schéma de Robot mobile à traction synchrone.

I.4.1.2. Les mobiles à chenilles :

L'utilisation des chenilles présente l'avantage d'une bonne adhérence au sol et d'une faculté de franchissement d'obstacles. L'utilisation est orientée vers l'emploi sur sol accidenté ou de mauvaise qualité au niveau de l'adhérence (présence de boue, herbe...).

I.4.1.3. La motricité et l'énergie :

Les déplacements des robots sont réalisés par des moteurs de types électrique, thermique ou hydraulique.

L'énergie électrique la plus fréquemment employée offre l'avantage d'une commande aisée. Par contre le transport et la génération présentent des difficultés.

I.4.2. Les organes de sécurité :

Un robot, selon la tâche qui lui est confiée, peut être amené à travailler au voisinage du personnel. A ce titre, il est obligatoire qu'il soit doté d'organes garantissant la sécurité. De capteurs sont disponibles tout autour du robot mobile afin de détecter un obstacle sur un domaine le plus étendu possible. Deux types de capteurs sont employés : les capteurs proximétriques assurant la détection avant collision (ultra-son, hyper fréquence, infrarouge…) et les capteurs de contact détectant une collision ou un choc avec l'environnement (contact électrique sur pare-chocs, résistance variable, fibre optique...).

L'organisation de la sécurité est représentée sur le schéma de la figure suivante.

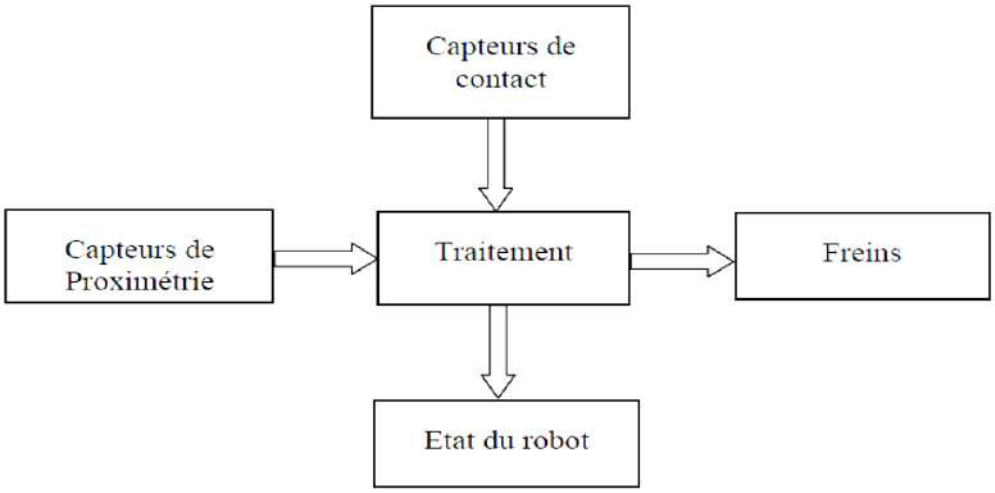


Figure I.8 – Synoptique de la sécurité.

Le traitement de la détection s'effectue selon plusieurs cas. Si le capteur à contact est sollicité, le robot s'immobilise soit définitivement soit tant que le contact persiste, ou il effectue un mouvement opposé au contact. Par contre si un proximètre détecte une présence, la stratégie consiste soit à immobiliser le robot en attendant que la personne s'éloigne, soit à ralentir le mouvement si la personne n'est pas trop proche, soit à choisir un autre chemin qui l'éloigne de la personne.

I.4.3. Traitement des informations et gestion des taches :

L'ensemble de traitement des informations et gestion des tâches constitue le module information central qui établit les commandes permettant au mobile de réaliser un déplacement et d'activer les divers organes en accord avec l'objectif.

I.5. Capteurs utilisés en robotique mobile :

Nous présentons dans cette section les capteurs les plus couramment utilisés en robotique mobile pour les besoins de la navigation ainsi que des modèles probabilistes associés qui seront utilisés dans plusieurs méthodes de navigation.

En robotique mobile on classe traditionnellement les capteurs en deux catégories selon qu'ils mesurent l'état du robot lui-même où l'état de son environnement.

Dans le premier cas, à l'image de la perception chez les êtres vivants, on parle de proprioception et donc de capteurs proprioceptifs. On trouve par exemple dans cette catégorie les capteurs de position ou de vitesse des roues et les capteurs proprioceptifs permettent une mesure du déplacement du robot.

Ce sont les capteurs que l'on peut utiliser le plus directement pour la localisation, mais ils souffrent d'une dérive au cours du temps qui ne permet pas en général de les utiliser seuls.

Les capteurs renseignant sur l'état de l'environnement, donc de ce qui est extérieur au robot lui-même, sont eux appelés capteurs extéroceptifs. Il s'agit de capteurs donnant la

distance du robot à l'environnement, la température, signalant la mise en contact du robot avec l'environnement, etc.

L'étude détaillée des capteurs, qui relève à la fois de la physique, de l'électronique et du traitement du signal, ne sera pas vue ici. Nous nous contenterons d'expliquer les principes de fonctionnement des capteurs présentés. On va présenter ainsi un capteur majeur qui est utilisé pour la mesure de position, le GPS : c'est ce capteur qui fait l'objet de notre travail, Nous allons élaborer et mettre en œuvre une équation qui permet de fournir des solutions pour le mesure de précision en utilisant deux capteurs GPS et un système de gestion et de traitement de l'information basé autour de deux cartes électroniques : la carte « Raspberry » et la carte « Arduino ». Mais tout d'abord une brève présentation des capteurs utilisés en robotique s'impose.

I.5.1. Capteurs pour mesure l'orientation : Gyromètres :

Le gyromètre est un capteur de mouvement. Un gyromètre mesure la vitesse de rotation du référentiel du capteur comparé à un référentiel inertiel (ou galiléen), suivant un ou plusieurs axes.

- **Capteurs optiques :**

L'effet Sagnac consiste à envoyer un faisceau laser sur une lame semi-réfléchissante. Deux faisceaux parcourent alors une boucle dans un sens et dans l'autre. Selon la rotation du capteur, on a une différence de chemin optique entre les deux faisceaux. Cette propriété physique est utilisée dans les gyromètres laser (ou gyrolasers) et dans les gyromètres à fibre optique.

- **Capteurs mécaniques :**

La conservation du moment cinétique a donné lieu aux gyroscopes à toupie flotté, aux gyroscopes à toupie accordée ainsi qu'aux gyroscopes à suspension électrostatique.

La force de Coriolis a donné naissance aux gyromètres vibrants, dont les principes généraux sont connus depuis l'expérience du Pendule de Foucault en 1851

- **Gyromètres vibrants :**

Les gyromètres vibrants quant à eux sont assez proches des gyromètres mécaniques, à la différence près qu'aucune pièce n'est ici en mouvement. Ils détectent le déplacement d'une onde vibratoire dans une structure, dû à la force de Coriolis.

I.5.2. Les télémètres :

Il existe différents types de télémètres, qui permettent de mesurer la distance aux éléments de l'environnement, utilisant divers principes physiques.

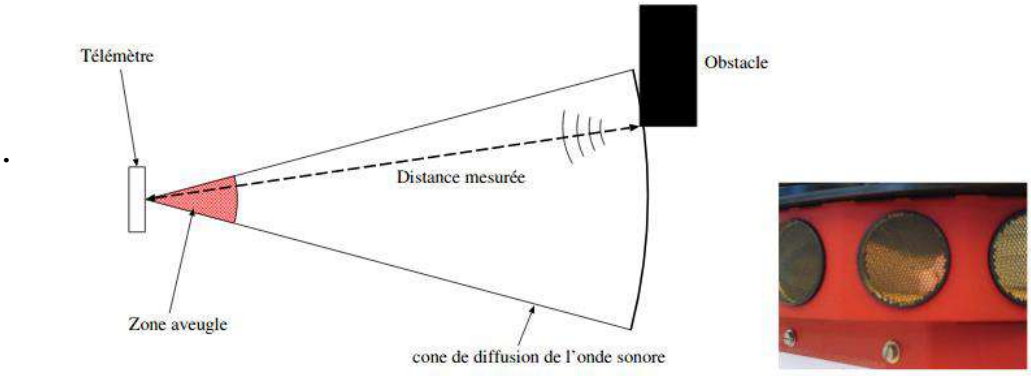


Figure I.9 – principe du télémètre à ultrasons et exemple de télémètre réel

- **Les télémètres à ultrason :** sont historiquement les premiers à avoir été utilisés.

Ils utilisent la mesure du temps de vol d'une onde sonore réfléchie par lles obstacles pour estimer la distance.

Ces télémètres sont très simple et peu cher, et sont donc très répandus, mais possèdent de nombreux inconvénients.

Ces télémètres possèdent une "zone aveugle", de quelques centimètres, en dessous de laquelle ils ne peuvent détecter les obstacles.

Cette zone est due à une temporisation entre l'émission de l'onde sonore et le début de la détection de l'onde réfléchie qui est nécessaire pour ne pas perturber cette mesure.

- **Les télémètres à infrarouge :**

Les télémètres infrarouges possèdent l'avantage d'avoir un cône de détection beaucoup plus restreint. Ils utilisent une lumière infrarouge au lieu d'une onde sonore pour la détection et peuvent être basés sur différentes techniques qui permettent de recueillir plus ou moins d'information. Il est possible de mesurer simplement le retour ou le non-retour d'une impulsion codée, ce qui permet de détecter la présence ou l'absence d'un obstacle dans une certaine portion de l'espace.

Il est également possible de réaliser une triangulation sur le faisceau de retour de l'onde lumineuse, ce qui permet d'avoir une mesure de la distance de l'obstacle (figure I.10).

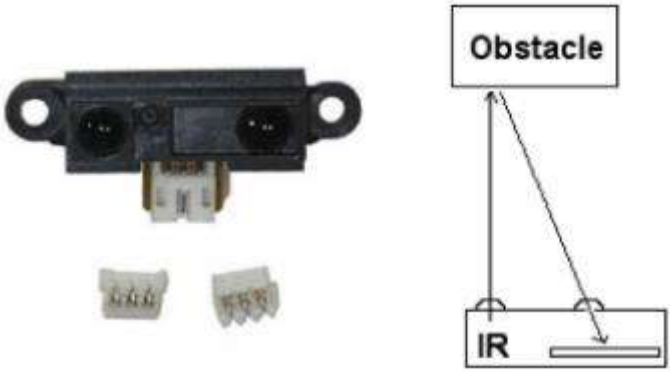


Figure I.10 – Principe du télémètre infrarouge à triangulation et exemple de télémètre (Sharp).

Les inconvénients de ces télémètres sont liés à leur portée, en général relativement restreinte, et à leur sensibilité aux sources de lumières qui contiennent un fort rayonnement infrarouge.

I.5.3. Les caméras :

L'utilisation d'une caméra pour percevoir l'environnement est une méthode attractive car elles semblent proche des méthodes utilisées par les humains et fournit un grande quantité d'information sur l'environnement. Le traitement des données volumineuses et complexes fournies par ces capteurs est cependant souvent difficile, mais c'est une voie de recherche très explorée et prometteuse pour la robotique.

- **Caméras simples** :

Une caméra standard peut être utilisée de différentes manières pour la navigation d'un robot mobile. Elle peut être utilisée pour détecter des amers visuels (des points particuliers qui servent de repère, tels que des portes ou des affiches) à partir desquels il sera possible de calculer la position du robot.

Elle peut également être utilisée pour détecter des "guides" de navigation pour le robot, tels que des routes ou des couloirs

- **Caméras stéréoscopiques** :



Figure I.11 – Exemple de données fournies par des caméras stéréoscopiques.

Lorsque l'on dispose de deux caméras observant la même partie de l'environnement à partir de deux points de vue différents, il est possible d'estimer la distance des objets et d'avoir ainsi une image de profondeur (Figure I.11), qui peut être utilisée pour l'évitement d'obstacles ou la cartographie.

- **Caméras panoramiques :**

Les caméras panoramiques (catadioptriques) sont constituées d'une caméra standard pointant vers un miroir de révolution (par exemple un simple cône, ou un profil plus complexe qui peut s'adapter à la résolution exacte que l'on veut obtenir sur le panorama) (figure I.12). L'image recueillie permet d'avoir une vision de l'environnement sur 360 degrés autour de la camera. Le secteur angulaire vertical observé dépend de la forme du miroir et peut être adapté aux besoins de chaque application**.**

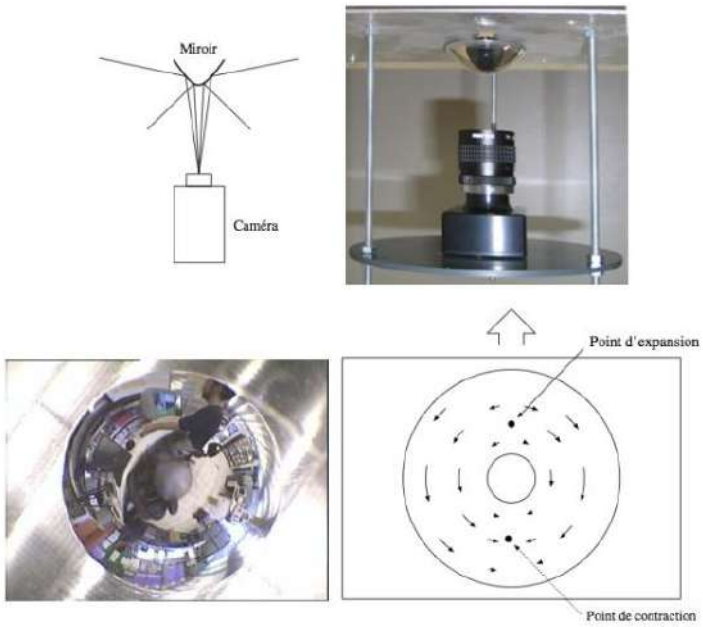


Figure I.12 – Principe des caméras panoramiques catadioptriques, exemple d'image obtenue et illustration du flux optique.

I.5.4. Capteur pour la Mesure de la position géographique, le GPS :

Les besoins de localisation étant omniprésents dans de très nombreux secteurs de la vie actuelle, l'idée d'avoir un système de localisation le plus universel possible à donner lieu à l'apparition du **Global Positionning System** (GPS). C'est d'ailleurs, le capteur que nous allons implémenter dans notre robot mobile pour lui permettre de naviguer dans une exploitation agricole.

Le GPS est un système de balises dont on a placé les balises sur des satellites en orbite terrestre et qui est par conséquent accessible de quasiment partout à la surface du globe.

Ce système permet donc d'avoir une mesure de sa position dans un repère global couvrant la terre avec une précision variant de quelques dizaines de mètres à quelques centimètres suivant les équipements.

Ce système est cependant loin de résoudre tous les problèmes de localisation des robots mobiles. Il fonctionne en effet difficilement dans des environnements urbains, et n'est pas utilisable à l'intérieur des bâtiments. Sa précision est de plus souvent trop faible pour qu'un robot terrestre puisse utiliser ces informations seules. En pratique, il est souvent couplé à un système inertiel qui permet de palier aux pertes du signal GPS et il ne remplace de toute façon pas les capteurs du robot qui lui permettent de percevoir son environnement immédiat, qui constitue la source d'information principale pour la navigation à court terme (par exemple l'évitement d'obstacles, par opposition à la navigation à long terme qui consiste à rejoindre un but distant).

I.6. Conclusion :

La présentation que nous avons faite dans ce premier chapitre nous a permis de décrire les éléments constituants d'un robot mobile. A partir de ce descriptif, nous avons constaté que pour réaliser la commande de ce type de robot, nous devions répondre à trois impératifs à savoir la perception, la décision et l'action.

La combinaison d'informations issues de capteur proprioceptifs et de capteurs extéroceptifs permet d'envisager la réalisation de ces tâches robotiques complexes. Dans le cas de la robotique mobile, le traitement de toutes ces informations nécessite une puissance de calcul importante.

Dans le prochain chapitre nous vous présenterons donc, les cartes électroniques que nous avons utilisées pour gérer et commander le robot mobile **Arduino.**

Chapitre II :

Les systèmes embarqués et les matériels électroniques utilisés

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous introduirons et nous présenterons les cartes électroniques embarquées que nous utiliserons dans l'élaboration de notre système d'acquisition de données leur traitement et le calcul des lois de commandes nécessaires au contrôle de notre robot mobile. Nous nous concentrerons nos efforts sur l'acquisition des données de géolocalisation fournies par le GPS et sur les modules nRF24nL01 pour la communication entre les différentes cartes électroniques utilisées. L'architecture matérielle que nous avons développée s'articule essentiellement autour des deux de la carte **Arduino** et la carte **Raspberry** pi. Le **Raspberry pi** sera assimilé au cerveau de notre robot tandis que l'aura **Arduino** aura un rôle dans la gestion de l'ensemble Capteurs / Actionneurs du robot.

II.2. Arduino :

II.2.1. Définition :

Arduino est un projet créé par une équipe de développeurs. Cette équipe a créé le "système Arduino". C'est un outil qui va permettre aux débutants, amateurs ou professionnels de créer des systèmes électroniques plus ou moins complexes.

C'est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation.

Pont tendu entre le monde réel et le monde numérique, Arduino permet d'étendre les capacités de relations humain/machine ou environnement/machine.

Ce dernier est un projet en source ouverte : la communauté importante d'utilisateurs et de concepteurs permet à chacun de trouver les réponses à ses questions.

II.2.2. Applications :

Le système Arduino nous permet de réaliser un grand nombre de choses, qui ont une application dans tous les domaines, l'étendue de l'utilisation de l'Arduino est gigantesque. Pour vous donner quelques exemples, vous pouvez :

- o contrôler les appareils domestiques,
- o fabriquer votre propre robot,
- o faire un jeu de lumières,
- o communiquer avec l'ordinateur,
- o télécommander un appareil mobile (modélisme), etc....

II.2.3. Pourquoi avons-nous choisi la carte Arduino :

Il existe pourtant dans le commerce, une multitude de plateformes qui permettent de faire la même chose. Notamment les microcontrôleurs « PIC » du fabricant Micro chip. Nous allons voir pourquoi choisir l'Arduino.

- **Multiplateforme** : le logiciel Arduino, écrit en Java, tourne sous les systèmes d'exploitation Windows, Macintosh et Linux. La plupart des systèmes à microcontrôleurs sont limités à Windows.
- **Un environnement de programmation clair et simple :** l'environnement de programmation Arduino (= le logiciel Arduino) est facile à utiliser pour les débutants, tout en étant assez flexible pour que les utilisateurs avancés puissent en tirer profit également.
- **Logiciel Open Source et extensible :** le logiciel Arduino et le langage Arduino sont publiés sous licence open source, disponible pour être complété par des programmateurs expérimentés.
- **La communauté :** La communauté Arduino est impressionnante et le nombre de ressources à son sujet est en constante évolution sur internet. De plus, on trouve les références du langage Arduino ainsi qu'une page complète de tutoriels sur le site arduino.cc

II.2.4. Présentation de la carte Arduino :

À présent, rapprochons-nous de « l'utilisation » du système Arduino et voyons comment il se présente. Il est composé de deux choses principales, qui sont : le matériel et le logiciel Ces deux outils réunis, il nous sera possible de faire n'importe quelle réalisation.

La carte Arduino repose sur un circuit intégré (un mini-ordinateur appelé également microcontrôleur) associée à des entrées et sorties qui permettent à l'utilisateur de brancher différents types d'éléments externes :

- Côté entrées, des capteurs qui collectent des informations sur leur environnement comme la variation de température via une sonde thermique, le mouvement via un détecteur de présence ou un accéléromètre, le contact via un bouton-poussoir, ect.
- Côtés sortis, des actionneurs qui agissent sur le monde physique telle une petite lampe qui produit de la lumière, un moteur qui actionne un bras articulé, etc.

Comme le logiciel Arduino, le circuit électronique de cette plaquette est libre et ses plans sont disponibles sur internet. On peut donc les étudier et créer des dérivés. Plusieurs constructeurs proposent ainsi différents modèles de circuits électroniques programmables et utilisables avec le logiciel Arduino.

II.2.5. la carte arduino uno :

Dans la partie suivante nous allons présenter la carte arduino uno dont nous allons utiliser dans notre projet,Elle dispose :

1. de 14 broches numériques d'entrées/sorties (dont 6 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée)),

2. de 6 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques),
3. d'un quartz 16Mhz,
4. d'une connexion USB,
5. d'un connecteur d'alimentation jack,
6. d'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit"),
7. et d'un bouton de réinitialisation (reset).

II.2.5.1. Le microcontrôleur :

Le microcontrôleur le cerveau de notre carte, C'est un ATMega328. C'est un microcontrôleur ATMEL de la famille AVR 8bits.

C'est lui qui va recevoir le programme que vous aurez créé et qui va le stocker dans sa mémoire puis l'exécuter. Grâce à ce programme, il va savoir faire des choses, qui peuvent être : faire clignoter une LED, afficher des caractères sur un écran, envoyer des données à un ordinateur, connexion entre deux périphériques a l'aide d'un bus U2C,...

II.2.5.2. L'alimentation :

Afin de faire la mise en marche de la carte, elle a besoin d'une alimentation. Le microcontrôleur fonctionne sous 5V, la carte peut être alimentée en 5V par le port USB ou bien par une alimentation externe qui est comprise entre 7V et 12V.

II.2.5.3 .La visualisation : Les trois LED qu'on trouve sur la carte sont de la taille de l'ordre du millimètre. Ces LED servent à deux choses :

La première (L) : elle est connectée à une broche du microcontrôleur et va servir pour tester le matériel. Nota : Quand on branche la carte au PC, elle clignote quelques secondes.

Les deux LED: servent à visualiser l'activité sur la voie série (une pour l'émission.

(TX) et l'autre pour la réception (LX)). Le téléchargement du programme dans le microcontrôleur se faisant par cette voie, on peut les voir clignoter lors du chargement.

II.2.6. Le Logiciel de gestion de la carte Arduino :

L'environnement de programmation **Arduino** (IDE en anglais) est une application écrite en Java inspirée du langage **Processing**. L'IDE permet d'écrire, de modifier un programme et de le convertir en une série d'instructions compréhensibles pour la carte.

- **Le cadre numéro 1** : options de configuration du logiciel.
- **Le cadre numéro 2 :** il contient les boutons qui vont nous servir lorsque l'on

Va programmer nos cartes.

- **Le cadre numéro 3 :** ce bloc va contenir le programme que nous allons créer.
- **Le cadre numéro 4 :** celui-ci est important, car il va nous aider à corriger les fautes

Dans notre programme. C'est le débogueur.

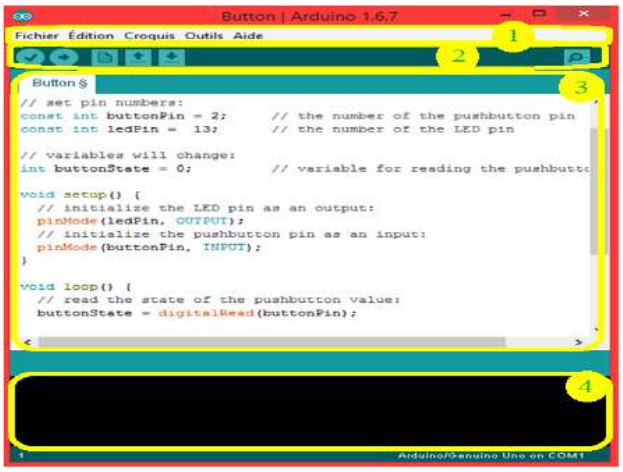


Figure II.1: logiciel arduino.

II.2.6.1. Les boutons : Voyons à présent à quoi servent les boutons, encadrés en jaune et numérotés par le chiffre 2.



Figure II.2 -Présentation des boutons.

1. Vérifier le programme.
2. Compile le code et exporte le programme dans le microcontrôleur.
3. Création d'un nouveau fichier.
4. Ouverture d'un fichier.
5. Sauvegarde le fichier.
6. Ouvre le moniteur série.

II.2.6.2 .Moniteur sériel :

Le moniteur sériel est utilisé pour afficher l'information qui est envoyée par la carte Arduino vers l'application (habituellement par le câble USB). Il permet aussi d'envoyer de l'information à la carte Arduino. Pour ce faire, il suffit d'écrire du texte dans le champ situé en haut de la fenêtre et d'appuyer sur le bouton «Send ». Bien évidemment, avant de pouvoir faire ceci il vous faut coder un programme approprié, prêt à recevoir cette information.

II.3. La carte Raspberry Pi :

Nous présenterons dans la suite, le Raspberry Pi que l'on a utilisé dans notre projet. Ce dernier est considéré comme le cerveau de notre système. Le Raspberry Pi est un petit ordinateur (Mini-PC) qui fonctionne sous le système d'exploitation Linux sur carte SD destiné à des applications d'informatique embarquée. Le cœur de l'ordinateur est un FPGA (Broadcom 2835) intégrant un processeur ARM11 cadencé à 700MHz et de nombreux périphériques. [3]

II.3.1. Configurations :

Il existe 2 modelés de pi:

Modèle A et modèle B, les deux sont semblables dès que le modèle B a de plus caractéristique que le A, la table suivante (tableau II.1) représente la déférence entre ces deux modèles [4].

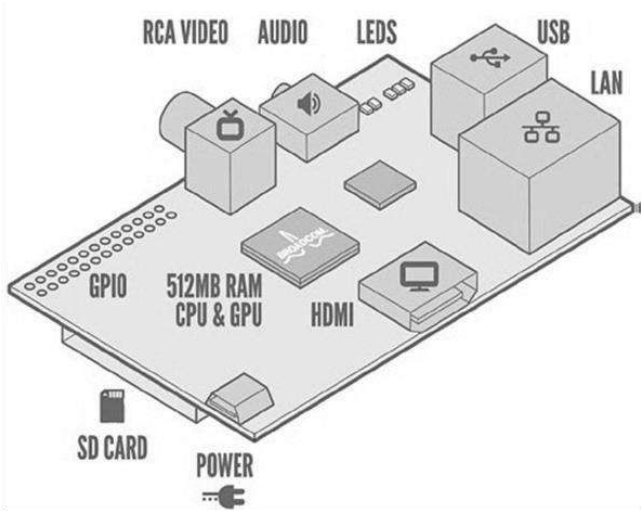


Figure II.3- Raspberry Pi Modèle B (image Raspberry Pi Foundation)

Tableau II.1 Configuration d'un raspberry

Modèle A	**Modèle B**
Broadcom BCM2835	Broadcom BCM2835
RAM : 256 Mo	RAM : 521 Mo
Stockage : SD/ MMC / SDIO card slot	Stockage : SD/MMC/SDIO card slot
Audio : 3.5 mm jack, HDMI	Audio : 3.5 mm jack, HDMI
Pas de porte réseau	Un porte réseau 10/100 Mbits/s
Ports USB 2.0 : 1	Ports USB 2.0 : 2
Sortie vidéo : HDMI, RCA, Composite	Sortie vidéo : HDMI, RCA, Composite
Alimentation : 5V via Micro USB ou GPIO	Alimentation : 5V via Micro USB ou GPIO

Dans notre projet, nous avons choisi le modèle B grâce à ces caractéristiques.

