

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

N° :



DOMAINE : SCIENCE ET
TECHNOLOGIE

FILIERE : ELECTRONIQUE

OPTION : ELECTRONIQUE SYSTEME
EMBARQUE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par :

- ✓ **Benachour Chouaib**
- ✓ **Laggoun Hocine**

Intitulé

**«Forest Hope»
Système Autonome de Lutte Anti-incendie**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr-Hadjab Moufdi	Université Med Boudiaf –M'sila	Président
Dr-Tabbakh Mostefa	Université Med Boudiaf –M'sila	Rapporteur
Dr-Balouti Adel	Université Med Boudiaf –M'sila	Examineur

Année universitaire : 2024 /2025

Remerciements

Nous remercions tout d'abord, Allah le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la santé et la détermination pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements :

À notre directeur de recherche, le **Dr. Mostefa tabbakh**, pour ses précieux conseils, son soutien constant et ses encouragements inestimables qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

À nos chères familles pour leur patience, leur soutien constant et leurs encouragements tout au long de cette aventure académique.

À nos collègues et amis pour leur aide et leur coopération continue.

À toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Et tout particulièrement, nous adressons notre profonde gratitude à nos vénérables enseignants pour leur enseignement et leur soutien continu tout au long de notre parcours académique, ainsi qu'aux membres du jury pour leur temps et leur évaluation de notre travail.

Dédicaces

Nous dédions ce modeste travail à nos chers parents, sources de

Nos joies

Secrets de nos forces, grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de nos études.

Aucune dédicace ne pourrait exprimer notre respect, nos considérations et nos profonds sentiments envers eux.

A nos sœurs et nos frères

A nos familles

Ils vont trouver ici l'expression de nos sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de nous

Porter.

A tous nos amis et nos collègues

Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et

D'une amitié infinie

ملخص :

يهدف المشروع إلى تقديم حل تكنولوجي متقدم لمكافحة حرائق الغابات من خلال تطوير روبوت متقدم يستخدم الذكاء الاصطناعي والنظم الذاتية للكشف عن بؤر الحرائق ومعالجتها بكفاءة ودقة. يتميز الروبوت بقدرته على التحرك بشكل مستقل في البيئات الصعبة والخطرة، مما يقلل من الحاجة إلى تدخل الإنسان المباشر ويقلل من المخاطر التي يتعرض لها رجال الإطفاء.

الكلمات المفتاحية : الروبوت المحمول، ذاتية التحكم، الموقع، الملاحة، الرؤية، معالجة الصور، نظام لاسلكي، كاميرا ويب، إتصالات

Résumé :

Le projet vise à fournir une solution technologique avancée pour la lutte contre les incendies de forêt en développant un robot avancé utilisant l'intelligence artificielle et des systèmes autonomes pour détecter les foyers d'incendie et les traiter avec efficacité et précision. Le robot se distingue par sa capacité à se déplacer de manière autonome dans des environnements difficiles et dangereux, réduisant ainsi la nécessité d'une intervention humaine directe et les risques encourus par les pompiers.

Mots-clés : robot mobile, autonomie, localisation, navigation, vision, traitement d'images, système sans fil, webcam, communications

Abstract:

The project aims to provide an advanced technological solution for combating forest fires by developing an advanced robot that uses artificial intelligence and autonomous systems to detect fire hotspots and address them efficiently and accurately. The robot is characterized by its ability to move independently in difficult and hazardous environments, reducing the need for direct human intervention and minimizing the risks faced by firefighters.

Keywords: mobile robot, autonomous control, localization, navigation, vision, image processing, wireless system, webcam, communications.

TABLE DES MATIERES :

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE I: NOTION DE PERCEPTION.....	3
I.1. Introduction:	4
I.1.1. Les capteurs en robotique mobile :	4
I.1.2. Capteurs intéroceptifs :	6
I.1.2.1. Les capteurs de déplacement :	6
I.1.3. Captures extéroceptifs:.....	8
I.1.3.1. Les captures télémétriques:	8
I.1.4. Les systèmes de vision :	13
I.1.4.1. Les capteurs à triangulation active :	14
I.1.4.2. La vision omnidirectional:	14
I.2. Conclusion :.....	15
CHAPITRE II: LA LOCALISATION EN ROBOTIQUE MOBILE.....	16
II.1. Introduction :	17
II.2. La localisation d'un Robot mobile :	18
II.3. Les Méthodes localisation :	18
II.3.1. La localisation relative :	18
II.3.1.1. Les odomètres :	18
II.3.1.2. Les accéléromètres :	19
II.3.1.3. Le radar Doppler :	19
II.3.1.4. Le gyroscope :	20
II.3.2. La localisation absolue :	21
II.3.2.1. Les capteurs extéroceptifs :	21
II.3.2.2. Localisation par vision artificiel :	25
II.3.2.3. Le géo-positionnement :	26
II.4. Conclusion :	27
CHAPITRE III: REALISATION D'UN ROBOT MOBILE	29
III.1. Introduction:	30
III.1.1. Architecture du robot mobile:	30
III.1.2. La réalisation matérielle:	30
III.1.3. La perception.....	30
III.1.3.1. Les systèmes de vision par ESP32 Cam :	30
III.1.3.2. La stereovision:.....	31
III.1.3.3. La communication via Wi-Fi :	32
III.1.4. Fonctionnement du module :	34

III.1.4.1.	Ultrasons HC-SR04:	34
III.1.4.2.	Les motoréducteurs:	35
III.2.	La commande des motoréducteurs:	36
III.2.1.1.	Le pont H double L298P :	36
III.2.2.	La réalisation logique:	37
III.2.3.	La programmation de l'Arduino:	37
III.2.4.	Présentation du logiciel:	38
III.2.5.	l'IDE d'Arduino:	38
III.2.5.1.	Programmation sous l'IDE d'Arduino:	39
III.2.5.2.	Structure de Base d'un Programme Arduino :	39
III.3.	Application pour Mobile et Ordinateur :	41
III.3.1.	Fonctionnalités de l'Application Mobile :	41
III.3.2.	Fonctionnalités de l'Application pour Ordinateur :	42
III.3.3.	Technologies Utilisées :	43
III.3.4.	Avantages des Applications :	43
III.4.	Contrôle à Distance par la Main :	43
III.4.1.	Technologie Utilisée :	44
III.4.1.1.	Gants Sensoriels :	44
III.4.1.2.	Communication Sans Fil :	44
III.4.1.3.	Traitement des Données :	44
III.4.2.	Fonctionnalités de Contrôle :	44
III.4.2.1.	Mouvement Directionnel :	44
III.4.2.2.	Commandes de Précision :	45
III.5.	Conclusion:	45

Liste des figures :

CHAPITRE I: NOTION DE PERCEPTION.....	3
Figure 1:Principe de fonctionnement d'un capteur.....	4
Figure 2: Courbe d'étalonnage d'un capteur.....	4
Figure 3:Architecture d'un robot	5
Tableau 1 :Tableau montrant des photos d'Acalpromater	Erreur ! Signet non défini.
Figure 4 :Obstacle perpendiculaire à l'axe du capteur (L'obstacle dans ce cas sera détecté par le capteur).....	11
Figure 5 :Obstacle en biais il ne sera pas détecté par le capteur.....	11
Figure 6 :Obstacle en biais détecté par le capteur.....	11
Figure 7 :Le Principe des ultrasons.....	12
Figure 8 :Stéréovision	13
CHAPITRE II: LA LOCALISATION EN ROBOTIQUE MOBILE.....	16
Figure 9 :Télémètres infrarouges	22
Figure 10:Capteur infrarouge.....	23
Figure 11:Capteur de Ultrason.....	23
Figure 12: Camera CCD (Conrad BC-103 Sony)	25
CHAPITRE III: REALISATION D'UN ROBOT MOBILE	29
Figure 13 :Architecture de notre robot mobile	30
Figure 14: Esp32-Cam avec IDE Arduino.....	31
Figure 15: Principe de la stereovision.....	32
Figure 16 :Branchement de l'ESP8266 à l'Arduino.	33
Figure 17: l'ESP8266 avec Robot.....	33
Figure 18: Installation d'un capteur à ultrasons dans robote.	35
Figure 19: TT Motor DC.....	36
Figure 20: Brochage, et definition des pins.	37
Figure 21: Câble USB (fiche A vers B).	38
Figure 22 :Interface avec les icônes Arduino IDE.....	39
Figure 23:INTERFACE du programme pour le contrôle des caméras de surveillance et des robots.....	42
Figure 24: Instructions pour contrôler un robot avec une télécommande à mouvement manuel.....	45

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les incendies de forêt comptent parmi les défis environnementaux les plus urgents de notre époque. Ils causent une destruction à grande échelle des écosystèmes, une perte significative de la biodiversité et constituent une menace directe pour la vie des populations et des communautés locales. L'augmentation de la fréquence et de l'intensité de ces incendies est souvent attribuée aux changements climatiques et aux activités humaines, incitant chercheurs et développeurs à rechercher des solutions technologiques innovantes pour relever ce défi de manière plus efficace.

Les incendies de forêt représentent une menace environnementale majeure en émettant d'énormes quantités de dioxyde de carbone et d'autres polluants dans l'atmosphère, aggravant ainsi le phénomène de réchauffement climatique. De plus, ces incendies détruisent les habitats naturels de nombreuses espèces vivantes et réduisent la surface des forêts qui jouent un rôle crucial dans l'absorption du dioxyde de carbone. Ces effets négatifs nous poussent à développer des technologies nouvelles et plus efficaces pour lutter contre ces incendies et en réduire les dommages.

Dans ce contexte, notre projet vise à offrir une solution technologique avancée pour lutter contre les incendies de forêt en développant un robot avancé utilisant l'intelligence artificielle et des systèmes autonomes pour détecter et traiter les foyers d'incendie avec efficacité et précision. Le robot a pour objectif non seulement de détecter rapidement les foyers d'incendie et de les éteindre, mais aussi d'analyser avec précision les données environnementales pour comprendre les causes et les modes de propagation des incendies, contribuant ainsi à élaborer des stratégies plus efficaces pour lutter contre et prévenir les incendies à l'avenir.

Le robot que nous développons se distingue par sa capacité à se déplacer de manière autonome dans des environnements difficiles et dangereux, réduisant ainsi la nécessité d'une intervention humaine directe et minimisant les risques pour les pompiers. De plus, ce robot peut fonctionner en équipe avec d'autres robots et des systèmes de surveillance fixes, fournissant une réponse globale et multidimensionnelle aux incendies de forêt.

Le robot utilise une variété de capteurs avancés, y compris des caméras de vision nocturne et des infrarouges pour détecter la chaleur et la fumée à distance. Il est également

équipé de systèmes de communication sans fil permettant l'échange de données entre les unités sur le terrain et les centres de contrôle, garantissant une coordination efficace et une mise à jour des stratégies en fonction des situations d'urgence.

Notre projet représente une avancée majeure vers une réponse plus intelligente et efficace pour lutter contre les incendies de forêt, contribuant ainsi à la préservation de l'environnement et à la protection des vies et des biens. En offrant ces technologies, nous espérons fournir un modèle permettant de relever avec succès des défis environnementaux similaires.

Cette étude constitue une étape importante dans le domaine de la technologie environnementale, cherchant à offrir des solutions innovantes aux défis urgents auxquels le monde est confronté aujourd'hui. En développant ce robot avancé, nous espérons apporter une contribution efficace à la protection des forêts et à la préservation de l'environnement pour les générations futures.

CHAPITRE I:

NOTION DE PERCEPTION

I.1. Introduction:

I.1.1. Les capteurs en robotique mobile :

La robotique mobile, secteur industriel au développement extrêmement rapide et qui vise à trouver des solutions, combine l'ingénierie, l'informatique, mais aussi les sciences cognitives, l'intelligence artificielle et bien d'autres disciplines encore. Seule la coopération de toutes ces disciplines permet de faire face à la complexité des robots mobiles. Ceux-ci sont en mesure de se déplacer et de réaliser des actions de manière autonome. À l'instar de la mobilité, l'autonomie, c'est-à-dire l'indépendance des robots par rapport à l'intervention humaine, est également l'un des aspects majeurs de la robotique mobile. On fait ici souvent la distinction entre les dispositifs semi-autonomes et totalement autonomes, mais l'autonomie se définit majoritairement par l'alimentation en énergie du robot. Si une alimentation externe, comme une base de chargement, est nécessaire, l'autonomie est considérée comme limitée.¹



Figure 1: principe de fonctionnement d'un capteur

Un capteur convertit la grandeur physique à mesurer en une grandeur électrique et traite cette dernière de telle manière à ce que les signaux électriques puissent être facilement transmis et traités en aval. Le capteur peut signaler si un objet est présent ou absent (binaire) ou si une valeur mesurée est atteinte (analogique ou numérique).²

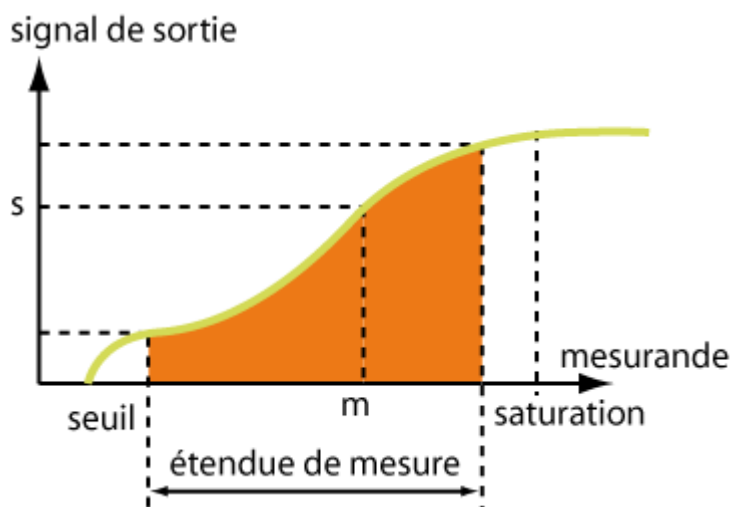


Figure 2: courbe d'étalonnage d'un capteur

L'exploitation numérique de la grandeur de sortie du capteur en fonction de la mesurande s'obtient comme suit :

$$S = f(m)$$

Le montant à mesurer, ou plus simplement l'objet de la mesure, est connu sous le nom de grandeur mesurée.

