



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Instrumentation
MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel
Spécialité : Maintenance d'Automatisme et d'Instrumentation

Thème

**Étude et conception d'un système de détection d'objets
par ultrasons**

Présenté et soutenu publiquement par :

ABDELLAOUI Abdelmalek Houssem

BELMOKHTAR Mimoun

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Établissement	Qualité
NEKROUF Djilali	MCB	Université d'Oran 2	Président
HASSINI Abdelatif	Professeur	Université d'Oran 2	Encadreur
DJELGHOUM Farida	MAA	Université d'Oran 2	Examinatrice

Année universitaire 2025-2026

Remerciements



Nous remercions avant tout Allah, le Tout-Puissant et le Très Miséricordieux, de nous avoir donné la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Au terme de ce modeste projet, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à nos familles ainsi qu'à nos chers amis, pour leur soutien constant, leur encouragement et la sérénité qu'ils nous ont apportée tout au long de ce parcours.

Nous adressons également notre profonde gratitude à l'ensemble des professeurs de l'Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle pour la qualité de leur enseignement, leur disponibilité et leur engagement à nous transmettre leur savoir, qui ont largement contribué à la réalisation de ce projet.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance particulière à notre encadreur, le Professeur Hassini Abdelatif , pour son dévouement, ses précieux conseils, son accompagnement constant et ses encouragements. Sa bienveillance, sa gentillesse et son sens de l'humanisme ont été une source de motivation tout au long de ce travail.

Nos vifs remerciements s'adressent également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'évaluer.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce projet.

Sommaire

Remerciements.....	i
Introduction Générale.....	9
Chapitre 1: Les différents systèmes et technologies de détection d'objets à distance	12
1.1 Introduction	13
1.2 Fréquences et ondes électromagnétiques:	13
1.2.1 Les basses fréquences (de 1 Hz à 100 kHz)	14
1.2.2 Les hautes fréquences et le domaine radioélectrique (de 100 kHz à 1 GHz)	14
1.2.3 Le domaine des micro-ondes : Le choix stratégique du RADAR (de 1 GHz à 1 THz)	14
1.2.4 Le domaine optique et thermique (Infrarouge, Lumière visible et UV)	14
1.2.5 Les rayonnements ionisants de haute énergie (Rayons X et Gamma)	14
1.3 Les différents systèmes de détection d'objets a distance	15
1.3.1 Système RADAR	15
1.3.2 Système LIDAR	17
1.3.3 Le système de vision artificielle	19
1.3.4 Le système SONAR	20
1.3.5 Le système ultrasonique:	20
1.4 Conclusion:	22
Chapitre 2: Technologie des ultrasons	23
2.1 Introduction	24
2.2 Classification des ondes acoustiques (ondes sonores) par fréquence:	24
2.2.1 Ondes sonores audibles.	24
2.2.2 Ondes infrasonores.	24
2.2.3 Ondes ultrasonores:	24
2.3 Définition des ultrason	25
2.3.1 Caractéristique physiques des Ultrasons :	25
2.3.2 Principe de fonctionnement	26
2.3.3 Calcul de la distance	29
2.4 Différents Types des capteurs ultrasoniques:	29
2.4.1 Capteur à réflexion directe	29
2.4.2 Capteur à barrage :	30
2.4.3 Capteur à réflexion sur réflecteur :	30
2.4.4 Capteurs de niveau à ultrasons:	30
2.5 Avantages du système ultrasonique:	31
2.6 Inconvénients du système ultrasonique	32
Chapitre 3: Architecture de la conception	34
3.1 Introduction :	35
3.2 Différentes parties de la conception :	35
3.2.1 Partie Hardware:	35
3.2.2 Partie Software:	35
3.3 Étude de la partie matérielle :	37

3.3.1 Le microcontrôleur Arduino Uno	37
3.3.2 -Microcontrôleur ATMEL ATmega328:	38
3.3.3 Le servomoteur SG90	39
3.3.4 Le capteur HC-SR04	39
3.3.5 Breadboard:	42
3.4 Topologie de câblage et interaction systémique	43
3.5 Mise en œuvre concrète du system :	44
3.6 Étude de la partie logicielle:	45
3.6.1 Environnement de développement “IDE Arduino”.	45
3.6.2 Visualisation radar via l'interface “Processing”	46
3.7 Fonctionnement du système de Tracking proposé:	46
Chapitre 4 : Résultats et Discussion	47
4.1. Introduction	48
4.2. Première validation : Mesure de distance sur Proteus	48
4.2.1. But de la démarche	48
4.2.2. Description de la maquette virtuelle	48
4.2.3. Analyse des différents tests sur Proteus	51
4.3. Deuxième validation : Balayage et tracking sous Processing	53
4.4. Lien avec la réalisation pratique et discussions	59
Conclusion Générale	61
Bibliographie	63
ANNEXES	67
Annexe 1: Code source Arduino (C++)	68
Annexe 2: Code source Processing (Java).....	70

Liste des Figures

Figure 1 : Schéma des ondes, fréquences et rayonnements électromagnétique	13
Figure 2 :Le fonctionnement d'un système radar et le rôle crucial de ses composants pour la détection d'objets	15
Figure 3 :Radars du système de défense antiaérienne MIM-23 Hawk ,.....	16
Figure 4 : Radar de contrôle aérien	17
Figure 5 :Schéma illustre le principe de fonctionnement d'un LiDAR	18
Figure 6 :Un drone équipé d'un système LiDAR	18
Figure 7 :Fonctionnement d'un système de vision industrielle	19
Figure 8 :Un système sonar	20
Figure 9 :Le spectre des fréquences de l'oreille humaine	21
Figure 10 :Onde sonore selon la longueur d'onde et la fréquence	24
Figure 11 :Effet piézoélectrique direct	26
Figure 12 : Réflexion et transmission d'une onde à l'interface de deux milieux d'impédances Z_1 et Z_2	27
Figure 13 :DIFFUSION	28
Figure 14 :Capteur de distance ultrasonique (HC-SR04).....	29
Figure 15 :Capteur ultrasonique à réflexion direct autosome AO043	30
Figure 16 :Capteur photoélectrique barrage Autosen AO036	30
Figure 17 :Transmetteur de niveau à ultrasons Endress+Hauser Prosonic M FMU41	31
Figure 18 :Les différents modes de détection des capteurs photoélectriques.	31
Figure 19 :Schéma synoptique du projet	36
Figure 20 : Arduino UNO	38
Figure 21 :Microcontrôleur ATmega328P-AU.	39
Figure 22 : Structure interne d'un servomoteur et câblage d'un servomoteur SG90.	39
Figure 23 : HC-SR04 : Dimensions et principe de fonctionnement du capteur à ultrasons.	40
Figure 24 :Chronogramme des signaux du capteur à ultrasons	41
Figure 25 :Diagramme de directivité du capteur ultrason HC-SR04	41
Figure 26 : Une breadboard	42
Figure 27 :Schéma de câblage Proteus pour arduino uno ,capteur HC-SR04 et servomoteur.	43
Figure 28 :Configuration matérielle de notre prototype de détection.	44
Figure 29 :Le fonctionnement global de l'écosystème Arduino	45
Figure 30 :Simulation sur proteus	49
Figure 31 : Cas de la zone libre	51
Figure 32 :Cas de la zone de vigilance	52

Figure 33 :Cas de la zone de danger	52
Figure 34 : Radar de notre réalisation.	54
Figure 35 :Cas d' une voiture blanche	56
Figure 36 :Cas d' un lego de plastique	56
Figure 37 :Cas d' une Plaque métallique	57
Figure 38 :Cas d' un morceau de bois	57
Figure 39 : Cas d' un verre	58
Figure 40 :Cas deux voitures	58
Figure 41 :Interface graphique sous Processing d'un radar avec balayage complet à 360 degrés.	60

Liste des tableaux

Table 1 : Liens et la comparaison entre tout les technologie citer dans notre étude pars rapporte a la portée et le cout et la précision et utilisation.	22
Table 2 : Caractéristiques d’ultrason	42
Table 3 :Broche et role des composants.	49
Table 4 :Comparaison entre les distances réelles et les distances mesurées pour différents objets	55
Table 5 :Analyse des erreurs absolues et relatives sur les mesures de distance et d’angle.	55

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
ADC	Analog to Digital Converter (Convertisseur Analogique-Numérique)
ASDIC	Anti-Submarine Detection Investigation Committee
AVR	Alf and Vegard's RISC Processor
CND	Contrôle Non Destructif
COM	Communication Port (Port de Communication Série)
CPU	Central Processing Unit
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
FUS	Focused Ultrasound Surgery (Ultrasons Focalisés)
GND	Ground (Masse)
HC-SR04	Module Capteur Ultrasonique de Distance
Hz	Hertz
IDE	Integrated Development Environment (Environnement de Développement Intégré)
I/O	Input / Output (Entrée / Sortie)
LCD	Liquid Crystal Display (Afficheur à Cristaux Liquides)
LED	Light Emitting Diode (Diode Électroluminescente)
LIDAR	Light Detection And Ranging
MHz	Mégahertz
PWM	Pulse Width Modulation (Modulation de Largeur d'Impulsion)
PPI	Plan Position Indicator
RAM	Random Access Memory
RADAR	Radio Detection And Ranging
ROM	Read Only Memory
SG90	Micro Servomoteur SG90
SONAR	Sound Navigation And Ranging
SRAM	Static Random Access Memory
USB	Universal Serial Bus
VCC	Voltage Common Collector (Alimentation Positive)
VSS	Voltage Source Supply (Masse)

Introduction Générale

Contexte et enjeux

L'autonomie et la sécurité au sein de notre environnement immédiat reposent majoritairement sur nos capacités sensorielles. Il convient de souligner qu'environ 83 % des informations traitées par l'être humain proviennent du système visuel. Nonobstant cette prédominance, les statistiques de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) révèlent une réalité préoccupante : plus de 253 millions de personnes souffrent de déficiences visuelles à l'échelle mondiale, parmi lesquelles 36 millions sont atteintes de cécité totale. Dans ce contexte, la détection proactive d'obstacles devient un enjeu de santé publique et de sécurité civile.

Problématique

La nécessité de systèmes automatisés de détection ne se limite pas à la mobilité humaine. Dans le secteur automobile, les manœuvres de recul représentent une source constante d'accidents matériels et corporels, particulièrement dans les environnements encombrés comme les zones de stationnement ou les chantiers. La problématique réside donc dans la conception d'un système capable de suppléer aux limitations de la vue humaine, en fournissant une analyse spatiale fiable et une alerte en temps réel.

Objectif du mémoire

Ce travail de recherche présente l'étude approfondie et la réalisation technique d'un prototype de détection d'objets par ultrasons. En exploitant la polyvalence de la plate-forme Arduino, nous visons à démontrer l'efficacité d'un système mécatronique à bas coût, capable de répondre aux exigences de précision pour des applications allant de l'aide au stationnement à l'assistance aux malvoyants.

Organisation du mémoire

Pour donner une idée claire de notre travail, ce mémoire est divisé en quatre chapitres principaux :

Chapitre 1 : On présente d'abord les différentes technologies qui existent pour détecter des objets à distance. On étudie le spectre des ondes et on compare plusieurs systèmes comme le RADAR, le LIDAR, le SONAR et la vision artificielle pour voir leurs avantages et leurs applications.

Chapitre 2 : Ce chapitre se concentre uniquement sur la technologie des ultrasons. On explique ce que c'est, comment les ondes se propagent, comment on calcule la distance avec le temps de vol (ToF), et on présente les différents capteurs qui existent avec leurs avantages et défauts.

Chapitre 3 : Ici, on montre toute l'architecture de notre projet. On sépare le travail en deux : la partie matérielle (Hardware) avec la carte Arduino Uno, le capteur HC-SR04 et le servomoteur SG90, et la partie logicielle (Software) avec l'IDE Arduino pour le code et Processing pour afficher l'écran du radar.

Chapitre 4 : C'est le chapitre des tests et des résultats. On montre d'abord notre simulation sur Proteus pour vérifier que l'électronique fonctionne bien, puis nos vrais tests sur Processing. On analyse les résultats et les erreurs de mesure quand on place différents objets devant notre radar (plastique, bois, métal, verre).

Chapitre 1: Les différents systèmes et technologies de détection d'objets à distance

1.1 Introduction

Avec le développement rapide des technologies modernes, les systèmes de détection d'objets à distance occupent aujourd'hui une place essentielle dans plusieurs domaines industriels, scientifiques et technologiques. Ces systèmes permettent de détecter, localiser et identifier des objets sans contact direct, grâce à l'utilisation de différentes technologies basées sur les ondes électromagnétiques, acoustiques ou lumineuses.

Les technologies de détection sont largement utilisées dans des secteurs variés tels que l'automobile, l'aéronautique, la robotique, la sécurité, la médecine, l'industrie et les télécommunications. Elles contribuent à améliorer la précision des mesures, la sécurité des installations et l'automatisation des systèmes intelligents.

Plusieurs technologies ont été développées afin de répondre aux différents besoins de détection et de mesure. Parmi les plus importantes, on retrouve les systèmes RADAR, SONAR, LIDAR, les capteurs ultrasoniques, les capteurs infrarouges ainsi que les systèmes de vision artificielle. Chaque technologie possède ses propres caractéristiques, avantages et limites selon l'environnement et l'application utilisée.

Les systèmes ultrasoniques représentent l'une des solutions les plus utilisées dans les applications de courte et moyenne portée grâce à leur simplicité, leur faible coût et leur efficacité dans différents environnements. Ils sont particulièrement utilisés dans les systèmes de mesure de distance, la robotique, l'automobile et l'automatisation industrielle.

L'objectif de cette étude est de présenter les principaux systèmes et technologies de détection d'objets à distance, d'expliquer leurs principes de fonctionnement ainsi que leurs domaines d'application. Ce travail permettra également de mettre en évidence l'importance de ces technologies dans le développement des systèmes modernes de contrôle, de surveillance et d'automatisation[3].

1.2 Les fréquences et les ondes électromagnétiques:

Pour comprendre le fonctionnement des systèmes de détection et de mesure de distance, il est indispensable d'analyser le comportement des ondes à travers le spectre électromagnétique, illustré par . L'interaction d'une onde avec son environnement dépend directement de sa fréquence (et donc de sa longueur d'onde λ), ce qui permet de segmenter le spectre en plusieurs domaines technologiques distincts [2].

Le schéma de la figure 1 explique comment se répartissent toutes les ondes et les fréquences dans le spectre électromagnétique.

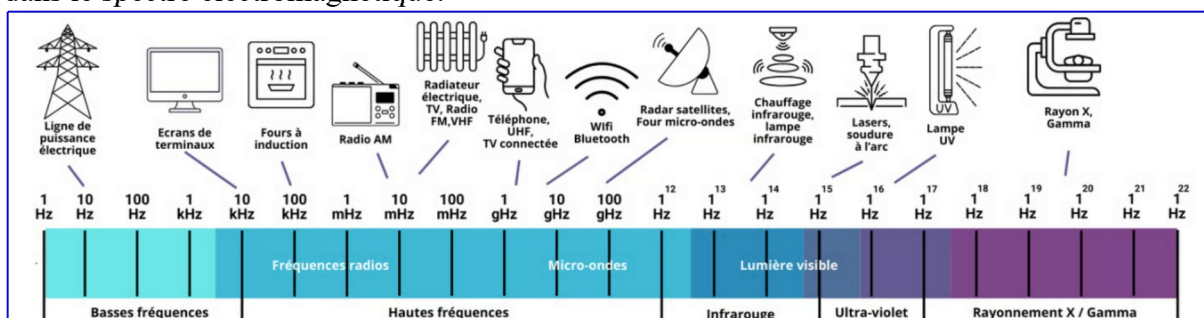


Figure 1 : Schéma des ondes, fréquences et rayonnements électromagnétique [28].

1.2.1 Les basses fréquences (de 1 Hz à 100 kHz)

À l'extrémité inférieure du spectre, les basses fréquences, principalement générées par les infrastructures de puissance électrique (lignes haute tension), se caractérisent par des longueurs d'onde extrêmement grandes. Sur le plan de la physique des ondes, ce signal traverse la matière et les obstacles sans subir de phénomènes de réflexion notables. Par conséquent, cette zone du spectre s'avère inexploitable pour les applications de détection ou de télémétrie industrielle[17].