II.3.2. Les composants standards de Raspberry :

Afin de bien visualiser ce qu'il est possible d'adjoindre à la carte RaspberryPi nue, la figure suivante représente tout à la fois son organisation générale et les différents connecteurs disponible d'un Raspberry standard :

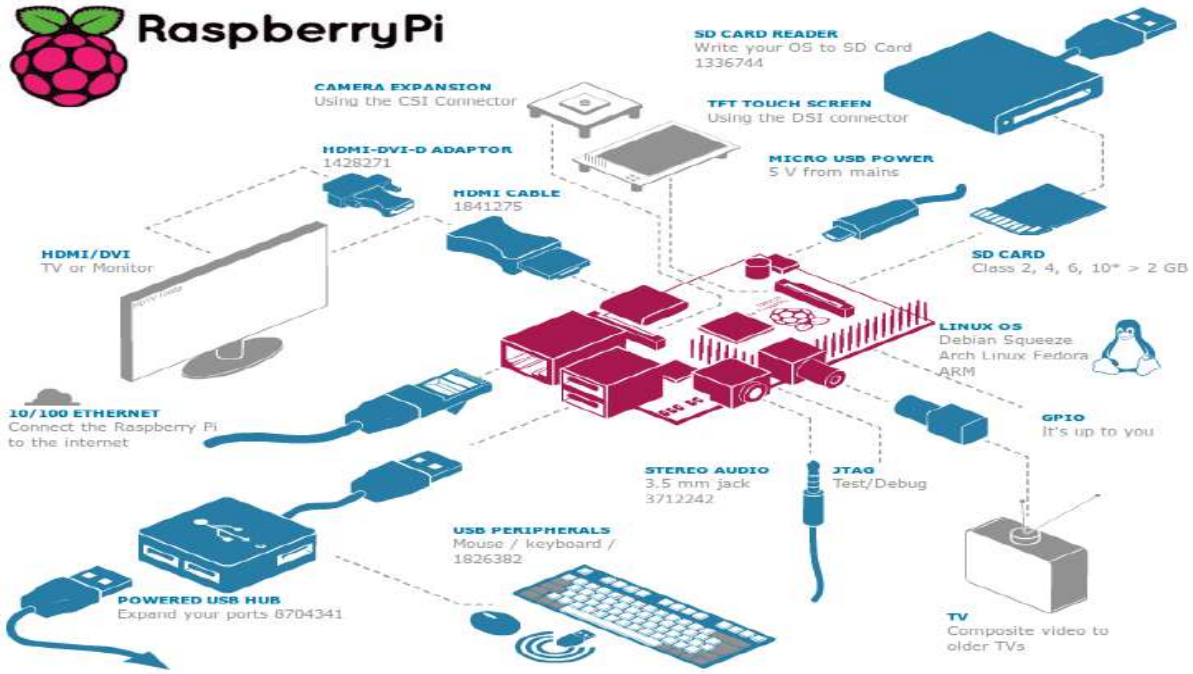


Figure II.4- Les composants standards d'un raspberry

Le centre de la carte est occupé par le processeur ou, plus exactement, par un empilement du processeur et de sa mémoire qui sont littéralement montés l'un sur l'autre.

L'autre gros circuit intégré visible sur cette face du circuit imprimé n'est autre que le contrôleur réseau, absent bien évidemment sur le modèle A. La connectique qui occupe la majorité de la surface de la carte et non les composants actifs, et ce d'autant que des choix pour le moins curieux ont été faits au niveau des connecteurs, dont certains sont véritablement archaïques sur un produit aussi récent.

La prise réseau accepte une prise normalisée RJ45 et tout réseau Ethernet classique à 10 Mbits ou 100 Mbits par seconde.

Le double connecteur USB voisin et quant à lui conforme à la norme USB 2.0, rétro-compatible USB 2.0 comme il se doit.

Dans l'angle situé à côté de ces connecteurs on trouve cinq LED d'état du Raspberry Pi :

1. Une LED verte d'activité du processeur ;
2. Une LED rouge de mise sous tension ;
3. Une LED verte signalant le mode full duplex de la connexion réseau ;
4. Une autre LED verte signalant l'activité réseau ;
5. Une LED jaune indiquant que le réseau fonctionne à 100 Mbits par seconde.

La carte comporte :

- **Un processeur ARM :** les architectures ARM sont des architectures de processeur, à faible consommation, introduit à partir de 1983 par « Acorn computers » et développées depuis 1990 par « ARM Ltd ».
- **Mémoire vive RAM :** c'est la mémoire dans laquelle le raspberry place les données lors de son traitement ;
- **Une connectique variée :**

o HDMI : « Hight raspberry Pi Definition Multimedia Interface » permet à un dispositif compatible (écran de relier le LCD ou un vidéoprojecteur), capable de surcroît de fournir de la vidéo au format full HD de 1080p, et véhicule également le son.

o Port USB 2.0 : le port « Universal Serial Bus » est un port série qui sert à connecter le raspberry aux autres périphériques.

o Port Ethernet : c'est un port qui correspond au protocole international ETHERNET de réseau local à communication de paquets.

o Port RCA : « Radio Corporation of America », véhicule quant à lui le signal vidéo généré par le Raspberry Pi au format vidéo composite PAL ou NTSC et ne permet donc qu'un affichage en basse résolution, sur un vieux moniteur à tube cathodique de surcroit.

o Un slot les cartes SD : le raspberry a besoin d'une mémoire externe supplémentaire pour fonctionner. Ce slot permet de connecter la mémoire externe.

o Une prise jack : c'est une connectique femelle stéréo de 3.5 mm de diamètre destiné à la connexion d'un casque, d'un pair de haut-parleurs amplifiés comme

Ceux que l'on utilise avec les PC, ou bien encore d'un amplificateur externe.

o GPIO : « General Purpose Input/Output » sont des ports d'Entres/Sorties c'est-à-dire de toutes les interfaces externes propoées par le microprocesseur qui équipe le Raspberry

II.3.3. Les GPIO:

GPIO simples : entrées /sorties numériques : interrupteurs ON/OFF numériques (manette de jeu, bouton-poussoir, allumer-éteindre lumière ou moteur, etc.)

PWM : « Modulation de la largeur des pics » signaux carres largeur variable : commande moteur pas à pas, variateur lumière LED, variateur vitesse moteur continu,...

Il y a un seul port GPIO configurable en PWM hardware sur Raspberry Pi, ce dernier est nécessaire pour piloter les servomoteurs (temps de réponse courts pour encodeur en plus régularité précise).

Pour contourner ce problème : la bibliothèque WiringPI permet d'ajouter autant de PWM que souhaite par soft (valable pour périphériques autres que servomoteurs).

UART : échange informations série asynchrone (pas d'horloge). Dialogue avec PC Windows (Putty).

I2C : échange informations série synchrone (horloge). Tous les récepteurs au même niveau. → Automobile, matériel hifi.

SPI : échange informations série synchrone (horloge). Récepteur maitre/esclave, maitre tournant possible. → Pilotage écrans LCD.

Autrement, notre carte dispose de connecteur micro USB qui ne véhicule pas d'interface USB comme on aurait pu le penser, mais ce connecteur sert uniquement à alimenter le Raspberry Pi. Par ailleurs, le Raspberry Pi ne comporte pas de convertisseur analogique/numérique ADC/DAC. Il est impossible de lire directement les signaux des capteurs analogiques. C'est pour cela que l'utilisation de la carte Arduino vient palier cette limitation.

II.3.4. Le réseau :

Même s'il n'est pas absolument indispensable de connecter le Raspberry Pi à un réseau, puisque, par exemple, le modèle A est dépourvu d'une telle interface ; cela s'avère cependant très vite nécessaire du fait de l'accès à internet que cela procure.

En effet, tous les logiciels susceptibles d'être utilisés avec le Raspberry Pi sont téléchargeables sur internet ou doivent être mis à jour par ce biais, ce qui rend bien vite cet accès indispensable.

Fort heureusement, si vous disposez d'un réseau filaire, sa connexion au Raspberry Pi est immédiate puisqu'il suffit de faire appel à n'importe quel câble RJ45 standard.

II.3.5. Système d'exploitation :

La plupart des systèmes qui fonctionnent sur Raspberry Pi sont des versions du système d'exploitation Linux. Parce que Linux est open source, les développeurs peuvent l'adopter pour des buts spécifiques. Dans le cas du raspberry Pi, le matériel léger nécessite un système réduit et privé d'applications inutiles.

II.3.6. Programmation :

Il existe plusieurs langages de programmation qui peut être compilé sur le Raspberry Pi, telle que le langage C, C++, HTML5, le Java, le JavaScript...etc.

Le langage utilisant dans notre projet et le Python, C'est un langage de programmation interprété, c'est à dire qu'il n'est pas nécessaire de le compiler avant de l'exécuter.

II.4. Le module GPS NEO-6M :

II.4.1. Définition :

Le module GPS NEO-6M est un récepteur GPS complet très performant avec une antenne en céramique 25 x 25 x 4 mm intégrée, qui offre une forte capacité de recherche par satellite. Avec les indicateurs d'alimentation et de signal, on peut surveiller l'état du module. Grâce à la mémoire de sauvegarde des données, le module peut enregistrer les données lorsque l'alimentation principale est coupée accidentellement..

II.4.2. Présentation matérielle du module GPS NEO-6M :

II.4.2.1. Puce GPS NEO-6M :

Au cœur du module se trouve une puce GPS NEO-6M d'u-blox. La puce mesure moins que la taille d'un timbre-poste mais intègre une quantité surprenante de fonctionnalités dans son petit cadre.

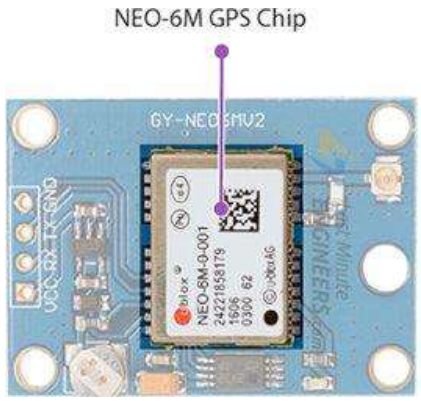


Figure II.5- la puce de GPS NEO-6M

Il peut suivre jusqu'à 22 satellites sur 50 canaux et atteint le plus haut niveau de sensibilité de l'industrie, à savoir un suivi de -161 dB, tout en ne consommant que 45 mA de courant d'alimentation.

Contrairement à d'autres modules GPS, il peut effectuer jusqu'à 5 mises à jour de position par seconde avec une précision de position horizontale de 2,5 m. Le moteur de positionnement u-blox 6 possède également un Time-To-First-Fix (TTFF) inférieur à 1 seconde.

L'une des meilleures fonctionnalités de la puce est le mode d'économie d'énergie (PSM). Il permet une réduction de la consommation d'énergie du système en allumant et éteignant de manière sélective certaines parties du récepteur. Cela réduit considérablement la consommation d'énergie du module à seulement 11 mA, ce qui le rend approprié pour les applications sensibles à l'énergie comme la montre-bracelet GPS.

Les broches de données nécessaires de la puce GPS NEO-6M sont réparties en en-têtes de pas de 0,1 ". Cela comprend les broches requises pour la communication avec un microcontrôleur via UART. Le module prend en charge le débit en bps de 4800 bps à 230 400 bps .Voici les spécifications complètes :

Tableau II.2 : spécifications du module NEO6M

Type de récepteur	50 canaux, GPS L1 (1575.42Mhz)
Précision de la position	horizontale 2,5 m
Taux de mise à jour de la navigation	1 Hz (5 Hz maximum)
Temps de capture Cool start:	27sHot start: 1s
Sensibilité de navigation	-161dBm
Protocole de communication	NMEA, UBX binaire, RTCM
Débit en bauds série	4800-230400 (par défaut 9600)
Température de fonctionnement	-40 ° C ~ 85 ° C
Tension de fonctionnement	Tension de fonctionnement
Courant de fonctionnement	45mA
Impédance	TXD / RXD 510Ω

II.4.2.2. Indicateur LED de position fixe :

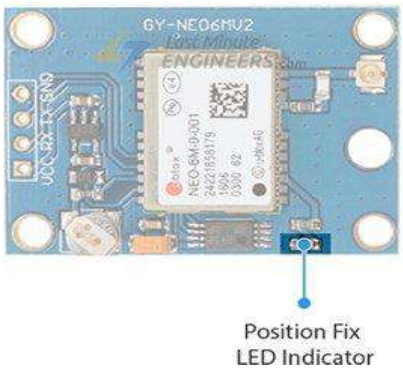


Figure II.6- indicateur de gps NEO-6M.

Il y a une LED sur le module GPS NEO-6M qui indique l'état de la position fixe. Il clignote à différents taux selon l'état dans lequel il se trouve:

1. Pas de clignotement - Il recherche des satellites.
2. Clignote toutes les 1 s - Position Fix est trouvée (le module peut voir suffisamment de satellites).

II.4.2.3. Régulateur LDO 3,3 V:



Figure II.7-régulateur dans GPS NEO-6M

La tension de fonctionnement de la puce NEO-6M est de 2,7 à 3,6 V. Mais la bonne nouvelle est que le module est livré avec un régulateur 3V3 à très faible décrochage MIC5205 de MICREL.

Les broches logiques sont également tolérantes à 5 volts, nous pouvons donc facilement les connecter à un Arduino ou à tout microcontrôleur logique 5V sans utiliser de convertisseur de niveau logique.

II.4.2.4. Batterie et EEPROM:

Le module est équipé d'une EEPROM série à deux fils HK24C32. Il est de 4 Ko et connecté à la puce NEO-6M via I2C.

Le module contient également une pile bouton rechargeable qui agit comme un super-condensateur.

Une EEPROM et une batterie permettent de conserver la RAM (BBR) alimentée par batterie. Le BBR contient les données d'horloge, les dernières données de position (données d'orbite GNSS) et la configuration du module. Mais ce n'est pas destiné au stockage de données permanent.

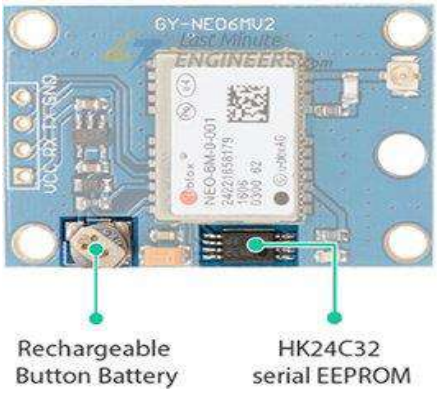


Figure II.8- Batterie et EEPROM dans GPS NEO-6M

Comme la batterie conserve l'horloge et la dernière position, le délai de première correction (TTFF) se réduit considérablement à 1 s. Cela permet des verrous de position beaucoup plus rapides.

Sans la batterie, le GPS démarre toujours à froid, de sorte que le verrouillage GPS initial prend plus de temps.

La batterie est automatiquement chargée lors de la mise sous tension et conserve les données jusqu'à deux semaines sans alimentation.

II.4.2.5. Antenne :

Une antenne est nécessaire pour utiliser le module pour tout type de communication. Ainsi, le module est livré avec une antenne patch ayant une sensibilité de -161 dBm

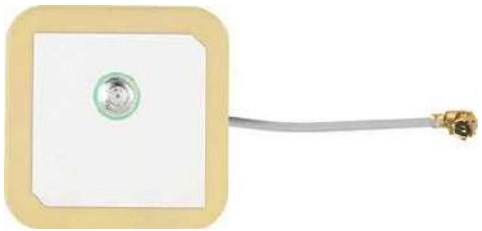


Figure II.9- antenne de GPS NEO- 6M.

Vous pouvez fixer cette antenne sur un petit connecteur U.FL situé sur le module.

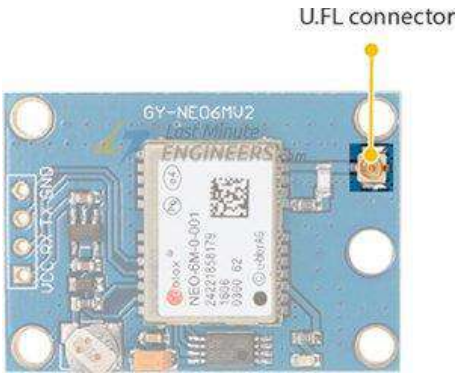


Figure II.10- connecteur de l'antennne gps NEO-6M.

L'antenne patch est idéale pour la plupart des projets. Mais si vous souhaitez obtenir plus de sensibilité ou placer votre module dans un boîtier métallique, vous pouvez également accrocher n'importe quelle antenne GPS active 3V via le connecteur U.FL.[6]

II.5. Le module nRF24L01 :

II.5.1. présentation :

Avoir deux ou plusieurs cartes Arduino capables de communiquer entre elles sans fil sur une distance ouvre de nombreuses possibilités comme la surveillance à distance des données des capteurs, le contrôle des robots, la domotique, etc….. [7]

II.5.2. Définition :

Les modules nRF24L01 sont des émetteurs / récepteurs qui utilisent la bande de fréquence 2.4Ghz. Ils possèdent une antenne intégrée et fonctionnent en modulation GFSK avec 125 canaux possibles. La vitesse de fonctionnement maximale est de 2 Mbps (Mégabits par secondes), avec une faible consommation électrique. [8]

II.5.3.Fonctionnalétés :

- Véritable émetteur-récepteur GFSK monopuc
- Couche de liaison OSI complète dans le matériel
- ShockBurst ™ amélioré
- ACK automatique et retransmission
- Adresse et calcul CRC
- Débit de données en direct 1 ou 2 Mbps
- Vitesse de l'interface numérique (SPI) 0-8 Mbps
- Fonctionnement du canal 125 RF
- Temps de commutation court permettant un saut de fréquence.
- Tampons d'entrée de signal tolérants 5 V.
- Boîtier 20 broches (QFN20 4x4 mm).
- Utilise un cristal à très faible coût de +/- 60 ppm.
- Utilise des inductances à puce à faible coût et un PCB à 2 couches.
- Plage d'alimentation: 1,9 à 3,6 V [9].

II.5.4.La modulation FSK:

La modulation par déplacement de fréquence, plus connue sous sa dénomination anglophone de frequency-shift keying (FSK) est un mode de modulation de fréquence utilisé pour des communications numériques, dans lequel le signal modulé varie entre deux fréquences prédéterminées f0 et f1 en fonction de la valeur des bits à transmettre.

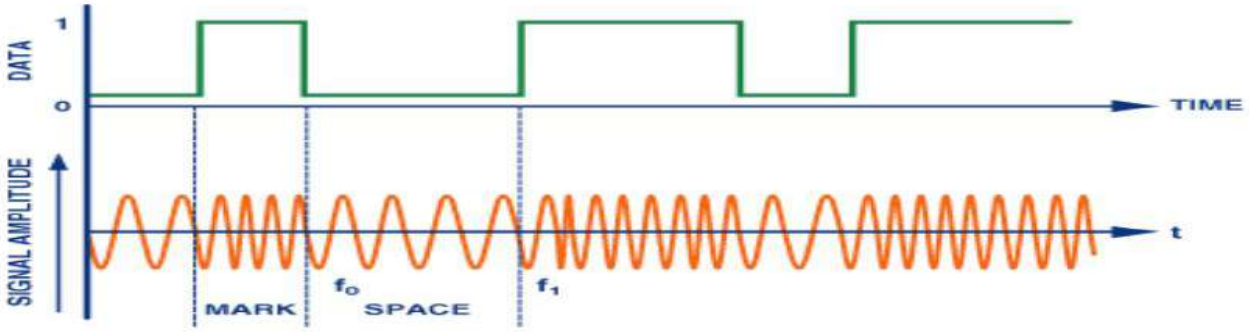


Figure II.11- modulation FSK.

La modulation numérique de fréquence GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) est une variété de la modulation FSK. La modulation GFSK permet la réduction de l'occupation spectrale d'un signal modulé en FSK. La modulation GFSK est utilisée dans les communications Bluetooth. Elle repose sur le même principe que la FSK mais avec l'ajout d'un filtre passe bas Gaussien. Pour une modulation GMSK, l'expression du signal émis est:

$$m(t) = a_0 \cos\left(2\pi(f_p \pm \frac{\Delta F}{2})t\right)$$

où: a_0 et f_p représentent l'amplitude et la fréquence de la porteuse et Δf la différence de fréquence entre l'émission d'un état logique 0 et 1 :

$$f_0 = f_p - \frac{\Delta F}{2} \text{ et } f_1 = f_p + \frac{\Delta F}{2}.$$

Le module émetteur-récepteur nRF24L01 + est conçu pour fonctionner dans la bande de fréquences ISM mondiale de 2,4 GHz et utilise la modulation GFSK pour la transmission de données. Le taux de transfert de données peut être de 250 kbps, 1 Mbps et 2 Mbps.

II.5.5. La liaison SPI:

La liaison SPI (pour Serial Peripheral Interface) est une liaison série synchrone (bi-directionnelle) qui opère en mode full- duplex. Les circuits communiquent selon un schéma maître-esclaves, où le maître s'occupe totalement de la communication. Plusieurs esclaves peuvent coexister sur un même bus, dans ce cas, la sélection du destinataire se fait par une ligne dédiée entre le maître et l'esclave appelée Slave Select (SS) [8].

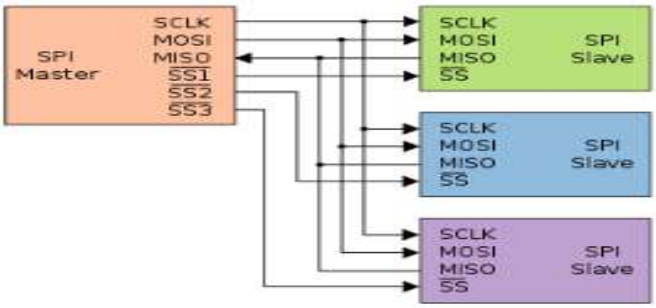


Figure II.12- le bus SPI du module nRF24L01

II.5.6. Transmission :

Le module émetteur-récepteur nRF24L01 + transmet et reçoit des données sur une certaine fréquence appelée Channel. De plus, pour que deux ou plusieurs modules émetteurs-récepteurs communiquent entre eux, ils doivent être sur le même canal. Ce canal pourrait être n'importe quelle fréquence dans la bande ISM 2,4 GHz ou pour être plus précis, il pourrait être compris entre 2,400 et 2,525 GHz (2400 et 2525 MHz).

Chaque canal occupe une bande passante inférieure à 1 MHz. Cela nous donne 125 canaux possibles avec un espacement de 1 MHz. Ainsi, le module peut utiliser 125 canaux différents, ce qui donne la possibilité d'avoir un réseau de 125 modems fonctionnant indépendamment en un seul endroit.

La vitesse de fonctionnement maximale est de 2 Mbps, avec une faible consommation électrique.

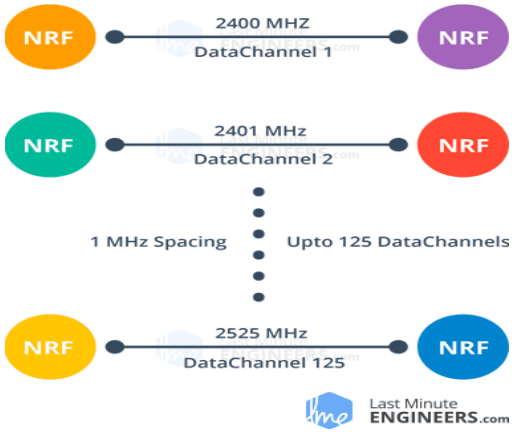


Figure II.13-les canaux dans nRF24L01.

II.5.6.1. Le protocole ShockBurst :

Le protocole de transmission ShockBurst permet de garantir une transmission fiable sans s'occuper des détails. Les paquets ShockBurst transmis lors d'une émission contiennent cinq champs: un champ préambule, un champ d'adresse permettant de communiquer avec un autre module bien identifié un champ de contrôle de paquets, un champ dit «payload» constitué des octets à transmettre (de 0 à 32 octets) et un champ de détection d'erreur CRC.

Pre amble 1 byte	Adresse 3-5 byte	Paquet contrôle file 9bits	Charge 0-32 byte	CRC 1-2 byte

Une modulation GFSK avec 125 canaux, des sauts de fréquence, couplés à un dispositif intégré de détection d'erreur CRC, un adressage des messages,... permettent un antiparasitage très efficace.

II.5.6.2. nRF24L01 Gestion automatique des paquets :

Voyons maintenant les trois possibilités pour mieux comprendre comment deux modules nRF24L01 interagissent.

1. Transaction avec acquittement et interruption l'émetteur démarre une communication en envoyant un paquet de données au récepteur. Une fois que le paquet entier est transmis, il attend (environ 130 µs) la réception du paquet d'accusé de réception (paquet ACK). Lorsque le récepteur reçoit le paquet, il envoie un paquet ACK à l'émetteur. A la réception du paquet ACK, l'émetteur affirme un signal d'interruption (IRQ) pour indiquer que les nouvelles données sont disponibles.

2. Transaction avec perte de paquet de données , une retransmission est nécessaire en raison de la perte du paquet transmis. Une fois le paquet transmis, l'émetteur attend la réception du paquet ACK. Si l'émetteur ne l'obtient pas dans le délai de retransmission automatique (ARD), le paquet est retransmis. Lorsque le paquet retransmis est reçu par le récepteur, le paquet ACK est transmis, ce qui génère à son tour une interruption au niveau de l'émetteur.

3.Transaction avec acquittement perdu ,une retransmission est nécessaire en raison de la perte du paquet ACK. Ici, même si le récepteur reçoit le paquet lors de la première tentative, en raison de la perte du paquet ACK, l'émetteur pense que le récepteur n'a pas du tout reçu le paquet.