- La mesure : c'est le résultat du processus de mesure. Autrement dit, cela fait référence à la valeur de la grandeur mesurée.
- La série d'étapes utilisées pour déterminer la valeur de la grandeur mesurée et appelée procédure de mesure.

Les capteurs souvent montés sur un robot comprennent des caméras optiques, des microphones, des codeurs de roues (odomètres), des capteurs laser de proximité et des capteurs ultrasoniques. D'un capteur à l'autre, les types d'informations perçues et leur précision diffèrent considérablement. Par exemple, parce que les capteurs laser de proximité ont une résolution angulaire plus élevée et une précision de distance plus grande que les sonars, ils peuvent percevoir les contours ambiants de manière plus précise.

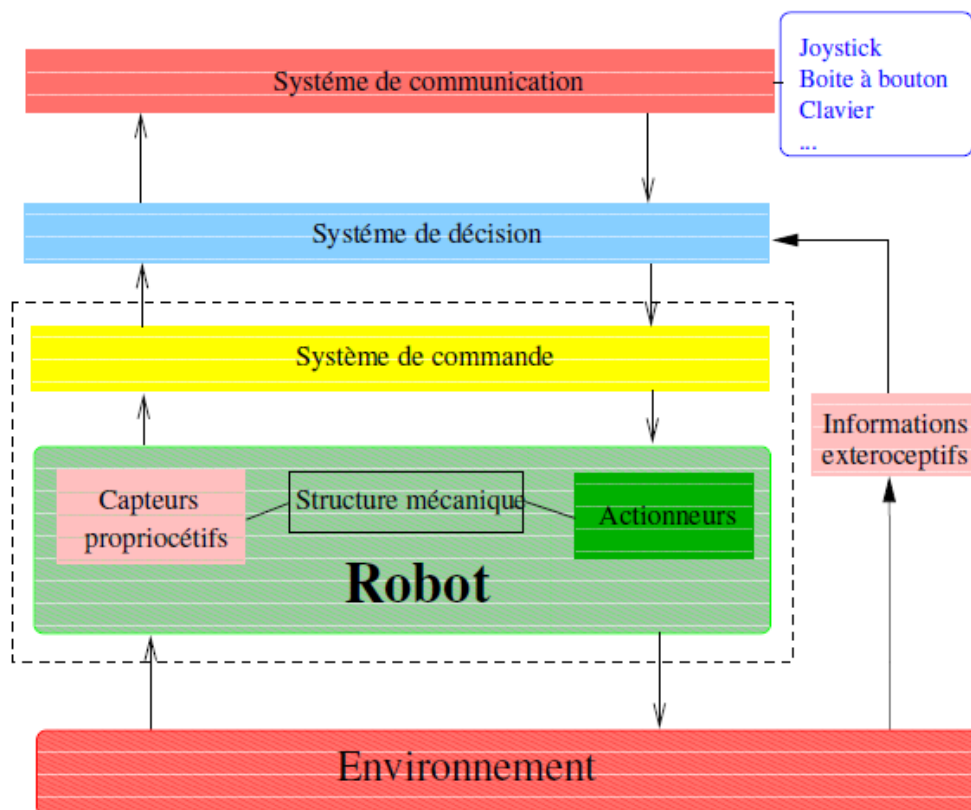


Figure 3: Architecture d'un robot

Les actionneurs ont pour rôle de répondre aux ordres de commande. Eux aussi sont soit internes soit externes. Les actionneurs internes modifient l'état du système ; ainsi, le ventilateur ou le chauffage par exemple régulent la température intérieure. Les actionneurs externes comme les moteurs et les pompes servent en revanche au mouvement du robot ou à l'exécution des actions par les manipulateurs comme les bras du robot.

I.1.2. Capteurs intéroceptifs :

En robotique mobile, il est important de distinguer entre des capteurs *proprioceptifs*, qui effectuent leurs mesures par rapport à ce qu'ils perçoivent localement du déplacement du robot, ou *extéroceptifs*, qui se basent sur des mesures prises par rapport à son environnement global (repère absolu). Par exemple, des capteurs mesurant les déplacements angulaires des roues d'un robot pourront permettre de reconstituer sa trajectoire à condition que les roues ne glissent pas (dérapage, patinage). Ce sont des capteurs proprioceptifs. Par contre, le repérage par une tourelle laser de balises optiques fixées dans l'environnement de déplacement du robot permet une mesure absolue. On parle alors d'un capteur extéroceptif.^{3 4}

I.1.2.1. Les capteurs de déplacement :

I.1.2.1.1. Les odomètres:

Une méthode pour déterminer la localisation relative d'un robot est appelée odométrie. Il est réalisable de déterminer la localisation et l'orientation du robot sur la table à tout moment en mesurant chaque mouvement qu'il effectue depuis son point de départ.

Nous pouvons déterminer la distance parcourue par le robot grâce à un odomètre, qui est une roue codeuse positionnée au centre du robot. Néanmoins, le robot ne peut pas être positionné dans un système de coordonnées en utilisant uniquement cette seule information de distance.

Deux odomètres (placés soit directement sur les moteurs, soit avec des roues codeuses indépendantes) sont nécessaires à cet effet. Les distances parcourues respectives par les roues gauche et droite sont mesurées à chaque intervalle de temps.⁵


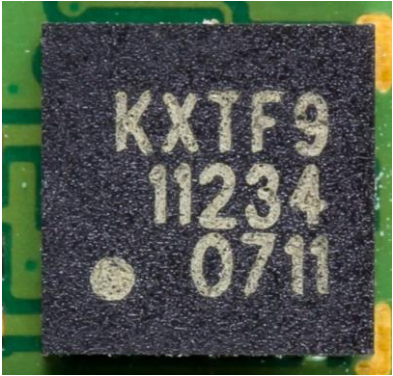
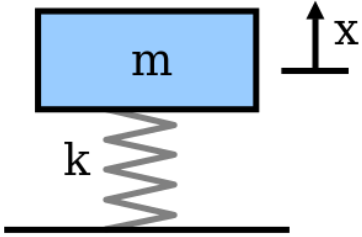
I.1.2.1.2. Les accéléromètres:

Lorsque l'on souhaite effectuer et utiliser des mesures d'accélération sur un appareil, on utilise un accéléromètre. Déterminer l'accélération permet notamment de calculer la

vitesse, le déplacement, les vibrations et les chocs de l'appareil, quelle que soit sa taille. On trouve des accéléromètres sur :

- ✓ Les smartphones, les caméras de sécurité dans les voitures, etc.
- ✓ les manettes de consoles de jeux vidéo ; les montres connectées ; les caméras ; les ordinateurs portables ; divers véhicules et machines ; les bâtiments.⁶

Tableau 1: Tableau montrant des photos d'Accélromater

Un accéléromètre piézoélectrique.	Un accéléromètre MEMS.	Schéma d'un système masse-ressort.
		

I.1.2.1.3. Les capteurs d'attitude:

Les capteurs d'attitude permettent d'estimer les paramètres intrinsèques du robot que sont les angles de cap, de roulis et de tangage. Une erreur d'orientation odométrique peut entraîner une erreur de position cumulative qui peut être diminuée voire compensée par l'utilisation conjointe de gyroscopes.

I.1.2.1.4. Les gyroscopes:

Un gyroscope est un dispositif qui exploite le principe de conservation du moment angulaire en physique (également appelé stabilité gyroscopique ou effet gyroscopique). Cette loi fondamentale de la mécanique stipule que, en l'absence de couple appliqué à un solide en rotation autour de l'un de ses axes principaux, celui-ci conserve son axe de rotation invariant. Lorsqu'un couple est appliqué au dispositif, il provoque une précession ou une nutation du solide en rotation.⁷

I.1.2.1.5. Les gyromètres:

Le gyromètre est un capteur de mouvement. Il fournit une valeur de la vitesse angulaire par rapport à un point de référence inertiel, c'est-à-dire fixe par rapport aux étoiles.

En français, il y a une distinction entre un gyromètre et un gyroscope, qui est un capteur de position angulaire. La différence peut parfois être subtile car le même appareil peut fonctionner en tant que gyroscope ou gyromètre.⁸

I.1.2.1.6. Les gyrocompass:

Technique Compas utilisant un gyroscope entretenu électriquement, utilisé pour garder une orientation constante dans les avions, les navires, les robots...ect.⁹

I.1.2.1.7. Le magnétomètre:

Pour déterminer l'orientation du robot, le magnétomètre, également appelé boussole magnétique, mesure la direction du champ magnétique terrestre. Parmi les différentes technologies utilisées pour ce type de capteur, la technique de la vanne de flux est la plus adaptée aux robots mobiles. Ses avantages incluent une faible consommation d'énergie, l'absence de pièces mobiles, et une résistance aux vibrations et aux chocs.

I.1.3. Captures extéroceptifs:**I.1.3.1. Les captures télémétriques:****I.1.3.1.1. Les captures lasers:**

Les capteurs laser sont utilisés dans divers domaines d'application de l'automatisation industrielle. La diversité des domaines d'application entraîne une demande pour différents types de capteurs laser. Par exemple, il existe des applications pour la détection, la mesure ou le positionnement. Les différents capteurs laser ont en commun les avantages de l'utilisation de la lumière laser. Un premier avantage est la forte intensité lumineuse qui permet une mesure, un positionnement ou une détection très précis (jusqu'à des nanomètres). Un autre avantage est la vitesse de mesure, qui est très élevée en raison de l'utilisation de la lumière comme support.¹⁰

Les systèmes laser possèdent de nombreux avantages qui en font des capteurs souvent utilisés dans les applications de robotique mobile:

- **Adaptabilité maximale :** Un avantage des lasers est leur production rapide d'usinage très complexe et sur mesure. En conséquence, les entreprises peuvent désormais produire des articles hautement personnalisés et atteindre des réalisations auparavant inimaginables.
- **Précision remarquablement élevée :** Les autres technologies ne peuvent pas égaler le niveau de précision de découpe et d'usinage fourni par le faisceau laser. Par conséquent, les pièces découpées ont une excellente qualité et n'ont pas besoin d'être finies davantage. Il y a deux avantages : premièrement, les délais et les coûts sont réduits, et deuxièmement, la qualité du produit fini est améliorée.
- **Taux de production :** Les temps de traitement rapides associés aux lasers découlent de leur capacité à réaliser des coupes complexes et des tâches d'usinage en quelques minutes seulement. Le temps économisé sur les opérations de finition et les changements d'outils - qui ne sont plus nécessaires - augmente également la vitesse de traitement.
- **Utilisation minimale d'énergie :** Un avantage des dispositifs de découpe de métal au laser par rapport à d'autres processus de traitement est leur faible consommation d'énergie. Cela a une influence positive majeure sur l'environnement et réduit les coûts de production.
- **Sécurité de l'opérateur :** Le superviseur de découpe au laser utilise principalement un contrôle numérique, évitant ainsi l'usinage manuel et les changements d'outils. C'est un avantage significatif pour la sécurité des travailleurs.
- **Risque de dommage réduit :** Les technologies de découpe de métal au laser permettent un usinage beaucoup plus contrôlé, réduisant ainsi le risque de dommages matériels, en fraisant les composants sans contact mécanique. Cela entraîne une réduction des coûts de fabrication car il n'y a pas de déchets et donc pas de déchets.¹¹

I.1.3.1.2. Les capteurs infrarouges:

Les capteurs infrarouges (IR) sont des dispositifs électroniques capables de détecter et de mesurer l'énergie rayonnée sous forme d'infrarouge. Cette technologie est largement utilisée dans divers domaines, allant de la sécurité domestique à l'astronomie, en passant par la médecine et l'industrie. Le principe de base d'un capteur IR repose sur sa capacité à percevoir la chaleur émise par les objets, ce qui lui permet de fonctionner même dans l'obscurité totale.

Les capteurs infrarouges fonctionnent en détectant le rayonnement infrarouge, une forme de lumière invisible située au-delà de l'extrémité rouge du spectre visible. Ils se composent généralement d'un matériau sensible aux IR, qui absorbe le rayonnement et produit un signal électrique en réponse. Ce signal peut ensuite être amplifié et traité pour obtenir des informations utiles.

Il existe deux types principaux de capteurs IR : les capteurs passifs et les capteurs actifs. Les capteurs passifs détectent uniquement le rayonnement infrarouge émis par les objets dans leur champ de vision, tandis que les capteurs actifs émettent eux-mêmes un rayonnement infrarouge et mesurent la réflexion de ce rayonnement par les objets environnants.