1.2.2 Les hautes fréquences et le domaine radioélectrique (de 100 kHz à 1 GHz)

Lorsque la fréquence augmente, nous entrons dans le domaine des ondes radio (AM, FM, VHF, UHF). Ces ondes possèdent une propriété de diffraction élevée, ce qui leur permet de contourner les obstacles physiques tels que les bâtiments ou le relief. Si cette caractéristique est idéale pour la transmission de données et les télécommunications, elle limite leur utilisation en détection. En effet, la longueur d'onde reste trop grande pour obtenir une réflexion (un écho) exploitable sur des cibles de dimensions réduites[17].

1.2.3 Le domaine des micro-ondes : Le choix stratégique du RADAR (de 1 GHz à 1 THz)

La bande des micro-ondes, située au centre du schéma constitue la zone préférentielle pour les applications RADAR (Radio detection and ranging). Ce choix technologique repose sur un compromis physique optimal :

- D'une part**, les longueurs d'onde (centimétriques à millimétriques) sont suffisamment courtes pour provoquer une réflexion nette et exploitable lorsqu'elles rencontrent un obstacle solide (métal, plastique, corps humain).

- D'autre part**, ces ondes possèdent un fort pouvoir de pénétration face aux perturbations atmosphériques. Contrairement aux signaux optiques, les micro-ondes ne sont ni dispersées ni bloquées par la pluie, le brouillard ou la poussière, garantissant la fiabilité de la détection industrielle ou automobile[8].

1.2.4 Le domaine optique et thermique (Infrarouge, Lumière visible et UV)

Au-delà du térahertz (THz), les ondes entrent dans le domaine de l'infrarouge et de la lumière visible. Ici, le comportement ondulatoire laisse place à un comportement purement optique. La précision géométrique devient extrêmement élevée, permettant des mesures millimétriques. Cependant, la sensibilité aux obstacles est maximale : la moindre opacité environnementale (fumée, brouillard) interrompt le signal. C'est la frontière technologique entre le RADAR classique et le LIDAR (détection par laser)[4].

1.2.5 Les rayonnements ionisants de haute énergie (Rayons X et Gamma)

Enfin, la partie supérieure du spectre (au-delà de 10^{17} Hz) regroupe les rayonnements X et Gamma. Dotées d'une énergie quantique très élevée, ces ondes adoptent un comportement ultra-pénétrant. Au lieu de rebondir sur la surface d'un matériau comme le font les ondes radar, elles traversent la matière à l'échelle atomique. Leur application est donc restreinte au contrôle non destructif (radiographie industrielle) et à l'imagerie médicale[14].

1.3 Les différents systèmes de détection d'objets à distance

1.3.1 Système RADAR

RADAR (*Radio Detection And Ranging*) désigne une technologie utilisant les ondes pour localiser et identifier des objets. Les fondations théoriques remontent aux travaux de Heinrich Hertz en 1886, démontrant la réflexion des ondes électromagnétiques. En 1904, Christian Hülsmeyer breveta le "Telemobiloscope", précurseur du radar maritime.

L'évolution technique s'est accélérée grâce aux chercheurs comme A. H. Taylor et L. C. Young, utilisant des longueurs d'onde de 5 mètres dès 1922. Il convient également de mentionner le "barrage David" développé en France en 1934 par P. David. Ces innovations ont trouvé leur apogée opérationnelle durant la Seconde Guerre mondiale avant de se diversifier vers des usages civils [1],[8].

Le fonctionnement du radar repose sur l'analyse de l'écho. Un émetteur projette des ondes dans une direction donnée ; lorsqu'elles rencontrent une surface, une partie de l'énergie est réfléchie vers le récepteur. L'analyse du déphasage temporel et de la modification du signal permet de déterminer la position relative, la forme et la vitesse de la cible. On comprend mieux le rôle de chaque bloc d'un système radar en regardant le schéma explicatif de la Figure 2.

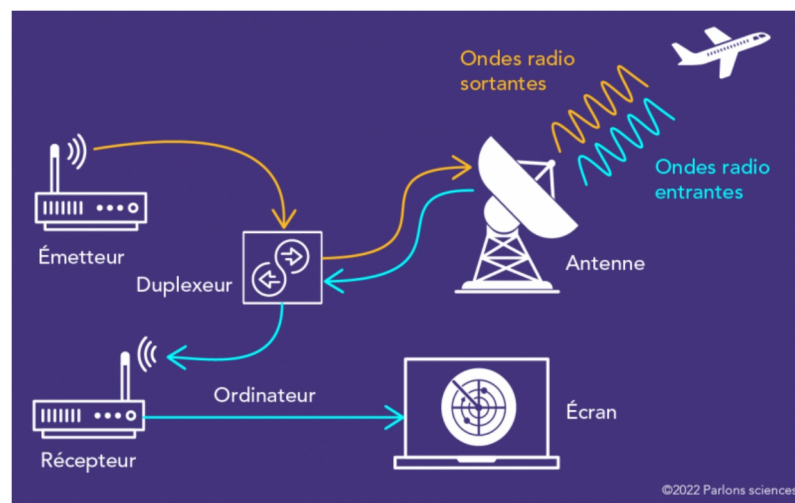


Figure 2: Le fonctionnement d'un système radar et le rôle crucial de ses composants pour la détection d'objets [29].

Domaines d'application:

Le système radar sont utilisés dans de nombreux domaines grâce à leur capacité à détecter, localiser et suivre des objets à distance. Ils jouent un rôle essentiel dans les systèmes modernes de surveillance, de navigation, de sécurité et d'automatisation.

➤ Domaine industriel

Dans l'industrie, les radars sont utilisés pour :

- Mesurer les niveaux dans les réservoirs,
- Détecter des objets,
- Contrôler les processus industriels,
- Surveiller les machines,
- Automatiser les chaînes de production.
- Les radars industriels permettent des mesures précises sans contact direct.

➤ **Domaine militaire**

Le radar est principalement utilisé dans le domaine militaire pour :

- La détection des avions ennemis,
- La surveillance des frontières,
- Le guidage des missiles,
- Le suivi des cibles aériennes et maritimes,
- Les systèmes de défense aérienne.

La figure 3 montre une photo des radars utilisés pour le système militaire Hawk.

Les radars militaires permettent une surveillance continue sur de longues distances, même dans des conditions météorologiques difficiles.



Figure 3:Radars du système de défense antiaérienne MIM-23 Hawk [30],

➤ **Domaine aéronautique**

Dans l'aviation, les radars sont utilisés pour :

- Le contrôle du trafic aérien,
- La détection des avions,
- L'assistance à l'atterrissage,
- La prévention des collisions,
- La navigation aérienne.

Les tours de contrôle utilisent les radars pour assurer la sécurité des avions autour des aéroports (figure4).

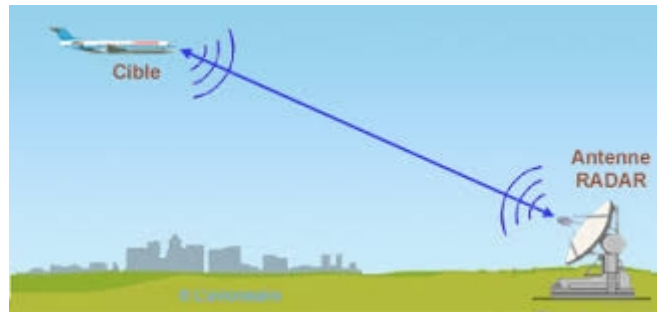


Figure 4: Radar de contrôle aérien [31].

➤ Domaine automobile

Les radars sont de plus en plus utilisés dans les véhicules modernes pour :

- L'aide au stationnement,
- Le radar de recul,
- Le régulateur de vitesse adaptatif,
- La détection des obstacles,
- Les systèmes anti-collision,
- Les véhicules autonomes.

Ces systèmes améliorent la sécurité et le confort de conduite.

1.3.2 Système LIDAR

LIDAR acronyme de l'expression en langue anglaise « light detection and ranging » ou « laser imaging detection and ranging » (soit en français « détection et estimation de la distance par la lumière » ou « par laser »), est une technique de mesure à distance fondée sur l'analyse des propriétés d'un faisceau de lumière généré artificiellement et renvoyé par la cible vers son émetteur. Si une série de mesures sont effectuées sur une surface, elles permettent d'en dresser une cartographie 3D à distance (à partir d'un avion par exemple). À la différence du sonar qui utilise des ondes acoustiques et du radar qui emploie des ondes électromagnétiques de plus basse fréquence (ondes radio), le lidar utilise des ondes électromagnétiques proches de la lumière visible (du spectre visible, infrarouge ou ultraviolet). La lumière utilisée par le lidar est presque toujours issue d'un laser, ce qui permet d'avoir une source lumineuse directionnelle, monochromatique, polarisée, de haute amplitude et cohérente. Le principe de la télémétrie (détermination de la distance d'un objet), qui concerne une grande partie des applications du lidar, requiert généralement l'utilisation d'un laser impulsif. La figure 5 montre le principe de fonctionnement de base et l'envoi du laser pour le LiDAR.[4].



Figure 5: Schéma illustre le principe de fonctionnement d'un LiDAR [32].

Domaines d'application clés du LiDAR :

- **Cartographie et Topographie (SIG) :** Création de Modèles Numériques de Terrain (MNT) et de surface (MNS) à haute résolution pour l'analyse des paysages.
- **Véhicules Autonomes et Robotique :** Détection d'obstacles en temps réel, navigation de robots, et cartographie 3D pour la conduite sécurisée (piétons, autres véhicules).
- **Urbanisme et Villes Intelligentes (Smart Cities) :** Modélisation 3D des bâtiments, gestion des infrastructures, analyse des espaces verts et des flux de trafic.
- **Foresterie et Agriculture :** Mesure de la hauteur des arbres, structure de la forêt, biomasse et agriculture de précision.
- **Archéologie :** Détection de structures anciennes cachées sous la végétation.
- **Gestion des Risques Naturels :** Analyse des inondations, érosion côtière et glissements de terrain.
- **Atmosphère et Environnement :** Mesure de la pollution, étude des aérosols et détection de gaz [4].

Ici, la figure 6 montre un exemple réel sur le terrain avec un drone qui utilise le LiDAR..

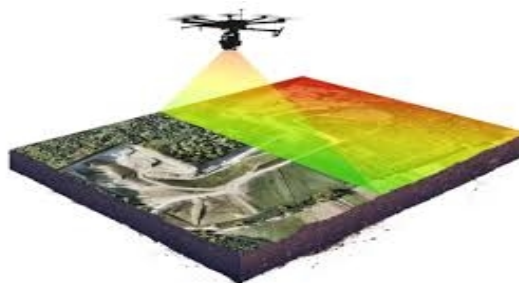


Figure 6: Un drone équipé d'un système LiDAR [33].

1.3.3. Le système de vision artificielle

La vision artificielle est une branche de la technologie qui permet aux machines de voir, interpréter et réagir à l'univers visuel qui les entoure. Elle fonctionne en capturant des images avec des caméras et des capteurs, qu'elle traite postérieurement en utilisant des algorithmes sophistiqués afin de les analyser et de les comprendre.

Cette technologie combine des aspects de l'intelligence artificielle, l'apprentissage automatique, l'optique et l'informatique pour créer des systèmes capables de réaliser des tâches visuelles complexes qui, habituellement, exigeraient l'intervention humaine [5].

La figure 7 représente le croquis d'un système de vision placé sur une chaîne de production.

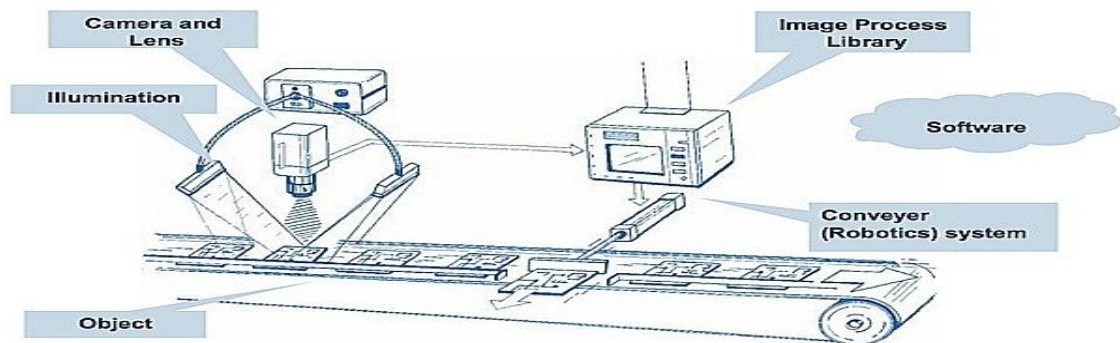


Figure 7: Fonctionnement d'un système de vision industrielle [34].

Domaines d'application:

- **Industrie alimentaire:**

Dans l'alimentation, la vision artificielle est fondamentale pour la sélection et la qualité des aliments. La technologie permet de détecter des défauts, de classer des produits selon leur taille et leur forme, et de garantir que les aliments sont conformes aux normes de sécurité alimentaire. Des solutions comme Visiolabel permettent une inspection détaillée des étiquettes sur les récipients alimentaires [5].

- **Industrie chimique:**

La précision est vitale dans l'industrie chimique, où la vision artificielle aide à inspecter les récipients et à détecter la présence de substances contaminantes.

- **Industrie en général:**

La vision artificielle a aussi des applications dans l'industrie en général, qui vont de l'automatisation des chaînes de production jusqu'au contrôle de qualité dans l'assemblage de composants. Des solutions de vision artificielle personnalisées contribuent à optimiser les processus et à améliorer l'efficacité d'une gamme étendue d'applications industrielles [5].

1.3.4 Le système SONAR

Un SONAR (Détection et Télémétrie Acoustique Sous-Marine) est une technologie utilisée pour détecter et localiser des objets sous l'eau en émettant des ondes sonores et en analysant les échos reçus de ces signaux. Il est principalement employé dans la navigation marine, la communication et la détection d'objets (comme les sous-marins et les obstacles sous-marins). La figure 8 montre le schéma d'un système sonar pour détecter des obstacles sous l'eau [10].

Fonctionnement du SONAR :

- **Transducteur** : Le système SONAR est composé d'un transducteur, qui est un dispositif sous-marin capable de convertir l'énergie électrique en énergie acoustique (ondes sonores) et vice versa. Le transducteur émet une courte impulsion sonore, appelée aussi « ping », dans l'eau.
- **Émission des ondes sonores** : Une fois les ondes sonores émises, elles se propagent à travers l'eau et rencontrent finalement des objets sur leur trajectoire. Les ondes sonores sont soit absorbées, diffusées, ou réfléchies par ces objets, selon la taille, la forme et la composition de l'objet.
- **Détection de l'écho** : Après que les ondes sonores ont frappé un objet, elles rebondissent vers le transducteur sous forme d'échos. Ces échos sont détectés par le transducteur, qui convertit alors l'énergie acoustique en énergie électrique pour traitement et analyse.
- **Calcul du temps et de la distance** : Le temps mis par les ondes sonores pour aller jusqu'à l'objet et revenir est appelé le temps de vol (Time-of-Flight - ToF). En mesurant le ToF et en connaissant la vitesse du son dans l'eau (environ 1500 m/s),

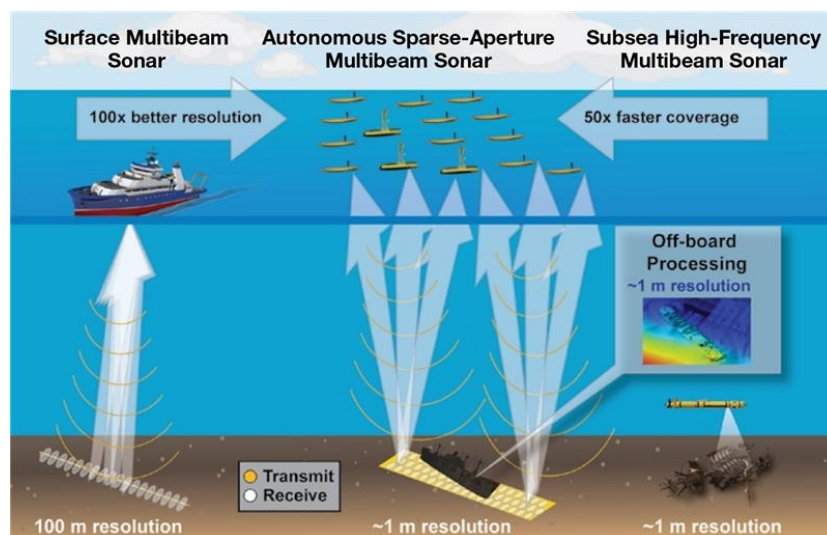


Figure 8: Un système sonar [35].