Ainsi, une fois le délai de retransmission automatique écoulé, il retransmet le paquet. Maintenant, lorsque le récepteur reçoit le paquet contenant le même ID de paquet que le précédent, il le rejette et envoie à nouveau le paquet ACK.

L'ensemble de la gestion des paquets est effectué automatiquement par la puce nRF24L01 sans intervention du microcontrôleur [6].

II.5.7. Consommation d'énergie :

Le module prend en charge la puissance de sortie programmable, à savoir. 0 dBm, -6 dBm, -12 dBm ou -18 dBm et consomme incroyablement environ 12 mA pendant la transmission à 0 dBm, ce qui est encore plus faible qu'une seule LED. Et surtout, il consomme 26 µA en mode veille et 900 nA en mode hors tension. C'est pourquoi ils sont l'appareil sans fil incontournable pour les applications à faible consommation.

II.5.8. Diagramme :

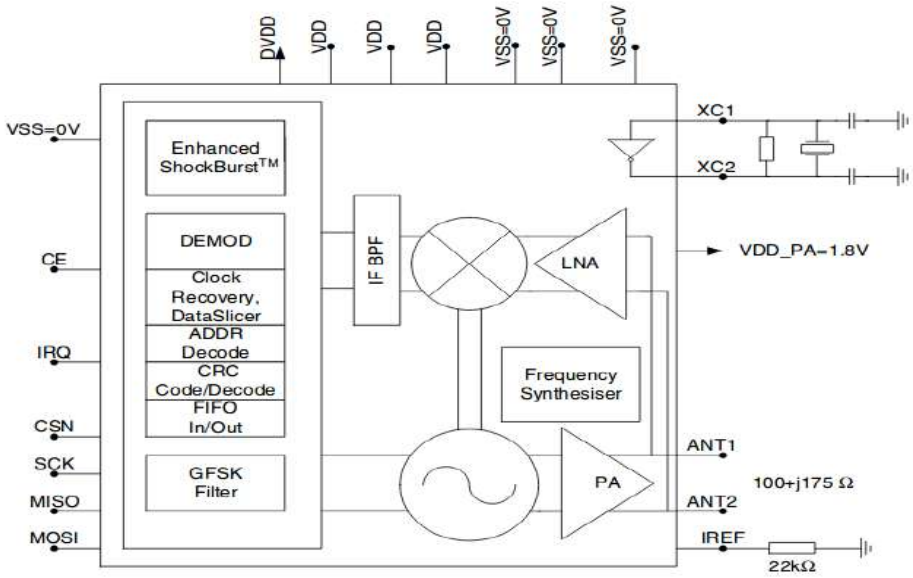


Figure II.14- diagramme de module nRF24L01.

Le PA signifie amplificateur de puissance. Il augmente simplement la puissance du signal transmis par la puce nRF24L01 +. Considérant que, LNA signifie amplificateur à faible bruit. La fonction du LNA est de prendre le signal extrêmement faible et incertain de l'antenne (généralement de l'ordre des microvolts ou sous -100 dBm) et de l'amplifier à un niveau plus utile (généralement environ 0,5 à 1 V)

L'amplificateur à faible bruit (LNA) du chemin de réception et l'amplificateur de puissance (PA) du chemin d'émission se connectent à l'antenne via un duplexeur, qui sépare les deux signaux et empêche la sortie PA relativement puissante de surcharger l'entrée LNA sensible. Pour plus d'informations.

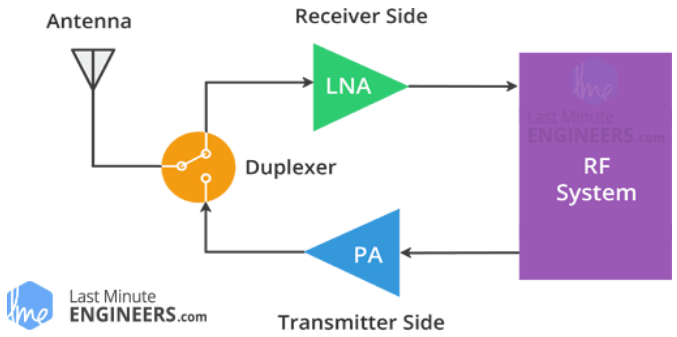


Figure II.15- schéma synoptique de transmission les données.

II.5.9. Configuration des broches du module émetteur-récepteur nRF24L01 :

En ce qui concerne la configuration des broches du module émetteur-récepteur nRF24L01, il possède 8 broches. Ils sont VCC, GND, MOSI, MISO, SCK, IRQ, CE et CSN.

VCC: broche d'alimentation. Seule 3,3 V doit être donnée.

GND: broche GND de l'alimentation.

SCK: broche d'horloge SPI.

MOSI: broche d'entrée de données esclave SPI.

MISO: Broche de sortie de données esclave SPI.

IRQ: Active LOW Interrupt Pin.

CE: Broche d'activation de puce.

CSN: SPI Chip Sele [10].

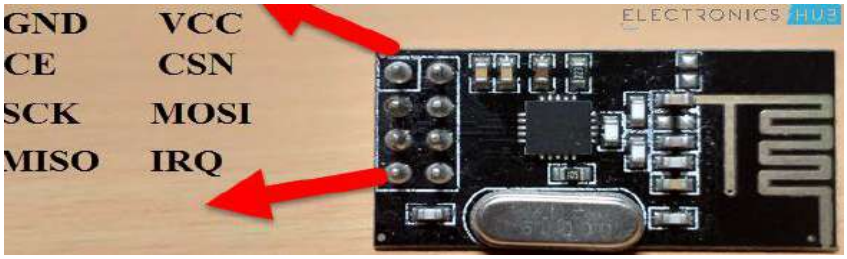


Figure II.16- des broches du module nRF24L01.

II.6. Conclusion :

Ce chapitre a été pour nous l'occasion de présenter les deux cartes Raspberry PI et Arduino que nous avons utilisé pour concevoir l'architecture matérielle nécessaire à la commande du robot mobile.

L'asservissement de ce robot basé sur l'utilisation des données de géolocalisation fournies par le module GPS, nécessite d'une part une puissance de calcul importante et d'autre part des calculateurs peu volumineux et léger pouvant être embarqués sur la structure mécanique du robot mobile.

La solution que nous vous présenterons dans ce mémoire répondra en tous points au cahier des charges que nous nous somme imposé. Mais avant de rentrer dans ces détails de conception, nous allons, dans le prochain chapitre, vous présenter les aspects théoriques ainsi que quelques applications illustratives des techniques de géolocalisation par GPS.

Chapitre III:

Le système de positionnement GPS (global posotionning system)

III.1.Introduction:

Les besoins de localisation étant omniprésents dans de très nombreux secteurs de la vie actuelle, l'idée d'avoir un système de localisation le plus universel possible a donné lieu à l'apparition du Global Positionning System (GPS).

Ce système de localisation comme nous l'avons cité précédemment est utilisé souvent comme un capteur pour les robots mobiles pour faciliter le mesure de l'orientation et la position exacte du robot dans un environnement vaste.

Ce dernier est souvent utilisés dans les espaces agricoles pour assurer le bon guidage ce qui est le cas de notre robot.

Le système NAVSTAR (NAVigation System by Timing And Ranging) GPS (Global Positioning System), appelé plus communément système GPS, a été conçu par le Département de la Défense des USA afin de pouvoir déterminer la position de tout point de la terre avec une bonne précision.

Dans ce chapitre nous décrirons la technologie du capteur GPS, son principe de fonctionnement ainsi les erreurs introduites par ce système de géolocalisation.

Pour illustrer notre travail, nous avons utilisé un module GPS NEO 6M. Pratiquement, nous avons étudié la précision de ce capteur grâce à des expériences que nous avons imaginé et mis en œuvre nous-même. Grace à ces tests, nous avons pu déterminer ses meilleures performances.

III.2 Les premiers pas du GPS, héritier de satellites !

Avec les usages numériques, de plus en plus de services, applications en tous genres, incitent à notre géolocalisation.

Des fonctionnalités transitent via les appareils GPS. Cette histoire technologique commence en 1957...

Le GPS est l'émanation d'un système de navigation par satellite. Or, Spoutnik, le premier satellite, a été lancé en 1957 par les Russes. On est dans un contexte de Guerre Froide. En réponse, les Américains travaillent à un programme permettant le positionnement terrestre d'engins mobiles à partir d'émissions radio émanant d'un satellite.

La première utilisation concrète de satellite pour le positionnement terrestre est faite par l'US Navy en 1960. A mise en service fut effective en 1995 après le déploiement de la totalité de laconstellation de 24 satellites.

Dans un premier temps, cette technologie ne fut accessible qu'à l'armée américaine puis petit à petit disponible pour les civils avec une précision dégradée (environ 100 mètres) et enfin totalement disponible et opérationnelle en 2000.

Le Système de positionnement mondial GPS est un utilitaire qui appartient aux Etats-Unis et qui assure des services de positionnement, de navigation et de référence temporelle, dits « services PNT » (positioning, navigation, and timing).[11]

Voici une approche simplifiée du fonctionnement du GPS.

Le récepteur va se « connecter » à 4 satellites, choisis pour une précision optimale, puis calculer la distance le séparant des satellites

Le récepteur GPS calcul la différence entre l'heure d'envoi du message satellite et l'heure de réception.. Ces mesures vont lui permettre par des calculs trigonométriques de connaître sa position avec une précision de l'ordre de 10 mètres. [12]

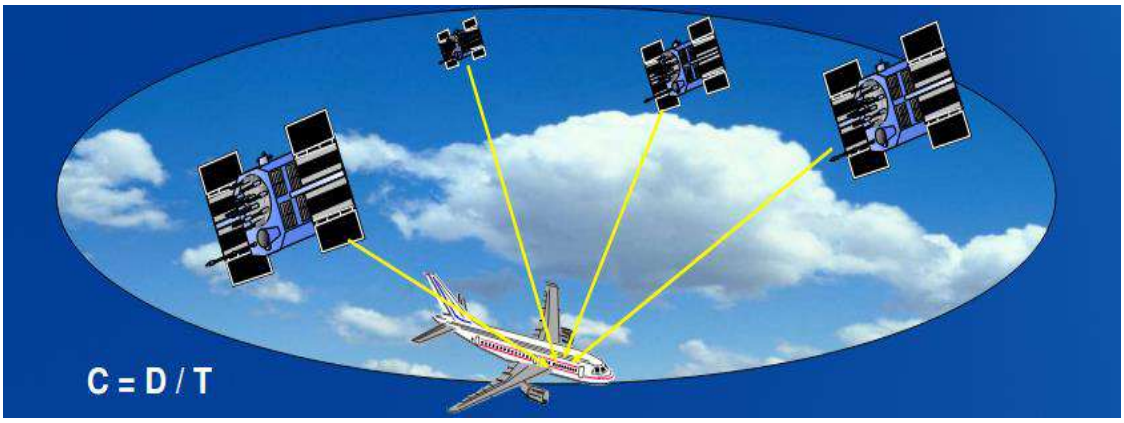


Figure III.1 : principe de mesure de distance.

C = D / T.

1. C : Célérité de la lumière, environs 300 000 Km/s.
2. T : Temps mis par le message pour parvenir au récepteur.
3. D : Distance entre le satellite et le récepteur.

Voyons précisément comment le système GPS calcule les positions. Il faut tout d'abord noter que le système GPS comporte 3 parties, appelées segments. [13]

III.3.composition:

Le système GPS est composé de trois secteurs :

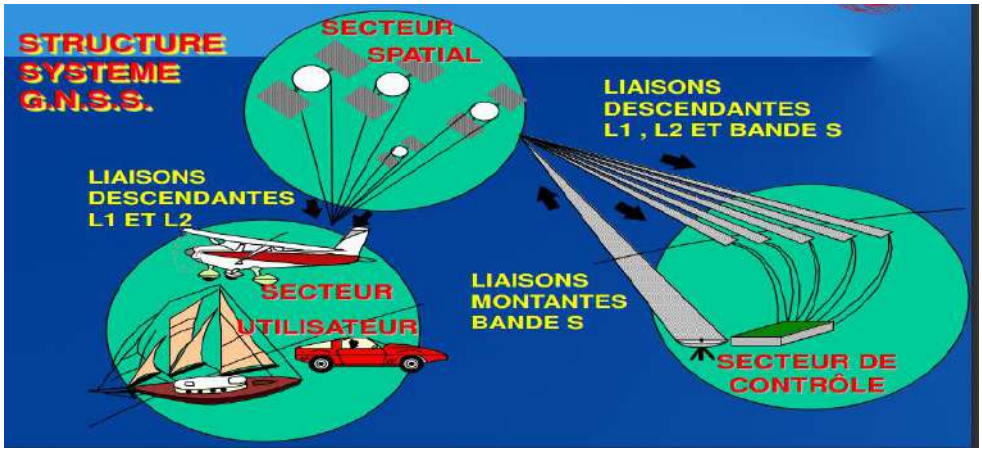


Figure III.2 : structure du système GNSS.

III.3.1.le segment spatial :

La première est la partie spatiale (aussi appelée segment spatial).

Elle représente l'ensemble de la constellation de satellites (on dénombre 31 satellites en 2016). Ceux-ci appartiennent à des générations différentes, envoyés à des époques différentes et accompagnés de technologies de plus en plus précises.

Ils se situent à une orbite quasi-circulaire d'une altitude de 20200 km, parcourue en 11h 58min et 2 secondes. Les satellites sont inclinés de 55°. Les orbites sont définies pour que chaque lieu sur Terre soit le plus souvent « survolé » par 4 satellites ou plus. [13]

- 24 satellites (4 par orbite)
- 6 plans orbitaux également espacés autour de l'équateur.
- 55 degrés d'inclinaison sur l'équateur.
- Période orbitale d'environ 12 heures.
- Altitude des satellites 20 200 km.
- Deux fréquences émises par satellite en permanence.

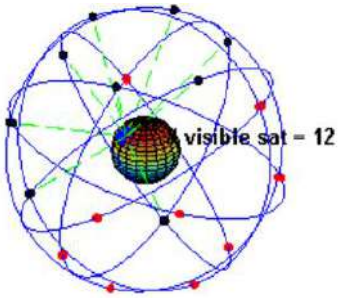
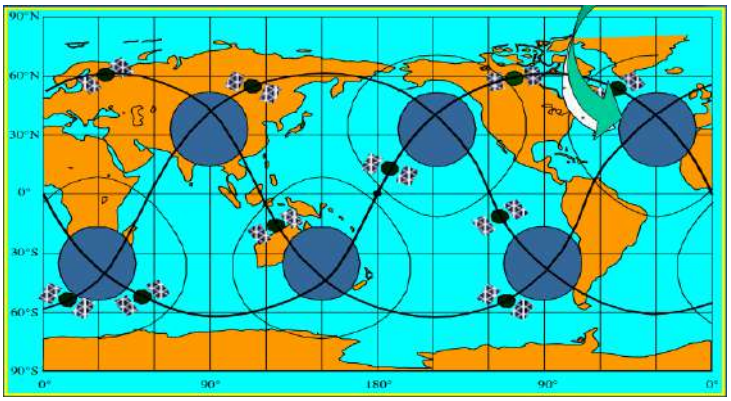


Figure III.3- Exemple de constellation de satellites(Les points noirs représentent les satellites visibles par le point bleu, sur Terre, les points rouges représentent les satellites non visibles)



FigureIII.4 : zones couvertes par trois satellites sur trois plans orbitaux différents.

III.3.2.le segment de contrôle :

C'est la partie qui permet de piloter et de surveiller le système. Il est composé de cinq stations au sol Leur rôle est de mettre à jour les informations transmises par les satellites (éphémérides, paramètres d'horloge) et contrôler leur bon fonctionnement.

1. Une station de contrôle principale (Colorado Springs USA)
2. Quatre stations de surveillance, d'échange et de transmission (Îles d'Hawaï, Île d'Ascension, Diego Garcia et Kwajalein)

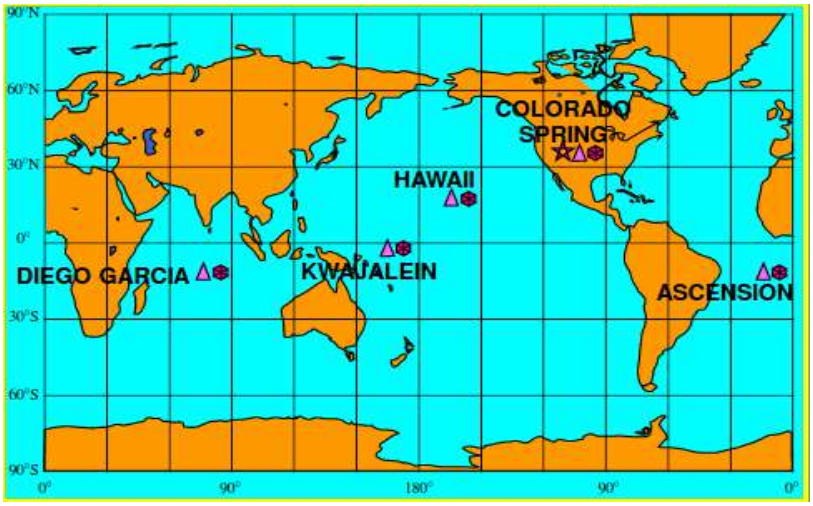


Figure III.5 : disposition des stations de contrôle dans le monde .

STATION PRINCIPALE :
Estimation de l'orbite et corrections des horloges
Contrôle des satellites et échange des données avec les autres stations

STATION DE SURVEILLANCE Collecte les données transmise

ANTENNE AU SOL
Echange de données entre les satellites et la station

III .3.3.le segment utilisateur :

Il regroupe l'ensemble des utilisateurs civils et militaires qui ne font que recevoir et exploiter les informations des satellites ; de ce fait le système ne peut être saturé et le nombre maximum d'utilisateurs GPS est illimité. C'est le GPS que l'on achète dans le commerce pour naviguer en mer ou se repérer en randonnée ou en montagne. De plus en plus de camions, autocars, taxi et voitures particulières en sont équipés actuellement.

Il comprend une antenne de réception et un récepteur-calculateur.

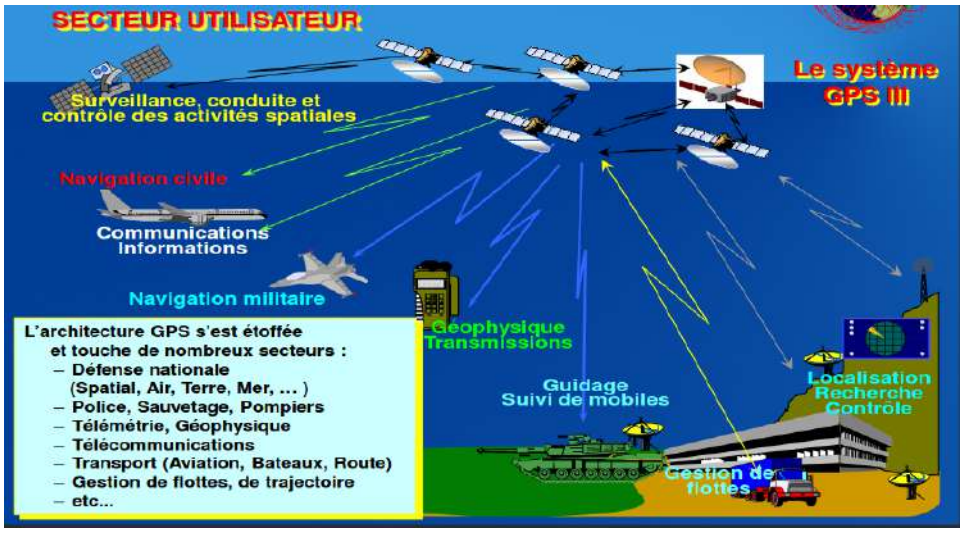


Figure III.6 : le secteur utilisateur.

III.4.principe de fonctionnement :

Le GPS fonctionne grâce au calcul de la distance qui sépare un récepteur GPS de plusieurs satellites. Les informations nécessaires au calcul de la position des satellites étant transmises régulièrement au récepteur, celui-ci peut, grâce à la connaissance de la distance qui le sépare des satellites, connaître ses coordonnées. [13]

III.4.1.Le principe de base : la triangulation :

La triangulation permet grâce à trois satellites fixes qui connaissent leur position exacte de déterminer la position d'un point précis sur Terre. Chaque satellite du réseau GPS possède une horloge atomique d'une grande précision.

Principe : À un instant t un satellite émet son signal vers le récepteur GPS qui le reçoit à un instant t1. Le GPS calcule ensuite grâce à une opération simple t1 – t = T qui est le temps qu'a mis le signal pour arriver. Connaissant la vitesse du signal () le GPS, grâce à la relation distance (d) = temps x vitesse .

Supposons que la position des satellites soit connue à tout moment dans un système de référence donné, la connaissance de la distance entre un point et un satellite permet

1.Avec un satellite de se positionner sur une sphère ayant comme centre ce satellite.

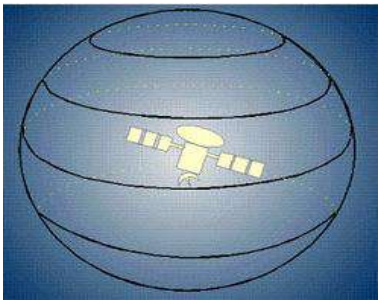


Figure III.7 : positionnement d'un satellite sur une sphère.

2 .avec deux satellites de se positionner à l'intersection de deux sphères (ayant comme centre chacun des deux satellites), donc sur un cercle :

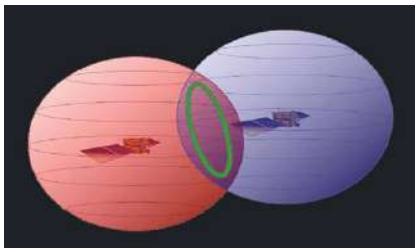


Figure III.8 : positionnement de deux satellites à l'intersection de deux sphères.

3. Pour terminer, un troisième satellite est nécessaire afin de trouver sa position exacte sur ce plan. En effet lorsque la troisième sphère coupe le plan elle donne deux points.

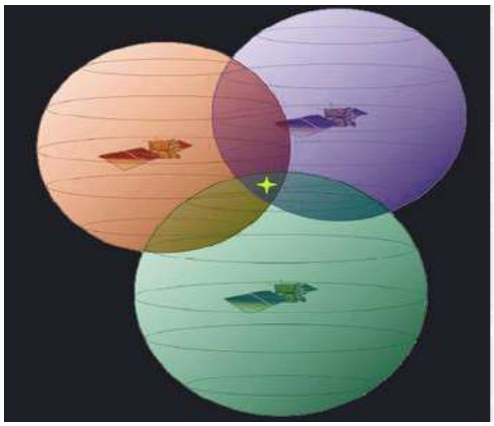


Figure III.9: positionnement des 3 satellites sur les 3 sphères.

4. Dans le cas où l'utilisateur se situe à la surface de seul un des 2 points est cohérent. Ainsi on peut déduire sa position exacte en éliminant le point donnant un résultat incohérent.

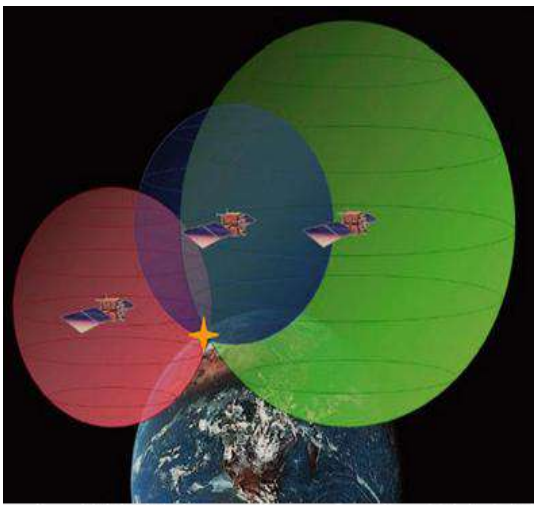


Figure III.10: positionnement d'un utilisateur sur la terre

Un des deux points est généralement aberrant (par rapport à sa position attendue sur la surface du globe). Par élimination, on ne retient alors qu'un point. Avec une méthode permettant de connaître exactement la distance entre un point et un satellite, trois satellites sont suffisants pour positionner ce point.[14]

Donnes transmises en fonction des nombres des satellites identifiés :

Quatre satellites sont nécessaires pour l'obtention fiable de la localisation, de la vitesse et de l'altitude d'une cible (à 9 m près)



Figure III.11 : principe de transmission en fonction de nombre de satellites.

Le principe de la triangulation suppose donc :

1. La définition d'un système de référence (origine du repère...) : le système GPS utilise le référentiel WGS844. La position des points sera alors donnée dans ce référentiel.
2. La connaissance à tout instant de la position des satellites : chaque récepteur-GPS possède cette information dans sa mémoire sous la forme d'un almanach intégrant les informations sur les orbites (éphémérides...) des vingt-quatre satellites
3. La connaissance de la distance entre un point, sur lequel est placé le récepteur-GPS et un satellite : la mesure de cette distance est l'objet du paragraphe suivant **:** [13]

III.4.2.principe de mesure de la distance :

Toute la démonstration précédente reposait sur l'hypothèse que l'on connaissait exactement la distance séparant le satellite du récepteur. Mais comment calculer cette distance ? Le principe est le suivant: le satellite envoie un signal vers le récepteur, celui-ci détermine le temps de transmission de ce signal et ainsi peut déduire la distance le séparant du satellite suivant la formule

Distance = vitesse * temps

La célérité des ondes transmises est proche de celle de la lumière c'est-à-dire 300 000 km/s

La détermination de la distance entre un récepteur-GPS et un satellite est basée sur les informations générées par la transmission d'un signal. Chaque satellite émet en effet un signal-radio (onde) modulé par un code pseudo-aléatoire et un message le caractérisant.

Lorsque ce signal-radio est reçu par un récepteur-GPS, deux mesures sont alors possibles :

-**Une mesure de pseudo-distance** : utilisant l'information générée par la transmission du code pseudo-aléatoire.

-**une mesure de phase** : utilisant l'information générée par la transmission de l'onde porteuse. Ces deux mesures permettent de calculer la distance entre le récepteur-GPS et le satellite.