Les capteurs infrarouges sont utilisés dans :

- **Sécurité et Surveillance** : Les capteurs IR sont couramment utilisés dans les systèmes de sécurité pour détecter les mouvements ou la présence d'individus dans un environnement donné.
- **Téledétection** : En astronomie et en météorologie, les capteurs IR sont utilisés pour mesurer la température des astres ou pour observer les formations nuageuses et les modèles climatiques.
- **Médecine** : Dans le domaine médical, les capteurs IR permettent de réaliser des diagnostics non invasifs, comme la thermographie pour détecter des anomalies de température corporelle.
- **Industrie** : Ils sont également utilisés pour le contrôle de processus industriels, tels que la surveillance de la température dans les procédés de fabrication.

I.1.3.1.3. Les captures ultrasonores:

Un outil électronique qui mesure la distance à un objet en envoyant des ultrasons (fréquences supérieures à l'audio humain) et en recevant des ondes réfléchies du corps.

Ce capteur se compose de deux parties principales : l'émetteur et le récepteur. L'émetteur envoie une impulsion d'ultrasons à travers un cristal d'électro pression.

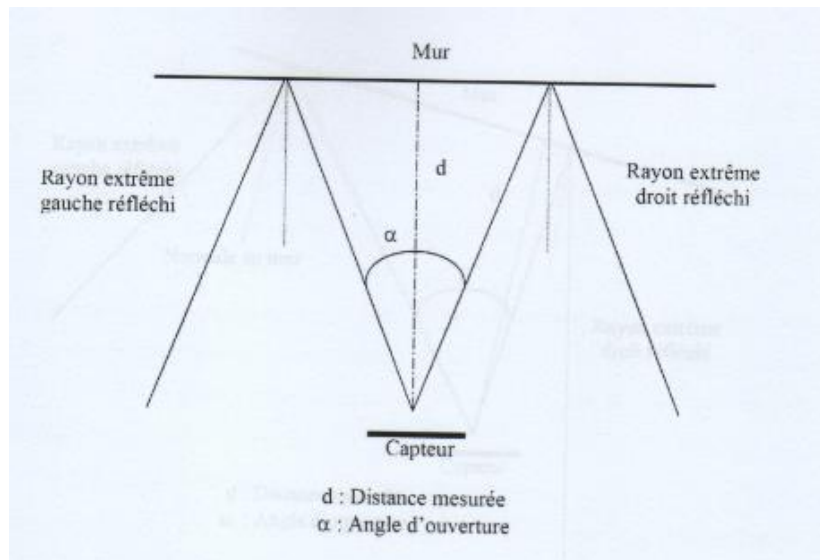


Figure 4 : obstacle perpendiculaire à l'axe du capteur (L'obstacle dans ce cas sera détecté par le capteur).

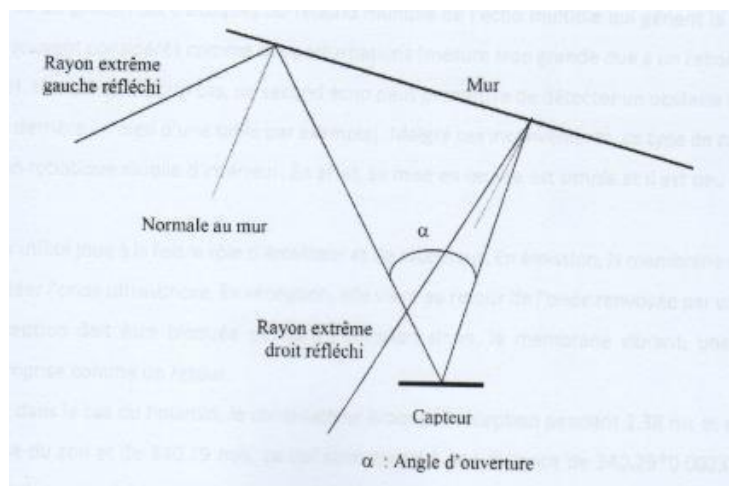


Figure 5 : obstacle en biais il ne sera pas détecté par le capteur.

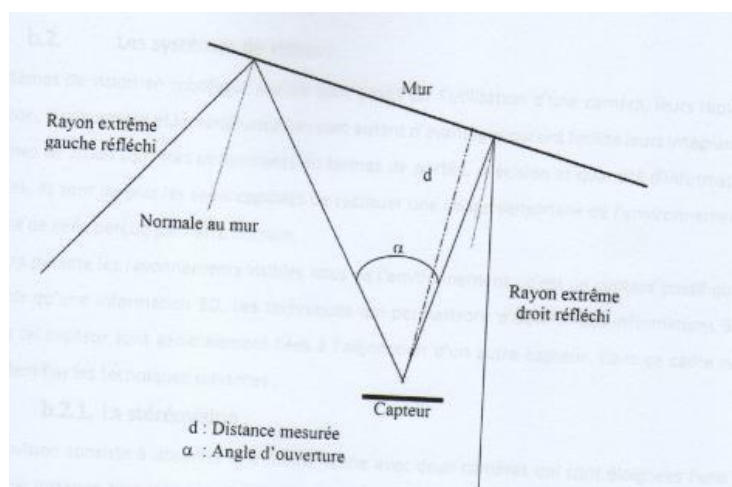


Figure 6 : obstacle en biais détecté par le capteur.

Un capteur à ultrasons émet à intervalles réguliers de courtes impulsions sonores à haute fréquence. Ces impulsions se propagent dans l'air à la vitesse du son. Lorsqu'elles rencontrent un objet, elles se réfléchissent et reviennent sous forme d'écho au capteur. Celui-ci calcule alors la distance le séparant de la cible sur la base du temps écoulé entre l'émission du signal et la réception de l'écho.

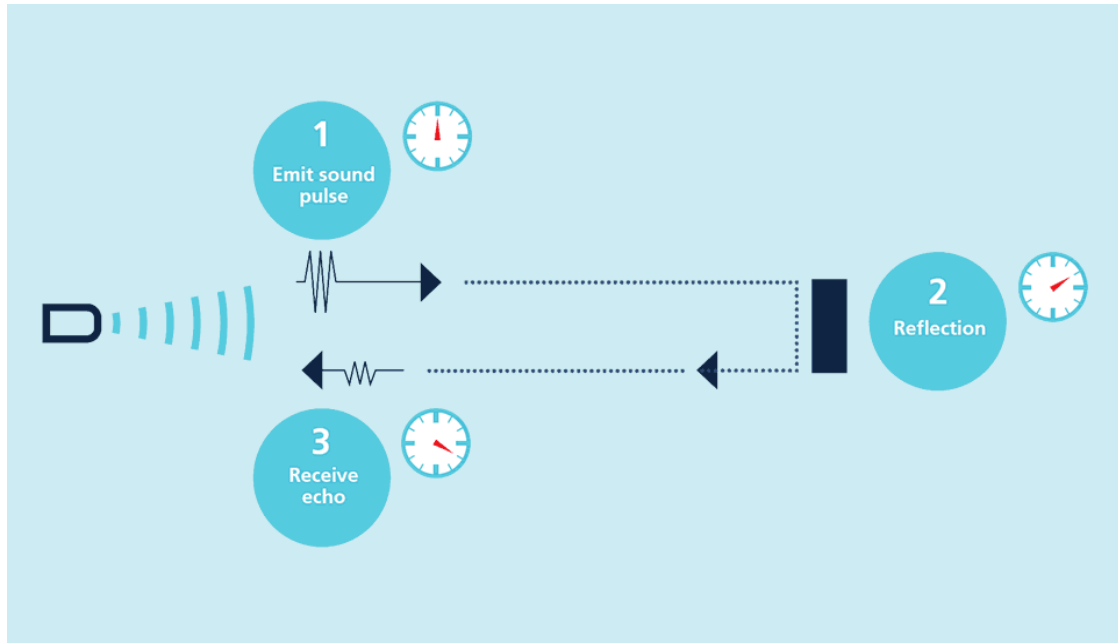


Figure 7 :Le Principe des ultrasons

La distance étant déterminée par le temps de propagation des ultrasons et non par leur intensité, les capteurs à ultrasons conviennent parfaitement à une suppression d'arrière-plan.

Pratiquement tous les matériaux qui reflètent le son peuvent être détectés et ce, quelle que soit leur couleur. Même les matériaux transparents ou les feuilles minces ne représentent aucun problème pour un capteur à ultrasons.

Les capteurs à ultrasons microsonic sont disponibles pour des portées de 20 mm à 8 m et, du fait même de leur principe, donnent la valeur mesurée au millimètre près. Certains capteurs peuvent même atteindre une précision de 0,025 mm.

Les capteurs à ultrasons peuvent voir à travers l'air chargé en poussières et les brouillards d'encre. Même les dépôts minces sur la membrane du capteur ne nuisent pas à son fonctionnement.

Les capteurs avec une zone morte de seulement 20 mm et un faisceau extrêmement étroit trouvent aujourd'hui des applications inédites : mesure du niveau de remplissage des

orifices de plaques d'analyses ou de tubes à essai, ainsi que la détection des petites bouteilles dans l'industrie de l'emballage. Ils peuvent être mis en oeuvre avec facilité. Même les fils minces sont détectés de manière fiable.¹²

I.1.4. Les systèmes de vision :

Les fondements des systèmes de vision robotique mobile reposent sur l'utilisation de caméras. Leurs avantages - acquisition rapide, durabilité et miniaturisation - ont facilité leur intégration. En ce qui concerne la quantité d'informations exploitables, la précision et la portée que les systèmes de vision peuvent fournir, ils sont très efficaces. De plus, ce sont les seuls qui peuvent fournir une représentation sensorielle du monde qui est la plus similaire à ce que les gens peuvent ressentir. Une caméra est un capteur passif qui recueille des informations en deux dimensions en détectant la lumière visuelle de son environnement. Les méthodes d'extraction de données tridimensionnelles à partir de ce type de capteur sont généralement liées à l'inclusion d'un capteur supplémentaire. Il est possible d'identifier les stratégies suivantes dans ce contexte :

Actuellement, l'une des méthodes les plus efficaces de détection dans les robots mobiles, que ce soit pour cartographier les espaces extérieurs ou simuler des environnements intérieurs, est la stéréovision.¹³



Figure 8 :stéréovision

I.1.4.1. Les capteurs à triangulation active :

L'une des méthodes permettant de mesurer avec précision la distance aux cibles est l'utilisation de capteurs à triangulation laser. La méthode est appelée triangulation car l'enceinte du capteur, le laser émis et le laser réfléchi forment un triangle.

Le faisceau laser est projeté par l'instrument et est réfléchi de manière diffuse par la surface d'une cible vers une lentille de collecte. Cette lentille est située à une distance déterminée près de l'émetteur laser. La lentille focalise une image du spot sur un détecteur à matrice linéaire (matrice CMOS). Le détecteur visualise la plage de mesure selon un angle qui varie en fonction du modèle.

La position de l'image du spot sur les pixels du détecteur est ensuite traitée, par des signaux numériques ou analogiques, pour déterminer la distance à la cible. Le détecteur intègre la lumière qui tombe sur lui, ainsi des temps d'exposition plus longs permettent une plus grande sensibilité aux faibles réflexions. Le faisceau est vu d'un côté, de sorte que l'emplacement apparent du spot change avec la distance à la cible.

I.1.4.2. La vision omnidirectionnelle:

Ces systèmes de perception utilisent un élément et une caméra pour fournir une image à 360 degrés de l'environnement. Quatre méthodes distinctes peuvent être identifiées pour produire une image omnidirectionnelle, en fonction des ajouts ou des modifications apportées à une caméra :

- **Création d'images avec plusieurs caméras :** Cette première méthode implique l'utilisation de plusieurs caméras pour couvrir un champ de vision à 360 degrés. Par exemple, quatre caméras espacées de 90 degrés peuvent être utilisées.
 - **Création de plusieurs images par rotation de la caméra :** Dans cette méthode, une caméra est tournée autour d'un axe. Bien qu'une seule caméra puisse capturer l'environnement, une rotation complète est nécessaire pour obtenir une perspective complète à 360 degrés.
 - **Utilisation d'une lentille spéciale :** Cette technique consiste à fixer un ensemble optique, tel qu'une lentille fisheye, à la caméra à dispositif de charge couplée (CCD) pour manipuler les rayons lumineux.
 - **Utilisation de miroirs convexes :** Les miroirs convexes sont utilisés dans cette méthode.

I.2. Conclusion :

Nous avons résumé toutes les idées fondamentales nécessaires pour comprendre la robotique dans ce chapitre, en mettant l'accent sur les robots mobiles. Nous fournissons un résumé des méthodes utilisées dans la planification et la navigation des robots mobiles autonomes. Nous avons également parlé des divers composants matériels qui composent les robots mobiles et de leurs architectures diverses.

Nous avons examiné les nombreuses classes de robots mobiles qui ont été divisées en groupes en fonction d'une gamme de facteurs, tels que le niveau d'autonomie, le domaine d'application et le type de locomotion.

Ensuite, nous avons montré la manière dont un robot interprète son environnement grâce aux données collectées par divers capteurs, ainsi que les principes que ces capteurs emploient et la manière dont le robot utilise ces données pour naviguer autour de son environnement. Cela est accompli en attribuant à chaque robot une architecture de prise de décision unique qui lui permet de fonctionner dans son environnement avec une variété d'actionneurs.

CHAPITRE II:

LA LOCALISATION EN

ROBOTIQUE MOBILE

II.1. Introduction :

Pour pouvoir se localiser dans un environnement, un robot mobile a besoin de capteurs lui fournissant des informations sur sa position absolue dans l'espace. Dans un environnement intérieur, les robots mobiles utilisent principalement l'odométrie, basée sur des données proprioceptives permettant, par intégration du déplacement, de connaître les coordonnées (X, Y, Ψ) d'un point du robot dans un repère absolu.