1.3.5 Le système ultrasonique:

Le système ultrasonique est une technologie de détection et de mesure utilisant des ondes sonores de haute fréquence appelées ultrasons. Ces ondes possèdent une fréquence supérieure à la limite audible par l'oreille humaine, généralement supérieure à 20 kHz.

Les systèmes ultrasoniques sont largement utilisés dans les domaines industriels, automobiles, médicaux et robotiques grâce à leur simplicité, leur précision et leur faible coût. Ils permettent principalement de mesurer des distances, détecter des obstacles ou contrôler des niveaux sans contact direct avec l'objet.

La Figure 9 permet de visualiser l'échelle des fréquences et de voir où se placent les ultrasons par rapport à ce que l'oreille humaine peut entendre.

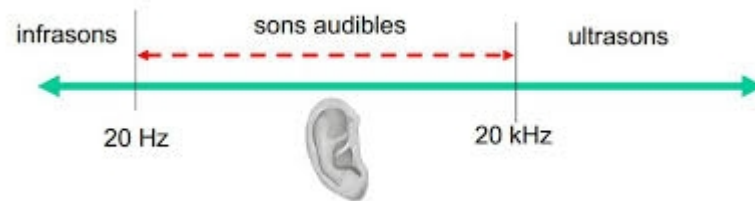


Figure 9: Le spectre des fréquences de l'oreille humaine [36].

Le domaine ultrasonore, c'est-à-dire la gamme de fréquences dans laquelle se situent les ultrasons, est compris entre 20 000 et 10 000 000 Hz (ou 10 MHz). On peut cataloguer les différents ultrasons en fonction de leur fréquence. Il est divisé en deux catégories. Ainsi, on distingue :

Les ultrasons de puissance, de fréquence comprise entre 20 kHz et 1 MHz. Ils peuvent entraîner des modifications physiques et chimiques (décapage, dégazage, émulsification, modification de mécanisme réactionnel, production de radicaux libres) ;

Les ultrasons de diagnostic, de fréquence comprise entre 1 et 10 MHz. Ils permettent de déterminer les caractéristiques physico-chimiques du milieu qu'ils traversent. Ces propriétés sont utilisées en imagerie médicale et en contrôle non destructif de matériaux.

Les ultrasons de puissance sont également divisés en deux parties :

- Les ultrasons de basses fréquences (16 à 100 kHz) ;

- Les ultrasons de hautes et de très hautes fréquences (supérieure à 100 kHz pour les hautes fréquences et à 1 MHz pour les très hautes fréquences)[16].

Les ultrasons sont utilisés dans l'industrie ainsi que dans le domaine médical [22],[16],[2].

Cet Table 1 montre le liens et la comparaison entre tout les technologie citer dans notre étude pars rapporte a la portée et le cout et la précision et utilisation

Table 1: Liens et la comparaison entre tout les technologie citer dans notre étude pars rapporte a la portée et le cout et la précision et utilisation.

Technologie	Portée	Coût	Précision	Utilisation
Radar	Très longue	Élevé	Moyenne	Aviation
Lidar	Moyenne	Très élevé	Très élevée	Véhicules autonomes
Vision	Variable	Moyen	Très élevée	Contrôle qualité
Ultrasons	Courte	Faible	Bonne	Votre projet

1.4 Conclusion:

Les systèmes de détection d'objets à distance jouent un rôle fondamental dans les technologies modernes. Chaque système possède un principe de fonctionnement spécifique ainsi que des avantages adaptés à des domaines précis. Le choix d'un système dépend principalement de la précision recherchée, de l'environnement de travail et de la distance de détection souhaitée.

Chapitre 2: Technologie des ultrasons

2.1 Introduction

L'étude des ondes sonores et ultrasonores est aujourd'hui indispensable dans le domaine des sciences de l'ingénieur, notamment pour le développement de systèmes de mesure, de détection et d'automatisation.

Une onde sonore est une perturbation mécanique qui se propage dans un milieu tel que l'air, l'eau ou des solides, transportant de l'énergie et des informations via des oscillations de pression et le déplacement de particules. Il englobe une large gamme de fréquences, y compris celles audibles par l'homme (20 Hz à 20 kHz), ainsi que les infrasons et les ultrasons, et est fondamental pour de nombreuses applications dans les domaines de la communication, de la musique, de l'imagerie médicale et de la surveillance de l'environnement[1].

2.2 Classification des ondes acoustiques (ondes sonores) par fréquence:

Le critère principal pour classer les ondes acoustiques est la fréquence (exprimée en Hertz, Hz), qui correspond au nombre de vibrations par seconde. Selon ce paramètre, le domaine de l'acoustique se divise en trois grandes catégories distinctes, définies par les limites de la perception humaine :

2.2.1 Ondes sonores audibles : S'inscrivant dans le spectre auditif humain de 20 Hz à 20 kHz, ces ondes englobent les sons de la vie quotidienne, de la parole et de la musique aux sons environnementaux.

2.2.2 Ondes infrasonores: Avec des fréquences inférieures à 20 Hz, les ondes infrasonores sont imperceptibles pour les humains mais peuvent se propager sur de longues distances et à travers divers milieux. Ils sont utilisés pour étudier les phénomènes naturels et surveiller les conditions environnementales.

2.2.3 Ondes ultrasonores: Les fréquences supérieures à 20 kHz, au-delà de l'audition humaine, sont utilisées dans de nombreuses applications, du diagnostic médical (par exemple, l'échographie) au nettoyage industriel et aux tests de matériaux [14].

Le graphique de la figure 10 met en évidence la différence entre les ondes selon leur longueur et leur fréquence.



Figure 10: Onde sonore selon la longueur d'onde et la fréquence [37].

2.3 Définition des ultrason

L'ultrason est une onde mécanique et élastique, qui se propage au travers de supports fluides, solides, gazeux ou liquides. Les fréquences des ultrasons se situent au-delà de 20 000 Hz. Leur nom vient du fait que leur fréquence est trop élevée pour être audible pour l'oreille humaine : le son est trop aigu, la gamme de fréquences audibles par l'être humain se situant entre 20 et 20 000 Hz. De la même façon, les infrasons désignent les sons dont la fréquence est trop faible pour être perceptible par l'oreille humaine. Lorsque la fréquence est audible pour l'oreille humaine, on parle simplement de « son ».

C'est Lazzaro Spallanzani qui, en 1794, soupçonna le premier l'existence des ultrasons. Ils ont été découverts en 1883 par le physiologiste anglais Francis Galton.

Ce n'est qu'en 1917, sous l'influence des nécessités de la lutte anti-sous-marine, qu'est apparu le premier générateur d'ultrasons. Les Allemands ont positionné leurs U-boot, premiers sous-marins de combat réellement en service, autour de la Grande-Bretagne, coulant tout navire qui s'y dirigerait. Le sonar, alors appelé « ASDIC », est envisagé. Le système est simple, des ultrasons, ondes très peu absorbées par l'eau, sont envoyés dans la mer, s'ils rencontrent un obstacle, ils sont renvoyés au navire, ainsi informé de la position de l'ennemi. Seulement, on ne sait pas encore produire ces ultrasons. Un Français réfugié, Paul Langevin, physicien renommé, travaille depuis 1915 sur ce problème, et y remédie en créant le premier générateur d'ultrasons, depuis désigné sous le nom de « triplet Langevin »[22].

2.3.1 Caractéristique physiques des Ultrasons :

- Fréquence f (Hz) : 20 kHz et 100 MHz

- Période T (s) :

$$T = 1/f = \lambda/c \quad (1)$$

- Longueur d'onde λ (m) :

$$\lambda = c/f = c.T \quad (2)$$

- Célérité c (m/s) :

$$c = f.\lambda = \lambda/T \quad (3)$$

- Intensité I (Watt/cm²) = Energie Transportée par unité de surface

$$I = P^2 / 2\rho c \quad (4)$$

- Le niveau sonore L (dB) entre deux ondes ultrasonore (I_1 et I_2)

$$L = D = 10 \log (I_1/I_2) \quad (5)$$

2.3.2 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement du système ultrasonique se déroule en plusieurs étapes :

-Émission des ultrasons:

Le transmetteur génère des impulsions ultrasonores à haute fréquence à l'aide d'un “transducteur piézoélectrique”.

Un transducteur piézoélectrique (figure 11) : est un dispositif réversible qui convertit l'énergie mécanique (pression, vibration) en énergie électrique, et inversement. Utilisant des matériaux comme le quartz ou la céramique, il sert de capteur (détection de chocs, ultrasons) ou d'actionneur (génération de sons, mouvements précis) dans l'industrie[27].

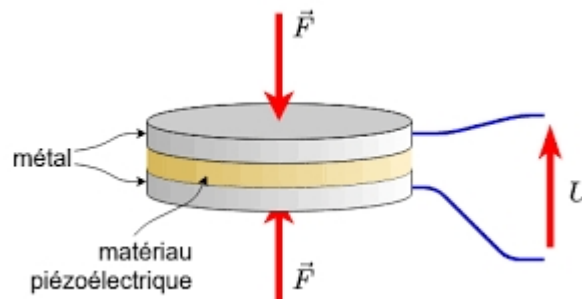


Figure 11: Effet piézoélectrique direct [38].

-Propagation des ondes:

Les ultrasons se propagent dans l'air à une vitesse approximative de :

$$v \approx 343 \text{ m/s}$$

(cette valeur dépend de la température et de l'humidité).

-Réflexion et transmission:

Lorsqu'une onde acoustique rencontre l'interface séparant deux milieux d'impédances acoustiques différentes, une partie de l'onde est transmise dans l'autre milieu (elle subit une réfraction) tandis qu'une autre partie se réfléchit sur l'interface (elle subit une réflexion). La notion d'impédance acoustique permet d'étudier complètement et quantitativement ce phénomène et d'estimer les quantités d'énergie acoustique transmises et réfléchies. Comme les rayons lumineux, ces deux phénomènes (réflexion-réfraction) obéissent aux lois de Descartes, les différents angles étant mesurés par rapport à la normale de l'interface :

L'amplitude du signal reçu par le récepteur est maximale lorsque l'angle d'incidence égal l'angle de réflexion ($i_0 = i_r$), et le faisceau transmis est dévié selon un angle i_t qui dépend des célérités c_1 et c_2 de l'onde avant et après son passage à travers l'interface (c_1 et c_2 étant fonction des impédances respectives des milieux 1 et 2)[27].

$$i_0 = i_r \quad ; \quad \frac{\sin i_0}{c_1} = \frac{\sin i_t}{c_2} \quad (6)$$

La figure 12 montre ce qui se passe (réflexion et transmission) quand l'onde change de milieu.

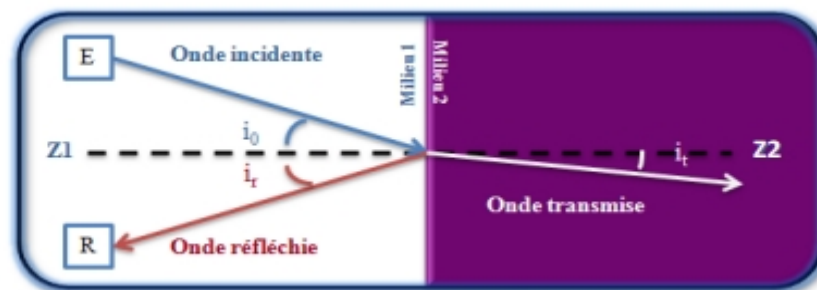


Figure 12: Réflexion et transmission d'une onde à l'interface de deux milieux d'impédances Z_1 et Z_2 [39].

-Diffusion (figure13):

Elle se produit lors de l'interaction d'une onde de longueur d'onde λ et :

- Un petit obstacle de dimension plus petit que la longueur d'onde ($d < \lambda$), ce petit objet vibre et réémet dans toutes les directions de l'espace une fraction de l'énergie contenue dans l'onde incidente.

- Une interface rugueuse et très irrégulière.

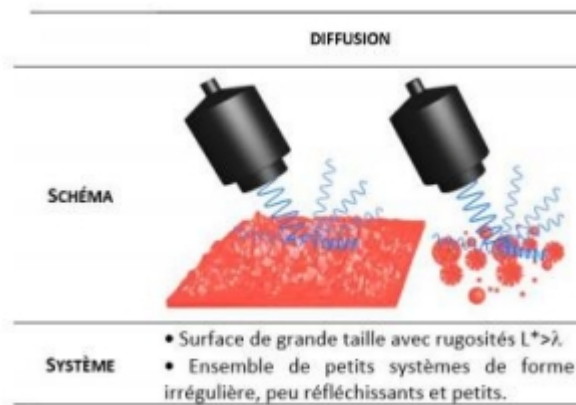


Figure 13: Diffusion [40].

-Absorption :

Lors de la propagation de l'onde, une partie de l'énergie ultrasonore est absorbée par le milieu, et conduit à une diminution de l'intensité acoustique. Elle dépend de : - la distance parcourue par l'onde (loi exponentielle décroissante), l'intensité diminue plus vite dans les premiers cm. - la fréquence: le transfert d'énergie vers les tissus augmente avec la fréquence, le coefficient d'absorption a est donné par la relation :

$$a = K.f^2 \quad (7)$$

-Atténuation :

est définie par la réduction de l'intensité d'un faisceau des ultrasons au cours de sa propagation dans un milieu qui dépend de la nature et la profondeur du milieu traversé et de la fréquence de faisceau. Cette atténuation des ultrasons est due aux multiples interactions vues précédemment (réflexion, réfraction, diffusion et absorption) qui diminuent l'intensité du faisceau lorsque celui-ci pénètre dans les tissus. Cette diminution obéissant à une loi exponentielle décroissante :

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (8)$$

I : intensité des ultrasons à la distance x .
 I_0 : intensité initiale.
 μ : coefficient linéaire d'atténuation
 x : la distance parcourue par l'onde depuis la source.

[14],[27],[19].

2.3.3 Calcul de la distance

La distance (D) avec des ultrasons se calcule en mesurant le temps aller-retour (t) d'une onde et en la multipliant par la vitesse du son (v), le tout divisé par 2, selon la formule :

$$d = \{v * t\} / 2 \quad (9)$$

Avec une vitesse du son dans l'air d'environ (340 m/s), la distance est ;

$$d \text{ (m)} = 340 * t \text{ (s)} / 2 \quad (10)$$

Où :

d : distance entre le capteur et l'objet.

v : vitesse du son.

t : temps aller-retour de l'onde.

(Le facteur 2 est utilisé parce que l'onde effectue un trajet aller-retour).

2.4 Différents Types des capteurs ultrasoniques:

2.4.1 Capteur à réflexion directe

Un capteur à réflexion directe (ou capteur de proximité photoélectrique) est un dispositif optoélectronique intégrant émetteur et récepteur dans un seul boîtier, détectant la lumière réfléchiée par l'objet lui-même, sans réflecteur. Économique et facile à installer, il détecte des objets opaques, transparents ou brillants jusqu'à plusieurs mètres[25][11].

Ici, la figure 14 montre le capteur de distance à ultrasons HC-SR04 qu'on a utilisé dans notre projet.



Figure 14:Capteur de distance ultrasonique (HC-SR04) [41]

La figure 15 donne un exemple de capteur ultrasonique industriel à réflexion directe.



Figure 15:Capteur ultrasonique à réflexion direct autosome AO043 [42].

2.4.2 Capteur à barrage :

L'émetteur et le récepteur sont séparés ; la détection se fait lorsque l'objet coupe le faisceau ultrasonore. Dans l'industrie, on peut aussi utiliser des capteurs de type barrage (voir figure 16).



Figure 16:Capteur photoélectrique barrage Autosens AO036 [43].

2.4.3 Capteur à réflexion sur réflecteur :

Le signal est réfléchi par un réflecteur placé en face du capteur.

2.4.4 Capteurs de niveau à ultrasons:

Les capteurs à ultrasons se montent en haut de cuves ou de bassins et mesurent le niveau de remplissage. Le capteur émet des ultrasons verticaux réfléchis par la surface. Par mesure du temps de vol, la distance et donc le niveau sont déterminés. Idéal pour les liquides, utilisable sous réserve pour les matières en vrac (formation fréquente de cônes déviant les ultrasons). La figure 17 montre un transmetteur de niveau à ultrasons de marque Endress+Hauser pour les cuves [21].



Figure 17: Transmetteur de niveau à ultrasons Endress+Hauser Prosonic M FMU41 [44].