Pour cela, le récepteur et le satellite émettent au même moment une trame pseudo-aléatoire identique (appelée ainsi car elle est générée par des équations très complexe, la rendant ainsi unique). Une fois que cette trame sera reçue par le récepteur, celui-ci pourra la décaler dans le temps de façon à la faire coïncider avec celle qu'il a généré, la mesure du temps de transmission est déduite de ce procédé, et ainsi on peut connaître la distance séparant le récepteur du satellite.[13]

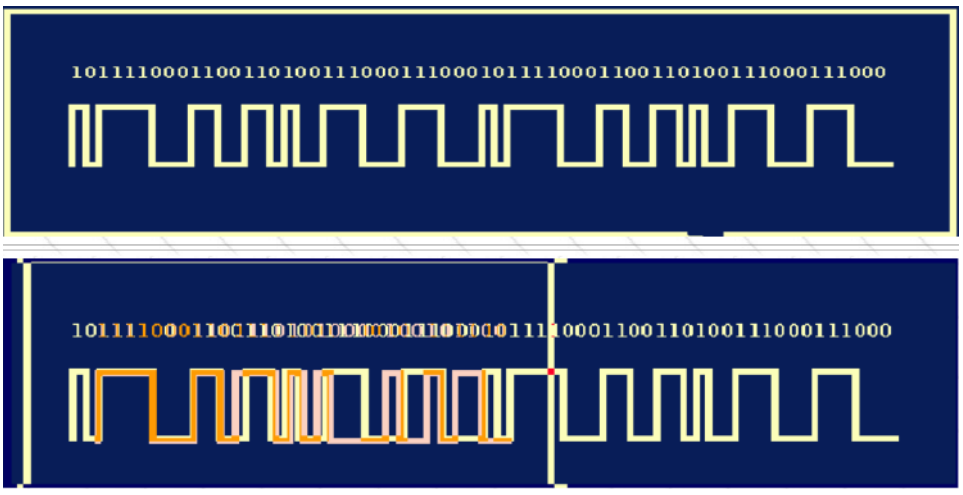


Figure III.12: la trame pseudo aléatoire envoyé par le récepteur et le satellite.

Remarque :

En fait, chaque satellite émet à partir de la fréquence fondamentale de 10,23 Mhz, deux ondes porteuses L1 et L2 de fréquence1575, 42Mhz et 1227,60 Mhz.

L'onde L1 porte deux codes pseudo-aléatoires (C/A : à l'usage des civils, P à l'usage des militaires) tandis que l'onde L2 ne porte que le code pseudo-aléatoire [4]

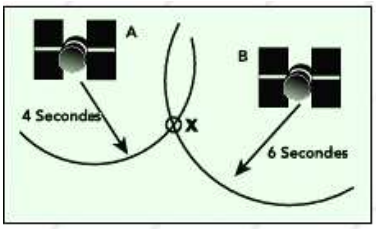
III.4.3.La mesure précise du temps :

Pour valider tout le raisonnement qui précède, il faut que la mesure du temps soit extrêmement précise. En effet, si une erreur d'un millième de seconde est faite, cela produit une erreur de position de 300km ! A la vitesse de la lumière, une très grande précision est de rigueur. Les horloges internes des satellites sont très précises car il s'agit d'horloges atomiques au Césium, cependant celles des récepteurs l'est beaucoup moins.

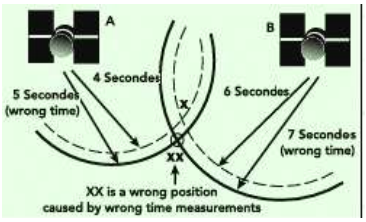
La solution : utiliser un 4ème satellite...

Essayons de comprendre comment 4 mesures imprécises de satellites peuvent donner une mesure précise de positionnement, pour cela ramenons nous à un espace à 2 dimensions car le raisonnement est le même :

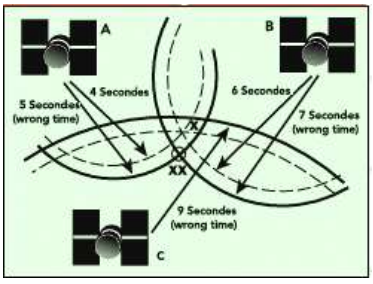
1. Dans un espace 2D, il faudrait 2 satellites pour repérer un point :
   Le satellite A mesuré 4 secondes,
   Le satellite B mesure 6 secondes.
   A l'intersection de ces deux mesures on obtient le point X



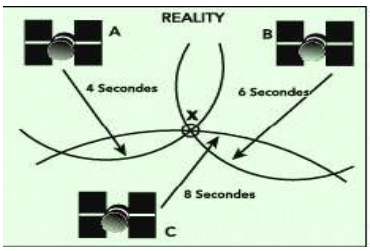
2. Mais les satellites ont commis une erreur d'une seconde…



3. En utilisant un troisième satellite, sans erreur de mesure... Au lieu de trouver le point X, c'est le point XX qui est calculé. Le 3ème satellite confirme le résultat des 2 autres.



4. Dans le cas d'une erreur d'une seconde de chaque satellite Le 3ème satellite permet de définir une zone dans laquelle se trouve le point à trouver.



En considérant que l'erreur commise par A, B et C sont les mêmes, il suffit de chercher quelle valeur enlever à chaque mesure (qui correspond à l'erreur commise) pour que les arcs de cercle se coupent en un même point.
En raisonnant dans un espace 3D, on comprend donc pourquoi il faut recourir à un 4ème satellite.

Tout cela semble donc être parfait et nous permet d'obtenir un positionnement exact, cependant un autre détail est à régler : la position des satellites. Effectivement, pour calculer précieusement la distance séparant un satellite du point à déterminer, il faut que ce dernier connaisse parfaitement sa position dans l'espace. C'est le rôle des stations de contrôle : Le satellite renvoie sa position théorique à la station de contrôle, qui calcule alors l'erreur de position commise par ce dernier afin de lui renvoyer la valeur de cette erreur. Le satellite peut donc informer le récepteur de l'erreur qu'il doit prendre en compte dans ses calculs.

III.5.Facteurs influents sur la précision des mesures :

Différents facteurs influencent plus ou moins fortement cette mesure de pseudo-distance. Etudions-les plus en détail.

a. Effets relativistes :

Ces effets concernent, d'une part, le non synchronisation des horloges du satellite et du récepteur et, d'autre part, la différence entre l'orbite programmée du Satellite (éphéméride) et celle réellement suivie.

b. La ionosphère :

L'ionosphère est la couche de l'atmosphère comprise entre 70 et 600 km de la terre.

Lorsque l'onde rentre dans l'ionosphère, elle ne se propage plus à la vitesse de 300 000 km/s. Elle subit en effet un phénomène de réfraction et est ainsi ralentie. Le retard de l'onde est inversement proportionnel au carré de sa fréquence. Certains récepteurs essayent de corriger cette erreur en se basant sur une cartographie de l'ionosphère.

c. La troposphère

Lorsque l'onde arrive dans la troposphère (couche de l'atmosphère comprise entre le sol et une distance variant entre 5 et 18 km), elle subit de nouveau une réfraction et est retardée, d'autant plus que le satellite se trouve bas à l'horizon.

Ce retard correspond à une erreur de 2 m lorsque le satellite est à la verticale et peut atteindre 30 m lorsqu'il se trouve à 5° par rapport à l'horizon [13].

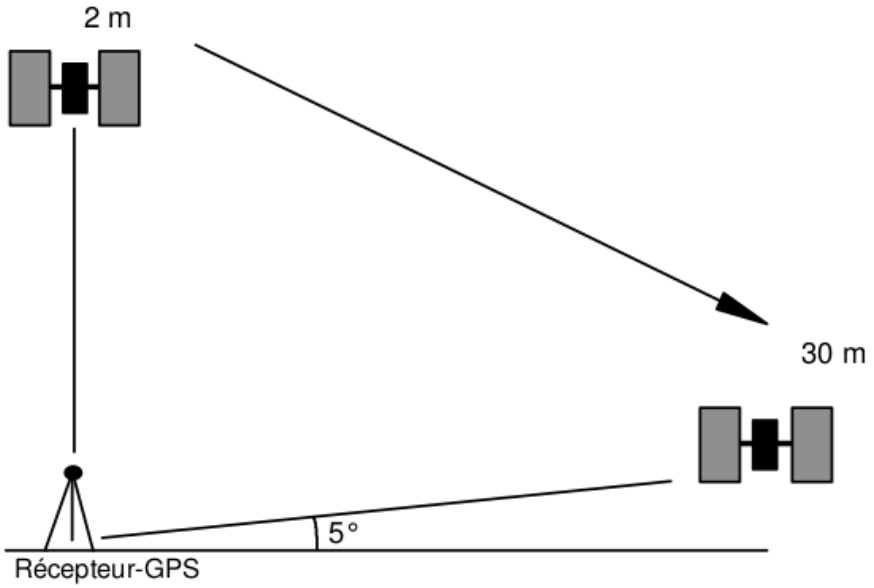


Figure III.13: Influence de la position du satellite sur l'imprécision générée par l'effet de la troposphère .

d. Multi-trajet :

Lorsque l'onde rencontre une surface (mur, arbre...) elle est réfléchie et son parcours est rallongé. Le calcul de la distance est biaisé. Ce phénomène peut être atténué par :

- Le choix du site de la mesure ;

- la possibilité d'inclure au récepteur GPS une antenne avec un plan absorbant :

la lumière réfléchie, ayant une polarisation inversée, peut alors être détectée et non prise en compte pour la mesure. [13]

- le choix du satellite : plus le satellite est bas à l'horizon, plus l'onde est sensible au multi-trajet.

Nous pouvons imaginer simplement qu'un signal intercepté par une montagne a des difficultés à parvenir jusqu'au récepteur (voir schéma ci- dessous) et parfois même ne peut pas aboutir à sa destination finale:

le GPS affiche "NO SIGNAL".

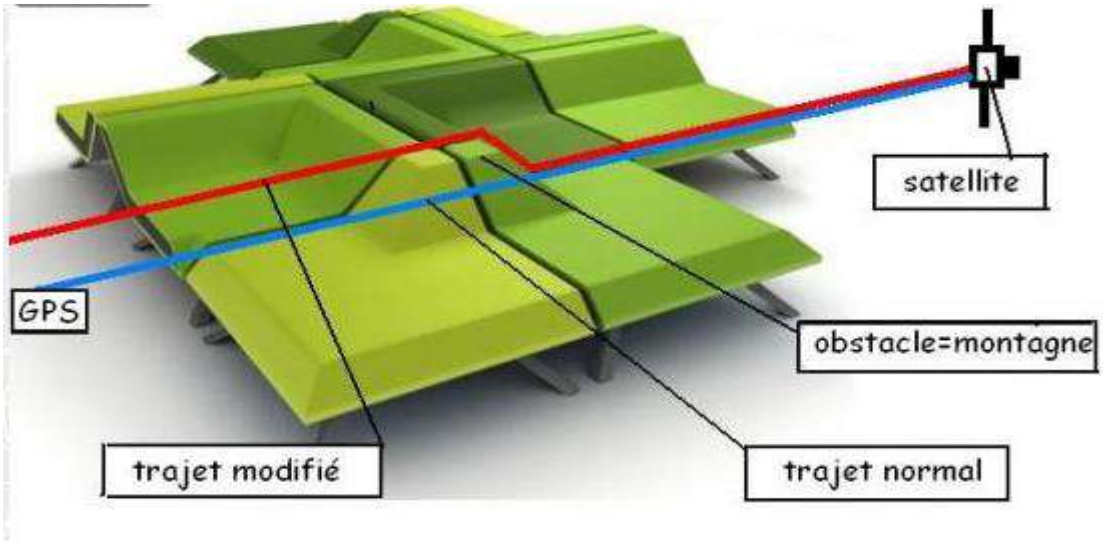


Figure III.14: schéma type d'une erreur de multi trajets

Ainsi comme nous le montre le schéma ci- dessus:

- le signal bleu est la représentation du trajet d'un signal émis par le satellite qui ne rencontre pas d'obstacles. La détermination de la position exacte du GPS se déroule normalement.

- le signal rouge est la représentation du trajet d'un signal émis par le même satellite mais qui cette fois- ci est dévié par un obstacle il ne peut donc pas déterminer la position correcte du GPS.

e. Dégradation volontaire du signal :

En vue de réserver à un usage militaire une précision élevée, les informations provenant du satellite (éphémérides, horloge) sont volontairement dégradées par le Département de la Défense américaine, en activant un code S/A (Selective Availability), ce qui a comme effet d'augmenter l'imprécision de la mesure

Bilan des erreurs :

Les différentes sources d'erreurs et les ordres de grandeur de l'erreur de positionnement attendue sont récapitulés dans le tableau 1 ci-dessous [13].

Tableau III. 1 : Sources d'erreur influençant la précision d'un relevé au GPS.

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

Nous venons donc d'identifier les principaux facteurs qui vont générer une erreur attendue sur le positionnement d'un point. Cette erreur va en fait être plus ou moins amplifiée à la suite du chapitre en illustrant des solutions avec des expériences pratiques.

III.6.Les premiers tests de fonctionnement du GPS NEO 6M (communication GPS avec ARDUINO)

Dans cette partie du chapitre nous allons tester notre module GPS NEO 6M, on va le programmer avec une carte ARDUINO UNO et on va apprendre ensemble à lire les coordonnées d 'un GPS et les utiliser pour connaître la position.

Le module GPS NEO-6M est dans la figure ci-dessous. Il est livré avec une antenne externe et n'est pas livré avec des broches d'en-tête. Nous devons donc le souder.

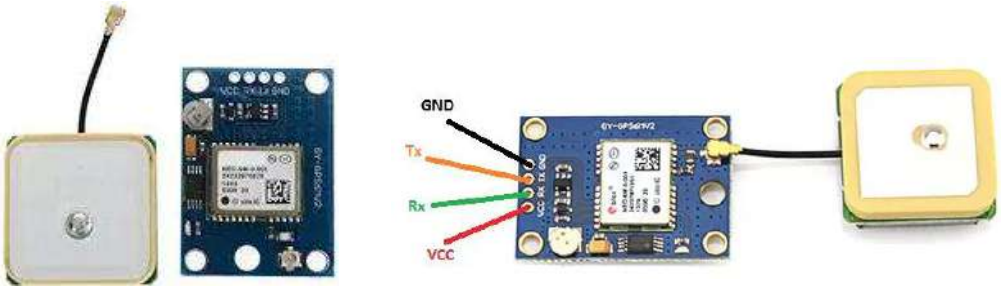


Figure III.15- module GPS NEO 6M

III.6.1. Connexion d'une carte Arduino UNO avec le module GPS :

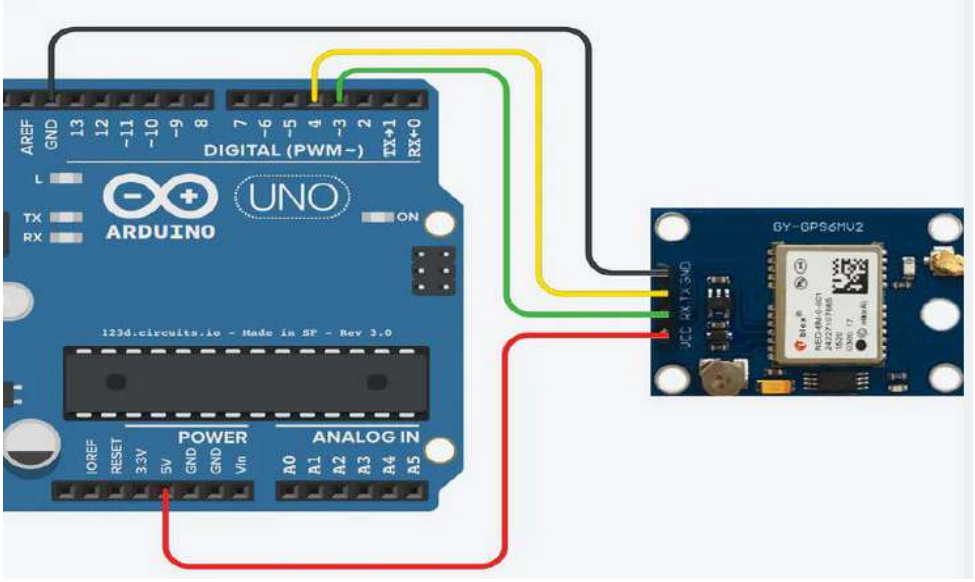


Figure III.16-connexion du module GPS avec une carte arduino uno.

On connecte les quatre broches du module NEO 6M à un Arduino comme suit:

Module GPS==> Arduino
GND ==> GND
TX ==>Broche numérique(D3)
RX==>Broche numérique(D4)
Vcc ==> 3,3 V

III.6.2.Organigramme de la localisation par GPS:

Afin de développer et de simplifier notre projet, nous devons fournir des structures organisationnelles pour chaque partie de nos systèmes**,**

Comme expliqué précédemment, le module GPS est utilisé pour détecter la position en déterminant la longitude et l'altitude.

Nous devons d'abord Télécharger et installer les bibliothèques requises pour que le GPS fonctionne dans Arduino IDE :

Bibliothèque Software Serial : pour serial communication Le processus est le suivant :

1. Activer l'unité GPS.
2. Contacter le satellite pour la détection de la position
3. .Si l'unité standard est connectée au satellite, la position indiquera la position et les coordonnées nous indiqueront la hauteur et la largeur à l'écran, sinon l'appareil essaiera de refonctionner.
4. Il y a une LED sur le module GPS NEO-6M qui indique l'état de la position fixe. Il clignote à différents rythmes en fonction de l'état dans lequel il se trouve:

-Pas de clignotement - Recherche de satellites.

-Clignote toutes les 1s - Position Fixe est trouvé (Le module peut voir suffisamment de satellites).

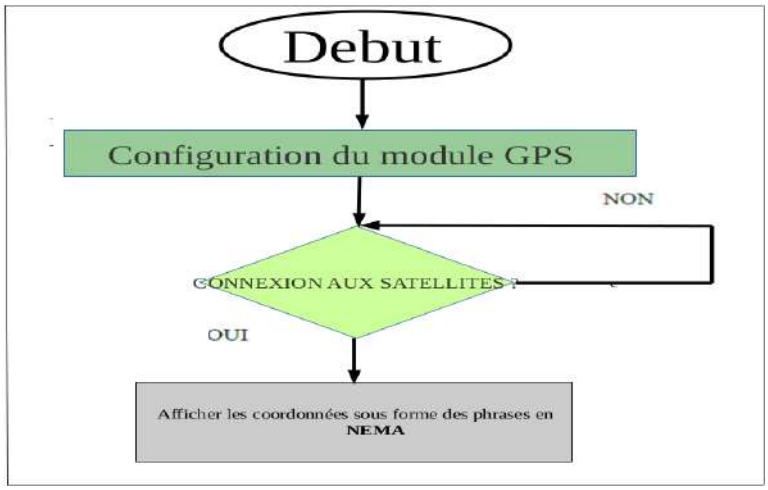


Figure III.17-Organigramme illustrant le fonctionnement du programme du GPS.

On Télécharge le programme et on ouvre le moniteur série à partir de l'IDE Arduino

1. On sélectionner 9600 bauds. On obtient un texte comme celui-ci:

```
$GPGLL,3615.80017,N,00246.34508,E,212323.00,A,A*6F
$GPRMC,212324.00,A,3615.80017,N,00246.34504,E,0.093,,280720,,,A*78
$GPVTG,,T,,M,0.093,N,0.171,K,A*2E
$GPGGA,212324.00,3615.80017,N,00246.34504,E,1,06,3.12,924.7,M,43.4,M,,*5C
$GPGSA,A,3,30,13,15,05,07,09,,,,,,,3.39,3.12,1.35*02
$GPGSV,3,1,09,02,25,228,11,05,67,302,33,06,08,190,18,07,41,045,37*72
$GPGSV,3,2,09,09,17,084,29,13,38,291,34,15,07,285,18,28,29,143,21*7C
$GPGSV,3,3,09,30,75,045,43*47
$GPGLL,3615.80017,N,00246.34504,E,212324.00,A,A*64
$GPRMC,212325.00,A,3615.80016,N,00246.34501,E,0.244,,280720,,,A*75
$GPVTG,,T,,M,0.244,N,0.453,K,A*23
$GPGGA,212325.00,3615.80016,N,00246.34501,E,1,06,3.11,924.6,M,43.4,M,,*5B
$GPGSA,A,3,30,13,15,05,07,09,,,,,,,3.39,3.11,1.35*01
```

Figure III.18-Sortie de phrases NMEA GPS NEO-6M sur Arduino

Les données que nous obtenons via une interface série sont en fait des phrases NMEA.

NMEA est un acronyme pour la **N**ational **M**arine **E**lectronics **A**ssociation. Il s'agit d'un format de message standard pour presque tous les récepteurs GPS.

La norme NMEA est formatée en lignes de données appelées phrases. Chaque phrase est séparée par des virgules pour faciliter l'analyse par les ordinateurs et les microcontrôleurs. Ces phrases NMEA sont envoyées à un intervalle appelé taux de mise à jour. Le module GPS NEO-6M met à jour ces informations une fois par seconde (fréquence de 1 Hz) par défaut. Mais vous pouvez le configurer jusqu'à 5 mises à jour par seconde (fréquence de 5 Hz).

III.6.3 Analyses des phrases NMEA :

Il existe de nombreuses phrases dans la norme NMEA, les plus courantes sont:
$ GPRMC (Global Positioning Recommended Minimum Coordinates) fournit l'heure, la date, la latitude, la longitude, l'altitude et la vitesse estimée.
La phrase $ GPGGA fournit des données de correction essentielles qui fournissent des données de localisation et de précision en 3D.

Prenons un exemple de phrase $ GPRMC NMEA provenant de notre récepteur GPS NEO 6M.

$GPRMC,213337.00,A,3615.78996,N,00246.34489,E,0.649,,290720,,,A*78

Tableaux III.2 : explication de phrase $ GPRMC NMEA

$	Chaque phrase NMEA commence par le caractère $.
GPRMC	Global Positioning Recommended Minimum Coordinates
213337	Heure actuelle - 21:33:37
A	Statut A = actif ou V = nul.
3615.78996,N	Latitude 36° 07.038 ′ N
00246.34489,E,	Longitude 2 deg **46.34489**′ E
0.649	Vitesse au sol en nœuds
290720	Date actuelle – 29th of july 2020
A*78	Les données de somme de contrôle commencent toujours par*

Dans notre projet nous devons traduire les phrases NMEA en informations utiles. Pour ce faire, nous disposons d'une bibliothèque appelée bibliothèque TinyGPS ++.

Cette bibliothèque réalise l'essentiel du travail requis pour recevoir des données des modules GPS, comme la lecture et l'extraction de données utiles en arrière-plan.

Donc, cette bibliothèque nous affranchis de ce traitement fastidieux et nous garantis des résultats corrects.

Le teste suivant imprimera les informations de localisation (latitude, longitude),

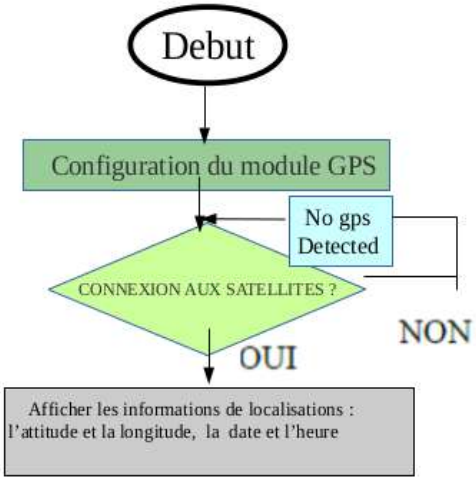


Figure III.19-Organigramme illustrant le fonctionnement du programme du GPS.

La figure suivante illustre la sortie sur le moniteur série :

```
Latitude= 36.263160, Longitude= 2.772424
Latitude= 36.263160, Longitude= 2.772424
Latitude= 36.263160, Longitude= 2.772424
Latitude= 36.263164, Longitude= 2.772423
Latitude= 36.263164, Longitude= 2.772423
Latitude= 36.263164, Longitude= 2.772423
Latitude= 36.263164, Longitude= 2.772423
Latitude= 36.263164, Longitude= 2.772422
Latitude= 36.263164, Longitude= 2.772422
```

Figure III.20-sortie des coordonnées du GPS sur le moniteur série

III.7. Analyse des erreurs du capteur GPS :

Les effets relativistes, l'ionosphère, la troposphère, les multi-trajets et la dégradation volontaire du signal génèrent des erreurs sur le positionnement d'un Point relevé par GPS. Ces erreurs peuvent diminuer la précision du positionnement du capteur ; on peut les amplifier par exemple par la géométrie de la constellation des satellites mesurée par le PDOP.

Dans cette partie du chapitre nous allons présenter quelques erreurs, en proposant des expériences pratiques et en confrontant ces derniers avec des solutions pour augmenter et obtenir la meilleure précision possible.

Expérience 1 …. Ou doit on placer notre GPS pour le mesure ?(le choix de site de mesures)

Après avoir maîtrisé le fonctionnement du capteur GPS NEO 6M, notre premier test était dans un lieu fermé (bibliothèque de notre faculté). Au départ, nous n'avons reçu aucun signal, (le GPS affiche "NO SIGNAL") après un peu de temps, nous avons reçu un message sur le serial monitor mais avec des données confuses et erronées qui ne peuvent pas être déchiffres.

```
$GPGSV,1,1,01,07,,,33*7F
$GPGLL,,,,,203336.00,V,N*4D
$GPRMC,203337.00,V,,,,,,,290720,,,N*75
$GPVTG,,,,,,,,,N*30
$GPGGA,203337.00,,,,,0,00,99.99,,,,,,*60
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,99.99,99.99,99.99*30
$GPGSV,1,1,01,07,,,30*7C
$GPGLL,,,,,203337.00,V,N*4C
$GPRMC,203338.00,V,,,,,,,290720,,,N*7A
$GPVTG,,,,,,,,,N*30
$GPGGA,203338.00,,,,,0,00,99.99,,,,,,*6F
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,99.99,99.99,99.99*30
$GPGSV,1,1,02,05,,,29,07,,,29*79
$GPGLL,,,,,203338.00,V,N*43
$GPRMC,203339.00,V,,,,,,,290720,,,N*7B
$GPVTG,,,,,,,,,N*30
```

Figure III.21-sortie des coordonnées du GPS sur le moniteur série

Solution :

Nous pouvons imaginer simplement qu'un signal intercepté par une montagne a des difficultés à parvenir jusqu'au récepteur

Donc si notre capteur GPS est dans un environnement dégagé, le signal est reçu immédiatement, les données sont correctes de ce faite et peuvent être utilisées.