Pour cela, on utilise un système de mesure relative de position tel que les systèmes inertiels ou les systèmes odométriques. Pour ce dernier type, les erreurs sur le positionnement sont cumulatives. Néanmoins, ces systèmes ont une précision suffisante pour des petits déplacements, tandis que les systèmes inertiels sont d'un coût très important. Nous utiliserons donc un système odométrique.

Afin d'estimer la position et l'orientation du robot, des codeurs optiques sont généralement positionnés sur l'arbre rapide des roues motrices. Cette solution intéressante est néanmoins très sensible aux glissements des roues, ce qui provoque des erreurs importantes sur le positionnement.

En raison des imperfections aléatoires probables de l'état de surface (non-planéité, bosses, fosses, etc.) sur laquelle évolue un robot mobile à roues, ainsi que de la variation de la charge portée par celui-ci, il y a des risques que le robot dérive de sa trajectoire pré-définie même si la technique de navigation dans l'espace de travail du robot mobile est adéquate, ce qui rend toute localisation relative ou absolue erronée. Une navigation correcte et satisfaisante du robot mobile nécessite une localisation précise.

L'odométrie, qui consiste à intégrer les déplacements élémentaires du véhicule, fait appel uniquement à des informations sur l'état interne du robot et elle nécessite un modèle d'évolution du robot mobile. Ses limites sont dues à l'accumulation des erreurs par l'intégration. La localisation absolue, quant à elle, exploite des informations sur la configuration recherchée du véhicule (position et orientation le plus souvent) par rapport à son environnement.

II.2. La localisation d'un Robot mobile :

II.3. Les Méthodes localisation :

Parmi les robots mobiles, l'un des aspects les plus cruciaux et délicats est la localisation instantanée. Cela permet de déterminer les positions suivantes :

- Du dispositif mobile au sein de son environnement.
- Des aspects particuliers de l'environnement par rapport au dispositif mobile.

II.3.1. La localisation relative :

La position relative du robot par rapport à d'autres éléments de son environnement est désignée sous le terme de positionnement relatif. Le positionnement relatif constitue généralement un élément essentiel du système de navigation et de contrôle dans le domaine de la robotique. Typiquement, des capteurs de robot tels que des capteurs à distance, des capteurs de distance laser et des capteurs de vision par ordinateur sont utilisés pour le déterminer, ou des systèmes tels que les systèmes de positionnement mondial (GPS) sont utilisés.

Le robot peut utiliser ces informations pour interagir avec son environnement ou même pour identifier sa position relative par rapport aux obstacles ou aux objectifs. Par exemple, le robot peut utiliser le positionnement relatif pour atteindre précisément une destination ou éviter les obstacles lors de la navigation.

II.3.1.1. Les odomètres :

La méthode d'odométrie est une méthode populaire pour localiser les robots mobiles à roues. Pour déterminer la position et l'orientation du robot par rapport au point de départ, cette méthode intègre les mouvements fondamentaux du robot. Cela est accompli en comptant les impulsions produites par les codeurs sur une période de temps prédéterminée. L'odométrie présente certains avantages, tels que son faible coût et sa facilité d'utilisation, mais son principal inconvénient est sa faible précision sur de longues distances en raison des erreurs accumulées. Borenstein a mené des recherches et a proposé la Correction d'Erreur de Position Interne (IPEC), une technique permettant de corriger les inexactitudes internes, afin d'augmenter la précision des estimations odométriques.

Les odomètres sont également des capteurs essentiels dans les systèmes de navigation des robots qui calculent la distance parcourue. Ces dispositifs peuvent dépendre de diverses technologies, y compris les systèmes de vision par ordinateur, les capteurs de rotation et les

codeurs de roue. Les données odométriques sont cruciales pour mesurer et mettre à jour la position du robot par rapport à son point de départ, ce qui lui permet de traverser son environnement de manière efficace et précise.^{14 15}

- **Calcul de la position par odométrie :**

$$d\Psi = (dU_d - dU_g) / 2h$$

$$dU = (dU_d + dU_g) / 2 \quad (3-1)$$

$$\text{Et} \quad X_{n+1} = X_n + dU \cdot \cos [(\Psi_n + \Psi_{n+1})/2]$$

$$Y_{n+1} = Y_n + dU \cdot \sin [(\Psi_n + \Psi_{n+1})/2] \quad (3-2)$$

$$\Psi_{n+1} = \Psi_n + d\Psi$$

II.3.1.2. Les accéléromètres :

La tension de sortie d'un accéléromètre est proportionnelle à l'accélération linéaire dans une direction définie par sa géométrie. Habituellement, les axes du cadre de référence du robot sont connectés à trois accéléromètres. L'influence de la gravité est incluse dans la valeur mesurée le long de l'axe vertical, et cela doit être ajusté pour déterminer l'accélération verticale réelle du robot. Soit la plate-forme inertielle doit être stabilisée dans le plan horizontal pour faire cela, soit d'autres capteurs tels que des inclinomètres doivent être utilisés pour estimer le vertical local et permettre une correction de mesure. La première approche est rarement appliquée en robotique car elle est coûteuse et délicate à exécuter. Bien que la deuxième option soit plus facile à réaliser, l'inconvénient est d'offrir exclusivement des données fiables dans des circonstances quasi-statiques. Les positions obtenues à partir des accéléromètres sont sujettes à des erreurs, principalement liées aux vibrations et à une estimation verticale imprécise, en raison de la faible bande passante des inclinomètres (de 0 à 2,5 Hz) par rapport aux accéléromètres (de 100 à 1000 Hz) et à leur méthode de calcul (double intégration de la mesure). La dérive est la manière dont ces inexactitudes apparaissent ; la dérive se produit généralement à une vitesse de 1 à 8 cm/s. Les mesures de position et d'orientation obtenues à partir des données brutes des capteurs inertiels (gyroscopes et accéléromètres) sont inutiles sans filtrage prenant en compte la modélisation du terme de dérive en raison de l'importance de ces dérives.

II.3.1.3. Le radar Doppler :

Ces appareils utilisent l'effet de décalage de fréquence entre une onde émise et le faisceau réfléchi sur la surface pendant le mouvement (effet Doppler-Fizeau) pour mesurer la

vitesse relative entre le véhicule et une surface (par exemple, le sol). Ces méthodes sont largement utilisées dans les industries maritimes et aéronautiques, mais elles ont commencé à être utilisées récemment dans le domaine de la robotique, notamment dans la robotique agricole. Pour des plages de mesure comprises entre 0 et 20 m/s, les capteurs ultrasoniques ou micro-ondes fournissent une estimation de la vitesse avec une précision d'environ 2 cm/s. Comparées aux capteurs de corrélation optique, ces méthodes présentent l'avantage de ne pas être affectées par le patinage des roues, mais lorsque la détection de faibles vitesses est requise, leur performance se dégrade rapidement. Étant donné que seule une direction est mesurée, ces capteurs sont principalement utilisés pour estimer la vitesse avant du véhicule.

II.3.1.4. Le gyroscope :

Le capteur gyroscopique peut être utilisé pour maintenir le robot en ligne droite et également pour effectuer des virages précis. Si vous souhaitez qu'un robot se rende à un endroit, puis fasse demi-tour et revienne au même endroit, vous devrez vous déplacer tout droit sur une distance précise, tourner exactement à 180 degrés, puis revenir tout droit sur la même distance. Un capteur gyroscopique permet de rester droit et de tourner avec une grande précision.¹⁶

Ce capteur mesure sa propre rotation autour d'un axe. Chaque fois que ce capteur tourne dans la direction indiquée par le symbole en haut, il mesure l'angle de virage. La mesure renvoyée est en degrés dans le sens horaire ou antihoraire. Comme l'indique la flèche incurvée en haut du capteur, les valeurs augmentent à mesure que le capteur gyroscopique tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Les valeurs diminuent à mesure qu'il tourne dans le sens des aiguilles d'une montre.¹⁷

Le capteur gyroscopique détecte uniquement les mouvements dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens inverse des aiguilles d'une montre sur l'axe indiqué en haut du capteur. Ainsi, si le gyroscope est monté horizontalement au centre du robot, il ne détecte pas si le robot est incliné vers le bas ou vers le haut sur une pente tant que le gyroscope n'a pas tourné dans le sens des aiguilles d'une montre ou dans le sens inverse. Il ne détecte pas non plus si le robot est incliné ou penché d'un côté tant qu'il est toujours orienté vers l'avant. Cependant, un capteur gyroscopique peut être monté sur le côté d'un robot ou sur un manipulateur, ce qui lui permettrait de mesurer l'inclinaison.

Les capteurs gyroscopiques sont intégrés dans de nombreuses technologies où il est important de connaître l'orientation d'un appareil ou de stabiliser un objet.

Certaines utilisations courantes dans la vie quotidienne comprennent :

- Les capteurs gyroscopiques sont intégrés aux petits véhicules motorisés et permettent à la personne de contrôler la vitesse en se penchant en avant et en arrière, tout en maintenant la stabilité du véhicule.
- Les capteurs gyroscopiques sont utilisés pour stabiliser les grands navires ainsi que les trains monorails, afin d'assurer la sécurité des personnes et des marchandises à bord.
- Les capteurs gyroscopiques sont utilisés pour mesurer les mouvements de certains appareils électroniques portables, tels que les télécommandes de jeux vidéo.¹⁸

II.3.2. La localisation absolue :

II.3.2.1. Les capteurs extéroceptifs :

Pendant son déplacement, le robot peut détecter son environnement grâce à des capteurs externes. En général, ils sont un complément crucial aux capteurs décrits précédemment. Les capteurs télémétriques et les systèmes de vision sont les deux types de capteurs externes embarqués qui peuvent être distingués. Ces capteurs sont utilisés pour la sécurité et la prévention du robot ainsi que pour évaluer les interactions entre le robot et son environnement et pour confirmer et améliorer la trajectoire suivie par le robot.

Nous nous concentrerons sur le capteur ultrasonore parmi les capteurs externes qui seront examinés dans la prochaine section. Ce dernier est présent dans presque tous les robots mobiles et est un composant des capteurs de distance de portée moyenne. Plusieurs capteurs sont fréquemment positionnés tout autour du robot, agissant comme une sorte de ceinture de sécurité principalement utilisée pour la détection des obstacles.

II.3.2.1.1. Les télémètres laser :

Les catégories suivantes de capteurs sont fréquemment utilisées en robotique mobile :

- Détecteurs laser
- Détecteurs infrarouges
- Détecteurs sonar

Chacun de ces capteurs a un principe de fonctionnement unique et un ensemble de compétences perceptuelles.

II.3.2.1.2. Les capteurs infrarouges :

Un ensemble de paires émetteur/récepteur utilisant un rayonnement non visible avec une longueur d'onde légèrement inférieure à la lumière rouge visible constitue des capteurs infrarouges. Ces dispositifs sont rarement utilisés comme télémètres car la mesure du rayonnement infrarouge est limitée et la qualité se détériore considérablement au-delà d'un mètre. Leur utilisation la plus courante est comme détecteurs de proximité. Il est important de se rappeler que ce type de détection est sensible à des facteurs externes tels que la température, la pression, la réflectivité des surfaces où le rayonnement infrarouge est réfléchi et la lumière ambiante. Ces capteurs ont une zone de détection conique qui ajoute de l'incertitude à leurs caractéristiques, les rendant non directionnels. Enfin, une distance de détection minimale est imposée par le passage entre les phases d'émission et de réception. Ces capteurs sont des télémètres pour de courtes distances. ¹⁹

Selon le modèle, ils disposent de sorties numériques ou analogiques et utilisent la détection infrarouge pour déterminer des distances absolues ou relatives. L'inclinaison du faisceau réfléchi est utilisée pour déterminer la mesure ; comme l'illustre la figure 16, le faisceau est réellement dévié à l'aide d'un système optique dans une matrice de photodiodes (PSD) :

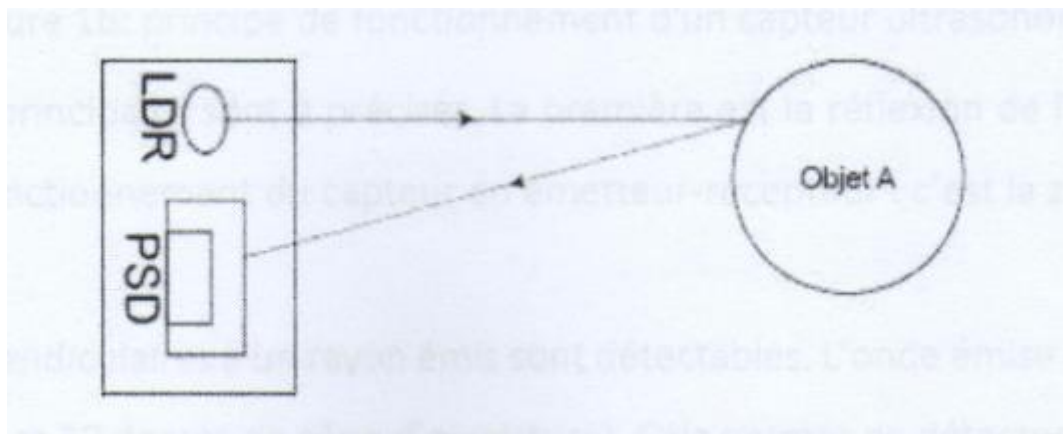


Figure 9 :Télémètres infrarouges

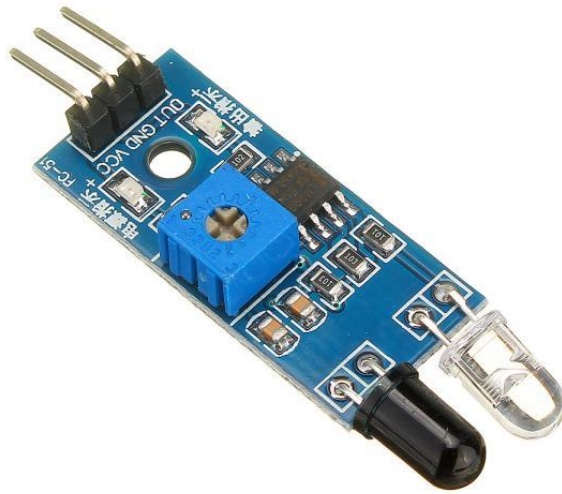


Figure 10:capteur infrarouge

II.3.2.1.3. Les capteurs ultrason :

Un outil électronique qui mesure la distance à un objet en envoyant des ultrasons (fréquences supérieures à l'audio humain) et en recevant des ondes réfléchies du corps.