Le schéma de la figure 18 montre les quatre principaux modes de détection pour les capteurs optiques.

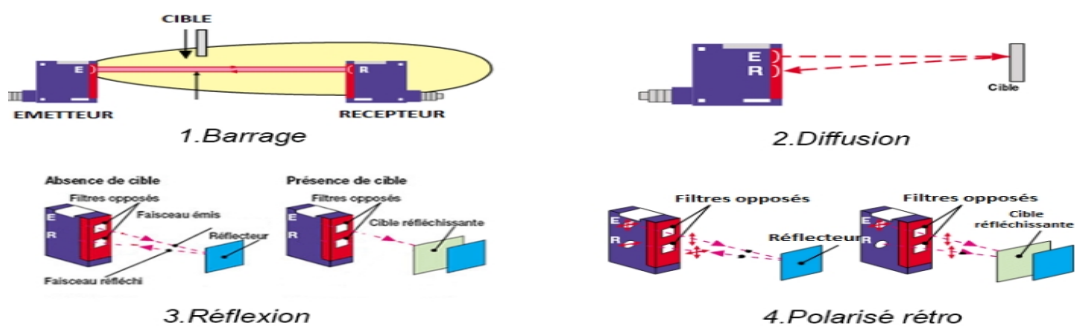


Figure 18: Les différents modes de détection des capteurs photoélectriques[45].

2.5 Avantages du système ultrasonique:

Les systèmes ultrasoniques offrent des avantages majeurs, principalement une mesure et un contrôle non destructifs, sans contact et non invasifs, garantissant la sécurité et l'intégrité des matériaux ou des patients. Ils sont très appréciés pour leur haute sensibilité, leur précision en temps réel, leur faible maintenance et leur polyvalence dans divers domaines comme l'industrie, la médecine et la mesure[22].

Avantages principaux par domaine :

- **Industrie (Détection et Mesure) :**
 - **Sans contact/Non invasif :** Idéal pour mesurer le débit ou le niveau sans perturber le produit, comme avec les débitmètres clamp-on.
 - **Grande précision :** Détection fiable de petits défauts et fissures dans les matériaux.

- **Polyvalence** : Compatible avec de nombreux fluides et solides, peu importe la couleur ou la transparence.
- **Maintenance réduite** : Pas de pièces mobiles, installation facile.
- **Médical (Échographie)** :
 - **Sécurité (Non ionisant)** : Contrairement aux rayons X, les ultrasons n'utilisent pas de radiations, assurant une visualisation sûre des tissus mous.
 - **Imagerie en temps réel** : Permet d'observer les mouvements du corps (cœur, fœtus) immédiatement.
- **Nettoyage et Traitement** :
 - **Efficacité** : La cavitation nettoie les pièces complexes ou fragiles en profondeur sans les endommager.
 - **Thérapie** : Aide à la cicatrisation et soulage les douleurs musculaires.

Autres avantages :

- Fonctionne dans des environnements difficiles (poussière, lumière).
- Solution économique et rapide.

2.6 Inconvénients du système ultrasonique[21] :

Le système ultrasonique, bien qu'efficace dans de nombreux domaines (mesure, nettoyage, imagerie), présente plusieurs inconvénients techniques et environnementaux :

Limites techniques et environnementales :

- **Sensibilité aux conditions ambiantes** : La vitesse et la précision des ondes ultrasonores sont affectées par la température, l'humidité et la pression de l'air.
- **Interférences environnementales** : Les courants d'air et les conditions météorologiques perturbent le signal en extérieur.
- **Obstacles et surfaces** : Les ultrasons ne traversent pas les murs, rebondissent sur les surfaces, et les matériaux absorbants ou les surfaces rugueuses peuvent fausser les mesures.
- **Angles morts** : Un temps de conversion est nécessaire entre l'émission et la réception, créant une zone morte de détection (distance minimale).

Inconvénients liés aux applications spécifiques :

- **Débitmétrie** : Ils ne conviennent pas pour les liquides contenant des particules solides, les conduites partiellement remplies, et sont moins précis que les débitmètres électromagnétiques.
- **Inspection (CND)** : Ils nécessitent une surface de test propre et lisse, et l'interprétation des résultats dépend de l'expertise de l'opérateur.
- **Usinage** : Faible vitesse de coupe et de pénétration, forte consommation d'énergie, et durée de vie réduite des outils.
- **Contre-rongeurs** : Les ultrasons ne traversent pas les cloisons, nécessitant plusieurs émetteurs, et leur efficacité maximale peut prendre environ un mois.

Risques pour la santé et la sécurité :

- **Audition** : Les niveaux élevés (au-delà de 120 dB) peuvent causer des pertes auditives temporaires, des acouphènes, de la fatigue ou des maux de tête.
- **Contre-indications médicales** : La thérapie par ultrasons peut interférer avec les stimulateurs cardiaques.
- **Effets secondaires** : Les ultrasons focalisés (FUS) peuvent causer des maux de tête, des nausées et des vertiges, bien que transitoires.

Chapitre 3: Architecture de la conception

3.1 Introduction :

La conception d'un système embarqué performant repose sur une harmonie rigoureuse entre les composants matériels d'acquisition et l'environnement logiciel de traitement. L'objectif de ce chapitre est de présenter l'architecture globale de notre projet de radar de détection et de poursuite d'objets. Nous détaillerons dans un premier temps le schéma synoptique général qui structure notre travail, avant de mener une étude approfondie des caractéristiques techniques de la plate-forme matérielle retenue pour piloter le système.

3.2 Différentes parties de la conception :

Pour garantir une modularité optimale et faciliter la phase de réalisation, la conception de notre système a été scindée en deux grandes parties complémentaires : la Partie Hardware (matérielle) et la Partie Software (logicielle). La figure ci-dessous (Figure 19) illustre les interactions et les flux d'informations entre ces différents modules.

3.2.1 Partie Hardware:

La partie matérielle regroupe l'ensemble des composants physiques nécessaires à la perception de l'environnement et à l'action mécanique:

- L'unité centrale de traitement (Carte Arduino Uno) .
- Le module d'actionnement (Servomoteur SG90).
- Le module d'acquisition (Capteur ultrasons HC-SR04).

3.2.2 Partie Software:

La partie logicielle prend en charge la programmation de l'intelligence embarquée ainsi que la restitution visuelle des informations :

Arduino IDE.

Processing.

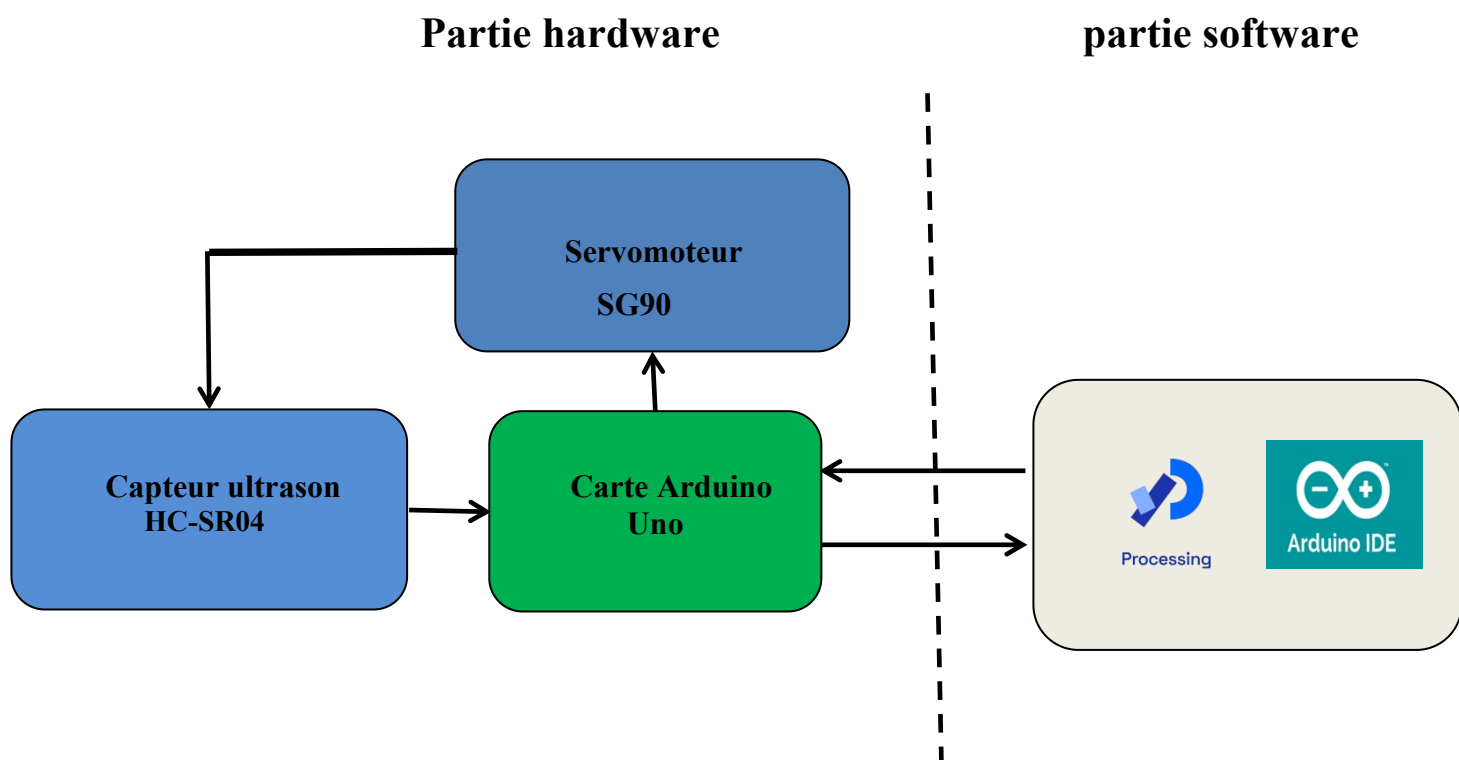
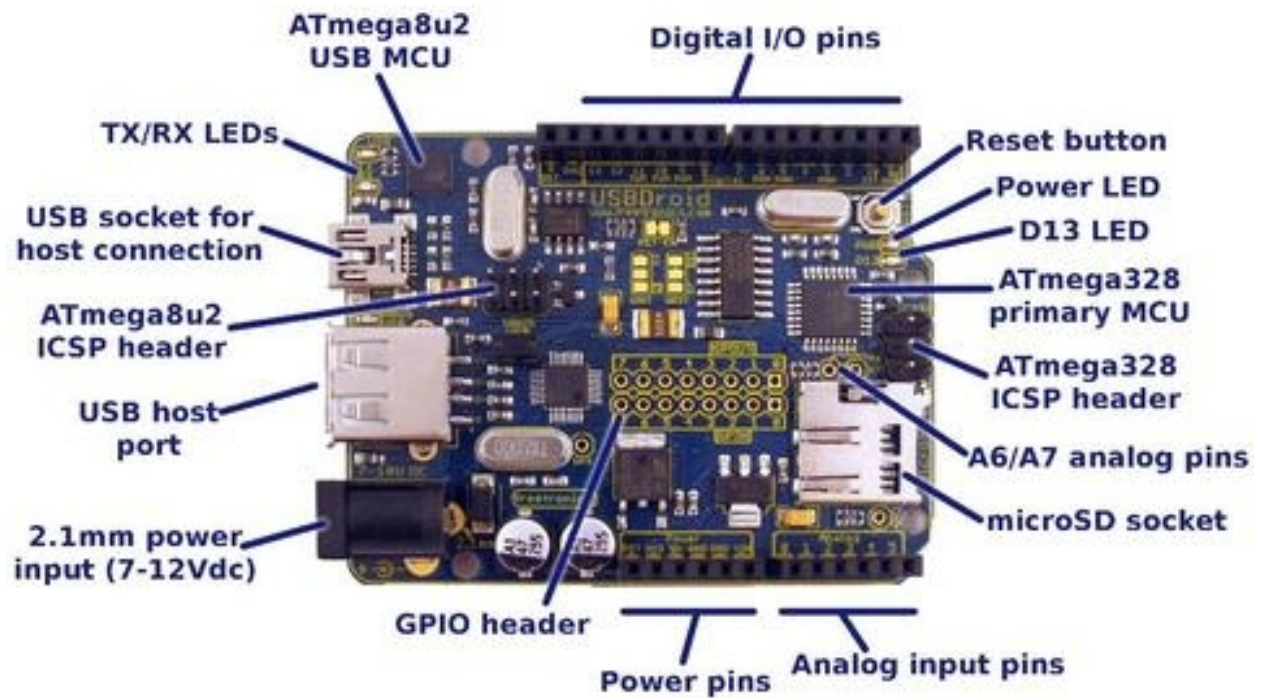


Figure 19:Schéma synoptique du projet

3.3 Étude de la partie matérielle :

3.3.1 Le microcontrôleur Arduino Uno

Le modèle UNO de la société ARDUINO (figure 20) est une carte électronique dont le coeur est un microcontrôleur ATMEL de référence ATMega328. L'ATMega328 est un microcontrôleur 8bits de la famille AVR dont la programmation peut être réalisée en langage C/C++. L'intérêt principal des cartes ARDUINO (d'autres modèles existent : Mega, Nano...) est leur facilité de mise en oeuvre. Un environnement de développement (IDE), s'appuyant sur des outils open-source, est fourni. En outre, charger le programme compilé dans la mémoire du microcontrôleur se fait très simplement (via par port USB). Enfin, beaucoup de bibliothèques de fonctions sont également fournies pour l'exploitation des entrées-sorties courantes : E/S TOR, gestion des convertisseurs ADC, génération de signaux PWM, exploitation de bus TWI/I2C, exploitation de servomoteurs, d'afficheurs LCD ...[24].



⚡ ALIMENTATION
<ul style="list-style-type: none"> • Via USB : 5 V • Via jack DC externe : 7 à 12 V recommandé • Sorties disponibles : 3.3 V, 5 V, GND, Vin

⚙️ CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES
<ul style="list-style-type: none"> • Microcontrôleur : ATmega328P • Tension de fonctionnement : 5 V • Entrées/Sorties numériques : 14 (dont 6 PWM) • Entrées analogiques : 6 • Mémoire Flash : 32 KB

Figure 20: Arduino UNO [46].

3.3.2 Microcontrôleur ATMEL ATmega328:

Le microcontrôleur de la carte Arduino UNO (figure 21) est un ATmega328. C'est un microcontrôleur.

ATMEL de la famille AVR 8bits. Les principales caractéristiques sont :

FLASH = mémoire programme de 32Ko.

SRAM = données (volatiles) 2Ko.

EEPROM = données (non volatiles) 1Ko.

Digital I/O (entrées-sorties Tout Ou Rien) = 3 ports PortB, PortC, PortD (soit 23 broches en tout I/O)[9].

Timers/Counters : Timer0 et Timer2 (comptage 8 bits), Timer1 (comptage 16bits) chaque timer peut être utilisé pour générer deux signaux PWM. (6 broches OCxA/OCxB)[17].

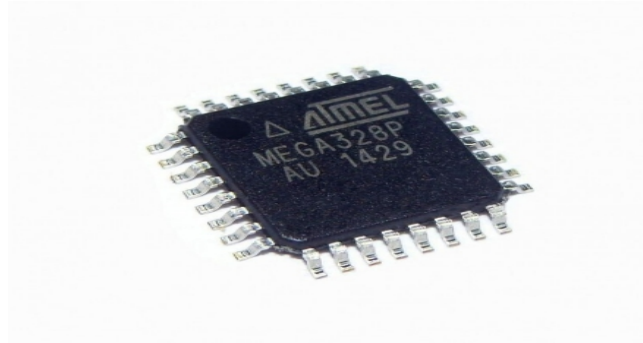


Figure 21: Microcontrôleur ATmega328P-AU[47].

3.3.3 Le servomoteur SG90:

est un petit moteur de précision (9g) qui permet de positionner un axe entre 0 et 180° via un signal PWM (50 Hz)[12]. Il est composé d'un moteur CC, d'engrenages et d'un potentiomètre de rétroaction, s'alimentant en 5V (rouge/marron) et contrôlé par une impulsion de 1ms à 2ms (orange/jaune). Le plan de la figure 22 détaille la structure interne et le câblage du servomoteur SG90 [12].