Ce décalage est dû aux erreurs de multi trajet :

Lorsque l'onde rencontre une surface (mur, arbre...) elle est réfléchie et son parcours est rallongé. Le calcul de la distance est biaisé.

On doit donc attendre le bon moment pour que le GPS reçoive le signal, ou bien choisir des positions dans un endroit dégagé pour prendre les mesures.

Experience2 …. « Intérêt de répéter judicieusement une mesure »

L'expérience 1 a montré qu'en se plaçant dans de bonnes conditions de capture des ondes on obtient des coordonnées de mesure qui peuvent nous indiquer notre positionnement.

Quelle est le degré de précision du capteur GPS En mode absolu ?

On a réalisé une petite étude pour connaître le degré de précision de notre GPS avec mètres.

La localisation du GPS peut avoir des erreurs due au plusieurs sources, par exemple erreur de **l'horloge du récepteur** lorsqu'il synchronise le signal reçu par un satellite et celui qu'il émet.

Une deuxième source d'erreur est due aux **éphémérides**. En effet, lors du calcul de la position, le satellite est en mouvement, alors que le récepteur calcule sa position en fonction de la position fixe qu'il obtient des satellites. On a donc un très léger décalage entre la position calculée et la position réelle lorsque le récepteur est en mouvement.

La troisième source d'erreur majeure est physique. En effet, en traversant l'ionosphère et la troposphère, les ondes radio qui voyagent théoriquement à la vitesse de la lumière (le récepteur prend cette vitesse lors des calculs) peuvent être **ralenties ou réfractées**, ce qui entraîne des retards lors du calcul.

Avant de corriger ces erreurs on doit étudier la précision de notre GPS, ce qui implique l'étude de la précision de notre capteur NEO 6M. Pour ce faire, on doit utiliser un software logiciel « U center ».

La connexion de notre capteur NEO6M se fait avec une communication série, ensuite sur le pc on lance l'analyse de précision de notre GPS sur logiciel.

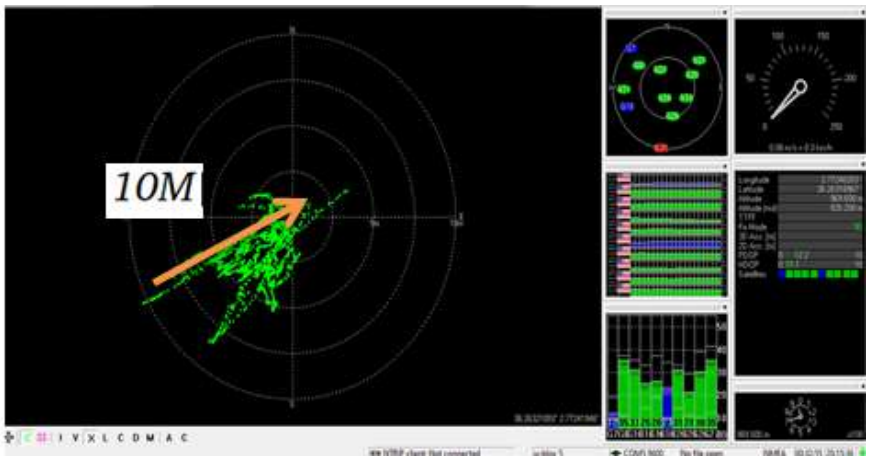


Figure III.22- logiciel d'étude de précision du NEO 6M.

Le module NEO-6M a 6 satellites pour calculer sa position á chaque seconde, la position est mesurée et inscrite sur le graphe. Les résultats après quelques minutes d'acquisition, montre la précision dans un intervalle de 10m.

Après 30 minutes on observe que les points sont éloignés au centre jusqu'à 10 métres au plus.

Ensuite on a réalisé une petite expérience pour confirmer les résultats des études précédentes.

Expérience :

1. notre capteur est placé dans un point fixe et connu (terrasse de notre maison) .

Ce repère est connu sur Google map (il est marqué sur le map avec un point en jaune)

Nous avons saisi les données de notre NEO 6M mesurées dans même point fixe qu'on a pris comme repère dans le Google map

X=36.263481

Y= 2.772313

Les résultats obtenus montrent que la précision de notre capteur varie entre 10 à 20m.



Figure III.23-la précision de récepteur NEO 6M dans Google map

Solution :

La nature aléatoire des erreurs de mesure suggère un procédé pratique pour augmenter la précision répétitions des mesures.

En effet, d'une répétition à l'autre les erreurs n'auront pas les mêmes valeurs. Cependant, la moyenne de plusieurs observations sera plus proche de la vraie valeur. Plus précisément, l'erreur faussant la moyenne de N observations indépendantes est de variance N fois moindre que celle qui touche une seule observation.

Le principe des répétitions a cependant ses limites : les phénomènes physiques qui altèrent les mesures de pseudo-distance varient lentement au cours du temps et les erreurs qui affectent deux observations réalisées à quelques secondes d'intervalle sur un GPS immobile sont très corrélées.

Expérience :

Une expérience avait comme but d'évaluer la précision d'un GPS nouvellement acquis.

Nous avons alors réalisé pour notre point fixe 179783 mesures durant 24 h. Pour chaque mesure, nous avons relevé la longitude et la latitude(x et y) de ce point.

La Figure III. 24 restituant un extrait de ces 179783 mesures, illustre la corrélation entre des mesures proches.

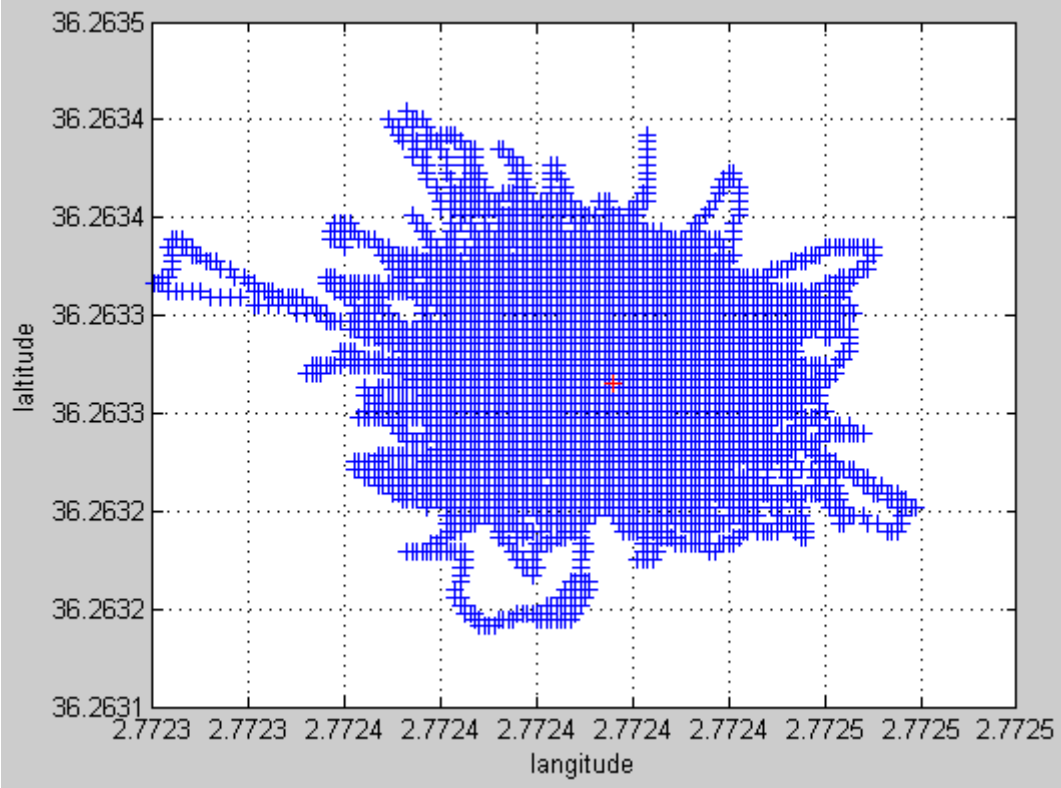


Figure III.24: assemblage des mesures x et y pendants 24h dans un graphe

Ensuite, pour profiter véritablement du gain de précision qu'apporte une mesure supplémentaire, nous avons calculé la moyenne de toutes ces mesures.

Les mesures de x et y pris pendant 24h sont organisés dans un fichier, ensuite à travers une fonction sur MATLAB, la moyenne de tous ces 179783 est calculée.

X'= 36.263315589512800

Y'= 2.772415760650180

Les nouvelles coordonnées x' et y' obtenues sont saisis sur google map. Par la suite, on peut alors comparer les coordonnés du GPS classique et les coordonnées obtenues avec la méthode de calcul de moyenne des plusieurs coordonnées.



Figure III.25 : différence de distance entre le point fixe connu et les coordonnées (x,y) du GPS NEO 6M saisi sur GOOGLE MAP



Figure III.26 : différence de distance entre le point fixe connu et les nouveaux coordonnées x' et y'

En conclusion, le fait de répéter les calculs et prendre plusieurs mesures et calculer sa moyenne diminue l 'erreur et augmente la précision de la géolocalisation d'un point fixe.

Expérience 3 ……. « Intérêt de se placer dans de bonnes conditions »

Comme nous avons cité dans la 2 ème expérience, nous avons effectuées sur un point fixe, pendant 24 h, plusieurs mesures. Pour chacune d'entre elles, nous avons relevé la longitude et la latitude du point, mais aussi le nombre de satellites captés par le GPS et le PDOP (Position Dilution Of Precision). Nous réalisons toutes ces mesures pour diminuer les erreurs du á la géométrie de la constellation des satellites.

Tous les facteurs cités précédemment provoquent une imprécision sur la mesure de la distance entre chaque satellite et le récepteur-GPS.

La figure III. 27 permet de comprendre intuitivement que la précision finale (illustrée par la zone noircie) est bien meilleure dans le cas où les deux satellites sont éloignés, par rapport au cas où ils sont proches l'un de l'autre.

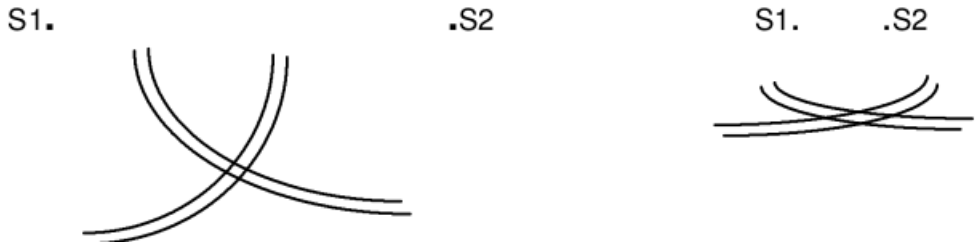


Figure III.27- Influence de la géométrie de la constellation des satellites sur la dilution de la précision

La précision finale est donc plus ou moins dégradée en fonction du volume de la figure créée par la constellation des satellites et le point au sol : on parle de dilution de la précision (DOP = Dilution Of Precision).

Plusieurs critères illustrant le volume de la figure peuvent être calculés en fonction des variables d'intérêt (Hauteur : VDOP ; Position horizontale : HDOP ; Hauteur et Position horizontale : PDOP.).

Nous ne parlerons plus par la suite que du PDOP (Position Dilution Of Precision).

Retenons que plus le PDOP est élevé, plus les erreurs sont amplifiées et la précision dégradée.

On choisira donc une valeur du PDOP la plus faible possible pour effectuer la mesure.

La géométrie de la constellation des satellites visibles à partir d'un point, et en conséquence le PDOP, fluctuent sans cesse au cours du temps. Il existe donc, a priori, des moments meilleurs que d'autres pour effectuer une mesure : ce principe est mis à profit par des logiciels de planification (Figure III. 28). [13]

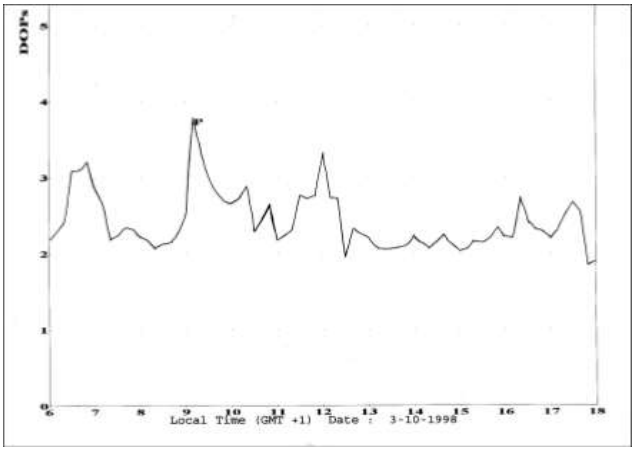


Figure III.28 -Valeur du PDOP en fonction de l'heure de la journée pour une date et un endroit donné [13]

Le début d'après-midi sera préféré à la matinée pour effectuer des mesures Dans notre expérience, Les données ont été analysées en considérant différents cas de figure :

a. Toutes les mesures sont prises en compte avec un nombre de satellites au moins égal à quatre et avec un 2<PDOP<4. (Nombres de mesures est 86508 moins que les mesures de l'expérience précédente car on a limité les conditions de mesures).

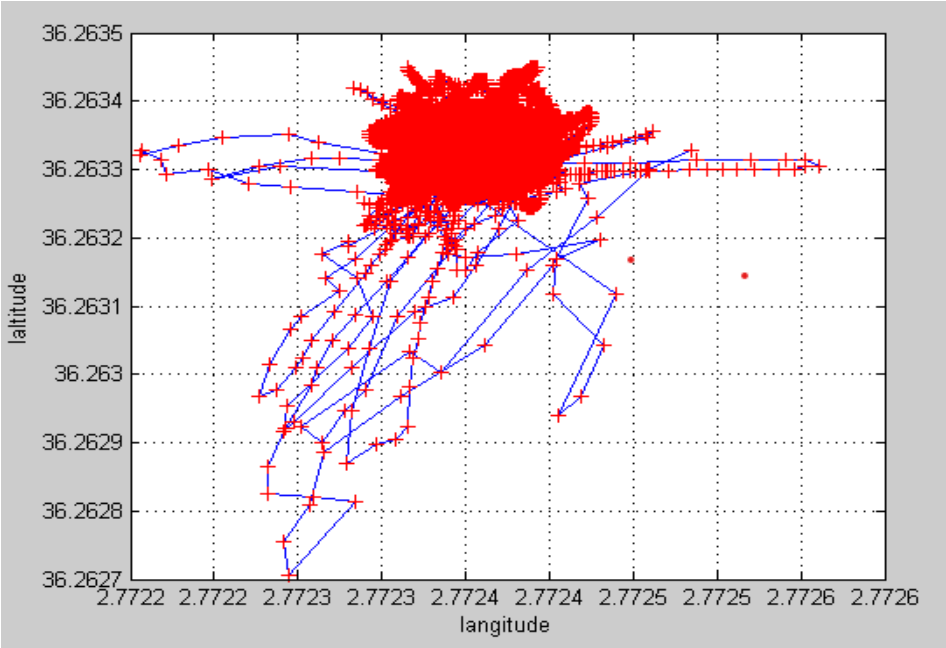


Figure III.29 - les coordonnées x et y de toutes les mesures pris.

b. des mesures chaque 2 heures avec un nombre de satellites >4 et 2<PDOP<4.

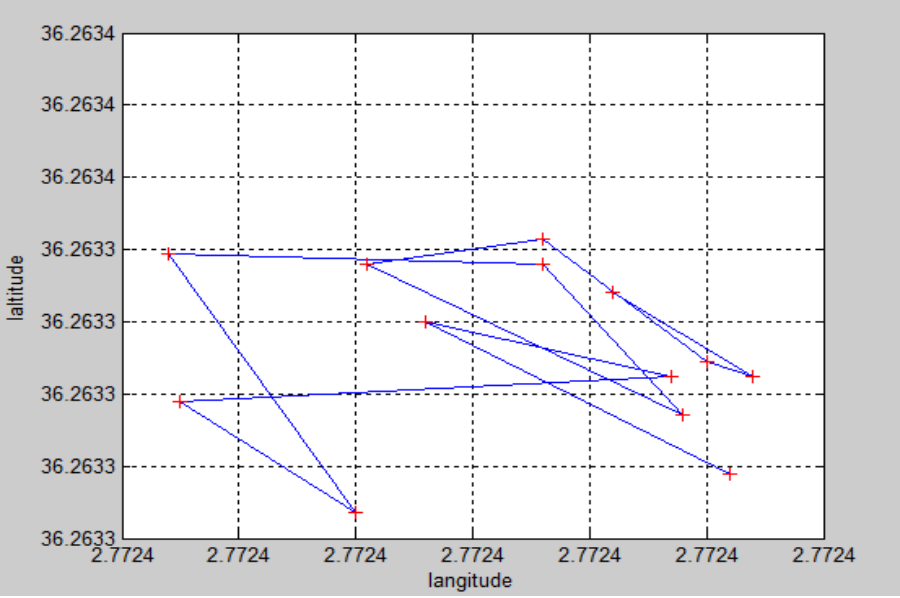


Figure III.30 -les coordonnées x et y des mesures pris chaque 2h

C. Des mesures chaque 4h avec un nombre de satellites >4 et 2<PDOP<4..

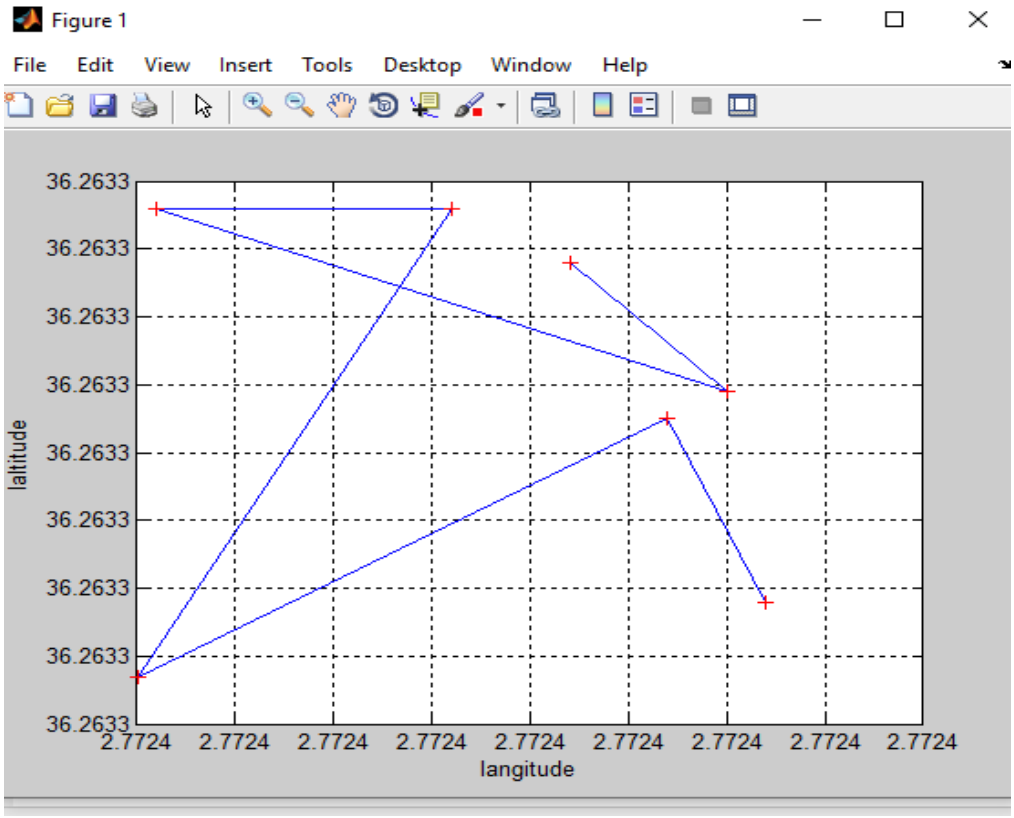


Figure III.31- les coordonnées x et y des mesures pris chaque 4h

La moyenne et l'étendue 9 de la latitude et de la longitude sont récapitulées, pour les différents cas de figure, dans le tableau suivant :

TableauxIII.3 : Résultats des relevés GPS sur un point fixe.

		a.toutes les mesures N=86508	b.mesures avec SAT >3 et 2<=pdop<=4 N=12. Chaque 2h.	c.mesures avec SAT >3 et 2<=pdop<=4, N=7 Chaque 4 h
Latitude	**Moyenne**	**36.263320**	**36.263312**	**36.263308**
	Moyenne (DMS)	**36°15'48.0''N**	**36°15'47.9''N**	**36°45'47.9''N**
Longitude	**Moyenne**	**2.772409**	**2.772404**	**2.772408**
	Moyenne (DMS)	**2°46'20.7''E**	**2°46'20.6''E**	**2°46'20.7''E**

Ces résultats montrent qu'une utilisation du GPS sans aucune précaution, c'est-à-dire sans tenir compte du nombre de satellites captés et de la valeur du PDOP, conduit à une variabilité très importante.

Par contre, quand le GPS est utilisé dans de bonnes conditions (nombre de satellites > 3 et PDOP <4, la variabilité se réduit, les étendues de la latitude et de la longitude diminuant respectivement à 110 m et 200 m.

La précision se rapproche alors de celle pouvant être théoriquement obtenue avec un GPS en mode absolu : 2 à 3 m.

III.8. Conclusion :

Au vu du principe de fonctionnement du système-GPS et de diverses expériences, lorsqu'on utilise un GPS en mode absolu, il est nécessaire de se placer dans de bonnes conditions pour obtenir la précision attendue (2 à 3 m).

On cherchera ainsi à prendre des mesures lorsque :

- Le nombre de satellites captés est au moins égal à quatre ;

- les satellites sont au moins à 15° au-dessus de l'horizon (le PDOP est certes légèrement dégradé, mais on atténue les effets parasites induits parla troposphère et les multi-trajets) ;

- le PDOP a une valeur la plus faible possible, au moins inférieure à 3.

Au risque de passer trop de temps à attendre le moment qui regroupe toutes ces conditions, on peut s'aider de logiciels de planification pour optimiser le choix d'une période favorable de mesures.

Ainsi la précision pourra être améliorée en répétant la mesure sur le même point mais de manière judicieuse ! En effet, relever un grand nombre de mesures trop rapprochées n'améliore pas la précision.

Un délai d'attente de l'ordre de cinq minutes entre deux mesures doit être respecté.

Au niveau du matériel, on peut préconiser :

- De choisir un récepteur-GPS avec un nombre de canaux suffisant (pour des mesures de pseudo-distances simultanées) ;

- d'acquérir une antenne avec un plan absorbant si les risques d'effet multi-trajets de l'onde sont importants.

En suivant ces conseils d'utilisation, la précision du GPS en mode absolu, utilisant la mesure de pseudo-distances, varie entre 30 et 100 mètres.

Si cette précision ne suffit pas pour les besoins finaux de l'utilisateur, on atteint les limites de ce type de GPS. Il faut alors se tourner vers un GPS en mode différentiel, étudié au prochain chapitre.

Chapitre IV:

GPS différentiel

Partie I : GPS Différentiel

IV.1.Introduction :

Comme nous l'avons cité précédemment, le système GPS classique ne fournit pas la meilleure précision au vu des erreurs et des facteurs qui influent sur la précision des mesures. C'est pour cela que les chercheurs ont mis en œuvre une solution pour améliorer la précision de positionnement. les dernières innovation ont prouvé que l'utilisation de système-GPS en mode différentiel peut ramener la précision dans un intervalle de 1 à 3 mètres.

L'implémentation du système-GPS différentiel nécessite l'utilisation de deux récepteurs-GPS pour relever des mesures. A partir du même concept et avec des cartes électroniques de faible taille et puissantes, nous allons doter un robot mobile d'un système électronique qui navigue dans des exploitations agricole avec une meilleure précision que celle obtenu avec un simple module GPS.

Dans ce chapitre nous introduirons dans un premier le principe de fonctionnement du GPS en mode différentiel, en ajoutant des études pratiques réalisés le long de notre avancement du projet concernant ce mode de positionnement.

Notre projet comporte :

Un premier dispositif statique (station de base) : un GPS statique placé dans une position

Un autre dispositif dynamique : un robot mobile relié avec un GPS qui collecte les données de positionnement en temps réel. Le module GPS est ainsi est programmé avec une carte Arduino.

Les 2 GPS sont connectés entre eux avec un module NRF, les corrections sont envoyées entre les deux récepteurs à travers une fonction de mesure des erreurs.

Le robot est contrôlé avec une carte **Raspberry** , cette dernière est connecté à notre dispositif avec un module WIFI ; Par ailleurs, nous avons mis en œuvre un contrôleur capable d'asservir les mouvements d'un robot mobile à partir de données visuelles uniquement.