Ce capteur se compose de deux parties principales : l'émetteur et le récepteur. L'émetteur envoie une impulsion d'ultrasons à travers un cristal d'électro pression.²⁰

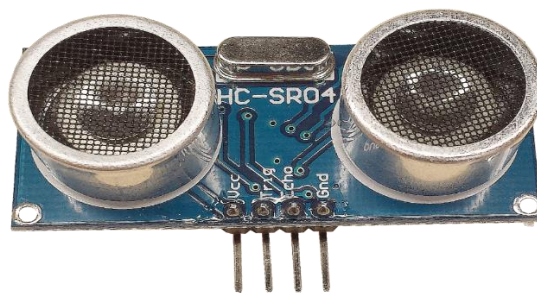


Figure 11:Capteur de Ultrason

Ce capteur contient quatre broches et la configuration des broches de ce capteur est décrite ci-dessous :

- Pin1 (Vcc): Cette broche fournit une source d'alimentation +5V pour le capteur.
- Pin2 (Déclencheur): Cette broche d'entrée est utilisée pour configurer la mesure en envoyant des ultrasons en gardant cette broche haute pour 10 nous.

- Pin3 (Echo): Il s'agit de la broche de sortie, qui monte pendant une période de temps spécifiée et sera équivalente au temps qu'il faut pour que l'onde revienne au capteur.
- Pin4 (masse) : Il s'agit d'une broche GND utilisée pour se connecter au GND du système.

II.3.2.1.4. Les Balises à laser :

Le capteur laser fonctionne en générant des ondes électromagnétiques et en dirigeant un faisceau de lumière hautement focalisé vers l'objet dont nous devons mesurer la distance. La distance est ensuite calculée en suivant le mouvement de l'onde réfléchi par l'objet. Une analyse approfondie de ce type de capteur est détaillée dans [2]. En raison de leurs nombreux avantages, les systèmes laser sont couramment utilisés comme capteurs dans les applications de robotique mobile : ²¹

- **Résolution angulaire précise** : Les petites lentilles d'émission peuvent produire des faisceaux angulaires extrêmement fins grâce à la courte longueur d'onde d'émission.
- **Réponse optique de la cible** : Les longueurs d'onde courtes augmentent les chances de détection en permettant des réflexions à des angles d'incidence du faisceau sur la cible allant jusqu'à 75 degrés.
- **Précision de mesure de la distance par rapport à la portée** : Les distances pouvant aller jusqu'à trente mètres peuvent être mesurées avec une précision allant jusqu'à un dixième de millimètre.

Cependant, les lasers présentent un inconvénient majeur en ce que leurs circuits de mesure doivent être capables de mesurer à des intervalles de l'ordre de la picoseconde pour atteindre une précision de mesure de la distance à l'échelle du millimètre. Cela nécessite un équipement sophistiqué et coûteux. Les systèmes laser sont principalement utilisés dans la robotique mobile de trois manières principales : ²²

- **Comme télémètres** : Ils sont utilisés pour mesurer les distances, tout comme les capteurs ultrasoniques.
- **Comme goniomètres** : Ils sont utilisés pour mesurer les angles.
- **Dans la modélisation environnementale 3D**: ils sont généralement utilisés comme sources de lumière structurée. Dans ce cas, la source laser est toujours associée à une caméra et fournit des informations de profondeur.

II.3.2.2. Localisation par vision artificiel :

Quand il s'agit de recueillir des informations de l'environnement et de faciliter l'interaction intelligente avec des situations dynamiques (y compris éviter les obstacles en mouvement et interagir avec d'autres agents mobiles), la vision est le sens chez les humains qui envoie le plus d'informations au cerveau. Par conséquent, la grande quantité de recherches sur la création de capteurs visant à imiter le système visuel humain n'est pas surprenante. De plus, les capteurs visuels utilisés par les robots intelligents doivent répondre à la lumière de la même manière que notre propre système de vision.

Au cours des vingt dernières années, les progrès de la technologie informatique et de la fabrication des caméras ont rendu possible l'intégration de systèmes de vision complexes dans les systèmes embarqués des robots. Ces systèmes peuvent être trouvés dans les voitures pour l'assistance au conducteur ou sur les robots mobiles pour la navigation autonome. La vision artificielle est particulièrement significative car elle donne aux robots la capacité de réagir à leur environnement en produisant des représentations que le robot peut utiliser pour guider ses décisions.

Les systèmes de vision robotique reposent sur l'utilisation de caméras CCD. Le développement de la vision a été grandement facilité par l'introduction des capteurs CCD (dispositifs à transfert de charges) en 1975. Leur intégration a été rendue possible par leurs avantages en termes de vitesse d'acquisition, de robustesse et de compacité. En ce qui concerne la quantité d'informations exploitables, la précision et la portée que les systèmes de vision peuvent gérer, ils sont assez efficaces. De plus, ils sont les seuls capables de reproduire une représentation sensorielle du monde qui est la plus similaire à ce que voient les personnes.²³



Figure 12: Camera CCD (Conrad BC-103 Sony)

L'utilisation de la localisation basée sur la vision est le fondement de notre travail. L'objectif est d'utiliser une caméra externe perpendiculaire à l'environnement dans lequel le robot se déplace en conjonction avec un algorithme de traitement vidéo pour identifier la position initiale du robot en fonction de deux coordonnées (x, y) et de son angle d'orientation.

Deux régions colorées sur le robot indiquent l'environnement partiellement compris dans lequel il se déplace, tandis qu'une troisième couleur désigne la destination souhaitée pour le robot.

Les quatre phases qui composent l'approche de localisation basée sur la vision de notre travail sont les suivantes :²⁴

- L'acquisition d'informations implique de filmer les environs dans lesquels le robot se déplace.
- La détection de couleur : Pour identifier les deux couleurs et, par conséquent, la position et l'objectif du robot, cette étape implique généralement des techniques de traitement d'image telles que le filtrage et la détection de couleur.
- L'extraction des coordonnées consiste à déterminer la position en deux coordonnées (x, y) pour chaque couleur dans la scène.
- Le calcul de la position et de l'orientation d'un robot est réalisé en utilisant les correspondances créées dans la phase précédente.

II.3.2.3. Le géo-positionnement :

Le système de positionnement global (GPS) du département de la Défense des États-Unis, qui utilise une constellation de vingt-quatre satellites en orbite haute, est l'un des systèmes les plus connus dans la mémoire récente. Chaque satellite localise des récepteurs terrestres fixes ou mobiles qui se trouvent dans son champ de vision, et il envoie un signal à chacun d'eux à des intervalles prédéterminés contenant des données sur son identité, l'heure de sa transmission et les paramètres qui définissent son orbite, ce qui détermine à son tour sa position. En théorie, pour qu'un récepteur soit situé dans un système de coordonnées centré sur la Terre, il doit être visible par un minimum de trois satellites. Cela se fait en calculant l'intersection de trois sphères, ou de trois cercles dans le cas d'un système mobile basé au sol. En réalité, quatre mesures de distance sont nécessaires pour tenir compte des décalages temporels entre les mesures des satellites et du récepteur afin d'obtenir une précision satisfaisante.

Cependant, cette technique est loin de fournir une solution complète à tous les problèmes de localisation des systèmes mobiles. Elle est inopérante en ville et ne peut pas être utilisée à l'intérieur en raison de l'atténuation significative des ondes lorsqu'elles traversent les murs. Très souvent, sa précision est trop faible pour qu'un système mobile basé au sol puisse se fier uniquement à cette information. Dans l'utilisation réelle, elle est souvent combinée à un système inertiel pour compenser la perte de signal GPS. De toute façon, elle ne remplace pas les capteurs du dispositif mobile, qui lui permettent de détecter son environnement immédiat.

II.4. Conclusion :

Un composant critique de l'opération des robots mobiles est la localisation, qui demande des techniques précises et fiables pour déterminer l'orientation et la position des robots dans leur environnement. L'introduction souligne les limitations des systèmes odométriques précédents en raison de l'accumulation d'erreurs et insiste sur la nécessité de cette localisation pour permettre aux robots de se déplacer efficacement dans leur espace de travail.

Les deux principales techniques de localisation abordées dans ce chapitre sont la localisation absolue et relative. La localisation relative utilise des capteurs embarqués pour évaluer en temps réel la position du robot par rapport à son environnement. Ces capteurs comprennent des accéléromètres, des gyroscopes, des radars Doppler et l'odométrie. En ce qui concerne la précision et la résilience, chacun de ces capteurs présente des avantages et des inconvénients uniques.

En revanche, la localisation absolue utilise des capteurs externes pour localiser précisément le robot dans un système de coordonnées absolues, y compris des télémètres laser, des capteurs infrarouges, des capteurs ultrasoniques et des balises laser. Elle utilise également le système de positionnement global (GPS). Bien que ces capteurs aient une précision plus élevée, des interférences externes ou des obstacles peuvent restreindre leur utilisation.

Le chapitre se conclut avec la localisation utilisant la vision artificielle, qui enregistre et analyse l'environnement visuel du robot à l'aide de caméras CCD. Bien que cette approche soit assez flexible et précise, elle peut être sensible aux changements de luminosité et de luminosité.

Dans l'ensemble, le chapitre met en évidence la diversité des méthodes de localisation disponibles pour les robots mobiles, en soulignant l'importance de choisir la méthode appropriée en fonction des exigences spécifiques de l'application et des contraintes environnementales.

CHAPITRE III:
RÉALISATION D'UN ROBOT
MOBILE

III.1. Introduction:

Nous passons maintenant à la mise en œuvre pratique après une étude théorique. La sélection du châssis approprié est le premier des nombreux défis à relever en pratique. Dans le chapitre précédent, nous avons créé un cadre pour la conception de notre robot ; l'étape suivante consiste à le mettre en pratique. Pour ce faire, nous devons d'abord établir une méthode pour la mise en œuvre matérielle et logicielle, puis nous procéderons aux tests et à l'analyse des résultats.

III.1.1. Architecture du robot mobile:

Toute l'architecture de notre robot s'articule autour de la carte Raspberry Pi 4 qui assure l'interfaçage entre les différents organes du robot. L'acquisition des données du monde extérieur étant assurées par le capteur ultrasonore, ainsi que la prise de décision, la figure suivante représente les différentes interactions entre tous les constituants du robot:

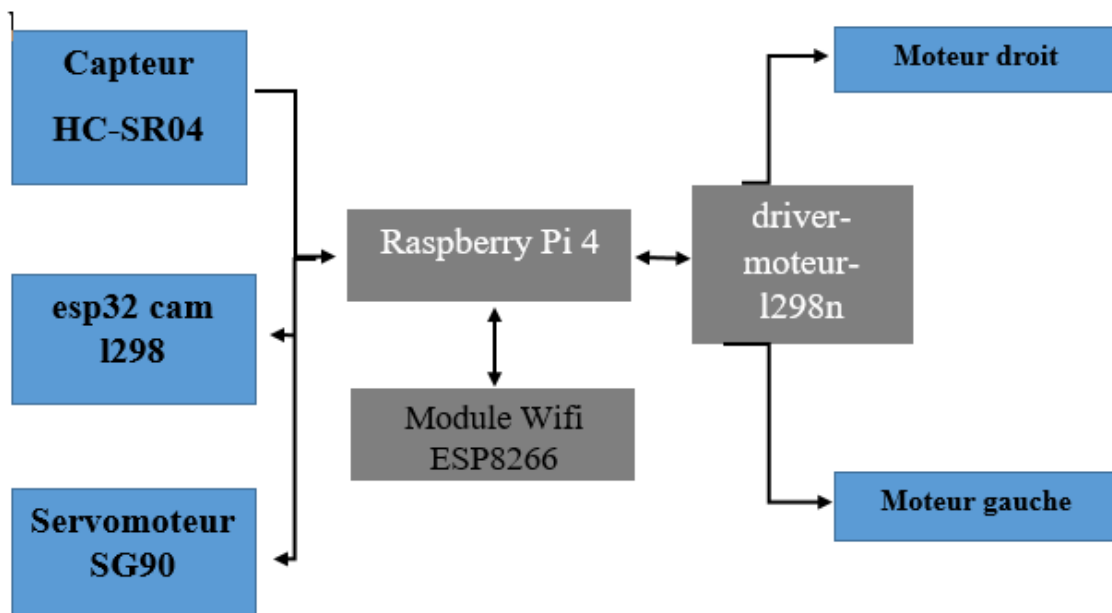


Figure 13 :Architecture de notre robot mobile

III.1.2. La réalisation matérielle:

III.1.3. La perception

III.1.3.1. Les systèmes de vision par ESP32 Cam :

La caméra ESP32 est un instrument efficace pour détecter les incendies dans divers environnements. Grâce à l'utilisation de capteurs sophistiqués, cette caméra enregistre à la

fois les radiations visibles et infrarouges émises par la fumée et les incendies. Sa technologie avancée lui permet de fournir des informations précises et actualisées sur l'emplacement du feu.²⁵

La caméra ESP32 est dotée d'une intelligence artificielle intégrée qui lui permet d'interpréter et d'analyser les images, ce qui lui permet d'identifier rapidement et précisément les schémas d'incendie. Lorsqu'un incendie est détecté, la caméra peut diffuser des alertes et des photos vers un système central ou des appareils mobiles via un réseau Wi-Fi, ce qui accélère les temps de réponse et minimise les dégâts.²⁶

La fonction de détection d'incendie de la caméra ESP32 offre un moyen fiable et efficace d'améliorer les systèmes de sécurité des bâtiments et des installations. Grâce à son coût abordable et à sa simplicité d'intégration avec les systèmes existants, elle est devenue l'option idéale pour renforcer les protocoles de sécurité et surveiller en continu les incendies.²⁷

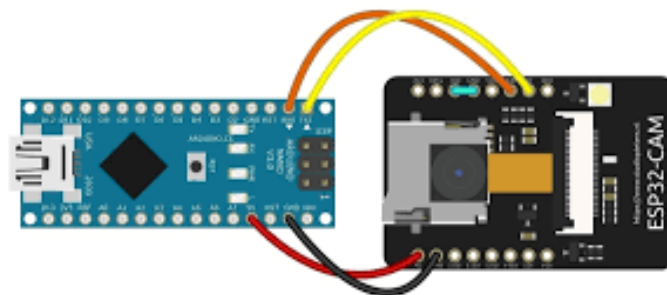


Figure 14: Esp32-Cam avec IDE Arduino.