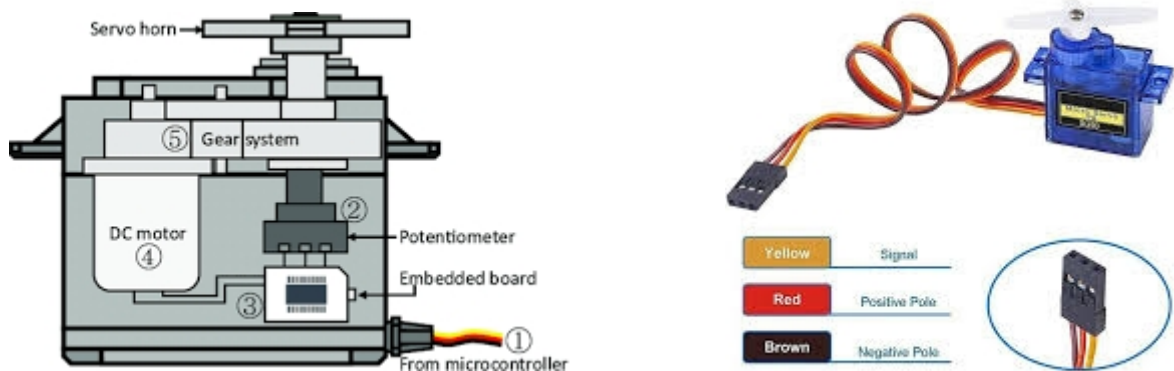


Figure 22: Structure interne d'un servomoteur et câblage d'un servomoteur SG90[49].

3.3.4 Le capteur HC-SR04

Le HC-SR04 (figure 23) est un capteur de distance de faible précision basé sur les ultrasons. Avec lui, il permet de mesurer les distances de manière simple et rapide, bien qu'en principe il ne soit

généralement pas utilisé pour cela. Le plus souvent, il est utilisé comme transducteur pour détecter les obstacles et les éviter grâce à d'autres mécanismes associés à la réponse du capteur [11].

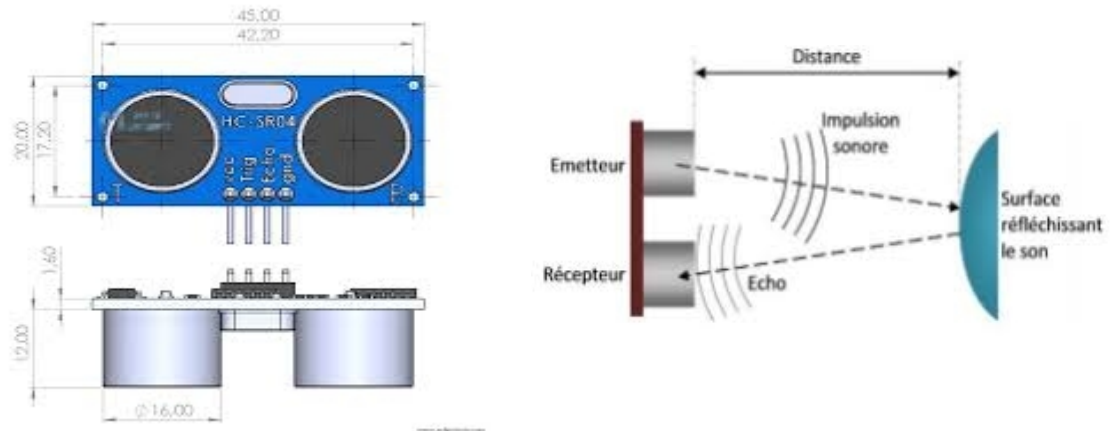


Figure 23: HC-SR04 : Dimensions et principe de fonctionnement du capteur à ultrasons[48].

L'apparition du HC-SR04 est très distinctif et facilement reconnaissable. De plus, c'est un élément très populaire dans les kits de démarrage Arduino et nécessaire pour une multitude de projets. Il est facilement identifiable car il possède deux «yeux» qui sont en fait les appareils à ultrasons que ce module intègre. L'un d'eux est un émetteur d'ultrasons et l'autre un récepteur. Il fonctionne à une fréquence de 40 kHz, il est donc inaudible pour les humains. La figure 24 montre le chronogramme des signaux Trigger et Echo pendant qu'on fait la mesure.

Ils fonctionnent de la manière suivante :

L'Arduino envoie au capteur par un port numérique une courte impulsion (10µs environ) à l'entrée « trigger » du capteur ;

Cela déclenche l'émission d'un signal sonore très court (8 oscillations environ) ;

lorsque ce signal est parti, la sortie « echo » du capteur passe à l'état HIGH ;

dès que le signal sonore revient, il est détecté par le capteur dont la sortie « echo » repasse à LOW.

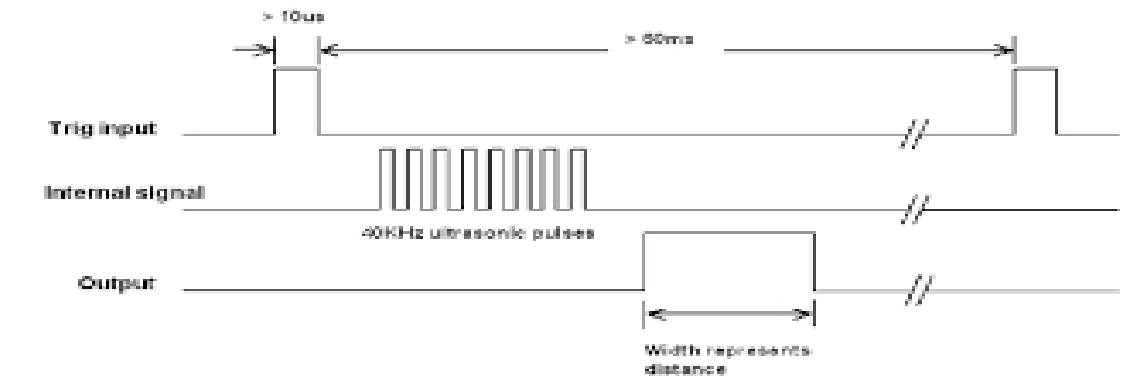


Figure 24:Chronogramme des signaux du capteur à ultrasons [50].

-Caractéristiques:

- Dimensions : 45 mm x 20 mm x 15 mm
- Plage de mesure : 2 cm à 400 cm
- Résolution de la mesure : 0.3 cm
- Angle de mesure efficace : 15°
- Largeur d'impulsion sur l'entrée de déclenchement : $10\mu s$ (Trigger Input Pulse width)

Le diagramme de la figure 25 montre la zone de directivité où le capteur reste efficace.

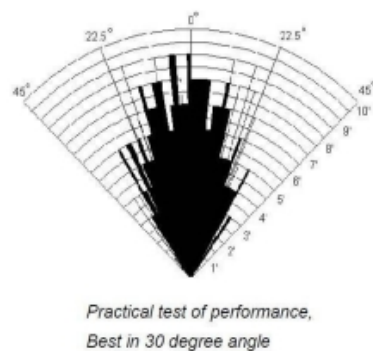


Figure 25:Diagramme de directivité du capteur ultrason HC-SR04 [51].

-Spécifications et limites:

Table 2: Caractéristiques d'ultrason

Paramètre	Min	Type	Max	Unité
Tension d'alimentation	4.5	5.0	5.5	V
Courant de repos	1.5	2.0	2.5	mA
Courant de fonctionnement	10	15	20	mA
Fréquence des ultrasons	-	40	-	kHz

Calculi de la distance:

La distance parcourue par un son se calcule en multipliant la vitesse du son, environ 340 m/s (ou 34'000 cm/1'000'000 μ s) par le temps de propagation, soit :

$$d = v \cdot t \text{ (distance = vitesse} \cdot \text{ temps)} \quad (11)$$

Le HC-SR04 donne une durée d'impulsion en dizaines de μ s. Il faut donc multiplier la valeur obtenue par 10 μ s pour obtenir le temps t. On sait aussi que le son fait un aller-retour. La distance vaut donc la moitié.

$$d = 34'000 \text{ cm/1'000'000 } \mu\text{s} \cdot 10\mu\text{s} \cdot \text{valeur} / 2 \text{ en simplifiant } d = 170'000 / 1'000'000 \text{ cm} \cdot \text{valeur}$$

Finalement, $d = 17/100 \text{ cm} \cdot \text{valeur}$.

La formule $d = \text{durée}/58 \text{ cm}$ figure aussi dans le manuel d'utilisation du HC-SR04 car la fraction 17/1000 est égale à 1/58.8235. Elle donne cependant des résultats moins précis.

Note : A grande distance, la surface de l'objet à détecter doit mesurer au moins 0.5 m [19], [11].

3.3.5 Breadboard:

Une breadboard (ou plaque d'essai) est un outil de prototypage essentiel permettant de créer des circuits électroniques sans soudure. Composée de trous connectés intérieurement, elle permet d'insérer des composants et des fils, rendant les montages réutilisables, idéaux pour les débutants et le prototypage rapide avant la soudure (figure 26).



Figure 26 : Une breadboard

3.4 Topologie de câblage et interaction systémique

L'interaction entre les modules est régie par le schéma de la figure suivant :

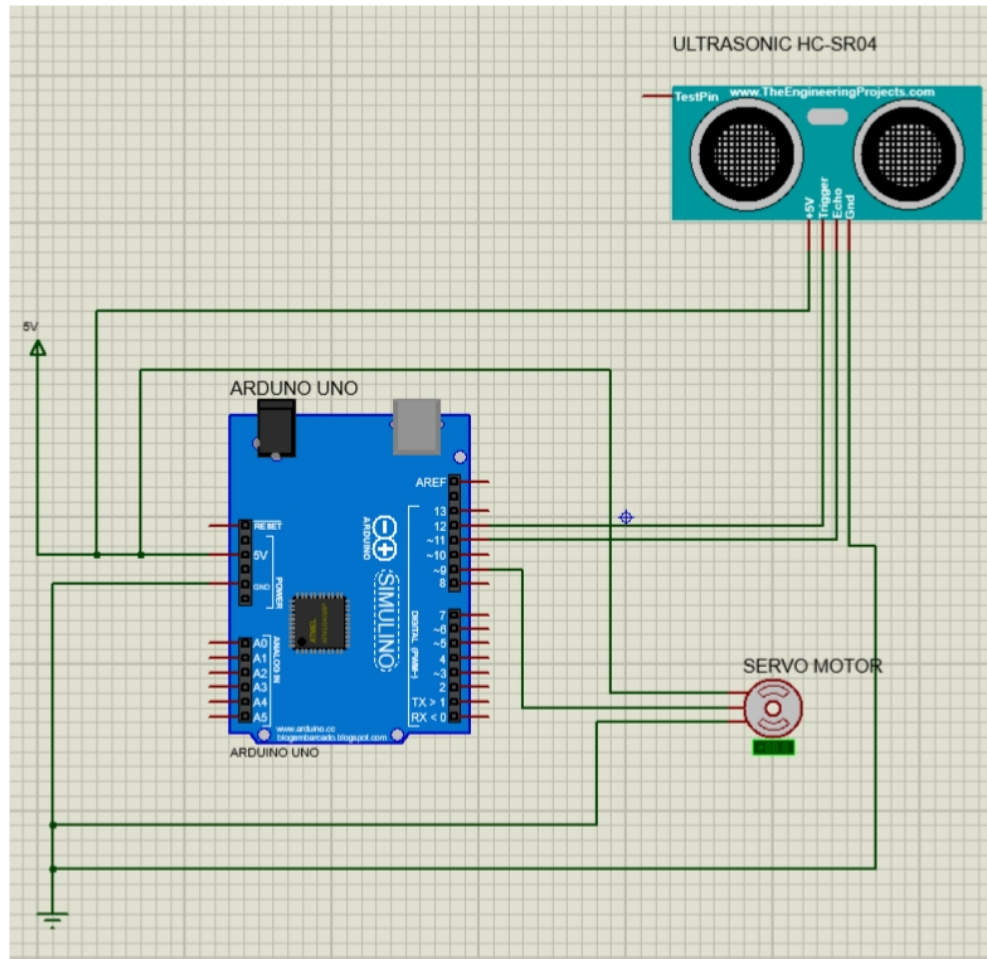


Figure 27: Schéma de câblage Proteus pour arduino uno ,capteur HC-SR04 et servomoteur.

3.5 Mise en œuvre concrète du system :

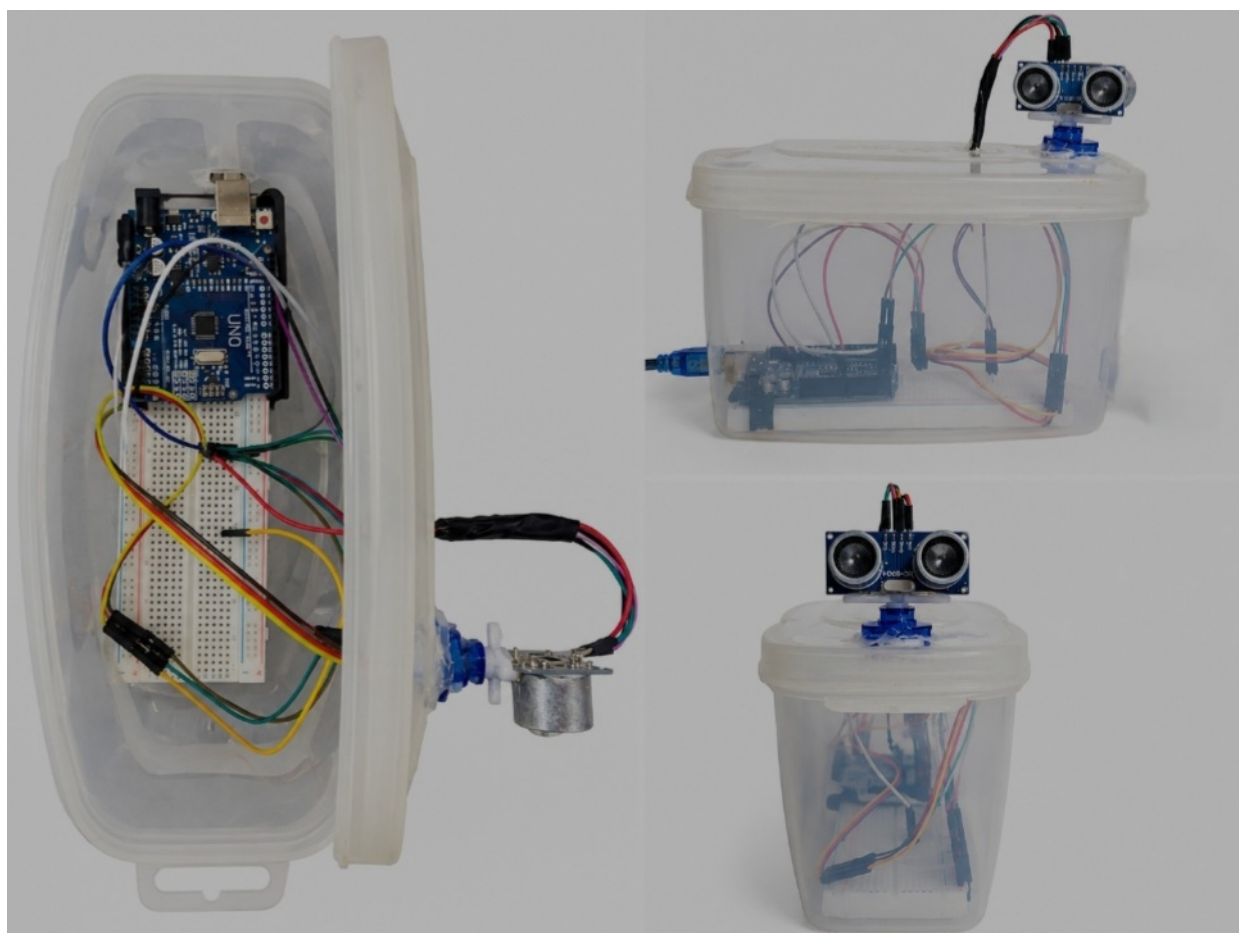


Figure 28: Configuration matérielle de notre prototype de détection.

3.6 Étude de la partie logicielle:

3.6.1 Environnement de développement “IDE Arduino”(Integrated Development Environment) : est un logiciel open-source gratuit, essentiel pour programmer les cartes Arduino (Uno, Nano, etc.). Il permet d'écrire du code (sketchs) en C/C++, de le compiler et de le téléverser via USB.[20], [24].