IV.2.l'architecture générale du projet:

Le schéma ci-dessous montre l'architecture générale du projet :

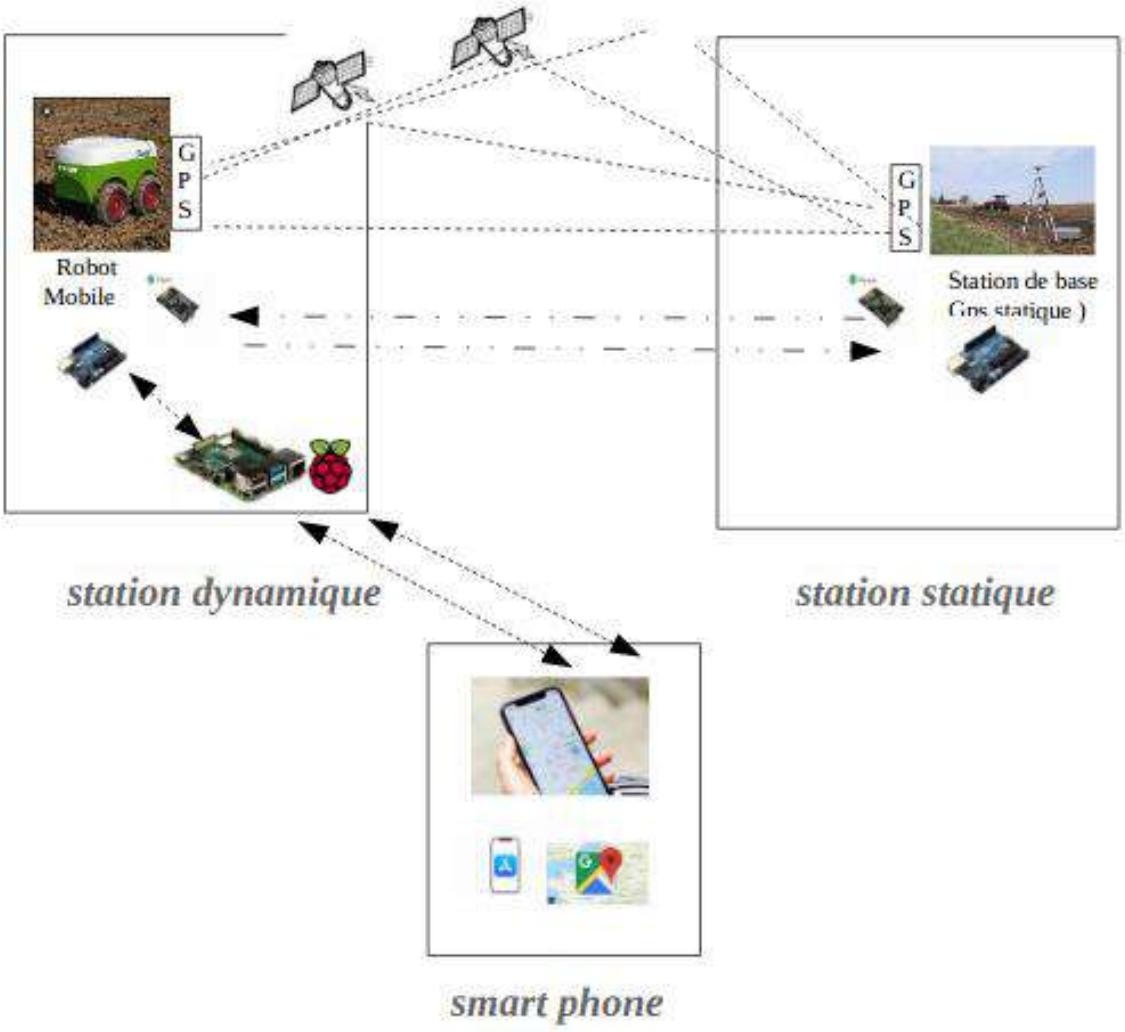


Figure IV .1- architecture générale du projet

IV.3. Le mode de positionnement différentiel:

IV.3.1.l'étude théorique:

La localisation différentielle par GPS (GPS) est une méthode d'amélioration des performances de positionnement par GPS en utilisant une ou plusieurs stations de référence bien localisées. Le mode différentiel signifie qu'on peut éliminer les erreurs communes aux récepteurs (erreurs d'orbite et décalage d'horloges des satellites) et de réduire les erreurs atmosphériques vue qu'elles sont corrélées spatialement (récepteurs proches) et temporellement (synchronisation des mesures) avec les erreurs observées à la référence.[12}

Le GPS en mode différentiel implique d'avoir à sa disposition deux récepteurs-GPS pour relever des mesures. Le premier est classiquement positionné sur un point fixe (station de référence).Le deuxième est utilisé dynamiquement pour mesurer d'autres points (station mobile).

Le DGPS est nettement plus précis que le GPS naturel. En effet et grâce au DGPS, des sources d'erreur ont été complètement annulées (SA et erreur d'horloge satellitaire). Toutefois d'autres sources d'erreur persistent (les multi-trajets et le bruit du récepteur) ce qui signifie que la précision atteignable par le DGPS dépend du site et de la qualité du récepteur utilisé. Le système DGPS utilise un récepteur GPS placé à un endroit connu (station de base) et un autre mobile.

Le premier récepteur mesure au moins le code C/A et calcule à chaque instant

(t) l'erreur entre l'emplacement déterminé par signaux GPS et son emplacement connu. Cette erreur ainsi que sa vitesse de variation est ensuit transmise par une liaison sans fil au récepteur mobile (Figure 1). Celui-ci est capable d'utiliser cette information pour corriger sa position calculée à partir des signaux GPS reçus.[15]

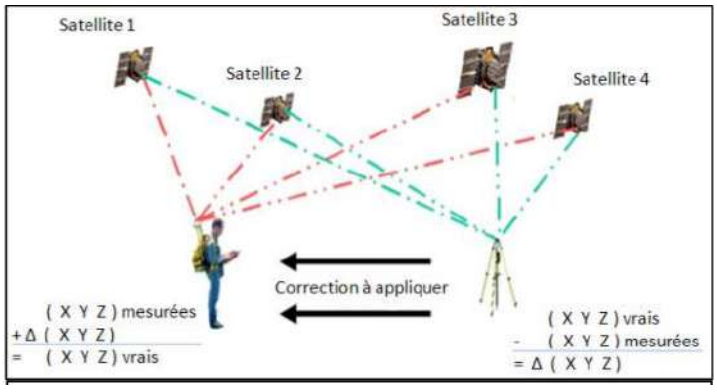


Figure IV.2 : Principe du DGPS (adapté e www.noaa.gov)**[15]**

L'hypothèse suivante est alors posée : les erreurs qui dégradent le signal, donc la précision du positionnement d'un point, sont communes à deux récepteurs-GPS situés dans un même secteur.

Le calcul simultané des positions de la station de référence et de la station mobile permet le positionnement de la station mobile relatif par rapport à celui de la station de référence (on obtient alors un vecteur entre les deux stations)

Remarque 1 : Si, de plus, la position de la station de référence est connue (placée sur un point géodésique, ...) la comparaison de cette position avec celle issue de la mesure permet de connaître l'erreur générée par la mesure.

Remarque 2 : Les corrections apportées par la mesure simultanée de la position des stations de référence et mobile peuvent se faire à partir de l'information fournie par un seul satellite (simple différence), deux satellites (double différence) ou bien par trois satellites (triple différence).

Remarque 3 : L'information donnant la position simultanée des deux stations peut se faire en temps réel (par transmission radio) ou bien en différé (un logiciel de post-traitement est alors nécessaire).[13]

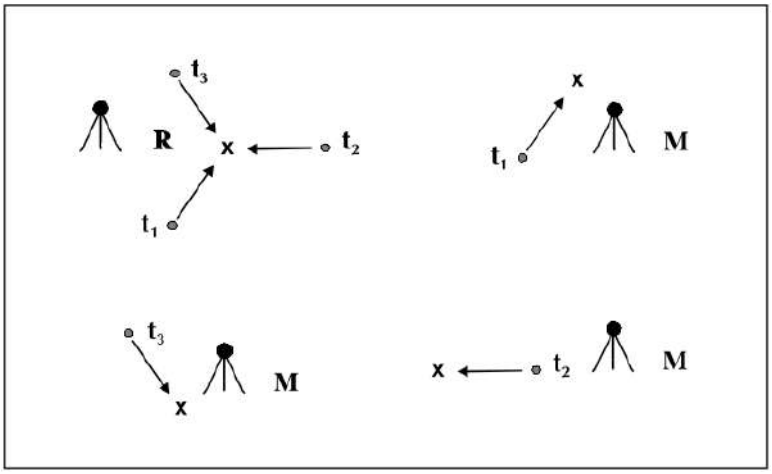


Figure IV.3- positions de la station de référence (R) et de la station mobile (M) mesurées et corrigées à différents pas de temps (t 1 , t 2 , t 3)[13]

IV.3.2. L'étude expérimentale:

Le système GPS en mode différentiel nécessite 2 récepteurs GPS Le premier est une station de référence. Le deuxième est utilisé dynamiquement pour mesurer d'autres points (station mobile).

Chaque GPS est connecté à une carte arduino, les 2 GPS sont connectés entre eux avec un récepteur et un émetteur du module NRF, les corrections sont envoyés entre les deux récepteurs à travers une fonction de mesure des erreurs

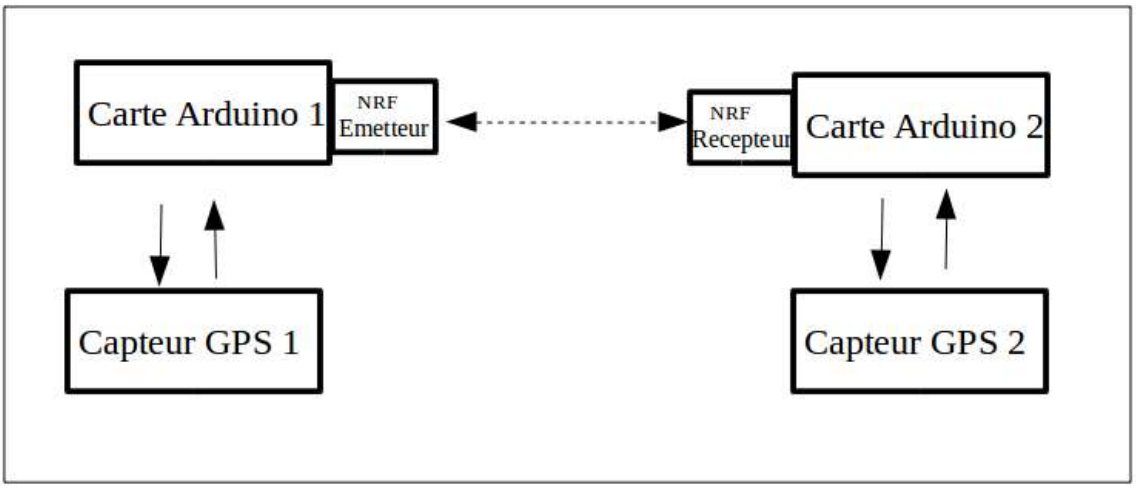


Figure IV.4- schéma bloc expliquant la communication entre les deux GPS

IV.3.2.1 communication des deux capteurs GPS en utilisant le module NRF21L01 :

Notre dispositif comporte 2 récepteurs GPS, le premier capteur sera fixe qui est notre station de base et le deuxième sera la station dynamique, pour cela on a besoin d'une communication entre les deux GPS, on va utiliser le module NRF24L01 pour la communication sans fil entre les deux cartes Arduino.

On va utiliser la communication sans fil pour envoyer les coordonnées du récepteur GPS dynamique (NRF émetteur) vers l'autre station fixe(NRF récepteur) , les coordonnées des 2 capteurs seront alors afiichées.

Connexion des modules NRF24L01 aux cartes Arduino :

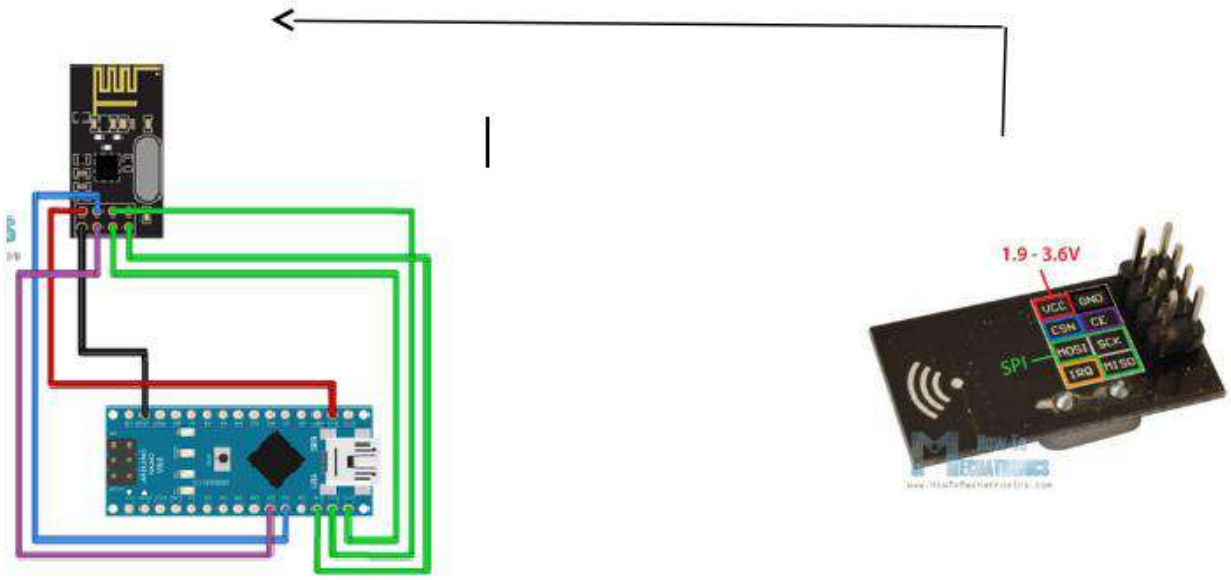


Figure IV.5- Arduino uno / NRF24L01

Trois de ces broches sont destinées à la communication SPI et elles doivent être connectées aux broches SPI de l'Arduino, . Les broches CSN et CE peuvent être connectées à n'importe quelle broche numérique de la carte Arduino et elles sont utilisées pour mettre le module en mode veille ou actif, ainsi que pour basculer entre le mode de transmission ou de commande. La dernière broche est une broche d'interruption qui n'a pas besoin d'être utilisée.

3.3 V_ _ _ _ _ _ _ VCC
GND _ _ _ _ _ _ _ GND
8_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ CSN
7 _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ CE
13_ _ _ _ _ _ _ _ _ SCK
11_ _ _ _ _ _ _ _ _MOSI
12 _ _ _ _ _ _ _ _ MISO

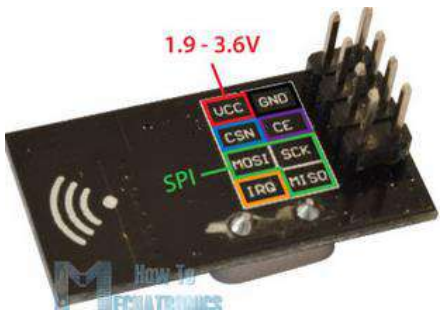


Figure IV.6- module NRF24L014

Donc, une fois que nous avons connecté les modules NRF24L01 aux cartes Arduino, nous sommes prêts à créer les codes pour l'émetteur et le récepteur.

Nous devons d'abord télécharger et installer la bibliothèque RF24, ce qui rend la programmation moins difficile.

Voici les deux organigrammes des codes pour la communication sans fil de la description ci-dessous :

Organigramme du Code de l'émetteur :

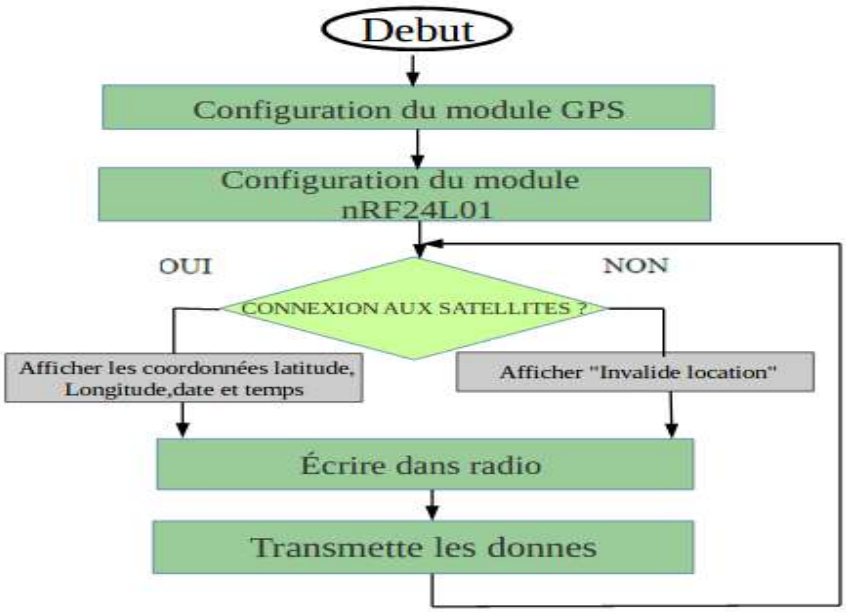


Figure IV.7- Organigramme du Code de l'émetteur

Organigramme du code de récepteur:

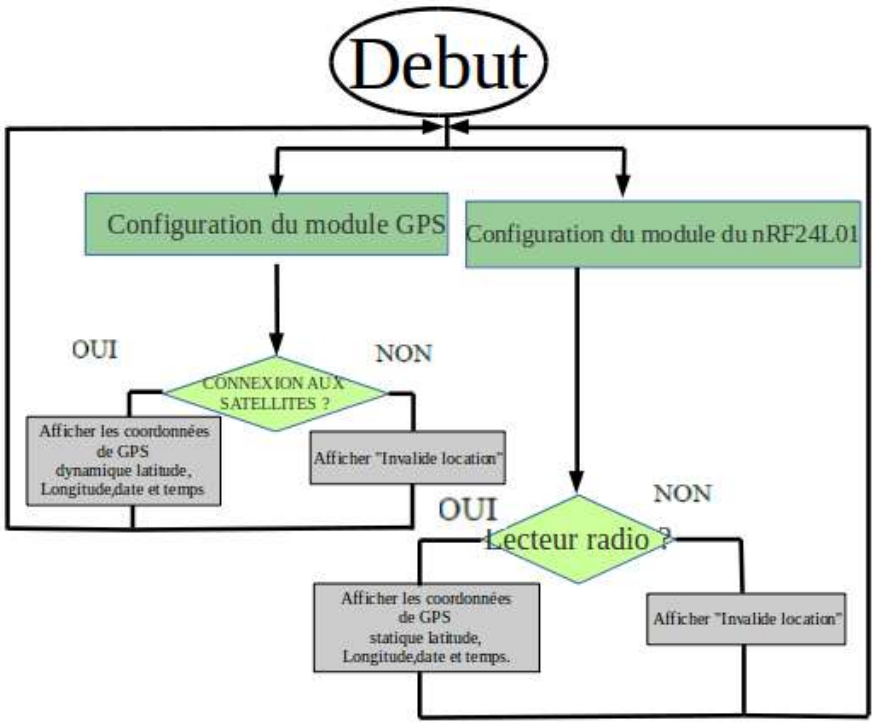


Figure IV.8- Organigramme du Code Du récepteur

Nous devons donc inclure le SPI de base et les bibliothèques RF24 nouvellement installées et créer un objet RF24. Les deux arguments ici sont les broches CSN et CE.

Ensuite, nous devons créer un tableau d'octets qui représentera l'adresse, ou le soi-disant tube à travers lequel les deux modules communiqueront

Nous pouvons changer la valeur de cette adresse en n'importe quelle chaîne de 5 lettres et cela permet de choisir à quel récepteur nous parlerons, donc dans notre cas, nous aurons la même adresse à la fois au récepteur et à l'émetteur.

Dans la section de configuration, nous devons initialiser l'objet radio et l'objet GPS , nous définissons l'adresse du récepteur auquel nous enverrons les données, la chaîne de 5 lettres que nous avons précédemment définie.

De l'autre côté, au niveau du récepteur, nous définissons la même adresse et de cette manière nous permettons la communication entre les deux modules.

Après la configuration du GPS, s'il y' a un signal reçu de satellite, les coordonnées de notre capteur seront affichés si non un message ''invalid location '' sera affiché,

Au niveau du récepteur, nous vérifions s'il y a des données à recevoir. Si tel est le cas, nous lisons et stockons les données d. À la fin, nous imprimons simplement du texte sur le moniteur série. Ainsi, une fois que nous avons téléchargé les deux programmes, nous pouvons exécuter le moniteur série sur le récepteur et nous remarquerons que les coordonnées de GPS statique et celles du GPS dynamique sont affichées sur le moniteur.

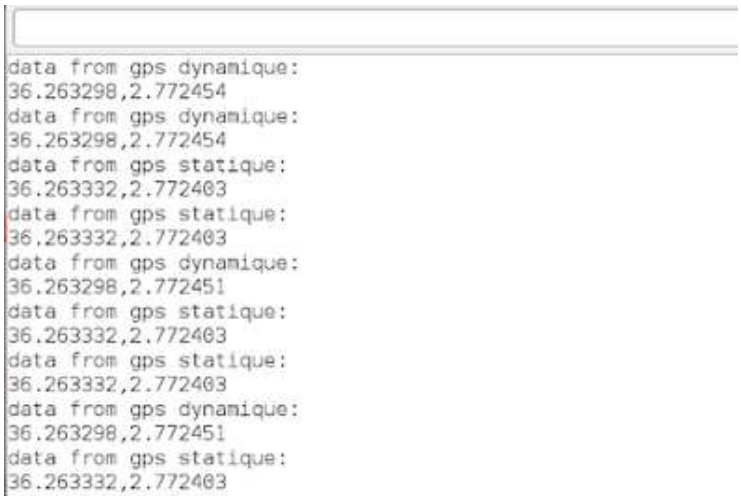


Figure IV.9- les coordonnées reçus des deux récepteurs GPS.

IV.3.2.2 Stockage et sauvegarde des données :

les données du GPS de station de référence et du station dynamique doivent être sauvegardés et enregistrés afin d'être utilisés plus tard, pour cela on a choisi de les stocker sous forme d'un fichier CSV en utilisant la programmation par python .

Communication python et Arduino :

La méthode que nous allons employer suppose que nous maîtrisons à la fois le Python (côté ordinateur) et le C (côté Arduino).nous allons suivre les étapes suivante

-installation de python sur Linux (Ubuntu).

- Installation de pyserial : comme son nom l'indique, permet d'établir une communication série dans un programme en Python. Pour ce faire :

Nous installons pip install pyserial

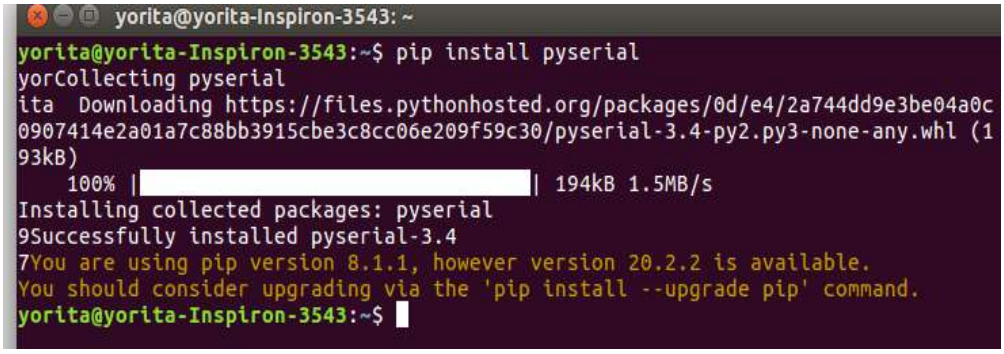


Figure IV.10 - installation du PIP sur Ubuntu.

-Il faut uploader le code sur votre carte Arduino.
- Identification d'un device USB : Avant toutes choses, il faut identifier le périphérique USB sur lequel le port Arduino est branché. Dans mon cas il s'agit de /dev/ttyACM1.
-ensuite nous devons utiliser un code sur python pour la lecture des données sui ont affichées sur le moniteur série de l'Arduino.

Voilà l'organigramme du code sur python :

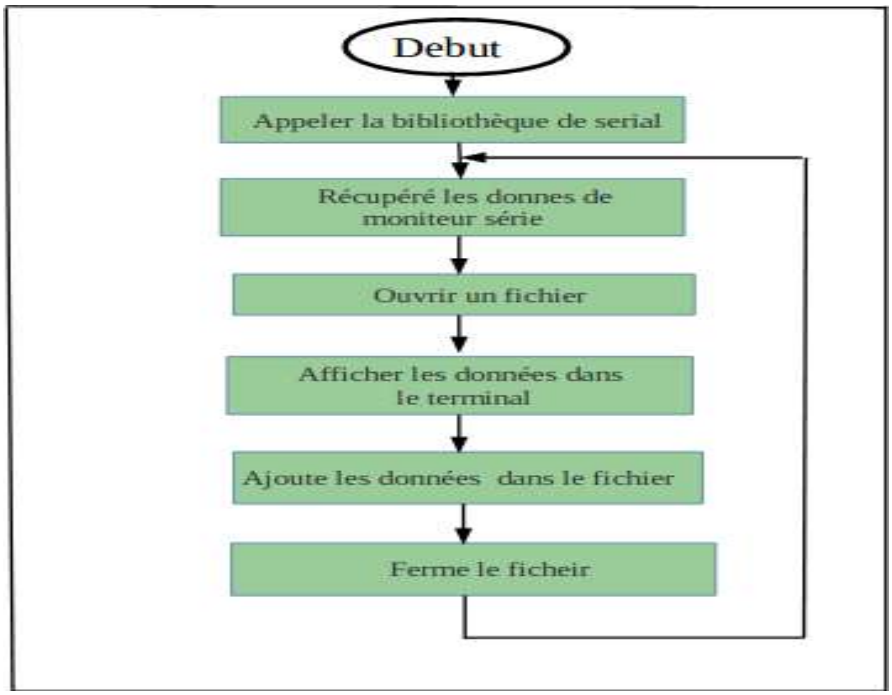
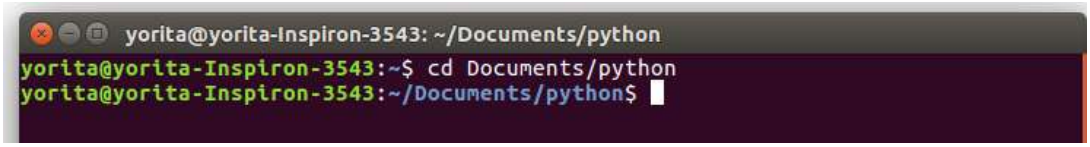


Figure IV.11 - organigramme du code de stockage des données sur csv sur python

-on exécute le code sur terminale.
-on fait Appeler le fichier ou le programme



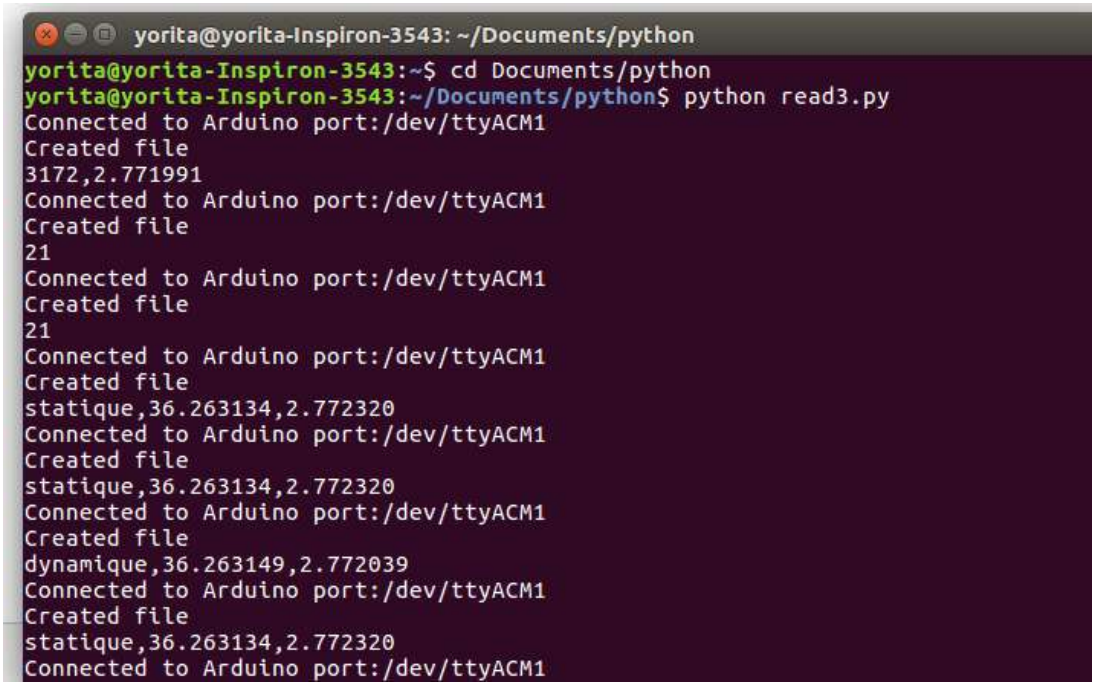


Figure IV.12- affichage des données sur le terminal .