III.1.3.2. La stereovision:

En stéréovision, deux caméras sont placées à une distance connue l'une de l'autre et observent la même scène. Faire correspondre les deux images est la première étape de la reconstruction en 3D, car cela nécessite une connaissance précise de la géométrie du système stéréoscopique. L'idée derrière la reconstruction de la profondeur est la même que celle derrière la vision humaine. Une description plus détaillée de l'idée de la stéréovision peut être trouvée dans la Figure 08. Tout point M visible par les deux caméras est projeté sur P_1 sur le plan image de la première caméra et sur P_2 sur le plan image de la deuxième caméra. D'autre part, en donnant deux points équivalents, P_1 et P_2 , et la distance D entre les centres optiques

des deux caméras, O_1 et O_2 , les coordonnées du point P sont déterminées par l'intersection de (O_1P_1) et (O_2P_2) .

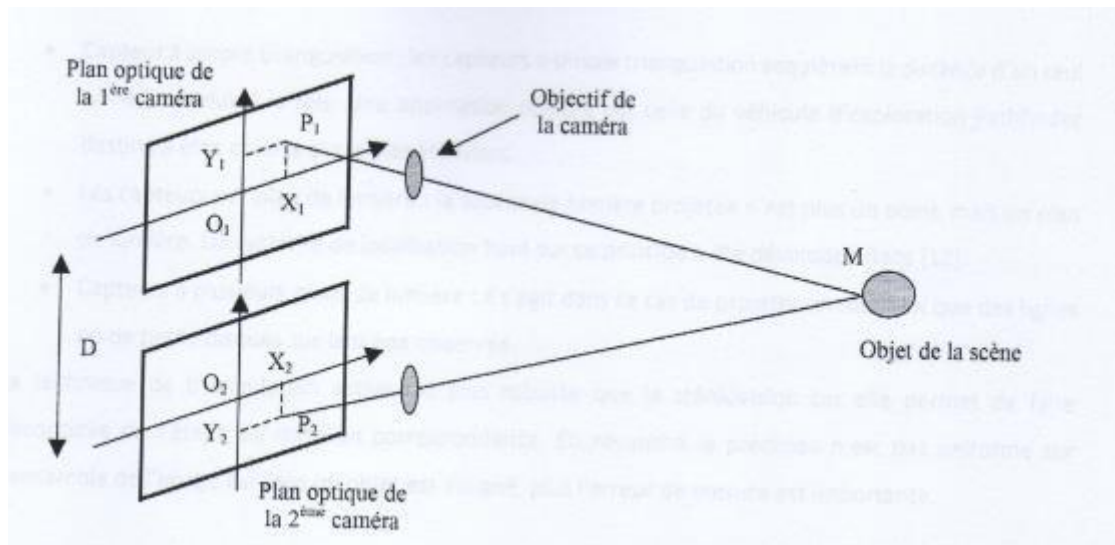


Figure 15: Principe de la stereovision

III.1.3.3. La communication via Wi-Fi :

Parfois, la trajectoire du robot doit être corrigée par les humains, car elle peut être erronée en raison de divers défauts que le robot pourrait rencontrer (données de capteurs défectueuses, environnement non contrôlé, composant du robot défectueux, etc.). Bien que différentes technologies de communication sans fil (telles que Bluetooth, XBee, ZigBee, etc.) pourraient être utilisées comme alternatives, nous choisissons d'utiliser le contrôle Wifi dans notre travail pour atteindre cet objectif particulier. Comme nous n'avons pas besoin de fabriquer l'émetteur, la technologie Wifi présente l'avantage de fournir un moyen efficace et simple de gérer le robot via divers appareils (ordinateur, téléphone, tablette), ce qui réduit considérablement les dépenses.

Remote control of the robot is done using the ESP8266-07 module. This module has 16 pins, but we will only use 5 of them which are as follows:

GND: Connected to the ground of the Arduino.

VCC: Connected to the 3.3V power supply.

TXD: Connected to the RX pin of the Arduino.

RXD: Connected to the TX pin of the Arduino.

CH-PD: Chip Select Power Down.

A noté :

- ✓ Lors du branchement de CH-PD du module wifi à l'Arduino il faut rajouter une Résistance de 10 kOhms de manière à réduire le courant entrant dans la broche.
- ✓ L'alimentation du module se fait avec 3.3V même si l'ESP8266 possède un Dispositif de sécurité jusqu'à 5.8V.

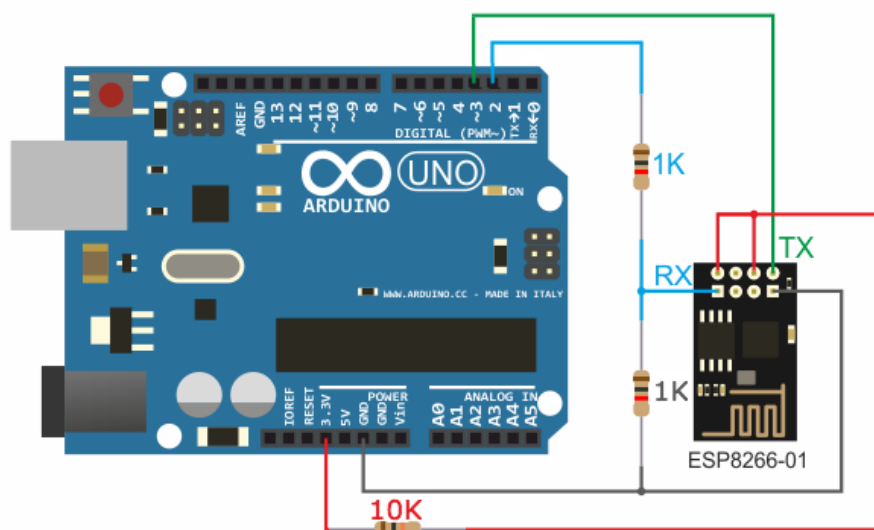


Figure 16 :Branchement de l'ESP8266 à l'Arduino.

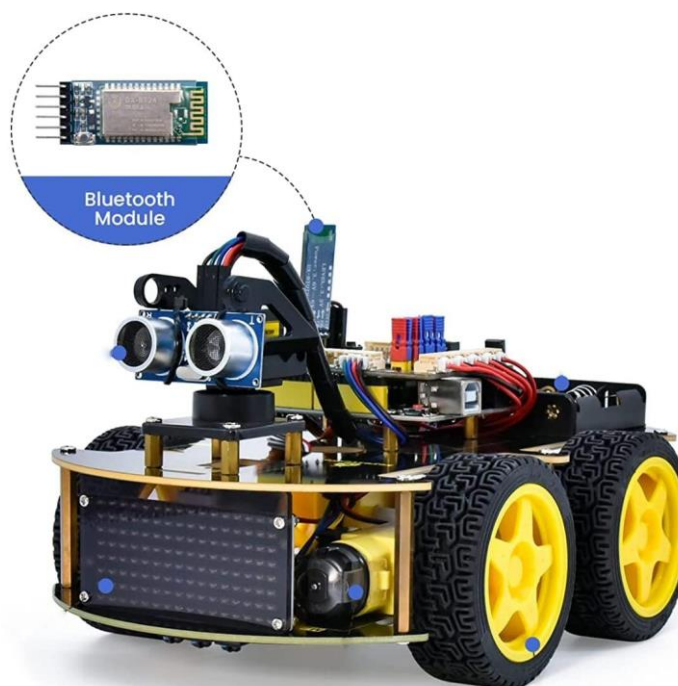


Figure 17: l'ESP8266 avec Robot

III.1.4. Fonctionnement du module :

Le module ESP8266 dispose de trois modes de fonctionnement :

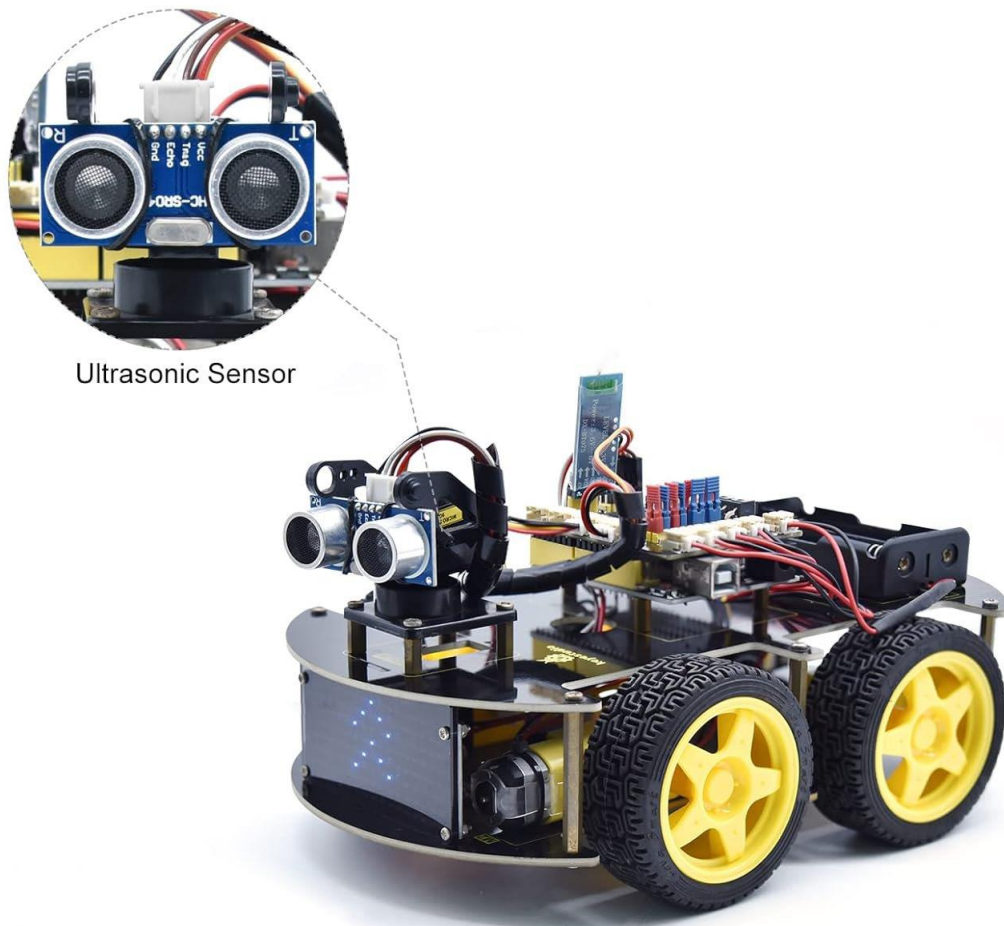
- ✓ Mode client : Ce mode se connecte à un ordinateur ou à un autre point d'accès via le réseau Wi-Fi.
- ✓ Mode serveur : Ce mode lui permet d'agir en tant que maître ou serveur pour plusieurs autres entités.
- ✓ Mode client et serveur : Dans ce mode, les deux scénarios précédents sont combinés.

Des commandes spécifiques, appelées commandes AT, sont utilisées pour configurer ce module et choisir ces modes de fonctionnement.

- ✓ Mode client : Ce mode se connecte à un ordinateur ou à un autre point d'accès via le réseau Wi-Fi.
 - ✓ Mode serveur : Ce mode lui permet d'agir en tant que maître ou serveur pour plusieurs autres entités.
 - ✓ Mode client et serveur : Dans ce mode, les deux scénarios précédents sont combinés.
- Des commandes spécifiques, appelées commandes AT, sont utilisées pour configurer ce module et choisir ces modes de fonctionnement.