Fonctionnalités principales de l'IDE Arduino(figure 29) :

Éditeur de code : Interface moderne avec coloration syntaxique et auto complétion (dans la v2.x).Compilation et Téléversement : Transforme le code en instructions machine et le transfère sur la carte.Moniteur Série : Outil pour visualiser les données envoyées par la carte et communiquer avec elle en temps réel.Gestionnaire de bibliothèques : Facilite l'ajout de fonctionnalités pour des capteurs ou actionneurs spécifiques[9].

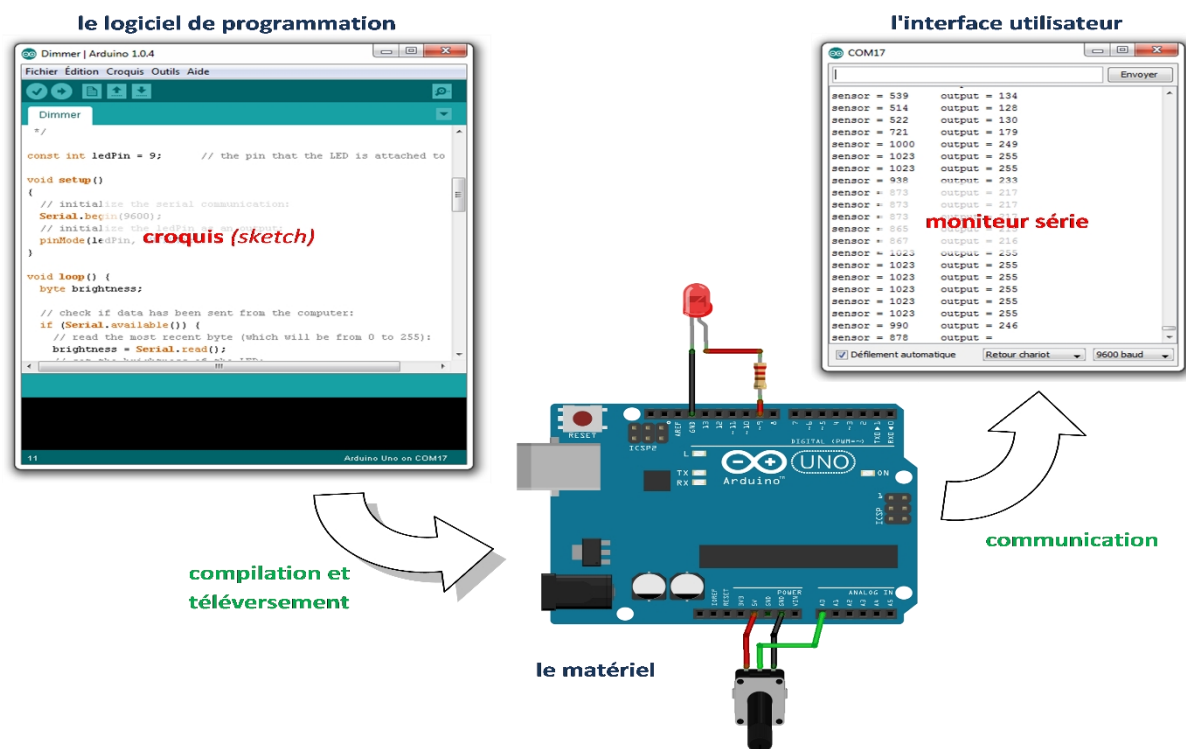


Figure 29:Le fonctionnement global de l'écosystème Arduino [52].

3.6.2 Visualisation radar via l'interface "Processing"

Le logiciel Processing lit le port série, interprète les données et dessine une interface de type PPI (Plan Position Indicator) : un demi-cercle avec une ligne de balayage et des points rouges pour les objets détectés.



Le code Processing génère une image dynamique qui comprend :

- **Lignes de portée** : Des arcs de cercle concentriques représentant la distance (ex: 10cm, 20cm, ...).
- **Ligne de balayage** : Une ligne verte qui pivote de 0° à 180° et revient.
- **Détection** : Lorsqu'un objet est détecté, un point rouge est tracé à la position correspondante, et reste affiché quelques instants [13],[9].

3.7 Fonctionnement du système de Tracking proposé:

L'objectif de notre travail a dépassé la simple mesure de distance. Nous avons conçu un système de balayage dynamique qui transforme le capteur ultrasonique en un véritable radar de poursuite capable de suivre la trajectoire d'une cible en temps réel.

Voici comment nous avons mis cela en œuvre :

-Le balayage automatique : Pour ne pas rester fixe, on a monté le capteur HC-SR04 sur un servomoteur qui tourne de 0° à 180°. À chaque petit pas de rotation, l'Arduino récupère l'angle du moteur et la distance.

-Le traitement sous Processing : Le programme reçoit ces infos et calcule les coordonnées (X, Y) pour placer un point sur l'écran radar[22].

-L'effet de traînée (Le suivi) : C'est la partie la plus importante. Pour voir le mouvement, on a programmé l'interface pour qu'elle garde en mémoire les points précédents pendant quelques secondes. Sur l'écran, cela dessine une sorte de "chemin" rouge derrière l'objet. C'est grâce à cette traînée qu'on peut voir si l'objet se rapproche ou s'il change de direction.

Chapitre 4: Résultats et discussions

4.1. Introduction

Après avoir fini le câblage et la programmation, ce chapitre 4 est dédié à la présentation et à l'analyse de tous nos résultats. Pour bien valider notre travail, on a procédé en deux étapes de simulation bien distinctes avant de passer au test réel sur notre prototype :

1-La simulation sur Proteus 8 Professional : Elle nous a servi à tester le comportement électrique et à vérifier si l'Arduino calcule bien les distances sans risquer de griller le matériel[25].

2-La simulation visuelle sur Processing 4.4.7 : Elle nous a permis de créer l'interface graphique du radar à 180° pour faire le suivi (tracking) des objets en temps réel grâce à l'effet de traînée.

Ces deux outils nous ont permis de mieux comprendre le fonctionnement de la carte Arduino Uno avant de manipuler les vrais composants.

4.2. Première validation : Mesure de distance sur Proteus

4.2.1. But de la démarche

Avant de faire le montage pratique sur notre plaque d'essai (Breadboard), il était plus sûr de créer une maquette virtuelle. Nous avons choisi le logiciel Proteus 8 Professional pour valider notre code et être certain que les alertes se déclenchent au bon moment.

4.2.2. Description de la maquette virtuelle

Si on regarde l'interface globale sur la figure 30 , on voit bien comment notre circuit est organisé :

-La commande : carte l'Arduino Uno SMD.

-La détection : nous plaçons le capteur ultrason . Comme on est dans un ordinateur et qu'on ne peut pas bouger un vrai objet devant l'écran, on a branché un potentiomètre (RV1) sur la broche TestPin du capteur. Du coup, en faisant tourner ce potentiomètre, on change la tension et cela simule le rapprochement ou l'éloignement d'un obstacle.

-Les sorties : un écran LCD 16x2 (LM016L) câblé en mode 4 bits, trois LED de couleurs différentes (Verte, Jaune, Rouge) et un buzzer connecté à un transistor NPN (Q1) pour faire office d'interrupteur.

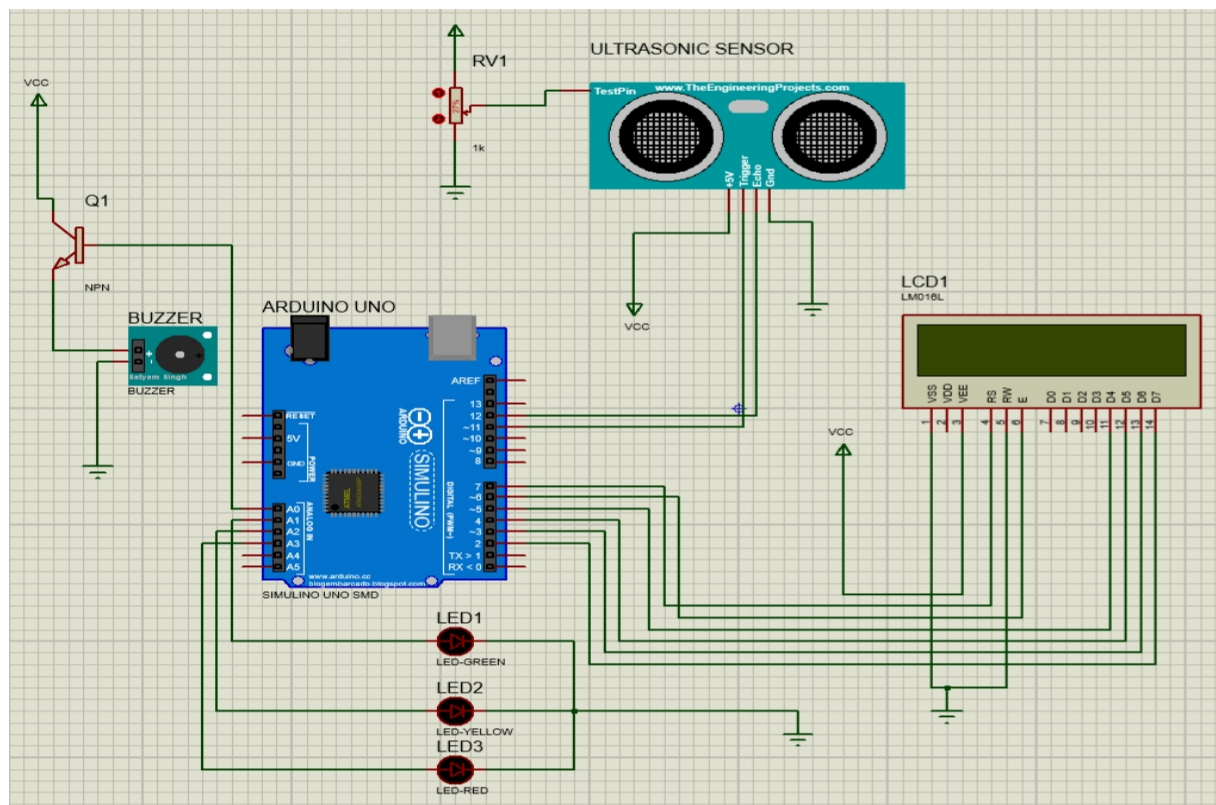


Figure 30: Simulation sur proteus

Table 3: Broche et rôle des composants.

Composant Source	Broche du Composant	Broche Arduino Uno	Rôle / Description
Capteur Ultrason	+5V	VCC	Alimentation positive du capteur
	Trigger	Pin 11	Envoi de l'impulsion ultrasonore
	Echo	Pin 12	Réception du signal d'écho
	Gnd	GND	Masse du circuit
	TestPin	Curseur de RV1	Simulation de la distance via le potentiomètre
Écran LCD	VSS / RW	GND	Masse de l'écran

Composant Source	Broche du Composant	Broche Arduino Uno	Rôle / Description
(LM016L)	VDD	VCC	Alimentation positive de l'écran
	VEE	GND	Contraste (fixé à la masse ici)
	RS	Pin 7	Sélection du registre
	E	Pin 6	Validation (Enable)
	D4	Pin 5	Bit de données 4 (Mode 4-bits)
	D5	Pin 4	Bit de données 5 (Mode 4-bits)
	D6	Pin 3	Bit de données 6 (Mode 4-bits)
	D7	Pin 2	Bit de données 7 (Mode 4-bits)
LED 1 (Verte)	Anode (+)	Pin A1	Témoin de la Zone de Sécurité
	Cathode (-)	GND	Retour à la masse
LED 2 (Jaune)	Anode (+)	Pin A2	Témoin de la Zone de Vigilance
	Cathode (-)	GND	Retour à la masse
LED 3 (Rouge)	Anode (+)	Pin A3	Témoin de la Zone de Danger
	Cathode (-)	GND	Retour à la masse
Transistor Q1 (NPN)	Base (B)	Pin A0	Commande de l'alarme sonore
	Collecteur (C)	VCC	Alimentation de puissance
	Émetteur (E)	Borne (+) du Buzzer	Alimentation du buzzer lorsque Q1 est passant
Buzzer	Borne (-)	GND	Retour à la masse

4.2.3. Analyse des différents tests sur Proteus

En manipulant le potentiomètre virtuel, on a pu tester les trois scénarios programmés dans l'Arduino :

-Cas de la zone libre (FIGURE 31) : Quand le potentiomètre est réglé pour simuler une distance de sécurité (plus ou égale de 300cm), l'écran LCD affiche le message NOTHING DETECTED. On observe que.. que seule la LED Verte s'allume. Le buzzer reste totalement silencieux car il n'y a aucun danger.

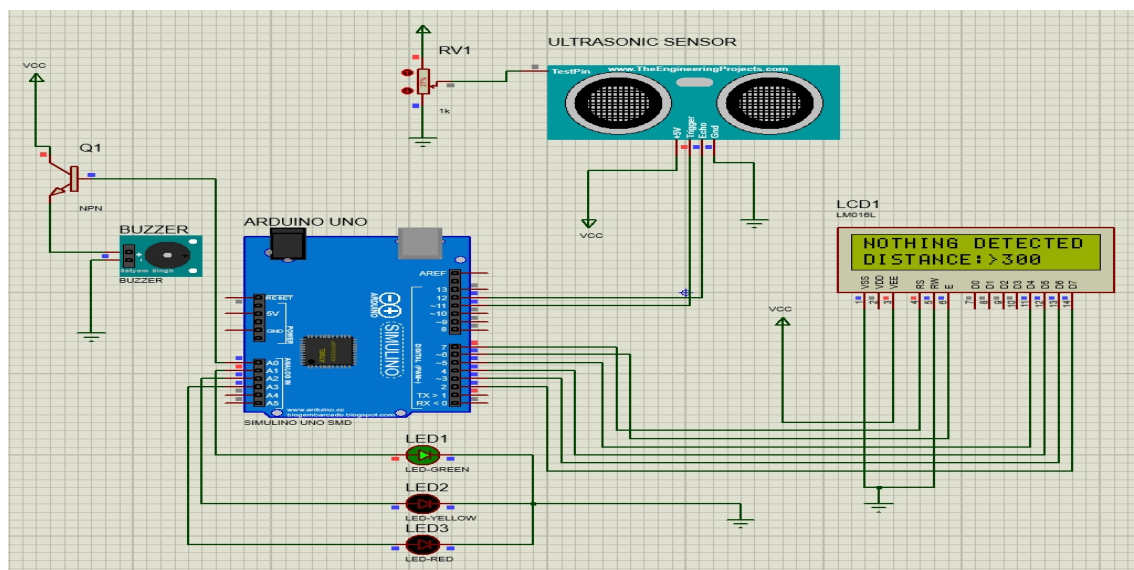


Figure 31: Cas de la zone libre

-Cas de la zone de vigilance (FIGURE 32) : Quand on tourne le potentiomètre pour simuler l'arrivée d'un objet, la distance mesurée descend à 300cm. Le système réagit instantanément : le texte sur le LCD devient OBJECT DETECTED (on remarque d'ailleurs un petit bug d'affichage avec des lettres doublées à la fin des mots sur l'écran virtuel). La LED verte s'éteint et la LED Jaune clignoter et l'Arduino envoie un signal sur la base du transistor Q1 ce qui déclenche l'alerte sonore du Buzzer pour prévenir l'utilisateur qu'il faut faire attention.

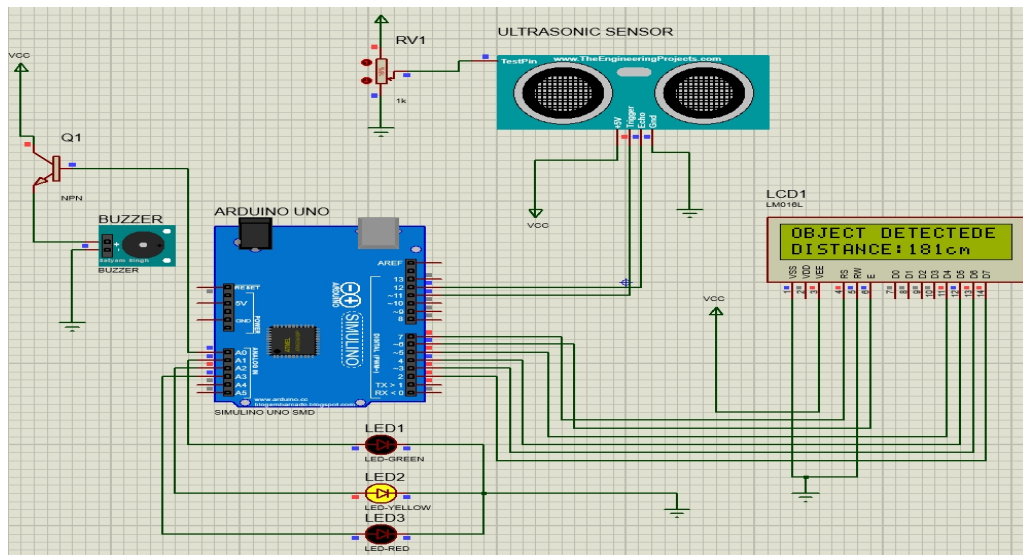


Figure 32: Cas de la zone de vigilance

-Cas de la zone de danger (FIGURE 33) : En rapprochant l'obstacle au maximum, la distance descend à 100cm. Le système passe immédiatement en alerte critique. Le LCD affiche OBJECT TOO CLOSE et la LED Rouge s'allume. En même temps, le buzzer sonne plus fort.