- les données sont enregistrées dans un fichier CSV (analog-data.csv) comme celui-ci :

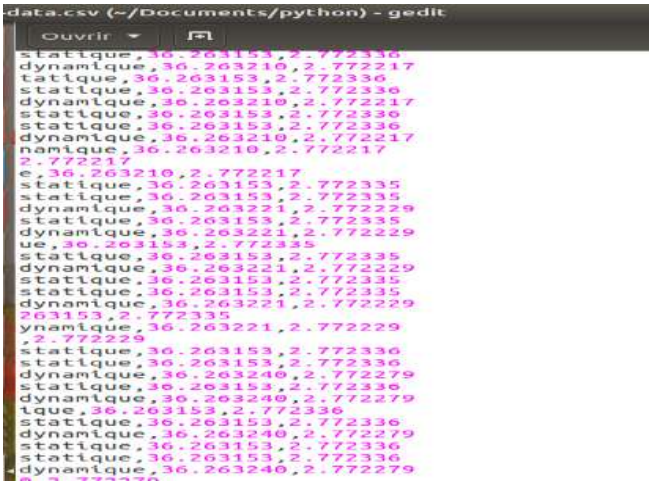


Figure IV.13 -enregistrement des données sur un fichier.

IV.3.2.3. Les corrections établies en mode différentiel :

Comme nous avons mentionné précédemment, le DGPS est clairement beaucoup plus précis que le GPS en mode absolu, on peut éliminer beaucoup des erreurs à travers une simple fonction que nous avons étudiée.

Le principe est le suivant :

** Le premier récepteur mesure au moins les coordonnées et calcule à chaque instant l'erreur entre l'emplacement déterminé par signaux GPS et son emplacement connu.

(X, Y, Z) vrais (un emplacement connu et vrai) – (X, Y, Z) mesurées= Δ(X, Y,Z).

**Cette erreur ainsi que sa vitesse de variation est ensuite transmise par une liaison sans fil (NRF24L01) au récepteur mobile Celui-ci est capable d'utiliser cette information pour corriger sa position calculée à partir des signaux GPS reçus.

(X', Y', Z') mesurées + Δ(X, Y, Z)=(X', Y', Z') vrais.

**D'abord nous devons choisir un emplacement connu, dans notre cas nous avons choisi un point fixe et connu dans notre terrasse de maison, mais nous n'oublions jamais que cette position choisie doit être précis.

Comme nous avons cité dans le chapitre 3 , nous avons effectuées sur un point fixe 86508 mesures durant 24 h dans les bonnes conditions , Pour chaque mesure, ont été notées la longitude et la latitude du point, ont été notées la longitude et la latitude du point, aussi le nombre de satellites captés par le GPS, le **PDOP** .(nombre de satellites >4 et le PDOP entre 2 et 4) , On veut donc diminuer les erreurs du aux Géométrie de la constellation, des satellites pour avoir le positionnement précis de cet emplacement connu, la moyenne de toutes ces mesures sera utilisé dans notre calcul de l'erreur entre l 'emplacement déterminé par les signaux GPS et cette position vraies.

Les calculs différentiels sont programmés sur carte **Arduino,** la fonction désirée est ajoutée au code du récepteur en expliquant le programme avec l'organigramme suivant :

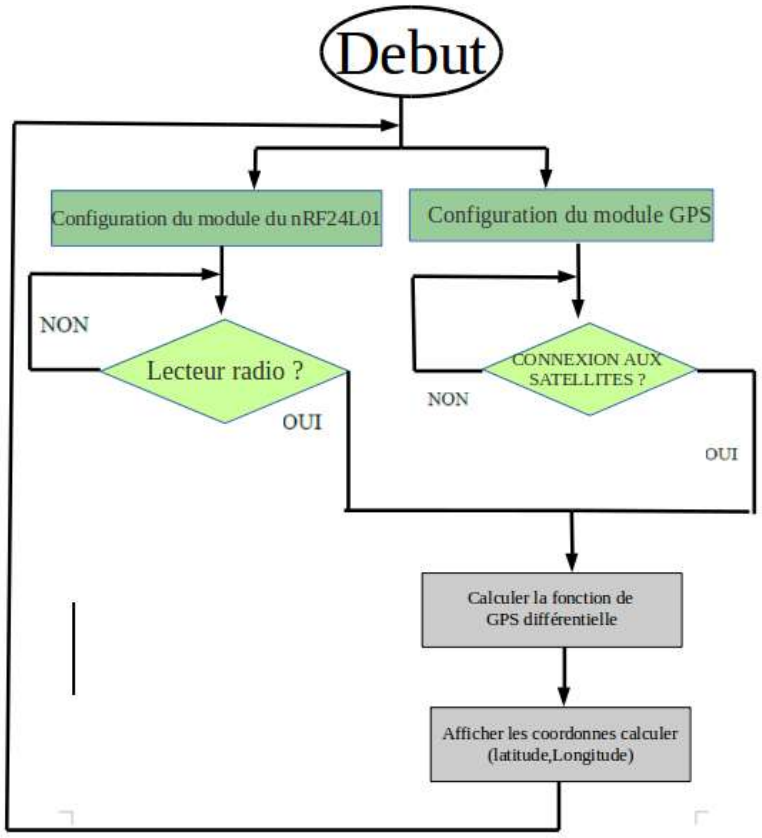


Figure IV.14-organigramme du code de la fonction différentiel établie sur ARDUINO.

Après avoir configurer les objets GPS et le NRF24L01 , s'il Ya une connexion aux satellites , nous vérifions s'il y a des données à recevoir au niveau du récepteur Si tel est le cas , nous lisons et stockons les données du GPS statique et dynamique . .

Ces dernières données reçus sont utilisées pour calculer l'erreur entre l'emplacement connu et l'emplacement mesuré, celui-ci est utilisé pour calculer la nouvelle position dynamique vraie.

Une fois que nous avons téléchargé les deux programmes, nous pouvons exécuter le moniteur série sur le récepteur et nous remarquerons que les coordonnées de GPS statique et les nouvelles coordonnées du GPS dynamique sont affichées.

Ces derniers résultats nous permettent d'avoir un positionnement plus précis et plus proche à notre position vraie.

Dans la suite du ce chapitre nous allons réaliser des expériences en comparent le46+ positionnement du GPS en mode absolu et celui du GPS en mode différentiel pour savoir le degré de position que nous l'avons eu.

IV.4. Étude de précision du GPS en mode différentiel :

IV.4.1 Illustration de la précision d'un GPS en mode absolu et d'un GPS en mode différentiel :

Par rapport à un GPS en mode absolu, l'amélioration de la précision avec un GPS en mode différentiel est indéniable.

Experience1 :

Nous avons réalisé plusieurs mesures pendant une durée de 2h. Pour chaque mesure, nous avons relevé la longitude et la latitude du point cible.

Les premières mesures sont les coordonnées du GPS en mode absolu (cas a : figure **IV.16)**.

Les secondes mesures sont celles relatives au GPS en mode différentiel (cas b : figure **IV.15**).

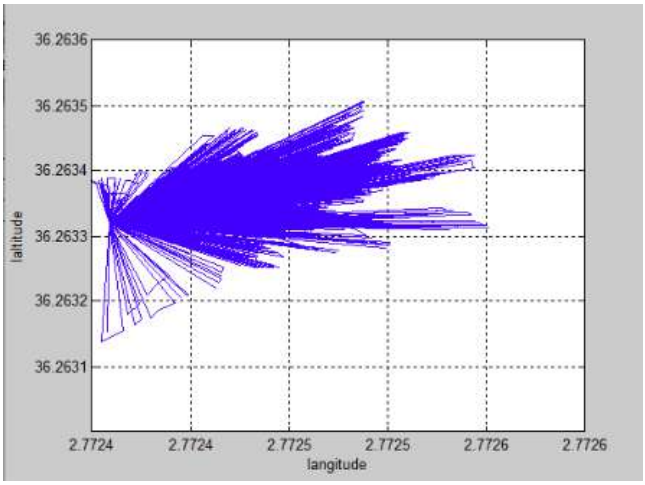


Figure IV.15- cas b GPS en mode différentiel

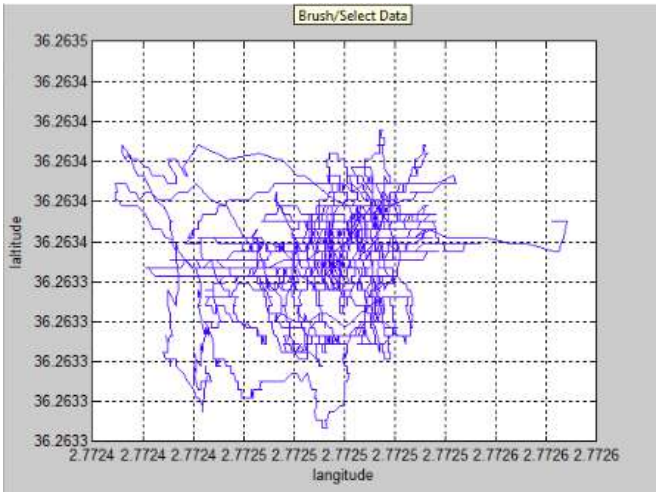


Figure IV.16 - cas a GPS en mode absolu

Analyse des graphes :

Cas a : d'après le graphe, nous constatons que les points x et y qui représentent respectivement la longitude et la latitude du point cible fournis par le GPS en mode absolu sont éloignés et éparses. Cette dispersion démontre la faible précision de ce type de mesure car les valeurs statistiques comme la moyenne seront très éloignées de la valeur réelle.

Cas b : A contrario, nous remarquons dans le graphique correspondant que les points x et y du GPS en mode différentiel sont très denses (rapprochées). Ceci dénote que ce type de capteur procure donc un positionnement beaucoup plus précis.

IV.4.2 Évaluation de la précision (en mètres) du GPS différentiel et de celle du GPS classique :

Pour comparer entre les 2 modes de positionnement nous avons réalisé une autre expérience pour illustrer nos résultats.

Expérience 2 :

D'abord nous avons sélectionné un point cible dont nous connaissons exactement ses coordonnées x et y. Par ailleurs, nous avons équipé notre robot mobile dans un premier temps du capteur GPS (cas 1) et dans un deuxième de notre système DGPS (cas 2). L'objectif de cette configuration est d'asservir le robot mobile pour qu'il atteigne la cible. Pour se mouvoir dans cet environnement inconnu, le robot calcule à chaque fois l'erreur entre sa position géographique réelle (fournie par le capteur de géolocalisation) et celle de la cible. Cette expérience est refaite plusieurs fois et les résultats sont illustrés dans le graphique de la figure 18.

Cas1 : les erreurs en mètres entre le point mobiles et le point fixe en utilisant le GPS en mode absolu sont illustrées par le tableau suivant.

Tableaux IV .1 : illustration des erreurs en mètres entre le point mobile et le point fixe (GPS en mode absolu)

X= l'attitude	y= longitude	Précision (en mètres)
36.263412	2.772350	3.75
36.263454	2.772326	5
36.263401	2.772347	5.10
36.263404	2.772390	4
36.263458	2.772396	4
36.263416	2.772399	4
36.263412	2.772317	6
36.263416	2.772317	6
36.263401	2.772323	4.80
36.263431	2.772350	4.60
36.263408	2.772393	5

Nous constatons une variation de la précision du GPS absolu entre 4 à 6 m.

Cas2 : les erreurs en mètres entre le point mobiles et le point fixe en utilisant le GPS en mode absolu sont illustrées par le tableau suivant.

Tableaux IV .2 : illustration des erreurs en mètres entre le point mobile et le point fixe (GPS en mode différentiel)

X= l'attitude	y= longitude	Précision (en mètres)
36.263431	2.772381	3
36.263401	2.772374	2.80
36.263442	2.772362	1.70
36.263408	2.772364	2.10
36.263404,	2.772350	1.40
36.263412	2.772357	2.50
36.263477	2.772362	2.20
36.263484	2.772355	1
36.263439	2.772373	2.20
36.263401,	2.772368	2.30
36.263408,	2.772389	3
36.263431,	2.772397	4
36.263404,	2.772366	1
36.263477	2.772329	2.90

Nous remarquons une augmentation de la précision du positionnement du robot. Celle-ci varie maintenant entre 1 à 3 m.

Cette augmentation de la précision est très explicite sur le graphique de la figure 18. En effet les courbes démontrent bien l'augmentation importante de la précision du positionnement lorsqu'on utilise le système **DGPS.**



Figure IV.17 - différence de la précision (en mètres) entre le GPS classique et le GPS différentiel

En effet, l'équation qui permet de corriger les valeurs de x et y permet aussi de réduire l'influence de certains facteurs comme le décalage d'horloge, la dégradation volontaire (S/A), les erreurs dues aux éphémérides… etc. . Par ailleurs, la variabilité de cette précision est surtout fonction de la ligne de base (vecteur entre les deux stations) : une précision plus élevée est obtenu quand les deux stations sont proches les unes des autres. Cette précision diminue pour la distance de la ligne de base augmente (plus de 20 km),

Enfin, le GPS en mode différentiel peut atteindre des précisions de l'ordre du cm, voire moins si on utilise des module plus performants (récepteur-GPS bi-fréquence) mais leur coût augmente aussi. Ces instruments sont utilisés pour des travaux de topographie et de géodésie.

IV.5. Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons présenté le fonctionnement détaillé de notre solution pour réaliser le positionnement de notre robot mobile grâce aux informations de géolocalisation. Dans un premier temps, nous avons présenté l'agencement et l'organisation de notre système embraqué composé de la carte Raspberry Pi, de la carte Arduino, des capteurs GPS et de module de communication NRF. Grâce à leur interconnexion, les différents étages communiquent et s'échangent les données nécessaires à la commande du robot mobile.

Par ailleurs, les applications expérimentales que nous avons mises en œuvre ont permis de valider d'une part, nos choix quant à l'utilisation de ces cartes embarquées et d'autre part notre système de commande par GPS du robot mobile. Ces tests ont démontré d'efficacité de notre système de GPS différentiel dans le positionnement de notre robot mobile. L'augmentation substantielle de la précision avec le DGPS, nous permet de géo localiser et de positionner notre robot avec une précision comprises entre 1 mètre et 3 mètres. Cette précision peut être encore améliorée en utilisant des capteurs GPS bi-fréquence plus performants mais également plus couteux.

Partie II : Réseau De Neurones.

IV.6.Réalisation d'un système DGPS à l'aide d'un réseau de neurones :

Dans la première partie de ce chapitre, nous avons augmenté la précision de positionnement du robot mobile en réalisant un système de DGPS basé sur un calcul formel de la correction.

Nous avons décidé de tester une nouvelle approche basée sur des technique intelligente pour calculer la correction de la géolocalisation du robot. En effet, nous avons décidé d'utiliser un réseau de neurone Adaline pour remplacer l'équation qui sert au calcule des corrections. Cette approche présente l'avantage de la rapidité du système qui sera déterminant dans les performances de la commande du robot. De plus sa capacité d'adaptation en ligne procurera à notre système robotique une plus grande autonomie.

Mais avant de présenter les résultats obtenus, nous vous présenterons brièvement les aspects théoriques du réseau de neurones Adaline (ADAptive LInear NEtwork).

IV.7: Présentation théorique du réseau de neurones Adaline (Adaptive Linear Network) .

Ce type de réseau de neurone a été développé par le professeur Bernard Widrow et Ted Hoff, de l'Université de Stanford, dans les années 1960.

Il utilise une fonction de transfert linéaire.

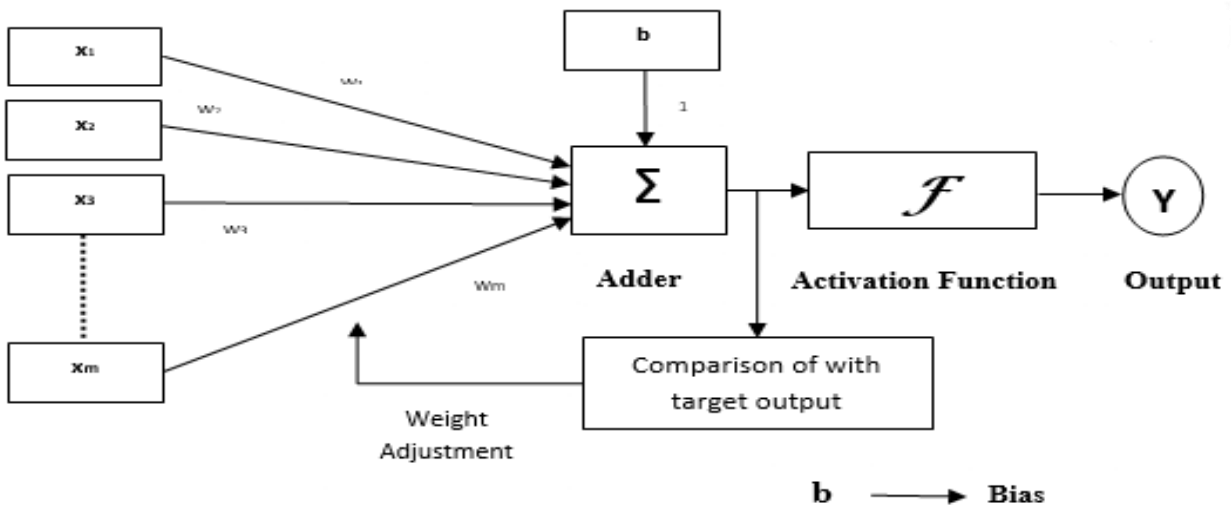


Figure IV.18 Le réseau adaline

Son apprentissage est régit par la règle des moindre carrés, c'est à dire que la distance entre la frontière de décision et l'ensemble des individus de l'ensemble d'apprentissage (et à fortiori, de tous les individus si l'ensemble d'apprentissage est correctement choisi) sera minimale.[16]

IV.7.1.Implémentations des réseaux de neurones ADALINE sous Matlab :

Matlab met à notre disposition trois méthodes pour mettre en place un réseau de neurones. Nous avons vu avec le perceptron et ADALINE qu'un réseau de neurones reposait principalement sur du calcul mathématique.en gérant nous même les calculs de matrices ainsi que le processus d'apprentissage.

Matlab met aussi à notre disposition une toolbox « réseaux de neurones ». Celle-ci propose un jeu de fonction pour initialiser, entraîner et utiliser de nombreux types de réseaux, permettant ainsi à l'utilisateur de ne pas avoir à se soucier de la partie calcul matriciel, ni même du processus d'apprentissage. , Matlab gère ensuite de manière autonome et transparente les règles de calcul.

Cette toolbox met à notre disposition un troisième outil, qui est une interface graphique permettant d'accéder à tous les paramètres des réseaux. Il nous est ainsi possible d'accéder à tous les paramètres

Notre but est de créer un réseau neurones de type ADALINE, ce neurone va être entraîné avec les coordonnées de GPS différentiel pour automatiser les calculs d'un premier lieu et augmenter la précision de notre robot en deuxième lieu.[16]

Nous avons choisi de gérer le processus de l 'apprentissage de réseau ADALINE nous même, avec des calculs mathématique qui seront programmés sous Matlab , le principe est très simple il faut entraîner notre réseau suivant quelques étapes que nous parlerons plus tard

IV.7.2.programmation du réseau neurone ADALINE sous matlab :

Nous allons donc illustrer comment un réseau de type ADALINE peut être utilisé. Son point fort est qu'il possède la capacité de s'adapter à tout signal d'entrée du moment que sa variation soit lineaire (d'où son nom, « adaptive linear network »).

- Dans un réseau neurones de type ADALINE Soient :[16]

d ∈ N, la dimension de l'espace

P i ∈ R d, un vecteur d'entrée,

W ∈ R d, un vecteur de poids,

b, le biais des entrées,

On peut définir la sortie du réseau ainsi :

$$\sum_{j=1}^{d}\left(W_j * p_{i,j}\right) + b = W * P_I + b$$

Le principe est simple :

La première règle que nous l'on peut utiliser est fondée sur la correction du vecteur de poids et le bias des entrées afin de réduire l'erreur le plus possible, soit a(t) la sortie que l'on obtient pour le neurone i au temps t. Cette sortie résulte d'un stimulus p(t) que l'on applique aux entrées des réseaux, soit d(t) la sortie que l'on désire obtenir pour ce même neurone i au temps t.

- Initialisation des poids et biais à une valeur aléatoire comprise entre -1 et 1 et le coefficient ν (En règle générale, si ce coefficient est petit (<0.05) ,on arrivera toujours à trouver un optimum,
- l'ajoute des entrées p(t) et les sortie désiré d(t) avec un dimension d'ordre 1 .(les p(t) sont des coordonnées x et y d'un GPS dynamique sur un robot dynamique suivant un trajectoire linéaire)
- calcul de l'erreur e(t) = d(t) -a(t) .
- modification des valeurs du poids et du bias suivant l'équation suivante (Il faut ainsi pondérer ces variation par un coefficient ν .

$$W_{new} = W_{old} + 2 \cdot \nu \cdot e(P_i) \cdot P_i$$

$$p_{new} = p_{old} + 2 \cdot \nu \cdot e(P_i)$$

- On fait entraîner notre réseau de neurone en ajoutant des nouveaux entrées p(t) et d(t) jusqu'à obtenir une valeur d'erreur la plus petite possible.
- Finalement , l'erreur tend vers le 0 , on obtient une bonne précision on sauvegarde les valeurs des poids et du bias pour l'utiliser plus tard .[16]

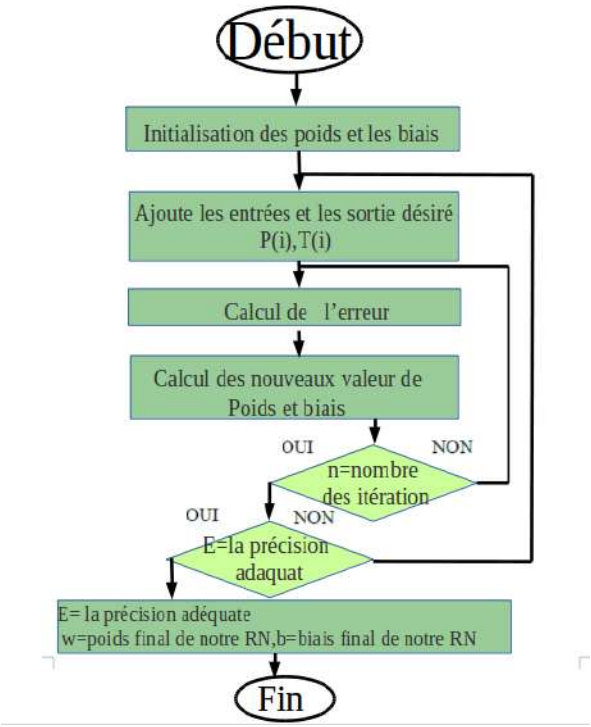


Figure IV.19: organigramme du code sous MATLAB.

IV.8 résultats expérimentaux :

IV.8.1. Apprentissage d'une trajectoire linéaire :

la mesure de l'erreur sur l'ensemble d'apprentissage nous donne par ailleurs un indice sur la précision de notre réseau, et pourra se révéler utile afin de savoir quand mettre fin au processus d'apprentissage.

les valeurs de l'altitude x et de la longitude fournies par le GPS dynamique représentent les entrées du RN p(t))et les valeurs du GPS différentiel de l'altitude représentent les sorties désirés d(t). Pour faire apprendre le réseau Adaline, nous avons sélectionné 16 coordonnées pris de la trajectoire prédefinie et pour chaque point présent au réseau, nous avons effectué 20 itérations.

Tableaux IV.3: assemblage des entrées p(t) , des sortie désirés et les sorties a(t) du RN .

Px	Py	Dx	Dy	ax	ay
36.263362	2.772534	36.263326	2.772528	36.2633830235380	2.77254480623622
36.263351	2.772521	36.263334	2.772499	36.2633720318901	2.77253180623785
36.263351	2.772502	36.263361	2.772496	36.2633720318901	2.77251280624024
36.263366	2.772504	36.263387	2.772511	36.2633870205009	2.77251480623999
36.263366	2.772504	36.263387	2.772511	36.2633870205009	2.77251480623999
36.263370	2.772478	36.263387	2.772486	36.2633910174637	2.77248880624325
36.263355	2.772466	36.263353	2.772476	36.2633760288530	2.77247680624476
36.263351	2.772415	36.263334	2.772422	36.2633720318901	2.77242580625117
36.263359	2.772413	36.263315	2.772407	36.2633800258159	2.77242380625142
36.263378	2.772405	36.263323	2.772399	36.2633990113895	2.77241580625243
36.263378	2.772404	36.263350	2.772405	36.2633990113895	2.77241480625255
36.263378	2.772404	36.263411	2.772412	36.2633990113895	2.77241480625255
36.263412	2.772406	36.263437	2.772416	36.2634329855739	2.77241680625230
36.263408	2.772434	36.263437	2.772450	36.2634289886110	2.77244480624878
36.263393	2.772387	36.263429	2.772422	36.2634289886110	2.77241180625293
36.263408	2.772401	36.263414	2.772399	36.2634140000002	2.77239780625469

Px et **Py** sont les coordonnées x et y de notre GPS dynamique présentés comme les entrés du Réseau Neurones.

dx et d**y** sont les coordonnées x et y de notre GPS différentiels présentés comme les sorties désirés dans notre RN.

ax et a**y** sont les sorties d(t) de notre RN .