III.1.4.1. Ultrasons HC-SR04:

Puisque la perception permet à un robot mobile autonome d'éviter les obstacles dans son environnement, elle est sans aucun doute le composant le plus crucial du robot. Nous croyons que le capteur ultrasonique HC-SR04, dont nous avons couvert le principe de fonctionnement dans la section conception, garantira la perception. Le robot peut voir son environnement et identifier les obstacles en utilisant des ondes ultrasoniques pour les détecter grâce au capteur ultrasonique qui fonctionne comme ses yeux.



Ultrasonic Sensor

Figure 18: Installation d'un capteur à ultrasons dans un robot.

III.1.4.2. Les motoréducteurs:

Nous avons déjà présenté dans le chapitre précédent les motoréducteurs ainsi que leur Avantage. Pour notre part dans notre travail nous utilisons les motoréducteurs dans la Référence est DC Gearbox Motor TT Motor (voir figure 23). Ces moteurs ont les caractéristiques suivantes :

- ✓ Rated Voltage: 3~6V
- ✓ Continuous No-Load Current: 150mA +/- 10%
- ✓ Min. Operating Speed (3V): 90+/- 10% RPM
- ✓ Min. Operating Speed (6V): 200+/- 10% RPM
- ✓ Torque : 0.15Nm ~0.60Nm



Figure 19: TT Motor DC

III.2. La commande des motoréducteurs:

Comme mentionné précédemment dans le chapitre, nous devons être capables de réguler les vitesses de rotation et les directions uniques des deux moteurs afin de contrôler le mouvement du robot. Par conséquent, si les deux moteurs tournent dans la même direction, le robot avancera ; s'ils tournent dans des directions opposées, le robot reculera. Les moteurs doivent tourner en sens opposé pour tourner à gauche ou à droite.

Nous utiliserons un double pont en H (Dual Full-Bridge driver), le L298 ; ce driver est inclus dans presque tous les shields moteurs pour Arduino, pour contrôler la direction de rotation. C'est une approche très efficace pour éviter d'avoir beaucoup de connexions, ce qui peut être très inconfortable et parfois inapproprié.^{28 29}

III.2.1.1. Le pont H double L298P :

Parfait pour notre objectif, le L298P est un circuit intégré à 15 broches avec deux ponts en H (pont A et pont B). Il rend le contrôle de deux moteurs simultanément assez simple. Il peut fournir jusqu'à 2A nominativement par pont et jusqu'à 3A brièvement lorsqu'il fonctionne à des tensions et des courants élevés. Mesurer le courant circulant à travers le pont est une autre

fonction intéressante qu'il offre (essentielle pour déterminer si notre moteur a atteint un arrêt, par exemple). Il fonctionne à 46 volts par pont (avec la possibilité d'atteindre 50 volts). Il est conseillé d'utiliser des condensateurs de 100nf sur chaque ligne d'alimentation pour obtenir les meilleures performances (habituellement, selon l'alimentation, des condensateurs de 100µf ou plus sont utilisés pour mieux les découpler). Sa tension d'alimentation logique varie de 4,5V à 7V, et sa logique zéro peut chuter à 1,5V, offrant une immunité incroyable contre le bruit et les interférences causés par les moteurs à courant continu.

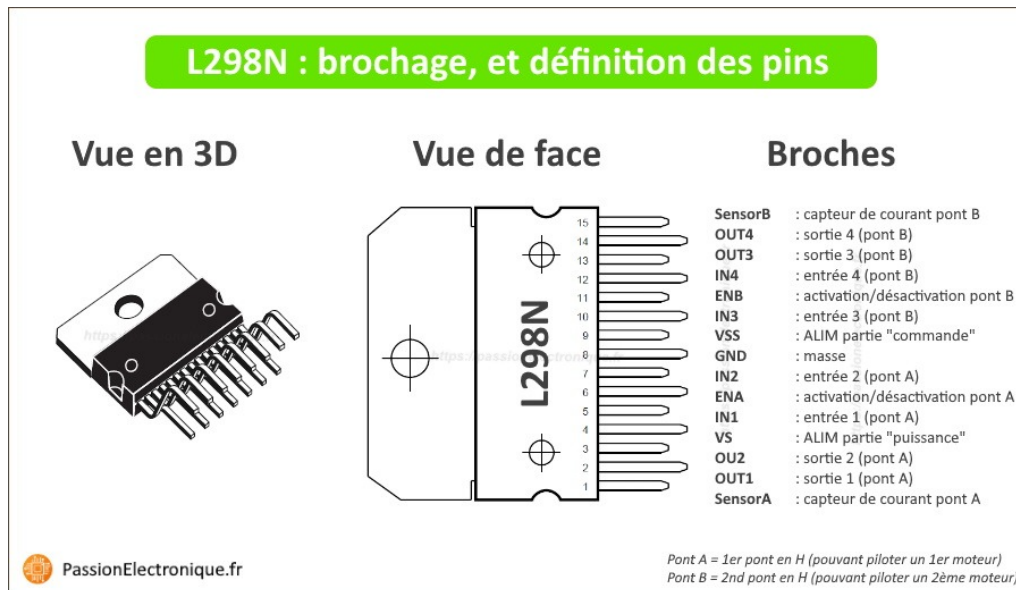


Figure 20: Brochage, et definition des pins.

III.2.2. La realisation logical:

III.2.3. La programmation de l'Arduino:

Pour programmer l'Arduino, il doit être connecté à un ordinateur via une connexion USB (de type A à type B) (voir Figure 29). Ensuite, l'Arduino IDE (Integrated Development Environment) doit être installé sur l'ordinateur. Cela nous permettra de programmer la carte Arduino.



Figure 21: Câble USB (fiche A vers B).

Les programmes écrits à l'aide de l'IDE Arduino sont appelés des "croquis" ou "Sketch" en anglais, et ils ont l'extension ". Ino".

En essence, l'IDE Arduino fonctionne comme un compilateur. Qu'est-ce qu'un compilateur précisément, alors ?

III.2.4. Présentation du logiciel:

III.2.5.L'ide d'Arduino:

L'IDE d'Arduino (Integrated Development Environment) est un logiciel qui permet de programmer les cartes Arduino. Il fournit une interface simple pour écrire, éditer, et téléverser des programmes (appelés croquis ou sketches) sur les cartes Arduino. L'IDE inclut également un éditeur de texte avec des fonctionnalités comme la coloration syntaxique et des outils pour vérifier et compiler le code, ainsi que pour gérer les bibliothèques.^{30 31}



Figure 22 :interface avec les icônes Arduino IDE.

III.2.5.1. Programmation sous l'ide d'Arduino:

Comme nous l'avons déjà dit dans la partie conception, le langage de programmation de l'Arduino est dérivé du C et du C++. Il respecte donc les règles de syntaxe propres à ces langages, qui restent relativement abordables. Voici un guide simple pour commencer à programmer avec l'IDE Arduino.³²

III.2.5.2. Structure de Base d'un Programme Arduino :

Un programme Arduino (appelé sketch) est structuré en deux parties principales :^{33 34}

1. **Setup ()** : Cette fonction s'exécute une seule fois lorsque la carte démarre. Elle est utilisée pour initialiser les paramètres et configurer les broches.

```
void setup() {
  // Code d'initialisation
}
```

2. **Loop ()** : Cette fonction s'exécute en boucle infinie après l'exécution de `setup ()`. C'est ici que se trouve le code principal du programme.

```
void loop() {  
    // Code principal exécuté en boucle  
}
```

3. Exemple de Programme :

Voici un exemple de programme simple qui fait clignoter une LED connectée à la broche 13 de la carte Arduino :

```
void setup() {  
    // Initialiser la broche 13 comme une sortie  
    pinMode(13, OUTPUT);  
}  
  
void loop() {  
    // Allumer la LED  
    digitalWrite(13, HIGH);  
    // Attendre une seconde  
    delay(1000);  
    // Éteindre la LED  
    digitalWrite(13, LOW);  
    // Attendre une seconde  
    delay(1000);  
}
```

- **Compilation et Téléversement :** ³⁵

1. Vérifier le Code :

Cliquez sur le bouton de vérification (icône de check mark) pour compiler le code et vérifier qu'il n'y a pas d'erreurs.

2. Téléverser le Code :

Cliquez sur le bouton de téléversement (icône de flèche droite) pour transférer le programme à la carte Arduino.

- **Utilisation des Bibliothèques :**

L'IDE Arduino permet également d'utiliser des bibliothèques pour étendre les fonctionnalités de base. Par exemple, pour utiliser un capteur spécifique, vous pouvez inclure une bibliothèque correspondante :

```
#include <LibraryName.h> // Inclure la bibliothèque

void setup() {
    // Initialisation spécifique à la bibliothèque
}

void loop() {
    // Code utilisant la bibliothèque
}
```

En résumé, la programmation avec l'IDE Arduino est accessible et flexible, permettant de réaliser une large variété de projets électroniques avec une syntaxe simple et des outils puissants.

III.3. Application pour Mobile et Ordinateur :

Dans le cadre de notre projet visant à améliorer la lutte contre les incendies de forêt, nous avons développé une application mobile et une application pour ordinateur. Ces applications jouent un rôle crucial dans la gestion, le contrôle et la surveillance de nos robots autonomes, permettant une interaction en temps réel et une collecte de données efficace.

III.3.1. Fonctionnalités de l'Application Mobile :

L'application mobile, disponible sur les plateformes Android et iOS, offre plusieurs fonctionnalités clés :³⁶

- **Suivi en Temps Réel :** Les utilisateurs peuvent suivre en temps réel la position et les activités des robots sur une carte interactive.
- **Alertes et Notifications :** En cas de détection d'un foyer d'incendie, l'application envoie des notifications instantanées aux utilisateurs, leur permettant de réagir rapidement.
- **Contrôle à Distance :** Les utilisateurs peuvent contrôler certaines fonctions des robots, comme l'activation des systèmes d'extinction ou la modification de leur itinéraire.

- **Analyse des Données** : L'application compile et affiche des données environnementales recueillies par les capteurs des robots, facilitant l'analyse et la prise de décision.

III.3.2. Fonctionnalités de l'Application pour Ordinateur :

L'application pour ordinateur, compatible avec les systèmes Windows et macOS, offre une interface plus complète pour la gestion et l'analyse des opérations :

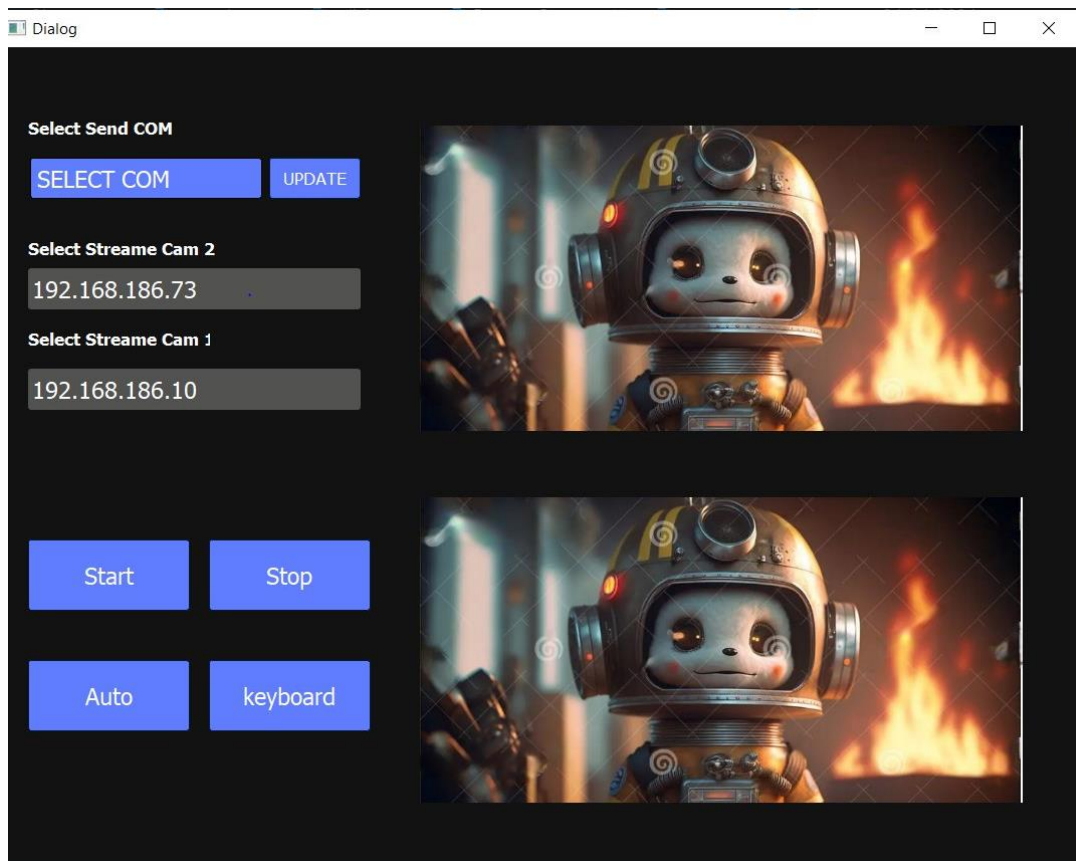


Figure 23: Interface du programme pour le contrôle des caméras de surveillance et des robots.

- **Interface de Gestion** : Une interface utilisateur avancée pour la gestion des robots, incluant la configuration des missions, la surveillance de l'état des robots et l'accès aux journaux d'activité.
- **Cartographie Avancée** : Utilisation de données géospaciales pour fournir des cartes détaillées et des simulations 3D des zones surveillées.
- **Rapports et Statistiques** : Génération de rapports détaillés sur les interventions, incluant des statistiques sur la performance des robots et les impacts des incendies.
- **Intégration avec les Systèmes de Surveillance** : Connexion avec d'autres systèmes de surveillance et bases de données pour une coordination optimale des ressources.