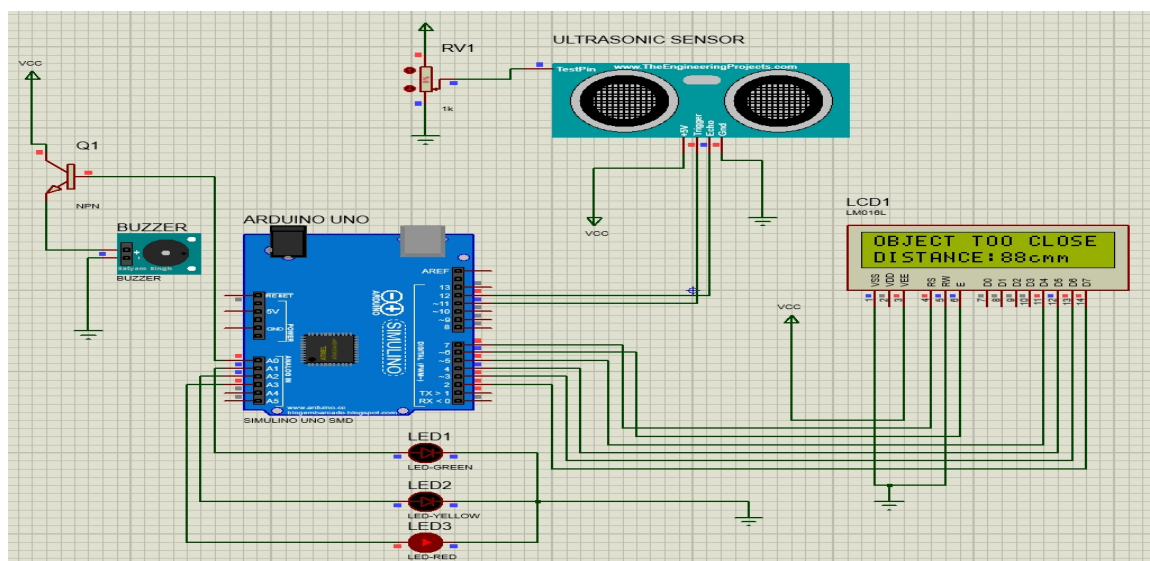


Figure 33: Cas de la zone de danger

Cette première simulation sur Proteus montre que notre logique de calcul de distance et nos seuils d'alertes fonctionnent parfaitement.

4.3. Deuxième validation : Balayage et tracking sous Processing

En plus des tests de distance fixes sur Proteus, on a développé logiciel Processing 4.4.7 pour faire fonctionner le système comme un vrai radar. Dans ce cas, le capteur ultrasonique tourne de 0° à 180° grâce à un servomoteur SG90.

En liant l'Arduino à Processing via le port série COM3, le programme en langage Java récupère l'angle et la distance en temps réel pour dessiner une interface radar (type PPI). La ligne de balayage verte tourne, et dès qu'un objet est détecté, des points rouges apparaissent. Grâce à l'effet de traînée qu'on a codé, les anciens points restent affichés quelques secondes. C'est ce qui nous permet de faire du tracking (suivi de trajectoire), comme on peut le voir sur nos résultats pratiques avec la voiture blanche, plaque métallique, morceau de bois, verre ou le lego.

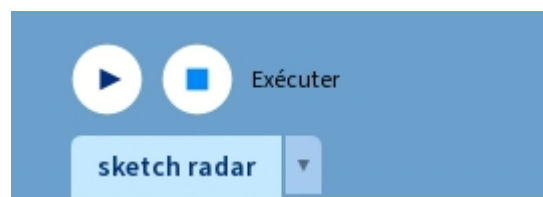
4.3.1 Les étapes de simulation sur logicielles:

1-Pour sélectionner l'Arduino Uno dans l'Arduino IDE, nous allons dans le menu Outils, nous passons notre souris sur Type de carte



2-Pour terminer le processus, on cliquons sur le bouton Téléverser (Upload) ça permet de transférer le programme dans la carte arduino

3-Pour lancer notre programme dans Processing, on cliquons sur le bouton Exécuter (Run), représenté par une icône de flèche "Lecture" (Play) en haut à gauche de l'interface



La figure 34 montre l'interface de type radar qu'on a obtenue sur l'écran avec Processing.

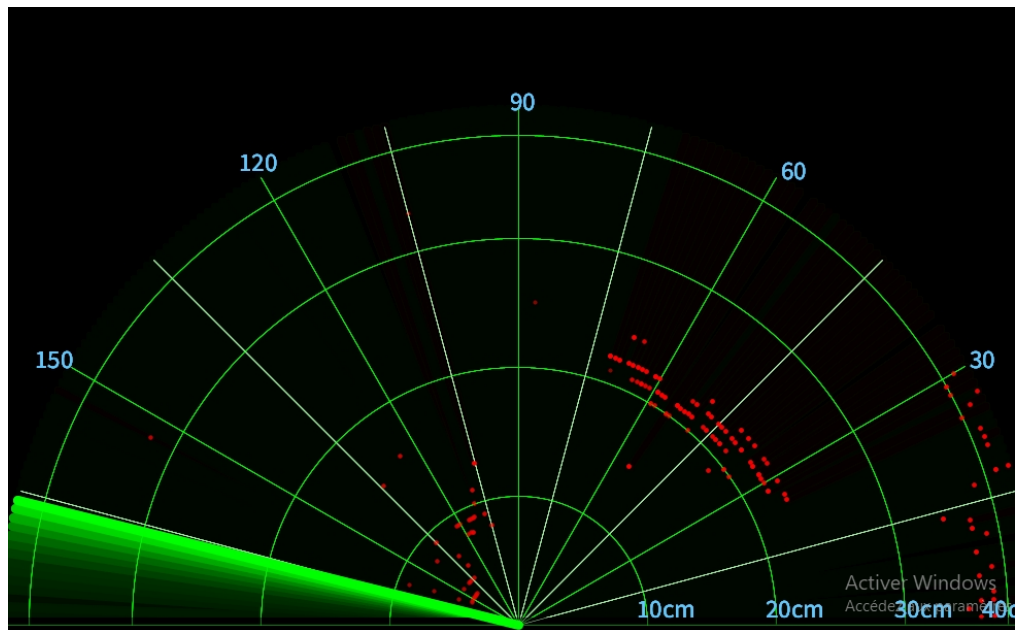


Figure 34: Radar de notre réalisation.

4.3.2 analyse des résultats:

4.3.2.1 Détection principale:

Une concentration importante de points rouges apparaît entre :

- Environ 30° et 70° à une distance comprise entre 15 cm et 30 cm
- Cela indique la présence d'un ou plusieurs obstacles dans cette zone.

Le regroupement des points montre que l'objet possède :

- Une surface relativement grande,
- Une bonne réflexion des ultrasons,
- Une position stable.

4.3.2.2 Comportement du radar:

Le balayage du radar semble fonctionner correctement car :

Les points suivent une forme cohérente, quand les points apparaissent un léger bip sonore s'active la détection varie selon l'angle, le faisceau vert indique un mouvement de balayage normal.

Le système détecte correctement les changements de distance selon la position des objets.

4.3.2.3 Précision du système :

Le radar ultrasonique présente une précision acceptable pour une application pédagogique ou robotique.

Cependant, certaines limitations apparaissent sur le tableau 4.

Table 4: Comparaison entre les distances réelles et les distances mesurées pour différents objets

Condition de test	Distance Réelle (cm)	Distance Mesurée (cm)	Erreur (%)
Mur (Surface rigide)	20.0	20.1	0.5%
Obstacle à 45°	50.0	51.4	2.8%
Tissu (Surface absorbante)	30.0	34.2	14.0%

Il convient de noter que l'absorption acoustique par les textiles et l'influence de la température sur la vitesse de l'air (v augmente avec la chaleur) constituent les principales limites de cette technologie.

4.3.3 Analyse pratique du projet:

Table 5: Analyse des erreurs absolues et relatives sur les mesures de distance et d'angle.

Objet détecté	Position réelle (Angle / Distance)	Position détectée par le projet	Erreur angulaire	Erreur de distance	Observation
Voiture blanche (figure35)	90°/30cm	95°/33cm	5°	3 cm	Détection correcte avec légère dispersion des points
lego de plastique(figure36)	90°/30cm	96°/29cm	6°	1cm	Détection correcte
Plaque métallique (figure37)	90°/30cm	93°/30cm	3°	0	Bonne détection centrale
Morceau de bois (figure38)	90°/20cm	100°/25cm	10°	5cm	Grade erreur angulaire
un verre (figure39)	60° / 10 cm	65° / 8 cm	5°	2 cm	Bonne stabilité des mesures
deux voitures (figure40)	45° / 21 cm 150° / 22 cm	60° / 23 cm 150° / 22 cm	15° 0°	1cm 0cm	Détection de deux voitures avec bonne séparation

Remarque : la détections précis dépende de l'atmosphère et le son dans la zone de test .

-Cas d' une voiture blanche :

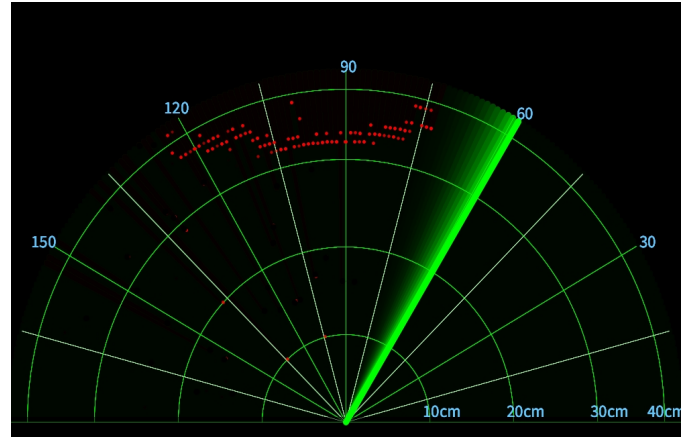


Figure 35:Cas d' une voiture blanche

-Cas d' un lego de plastique :

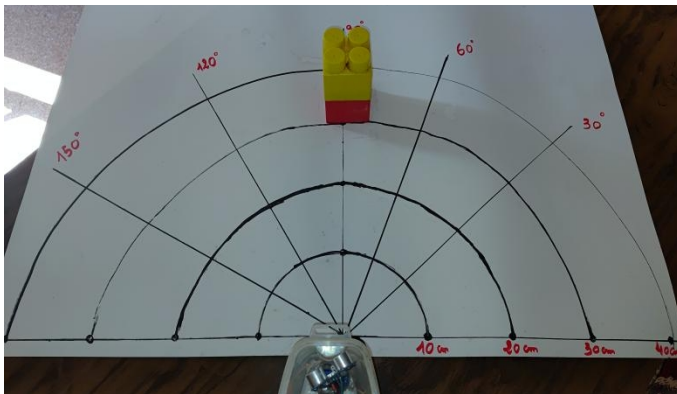
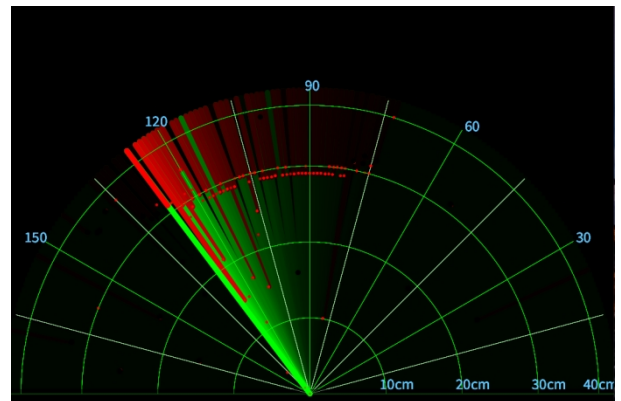


Figure 36:Cas d' un lego de plastique

-Cas d' une Plaque métallique:

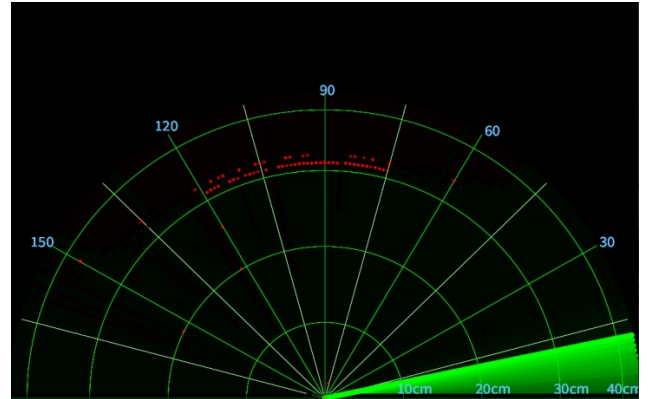


Figure 37: Cas d' une Plaque métallique

-Cas d' un morceau de bois :

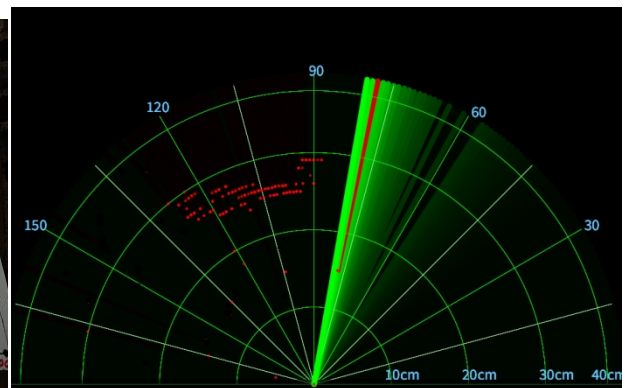


Figure 38: Cas d' un morceau de bois

Cas d' un verre :

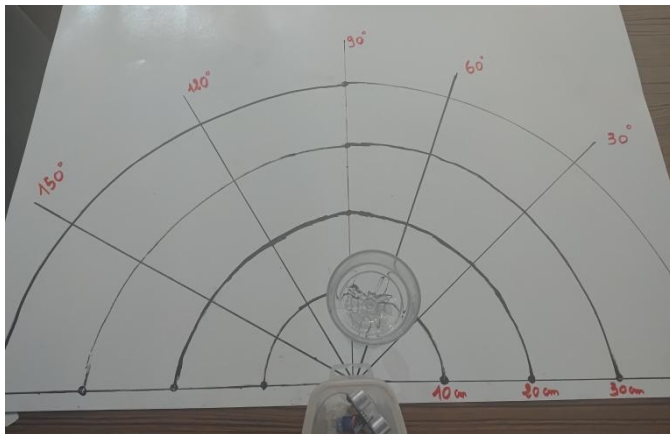
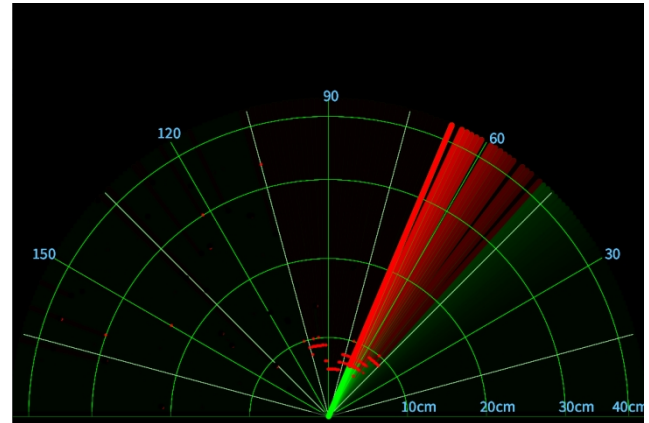


Figure 39: Cas d' un verre

Cas deux voitures :

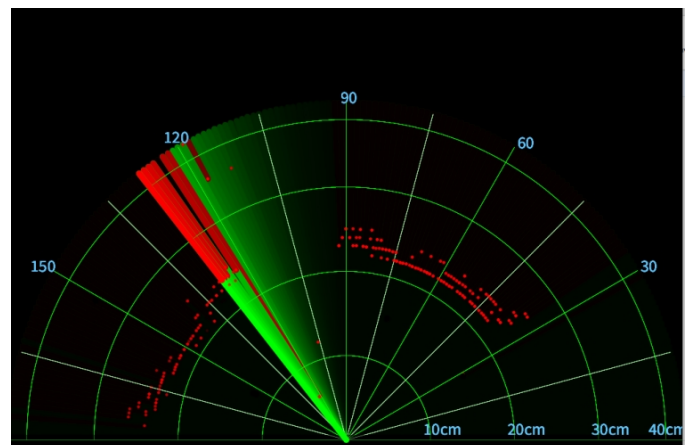


Figure 40: Cas deux voitures

4.4. Lien avec la réalisation pratique et discussions

Une fois que ces deux simulations ont fonctionné (Proteus pour valider l'électronique et Processing pour le visuel), on a pu passer au vrai montage dans notre boîte en plastique (prototype réel).