Le graphe ci-dessous illustre l'évolution de l'erreur au cours de la phase d'apprentissage.

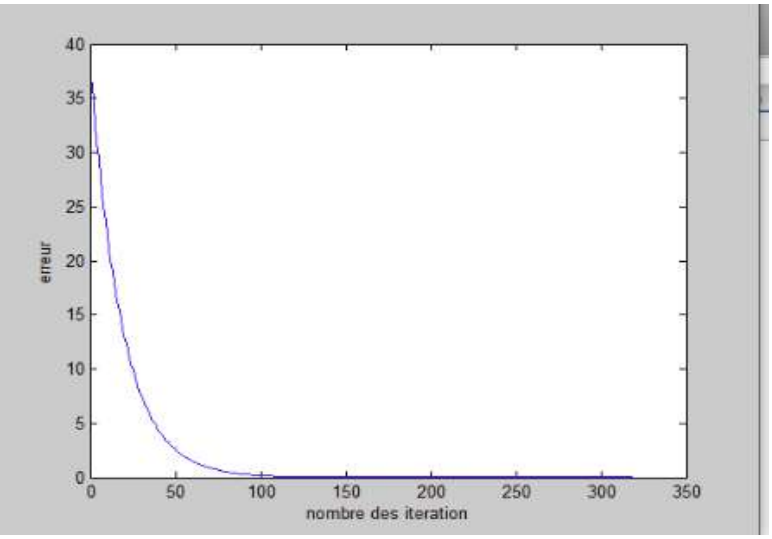


Figure IV.20:estimation de la valeur de l'erreur e(t) pour chaque nombre d'itération

Nous remarquons qu'à la fin d'apprentissage, l'erreur devient stable pour avoisinée une valeur de e=5.662266531203386e-07.

Les valeurs de la sortie du réseau de neurone Adaline a(t) sont comparés avec les valeurs des altitudes du GPS différentiel dans le graphe suivant.

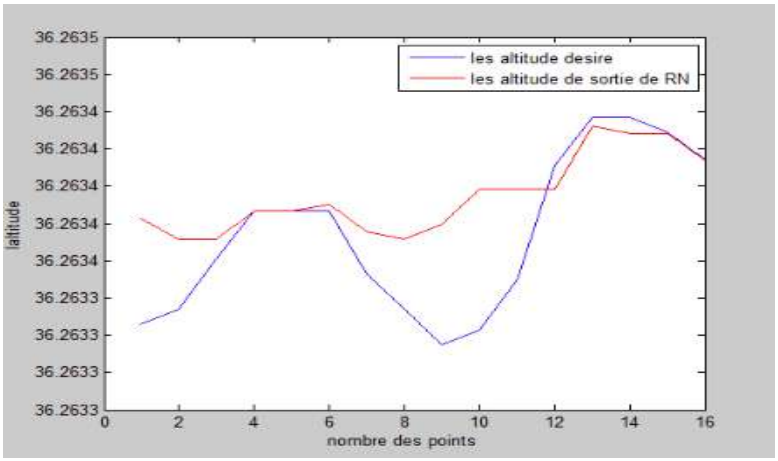


Figure IV.21. Comparaison entre les valeurs de la lattitude x fournies par l'Adlaine a(t) et celles de la sortie désiré d(t)

Ainsi les valeurs des longitudes y ont été ajoutée au RN comme des entrées p(t) , les valeurs de la sortie du RN a(t) sont comparé avec celui des cordonnées y de notre GPS différentiel suivant le graphe suivant :

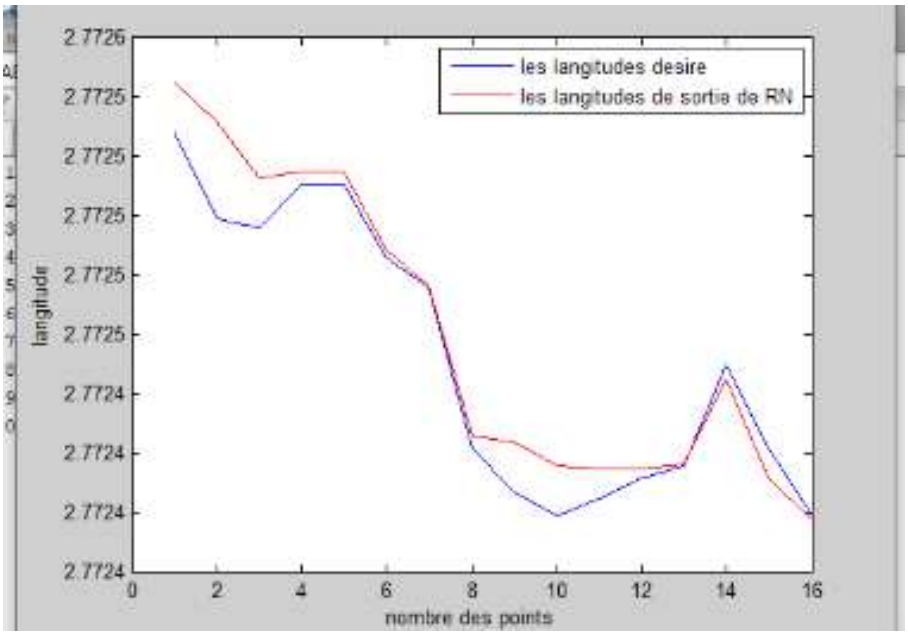


Figure IV.22 comparaison entre les valeurs de la sortie du RN a(t) et celles de la sortie désiré d(t) (suivant y)

Remarque1 : Nous avons obtenu un réseau qui a appris les coordonnées x et y du GPS dynamique de notre trajectoire linéaire .

Remarque 2 : On remarque que l'erreur entre les sortie désirés (DGPS classique) et les sorties du réseau de neurone est élevée au début du processus. Celle-ci diminue jusqu'à atteindre une valeur très faible (qui tend vers le 0). Ceci montre clairement que le réseau Adaline a bien appris la trajectoire que nous lui avons présentée.

Remarque 3 : on remarque ainsi que les valeurs du x et y de la sortie du RN et les sorties désirés sont très proches. Parfois on distingue quelques différences mais qui reste acceptable étant donné que la précision (coordonnées géolocalisation) est à quatre chiffres après la virgule.

IV.8.2. Test du réseau Adaline sur une trajectoire linéaire:

Cette expérience permet le test de l'apprentissage du réseau neurones sur une autre trajectoire. Nous l'avons choisi composée de 36 points de positionnement. Nous avons constitué 2 groupes de 18 points. Le 1er groupe sera utilisé pour l'apprentissage de notre réseau de neurones tandis que le 2eme groupe sera utilisé pour le tester et évaluer ses performances.

Tableaux IV.4: Résultats du processus d'apprentissage .(px et py sont les coordonnées x et y du DGPS, tx et ty sont les coordonnées x et y désirés)

Px	Py	Tx	Ty
36.263343	2.772516	36.263341	2.772483
36.263366	2.772481	36.263376	2.772473
36.263385	2.772469	36.263376	2.772456
36.263324	2.772423	36.263315	2.772415
36.263298	2.772470	36.263300	2.772454
36.263339	2.772422	36.263334	2.772413
36.263320	2.772417	36.263299	2.772396
36.263332	2.772390	36.263342	2.772370
36.263370	2.772381	36.263365	2.772372
36.263389	2.772398	36.263406	2.772389
36.263500	2.772358	36.263472	2.772345
36.263385	2.772439	36.263357	2.772431
36.263397	2.772276	36.263414	2.772274
36.263431	2.772338	36.263414	2.772340
36.263401	2.772273	36.263399	2.772255
36.263427	2.772276	36.263464	2.772267
36.263420	2.772314	36.263434	2.772303
36.263420	2.772239	36.263441	2.772232

D'après le tableau ci-dessus, nous constatons que les valeurs restituées pas l'Adlaine sont proche de celle obtenu avec DGPS classique. Les deux graphes suivants montrent l'évolution de l'erreur obtenu pour chaque point x et y.

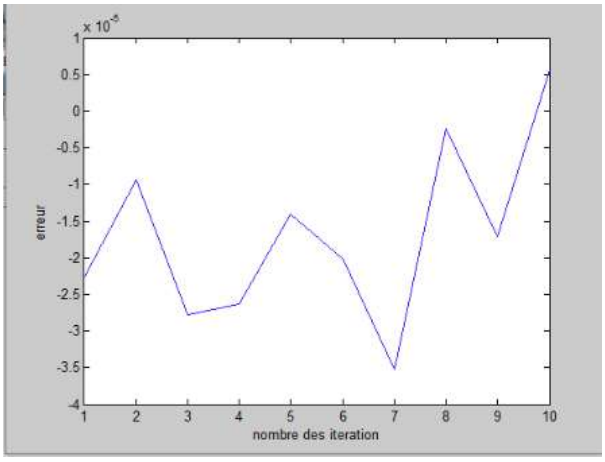


Figure IV.23 Evolution de l'erreur d'apprentissage e(t) sur la lattitude x.

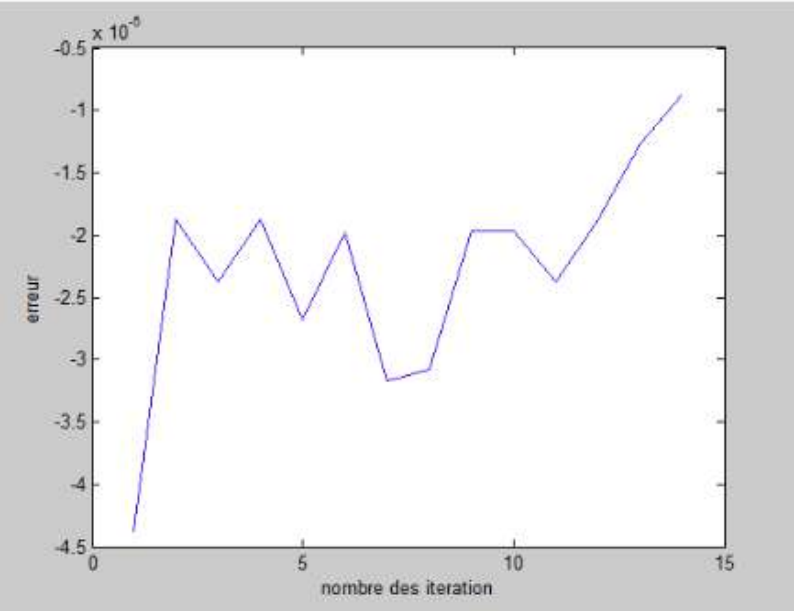


Figure IV.24 Evolution de l'erreur d'apprentissage e(t) sur la longitude y.

Nous remarquons que notre réseau a pris la nouvelle trajectoire plus rapidement. Cela est du au choix judicieux des valeurs avec lesquelles nous avons initialisé l'Adaline. En effet, au lieu de les initialiser aléatoirement, nous avons utilisé les valeur de la première trajectoire.

Par ailleurs, les nouvelles valeurs des poids w et du bias b seront utilisés pour le phase de test. Aussi, nous évaluons les performances de notre Adaline avec les entrées 2ème groupe des points de la trajectoire.

Tableaux IV.5 : Comparatif des résultats obtenus avec les point tests.

Dx	dy	Ax	ay
36.263366	2.772496	36.2633775781909	2.77250659011135
36.263362	2.772483	36.2633735812291	2.77249359011388
36.263359	2.772450	36.2633705835077	2.77246059012030
36.263328	2.772425	36.2633396070535	2.77243559012517
36.263294	2.772472	36.2633056328780	2.77248259011602
36.263313	2.772369	36.2633246184467	2.77237959013607
36.263320	2.772409	36.2633316131299	2.77241959012828
36.263309	2.772346	36.2633206214849	2.77235659014055
36.263389	2.772387	36.2634005607214	2.77239759013257
36.263401	2.772357	36.2634125516069	2.77236759013841
36.263454.	2.772316	36.2634655113511	2.77232659014639
36.263298	2.772310	36.2633096298398	2.77232059014755
36.263408	2.772308	36.2634195462901	2.77231859014794

36.263393	2.772284	36.2634045576832	2.77229459015262
36.263423	2.772281	36.2634345348969	2.77229159015320
36.263404	2.772247	36.2634155493283	2.77225759015982
36.263412	2.772275	36.2634235432519	2.77228559015437
36.263423	2.772189	36.2634345348969	2.77219959017111

Les 2 figures suivantes illustrent les performances de notre réseau Adaline.

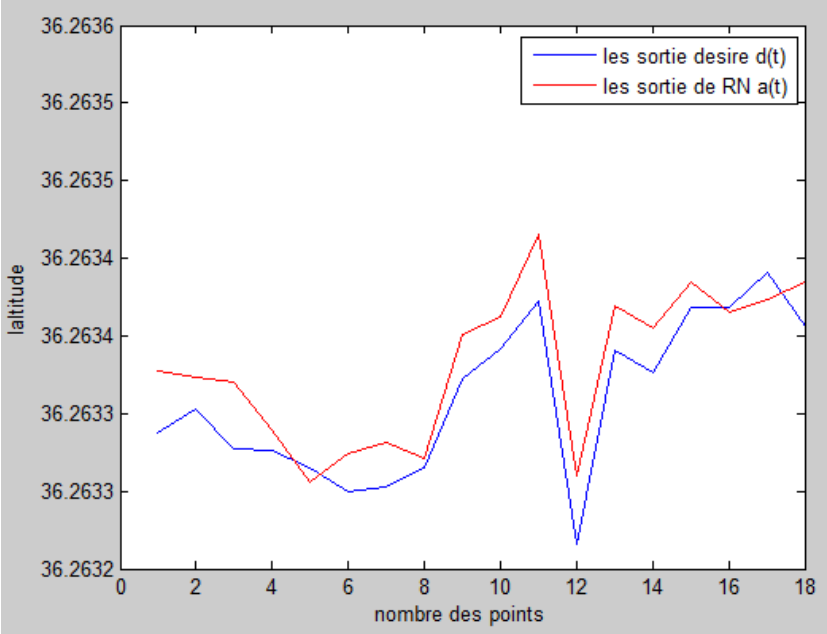


Figure IV.25. Comparaison entre les valeurs de la lattitude x fournies par l'Adlaine a(t) et celles de la sortie désiré d(t)

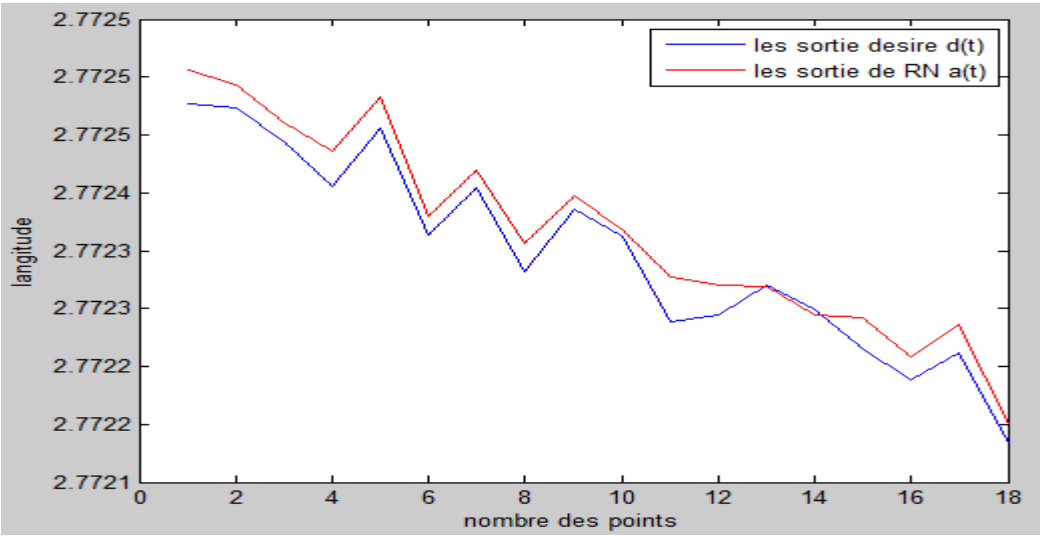


Figure IV.26. Comparaison entre les valeurs de la longitude y fournies par l'Adlaine a(t) et celles de la sortie désiré d(t)

➔ Au vu des résultats obtenus, nous obtenons une précision de l'ordre de e=5.741519885305024e-06, et qui est proche de celle du système DGPS classique.

IV.8.3. Évaluation des performances de l'Adaline sur le suivi de cible :

Pour évaluer la précision du positionnement par rapport à une cible, nous avons reproduit l'expérience du paragraphe « **VI.8.2 »** .
D'abord nous avons sélectionné un point cible dont nous connaissons exactement ses coordonnées x et y. Par ailleurs, nous avons équipé notre robot mobile dans un premier temps du capteur GPS et dans un deuxième de notre système DGPS et en dernier lieu le DGPS neuronal. L'objectif de cette configuration est d'asservir le robot mobile pour qu'il atteigne la cible. Pour se mouvoir dans cet environnement inconnu, le robot calcule à chaque fois l'erreur entre sa position géographique réelle (fournie par le capteur de géolocalisation) et celle de la cible.

Le tableau ci-dessous résume les distances en mètres entre les points mobiles et le point fixe en utilisant le DGPS neuronal.

Tableaux IV.6 : étude de la précision du GPS implémenté dans RN avec mètres .

X= l'attitude	y= longitude	précision (avec mètres)
36.263412	2.772341	0.40
36.263442	2.772375	1.00
36.263416	2.772383	1.50
36.263427	2.772354	070
36.263420	2.772356	1.50
36.263408,	2.772347	1.50
36.263446	2.772365	0.70
36.263431	2.772364	0.80
36.263416	2.772373	1.50
36.263435	2.772367	0.60
36.263431	2.772380	1.10
36.263446	2.772381	0.60
36.263427	2.772379	0.40

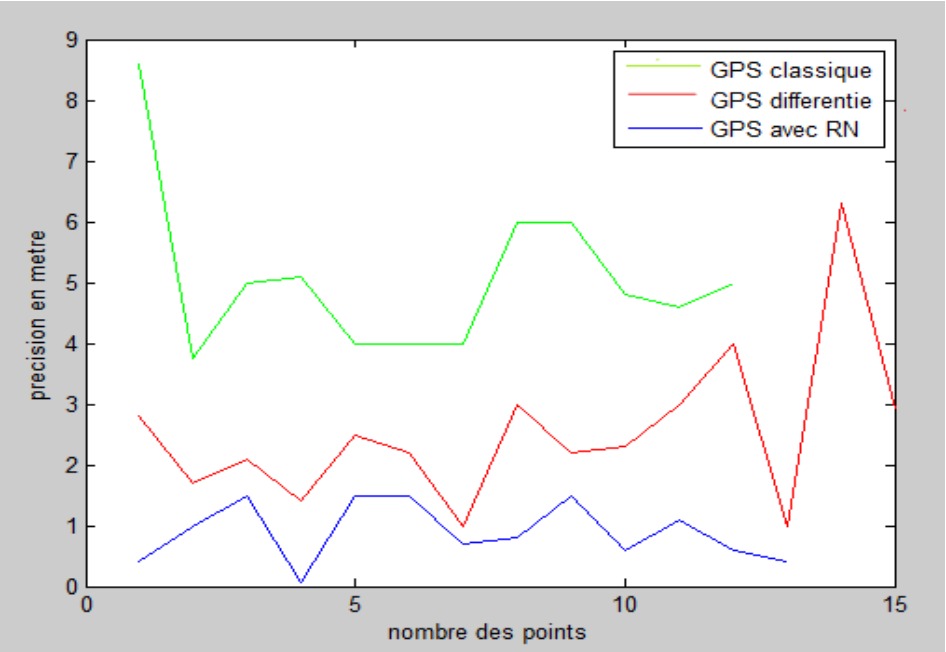


Figure IV.27 :- différence de la précision entre le GPS classique et le GPS différentiel et le GPS avec **RN**

En comparaison avec les résultats obtenus avec le GPS et le DGPS classique, le DGPS neuronal a permit une amélioration significative de la précision. En effet, avec DGPS neuronal celle-ci varie entre 0,40 mètre et 1,50 mètre alors que pour un DGPS classique, nous avons une précision qui variant entre 1 mètre et 3 mètres.

IV.9.Conclusion :

Dans ce dernier chapitre, nous avons présenté le fonctionnement détaillé de notre solution pour réaliser le positionnement de notre robot mobile grâce aux informations de géolocalisation. Dans un premier temps, nous avons présenté l'agencement et l'organisation de notre système embraqué composé de la carte Raspberry Pi, de la carte Arduino, des capteurs GPS et de module de communication NRF. Grâce à leur interconnexion, les différents étages communiquent et s'échangent les données nécessaires à la commande du robot mobile.

Par ailleurs, les applications expérimentales que nous avons mises en œuvre ont permis de valider d'une part, nos choix quant à l'utilisation de ces cartes embarquées et d'autre part notre système de commande par GPS du robot mobile. Ces tests ont démontré :

- l'efficacité de notre système de GPS différentiel dans le positionnement de notre robot mobile par rapport à un simple GPS
- Une nette amélioration a été constaté en utilisant le DGPS neuronal.

L'augmentation substantielle de la précision avec le DGPS neuronal, nous permet de géolocaliser et de positionner notre robot avec une précision comprises entre 0,40 mètre et 1,50 mètre. Cette précision peut être encore améliorée en utilisant des capteurs GPS bi-fréquence plus performants mais également plus coûteux.

Conclusion générale :

Au terme de ce travail, nous avons conçu et réalisé un système embarqués évolutif, puissant que nous avons pu utiliser avec sucrés sur la structure mécanique du robot Mobile. Ces caractéristiques ont pu être obtenu grâce à notre utilisation d'une carte électronique Arduino, Raspberry, un module **GPS NEO 6M** et le module de communication **NRF.** En effet, la combinaison de ces matériels nous a permis de développer une plate-forme capable de géolocaliser un robot mobile dans un espace agricole avec une grande une précision de positionnement.

Pour atteindre cet objectif, nous avons tout d'abord intégrer un capteur GPS. Nous l'avons testé puis l'évalué ses performances. Constatant que la précision était faible, nous avons implémenté un système de GPS différentiel. Pour ce faire nous avons réalisé une architecture matérielle composé de deux modules GPS et de deux modules de communication NRF. Ce système a été testé et valider lors de différentes expérimentations. Ces dernières ont montré une nette amélioration de la précision du positionnement du robot mobile. Pour obtenir encore de meilleurs résultats, nous nous sommes orienté vers les techniques d'intelligence artificiel. Nous avons utilisé un réseau de neurones Adaline pour remplacer le calcul formel de la correction des coordonnées du GPS. Ce nouveau système **DGPS** neuronal a permit de corriger les données de positionnements de notre robot en temps réel et surtout avec une précision beaucoup plus importante.

Eu égard des résultats obtenus lors de nos divers tests, nous avons pu valider le fonctionnement de notre système et nous avons atteint les objectifs fixés par le cahier des charges initial.

Enfin, ce travail nous a permis d'aborder les différentes techniques liées à la Robotique mobile. Mais surtout de, nous initier à l'utilisation de cartes électroniques embarquées, à la programmation en langage Python et matlab, aux systèmes de positionnement GPS et aux réseaux neuronaux.

Quant aux perspectives futures que nous envisageons pour compléter ce travail :

- La commande de notre robot avec un système d'asservissement visuel.
- L'amélioration de la précision obtenue en utilisant des capteurs GPS bi-fréquence plus per formants mais également plus couteux.
- L'utilisation de notre système **DGPS** neuronal dans d'autres domaines (drones militaires par exemple)
- Remplacer les cartes électroniques par une autre carte plus performante encore (carte **FPGA** par example).

Références bibliographiques

[1]H.HadjAsservissementAbdelkader1,visuelenvisionY.Mezouar1,P.omnidirectionnelleMartinet1,à partirdeF.Chaumette2,droites*VisualServoing from straight lines, janvier 2005 page 470
[2] T. Kanade, C. Thorpe et W. *Whittaker. Autonomous Land Vehicle Project at CMU*. In ACM Annual Computer Science Conference, pages 71–80. ACM Press, 1986.

[3] Christian Dupaty, raspberry pi, installation-configuration interfaces de communications, BTS Systèmes Numérique, lycée Fourcade- Gardanne

[4] Christian Tavernier, raspberry pi : prise en main et premières réalisations, DUNOD, à la découverte du raspberry pi

[5] UART GPS NEO-6M User Manual

https://www.terraelectronica.ru/pdf/show?pdf_file=%2Fz%2FDatasheet%2FU%2FUART+GPS+NEO-6M+User+Manual.pdf

[6] https://lastminuteengineers.com/neo6m-gps-arduino-tutorial/

[7] https://lastminuteengineers.com/nrf24l01-arduino-wireless-communication/

[8] DÉVELOPPEMENT DES COMPÉTENCES PROJET Fiche de synthèse Module RF24

http://pignol.univ-tln.fr/DUT_GEII/DevCompProj/RF24/FS_RF24.pdf

[9] Nordic Semiconductor ASA - Vestre Rosten 81, N-7075 Tiller, March 2006nRF24L01,Single Chip 2.4 GHz Radio Transceiver

[10] https://www.electronicshub.org/nrf24l01-transceiver-module/#A_Brief_Note_on_nRF24L01_Transceiver_IC

[11] https://www.cigref.fr/archives/histoire-cigref/blog/geolocalise-quelle-histoire-de-gps/

[12] **https://agriculturedeprecision.wordpress.com/rtk/**

[13] Les GPS De l'acquisition des relevés à leur intégration dans un SIG,V. Freycon, N. Fauvet.
[14] http://gps-tpe.e-monsite.com/pages/le-fonctionnement-du-gps/triangulation.html.
[15] Etude des Potentialités du DGPS en Temps Réel avec Solution Omni star pour des Fins de Géolocalisation, Moha EL AYACHI et Mohamed STIFA, Morocco
[16] Rapport de projet réseau de neurones sous MATLAB
Ecole Polytechnique de l'Université de tours .france
[17] https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/technologie-systeme-embarque-15282/.