III.3.3. Technologies utilisées :

Pour développer ces applications, nous avons utilisé les technologies suivantes :

- **Développement Mobile** : Flutter pour un développement multiplateforme efficace.
- **Développement Desktop** : Electron.js pour créer des applications de bureau multiplateformes avec JavaScript.
- **Backend** : Firebase pour la gestion de la base de données en temps réel et l'envoi de notifications push.
- **Cartographie** : Utilisation de Mapbox pour les fonctionnalités de cartographie interactive et de visualisation des données.

III.3.4. Avantages des Applications :

Les applications mobiles et de bureau offrent de nombreux avantages pour la gestion et la lutte contre les incendies de forêt :³⁷

- **Accessibilité et Réactivité** : Les utilisateurs peuvent accéder aux informations et contrôler les robots de n'importe où et à tout moment.
- **Amélioration de la Sécurité** : Réduction des risques pour les équipes humaines grâce à la gestion à distance des robots.
- **Efficacité Opérationnelle** : Optimisation des interventions grâce à l'analyse en temps réel des données et à la coordination améliorée des ressources.
- **Prise de Décision Informée** : Accès à des données précises et à jour pour une meilleure compréhension des situations d'urgence et des environnements surveillés.

L'intégration d'applications mobile et de bureau dans notre projet représente une avancée significative dans l'utilisation des technologies numériques pour la gestion des incendies de forêt. Ces outils permettent non seulement de renforcer l'efficacité des interventions mais aussi de minimiser les risques pour les intervenants et de maximiser la protection des écosystèmes.

III.4. Contrôle à Distance par la Main :

L'intégration du contrôle manuel à distance dans notre système de robot mobile ajoute une dimension supplémentaire de flexibilité et d'interactivité. Ce contrôle est rendu possible grâce à l'utilisation de gants sensoriels équipés de divers capteurs qui captent les mouvements de la

main et des doigts. Ces mouvements sont ensuite traduits en commandes spécifiques pour le robot.

III.4.1. Technologie utilisée :

III.4.1.1. Gants sensoriels :

Les gants sont dotés de capteurs flexibles et de capteurs de mouvement inertiels (IMU) qui détectent les courbures des doigts et les mouvements de la main dans l'espace.

Ces gants peuvent inclure des capteurs tactiles pour enregistrer des gestes spécifiques tels que des tapotements ou des glissements.

III.4.1.2. Communication sans fil :

Les données des gants sont transmises au robot via une connexion Bluetooth ou Wi-Fi, assurant une communication en temps réel.

L'ESP8266 ou un module Bluetooth peut être utilisé pour cette communication sans fil.

III.4.1.3. Traitement des Données :

Une carte Raspberry Pi 4 traite les signaux reçus des gants et les convertit en commandes de mouvement pour le robot.

Le logiciel de traitement utilise des algorithmes de reconnaissance de gestes pour interpréter les différents mouvements de la main.

III.4.2. Fonctionnalités de Contrôle :

III.4.2.1. Mouvement directionnel :

En inclinant la main dans différentes directions, l'utilisateur peut contrôler le déplacement du robot (avant, arrière, gauche, droite).



Figure 24: Instructions pour contrôler un robot avec une télécommande à mouvement manuel.

III.4.2.2. Commandes de Précision :

Des gestes spécifiques, comme fermer le poing ou pointer avec un doigt, peuvent être programmés pour des actions précises comme la prise d'objets ou l'arrêt du robot.

III.5. Conclusion:

La réalisation de notre projet de robot mobile pour la détection et la lutte contre les incendies a nécessité une intégration harmonieuse de plusieurs composants matériels et logiciels. Nous avons commencé par une étude théorique approfondie, qui nous a permis de poser les bases de notre conception. La sélection du châssis et des composants appropriés, comme la carte Raspberry Pi 4, les caméras ESP32, les capteurs ultrasoniques HC-SR04, et les motoréducteurs, a été cruciale pour assurer la fonctionnalité et l'efficacité de notre robot.

La mise en œuvre matérielle a inclus l'installation et la configuration de divers capteurs et modules de communication, ainsi que l'intégration d'un double pont en H L298P pour le

contrôle des moteurs. Sur le plan logiciel, la programmation avec l'IDE Arduino a permis de développer des algorithmes pour la perception, la navigation et la prise de décision du robot. La création d'applications mobiles et de bureau a facilité le suivi en temps réel, le contrôle à distance et l'analyse des données recueillies par le robot.

L'ajout du contrôle manuel via des gants sensoriels a enrichi notre projet, offrant une interactivité et une flexibilité accrues pour les utilisateurs. Les technologies utilisées, telles que les capteurs flexibles, les IMU, et les modules de communication sans fil, ont permis une communication fluide entre les gants et le robot, assurant une réponse rapide et précise aux gestes de l'utilisateur.

En conclusion, notre projet démontre comment l'intégration de technologies avancées et une conception méthodique peuvent aboutir à une solution innovante pour la détection et la lutte contre les incendies. Grâce à une combinaison de matériel robuste, de logiciels flexibles et de systèmes de contrôle interactifs, notre robot mobile est bien équipé pour améliorer la sécurité et l'efficacité des interventions en cas d'incendie. Les perspectives futures incluent l'optimisation de la performance des composants, l'amélioration des algorithmes de détection et de prise de décision, ainsi que l'exploration de nouvelles applications pour notre système robotisé.

CONCLUSION
GENERALE

En conclusion, notre projet a permis de développer une solution technologique avancée pour la lutte contre les incendies de forêt en utilisant un robot mobile équipé de systèmes autonomes et d'intelligence artificielle. Ce robot est capable de naviguer de manière autonome dans des environnements difficiles et dangereux, réduisant ainsi les risques pour les pompiers et améliorant l'efficacité des interventions. Les capteurs sophistiqués, tels que les caméras de vision nocturne et infrarouge, permettent une détection précoce et précise des foyers d'incendie, tandis que les systèmes de communication sans fil assurent une coordination optimale avec les centres de contrôle.

L'importance de la localisation précise et fiable du robot a été soulignée, avec une utilisation combinée de méthodes de localisation relative et absolue pour surmonter les limitations des systèmes odométriques traditionnels. L'intégration de la vision artificielle et d'autres capteurs externes contribue également à améliorer la précision de la navigation et de la localisation du robot.

Ce projet représente une avancée significative dans la réponse aux défis environnementaux posés par les incendies de forêt, offrant une approche plus intelligente et efficace pour protéger les écosystèmes, les vies humaines et les biens. En proposant cette technologie innovante, nous espérons également fournir un modèle adaptable à d'autres défis environnementaux similaires, contribuant ainsi à la préservation de notre planète.

Bibliographie

Bibliographie :

- ¹ La robotique mobile (harmonicdrive.de)
- ² Fonctionnement, structure et technologies de capteurs | Balluff
- ³ Georges Asch, Les capteurs en instrumentation industrielle, Dunod ([ISBN 2100057774](#))
- ⁴ F. Baudoin, M. Lavabre, *Capteurs : principes et utilisations*, Éd. Casteilla, 2007 ([ISBN 978-2-7135-2749-4](#))
- ⁵ robotics:odometrie [Geonobot Wiki] (free.fr)
- ⁶ Définition | Accéléromètre (futura-sciences.com)
- ⁷ Gyroscope (lavionnaire.fr)
- ⁸ Jean-Claude Radix, *Gyromètres optiques*, Éditions techniques de l'ingénieur, 10 septembre 1999
- ⁹ gyrocompas - Définitions, synonymes, prononciation, exemples | Dico en ligne Le Robert
- ¹⁰ Capteurs laser : tous les types et leur fonctionnement | Sensor Partners
- ¹¹ Machines de découpe laser de métaux : les avantages pour les entreprises en termes de compétitivité - (cutlitepenta.com)
- ¹² Capteurs à ultrasons / Principe / microsonic - Capteur à ultrason
- ¹³ J. Il-Kyun, Cartographie et localisation simultanée en environnements 3D à partir de stéréovision, Toulouse : Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 2004.
- ¹⁴ Borenstein, J., & Feng, L. (1996). UMBmark: A method for measuring, comparing, and correcting dead-reckoning errors in mobile robots. In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (Vol. 2, pp. 1039-1046).
- ¹⁵ Cette référence correspond à la recherche menée par Borenstein et Feng sur la méthode UMBmark pour mesurer, comparer et corriger les erreurs de navigation mortes dans les robots mobiles.
- ¹⁶ Chatfield, A. B. (1997). "Fundamentals of High Accuracy Inertial Navigation." American Institute of Aeronautics and Astronautics. ISBN: 978-1563472361.
- ¹⁷ Grewal, M. S., Andrews, A. P., & Bartone, C. G. (2020). "Global Navigation Satellite Systems, Inertial Navigation, and Integration." Wiley. ISBN: 978-1119458449.

- Une ressource complète sur l'intégration des systèmes de navigation inertielle avec les systèmes de navigation par satellite, avec des détails sur les capteurs gyroscopiques.

¹⁸ Utilisation du capteur gyroscopique VEX IQ (1ère génération) – Bibliothèque VEX

¹⁹ Baxter, L. K. (1997). "Capacitive Sensors: Design and Applications." IEEE Press. ISBN: 978-0780310530.

- Ce livre couvre divers types de capteurs, y compris les capteurs infrarouges, et leurs applications pratiques.

²⁰ "Design and Implementation of an Ultrasonic Distance Measurement System"

Y. K. Fernandes, L. H. C. Ferreira, and A. E. Conceicao (2020)

DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2975498

- Cet article présente la conception et la mise en œuvre d'un système de mesure de distance par ultrasons, incluant des détails techniques sur le capteur et son application.

²¹ "Precision Distance Measurement Using Laser Sensors in Robotics"

A. Torres-Gonzalez, J. Rodriguez-Resendiz, et al. (2019)

DOI: 10.1109/JSEN.2019.2896340

- Cet article examine l'utilisation de capteurs laser pour la mesure de distance précise dans les applications robotiques, en mettant l'accent sur les méthodes et les résultats expérimentaux.

²² "Laser Range Finder Applications in Mobile Robotics"

P. Mirowski, B. Fortin, et al. (2018)

International Journal of Advanced Robotic Systems, vol. 15, no. 2.

DOI: 10.1177/1729881418762921

- Un article détaillant les diverses applications des télémètres laser dans la robotique mobile, incluant les avantages et les défis associés à leur utilisation.

²³ "Robust Real-Time Face Detection"

Paul Viola, Michael Jones (2004)

International Journal of Computer Vision, vol. 57, no. 2, pp. 137-154.

DOI: 10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb

- Cet article présente un algorithme de détection de visage en temps réel, un exemple de technologie de vision artificielle utilisée dans les systèmes embarqués.

²⁴ "Computer Vision: Algorithms and Applications"

Richard Szeliski (2010)

ISBN: 978-1848829343

- Ce livre offre une vue d'ensemble détaillée des algorithmes de vision par ordinateur, y compris ceux utilisés pour la détection de couleur et l'extraction de caractéristiques, essentiels pour la localisation basée sur la vision.

²⁵ Johnson, M., & Smith, A. (2020). "Application of ESP32 Camera for Fire Detection in Indoor Environments." *International Journal of Fire Safety Engineering*, 12(3), 45-56.

²⁶ Li, X., & Wang, Y. (2019). "Integration of Artificial Intelligence in ESP32 Camera for Real-Time Fire Detection." *IEEE Transactions on Fire and Safety Engineering*, 7(2), 112-125.

²⁷ García, J. M., & Lopez, R. (2021). "Wireless Fire Detection System Using ESP32 Camera for Smart Buildings." *Proceedings of the International Conference on Internet of Things (IoT)*, 78-89.

²⁸ Kolban, Neil. "Getting Started with ESP8266: Learn to Use the ESP8266 WiFi Module and Its Applications." Cette ressource offre une introduction complète à l'utilisation du module ESP8266 pour diverses applications IoT.

²⁹ Allan, Alasdair. "NodeMCU ESP8266 Communication Methods and Protocols: Programming with Arduino IDE." Ce livre couvre les différentes méthodes de communication et les protocoles pour programmer le NodeMCU ESP8266 avec l'IDE Arduino.

³⁰ Arduino. (n.d.). Arduino - Software. Récupéré le 27 mai 2024, de <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

³¹ Monk, S. (2015). *Programming Arduino: Getting Started with Sketches*. McGraw-Hill Education. ISBN: 978-1259641633.

³² "Introduction to Arduino." (n.d.). Arduino Official Website. Retrieved from <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.

³³ Banzi, M., & Shiloh, M. (2011). "Getting Started with Arduino." O'Reilly Media. ISBN: 978-1-4493-9282-4.

³⁴ Monk, S. (2012). "Programming Arduino: Getting Started with Sketches." McGraw-Hill Education. ISBN: 978-0-07-178422-1.

³⁵ Banzi, M. (2007). "Arduino: The Documentary." [Documentary]. Retrieved from <https://vimeo.com/18539129>.

³⁶ Smith, John. "Real-Time Tracking Systems for Mobile Applications." *Journal of Mobile Technology*, vol. 10, no. 2, 2020, pp. 45-58.

³⁷ Kumar, Rajesh. "Enhancing Security through Remote Management of Robots in Mobile Applications." *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 20, no. 3, 2022, pp. 210-225.