En comparant nos tableaux de mesures réelles (sur le plastique, le métal, le verre ou le bois) avec nos simulations, on remarque que les résultats sont très proches. Les petites différences qu'on trouve en réalité viennent de perturbations environnementales qu'on ne peut pas avoir sur Proteus : par exemple le fait que le tissu absorbe les ondes sonores ou que la température de la pièce modifie un peu la vitesse des ultrasons dans l'air.

4.5 Conclusion et perspectives

Le projet de radar ultrasonique basé sur une carte Arduino Uno, un servomoteur et le capteur HC-SR04 Ultrasonic Sensor présente des résultats satisfaisants pour la détection d'objets à courte distance. Cependant, plusieurs améliorations peuvent être proposées afin d'augmenter la précision, la stabilité et les performances globales du système.

Augmentation de la portée

Le capteur HC-SR04 possède une portée limitée. Il est possible de remplacer ce capteur par :

- Des capteurs ultrasoniques industriels,
- Un capteur LIDAR,
- Ou un capteur radar micro-ondes.

Cela permettrait :

- Une portée plus importante.
- Une meilleure précision.
- Une détection plus rapide.
- Ajout d'un système d'alarme

Le projet peut être amélioré en ajoutant :

- Un buzzer.
- Une LED.
- Une alarme sonore.

- Le système peut déclencher une alerte lorsqu'un objet est détecté à une distance critique.

Communication sans fil

L'ajout de modules de communication comme :

- Bluetooth,
- Wi-Fi,
- Ou RF,

permettrait :

- Le contrôle à distance.
- La transmission des données.
- La surveillance via smartphone ou ordinateur.

Extension du champ de détection

Le radar actuel effectue généralement un balayage sur 180°.

Une amélioration possible consiste à :

- Utiliser une rotation à 360°(figure 41).
- Ajouter plusieurs capteurs.
- Réaliser une cartographie complète de l'environnement.



Figure 41:Interface graphique sous Processing d'un radar avec balayage complet à 360 degrés[53].

Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de ce travail, nous avons présenté les principes fondamentaux de fonctionnement des systèmes radar ainsi que leurs différents domaines d'application. Les technologies radar occupent aujourd'hui une place essentielle dans plusieurs secteurs tels que l'aviation, la météorologie, la surveillance militaire, la navigation et les systèmes de sécurité.

Notre étude s'est particulièrement orientée vers les radars à ultrasons, qui représentent une solution efficace, économique et polyvalente pour la détection d'objets et la mesure de distance. Ces systèmes se distinguent par leur capacité à fonctionner dans des environnements difficiles, notamment en présence de poussière, de brouillard, de forte luminosité ou encore face à des objets transparents ou de différentes natures comme le métal, le plastique, le bois ou les liquides.

Afin de mieux comprendre le fonctionnement de cette technologie, nous avons réalisé deux applications pratiques basées sur une carte Arduino Uno, utilisée comme unité principale de traitement et de commande.

La première application consistait en la réalisation d'un télémètre ultrasonique permettant de mesurer la distance entre le capteur et un obstacle à partir du principe d'émission et de réception des ondes ultrasonores. Cette réalisation nous a permis de comprendre le fonctionnement du capteur ultrasonique ainsi que les méthodes de calcul des distances.

Dans la seconde application, nous avons conçu un radar ultrasonique capable de détecter des objets et de déterminer leur position angulaire grâce à un servomoteur SG90 Micro Servo Motor assurant une rotation de 180°. Une interface graphique développée avec le logiciel Processing a permis de visualiser en temps réel les objets détectés sous forme d'affichage radar, améliorant ainsi l'interprétation des résultats obtenus.

Les résultats expérimentaux obtenus montrent que le système réalisé fonctionne correctement et permet une détection fiable des obstacles à courte distance. Malgré certaines limitations liées à la portée, à la précision angulaire et aux perturbations environnementales, le projet constitue une excellente démonstration des applications des ultrasons dans les systèmes de détection modernes.

Par ailleurs, cette étude nous a permis d'approfondir nos connaissances dans plusieurs domaines, notamment l'électronique, l'instrumentation, la programmation embarquée et le traitement des données. Elle nous a également offert une expérience pratique enrichissante dans la conception et la réalisation de systèmes intelligents à base de microcontrôleurs.

Enfin, les technologies ultrasoniques continuent d'évoluer rapidement et trouvent aujourd'hui des applications de plus en plus avancées dans les domaines industriels, médicaux, automobiles et robotiques. Grâce à leurs performances et à leur adaptabilité, les ultrasons occupent désormais une place importante dans le développement des systèmes de détection et d'automatisation modernes.

Bibliographie

- [1] J. D. Kraus, **Radar and Remote Sensing Fundamentals**, McGraw-Hill Education, New York, 2018.
- [2] A. V. Oppenheim et A. S. Willsky, **Signals and Systems**, 2e édition, Pearson Education, 2015.
- [3] R. C. Dorf et J. A. Svoboda, **Introduction to Electric Circuits**, 9e édition, Wiley, 2018.
- [4] LiDAR : Technologie laser pour cartographie précise | YellowScan 25 Aug 2023
- [5] Qu'est-ce que la vision artificielle ? Auteur : E2M Couth 28 novembre 2025
- [6] P. Langevin, « Sur les propriétés des ultrasons et leurs applications », *Journal de Physique Théorique et Appliquée*, vol. 5, pp. 321-336, 1917.
- [7] S. Haykin, « Radar Signal Processing », *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 23, n° 1, pp. 15-25, 2016.
- [8] M. I. Skolnik, « Introduction to Radar Systems », *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 17, pp. 45-59, 2017.
- [9] Arduino, **Arduino UNO Rev3 Technical Specifications**, Arduino Documentation, 2025.
- [10] wikipedia sonar
- [11] Elec Freaks, **HC-SR04 Ultrasonic Sensor User Manual**, Technical Datasheet, Version 2.0, 2024.
- [12] TowerPro, **SG90 Micro Servo Motor Datasheet**, Technical Documentation, 2024.
- [13] Processing Foundation, **Processing Reference Manual**, Version 4.4.7, 2025.
- [14] Abdellaoui Cherifa, « Implémentation d'algorithmes de traitement de signal sur carte FPGA : Application aux signaux ultrasonores », Mémoire de master, université saad dahlab blida, 2019-2020.
- [15] Draï Redouane, « TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES SIGNAUX ULTRASONORES », Thèse de Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene USTHB, 2005
- [16] DERAREDJ RAMZI (Études et réalisations de télémètres laser et à ultrasons) ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

[17] LEVESQUE Philippe, "Architecture d'un processeur dédié aux traitements de signaux ultrasoniques en temps réel en vue d'une intégration sur puce", thèse de doctorat 2011, École Polytechnique de Montréal.

[18] Datasheet MODULE ULTRASON HC-RS04.

[19] BENMOUSSA Mehdi MÉMOIRE Détection et mesure de distance à l'aide d'un capteur ultrason avec Arduino Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed Juin 2017

[20] Arduino project hub, URL: <https://projecthub.arduino.cc/akk47/sonar-using-arduino-and-display-on-processing-ide-c0904b>

[21] Capteur et system radar , URL: <https://www.indie.inc/fr/radar-sensors-and-systems/>

[22] Wikipedia (ultrason) , URL: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ultrason>

[23] [Processing Foundation](#)

[24] [Arduino Documentation Center](#)

[25] [Ultrasonic Sensor HC-SR04 Documentation](#)

[26] [Proteus Design Suite Documentation](#)

[27] principe des ultrason , URL: <https://www.sinaptec.fr/principes-generaux-ultrasons/>

[28] Schéma des ondes, fréquences et rayonnements électromagnétique, URL: <https://www.onde-protege.fr/blog-post3>

[29] Le fonctionnement d'un système radar et le rôle crucial de ses composants pour la détection d'objets, URL: <https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/documents-dinformation/le-radar-ca-fait-des-vagues>

[30] Radars du système de défense antiaérienne MIM-23 Hawk, URL:

<https://www.marketresearchintellect.com/fr/blog/the-cutting-edge-of-defense-trends-and-technologies-in-the-military-radars-market/>

[31] Radar de contrôle aérien, URL: <https://www.lavionnaire.fr/RadarATCIntroduction.php>

[32] Schéma illustre le principe de fonctionnement d'un LiDAR , URL: <https://www.cadden.fr/fonctionnement-technologie-lidar/>

[33] Un drone équipé d'un système LiDAR, URL: https://www.researchgate.net/figure/Ilustracion-figurativa-del-escaneado-LiDAR_fig62_348480502

- [34] Fonctionnement d'un système de vision industrielle ,URL: https://www.researchgate.net/figure/The-principle-of-machine-vision-measurement-system-3D-reconstruction-4-Development-trend_fig2_354953984
- [35] Un système sonar ,URL: <https://www.ll.mit.edu/partner-us/available-technologies/improving-deep-sea-mapping-autonomous-sonar-array>
- [36] Le spectre des fréquences de l'oreille humaine ,URL: <https://communicationanimale.github.io/tpe/2-communication-ultrasonore/>
- [37] Onde sonore selon la longueur d'onde et la fréquence ,URL: <https://comprendreetmaitriserlavideo.com/comprendre-comment-capter-un-bon-son/>
- [38] Effet piézoélectrique direct ,URL: <https://si.blaise-pascal.fr/1t-les-capteurs/>
- [39] URL: https://fac.umc.edu.dz/vet/Cours_Ligne/cours_23_24/Biophysique_A1/Chapitre4_suite_Sons_ultraSon_Echographie_Part1.pdf Difuseur https://fac.umc.edu.dz/vet/documents/Cours%20et%20Td/Sons_Ultrasons.pdf
- [40] Diffusion ,URL: https://fac.umc.edu.dz/vet/documents/Cours%20et%20Td/Sons_Ultrasons.pdf
- [41] Capteur ultrasonique ,URL: <https://aytoo.ma/produit/capteur-ultrason-hc-sr05/>
- [42] Capteur ultrasonique à réflexion direct autosome AO043 <https://autosen.com/fr/Detecteurs-de-Position/Detecteurs-optoelectroniques/Detecteur-reflexion-directe/Systeme-reflexion-directe-avec-boitier-PA-AO043>
- [43] Capteur photoélectrique barrage Autosen AO036 <https://autosen.com/fr/Detecteurs-de-Position/Detecteurs-optoelectroniques/Les-barrages-photoelectriques/Detecteur-optoelectronique-avec-boitier-PA-AO036>
- [44] Transmetteur de niveau à ultrasons Endress+Hauser Prosonic M FMU41 <https://www.fr.endress.com/fr/instrumentation-terrain-sur-mesure/mesure-detection-niveau/mesure-ultrasons-FMU40>
- [45] :Les différents modes de détection des capteurs photoélectriques [https://thesis.essatlemcen.dz/bitstream/handle/STDB_UNAM/83/PFE%20Benahmed%20%26%20Boumaarafi.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [46] Arduino UNO, URL: <https://forum.arduino.cc/t/review-of-freetronics-usb-droid/76301>

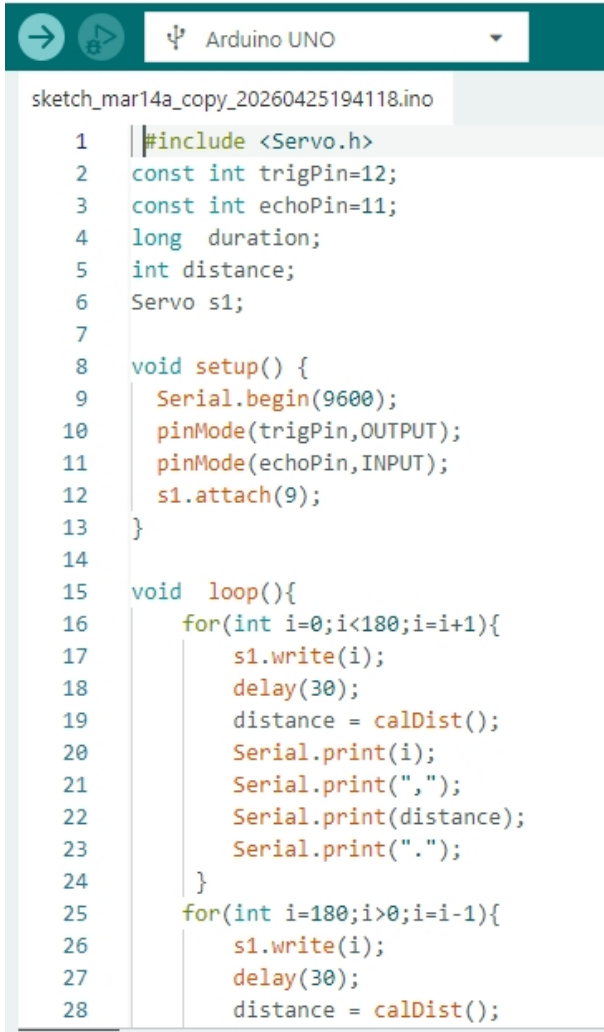
- [47] Micro contrôleur ,URL: <https://powerlab.dz/product/atmega328p-au/>
- [48] Capteur ,URL: <https://fr.mfgrobots.com/mfg/mpm/1002020627.html>
- [49] Servo moteur,URL: <https://www.makerguides.com/fr/servo-arduino-tutorial-fr/>
- [50] <https://forum.arduino.cc/t/generating-8-40khz-pulses/487199>
- [51] URL :<https://elearning-deprecated.univ-annaba.dz/mod/resource/view.php?id=17428>
- [52] URL: <https://arduino.blaisepascal.fr/presentation/>
- [53] Interface graphique sous Processing d'un radar avec balayage complet à 360 degrés ,URL: <https://github.com/abhi9-akr/Radar-Security-System>

ANNEXES

Annexe 1: Code source Arduino (C++)

Ce programme gère la rotation du servomoteur, l'émission des ultrasons par le capteur HC-SR04 et l'envoi des données vers le port série

La programmation s'articule autour de la structure duale `setup()` pour l'initialisation des registres (définition des entrées/sorties et vitesse de la liaison série à 9600 bauds) et `loop()` pour le traitement séquentiel des données.



```
sketch_mar14a_copy_20260425194118.ino
1  | #include <Servo.h>
2  | const int trigPin=12;
3  | const int echoPin=11;
4  | long duration;
5  | int distance;
6  | Servo s1;
7  |
8  | void setup() {
9  |     Serial.begin(9600);
10 |     pinMode(trigPin,OUTPUT);
11 |     pinMode(echoPin,INPUT);
12 |     s1.attach(9);
13 | }
14 |
15 | void loop(){
16 |     for(int i=0;i<180;i=i+1){
17 |         s1.write(i);
18 |         delay(30);
19 |         distance = calDist();
20 |         Serial.print(i);
21 |         Serial.print(",");
22 |         Serial.print(distance);
23 |         Serial.print(".");
24 |     }
25 |     for(int i=180;i>0;i=i-1){
26 |         s1.write(i);
27 |         delay(30);
28 |         distance = calDist();
```

```
29     Serial.print(i);  
30     Serial.print(",");  
31     Serial.print(distance);  
32     Serial.print(".");  
33 }  
34 }  
35  
36 int calDist(){  
37     digitalWrite(trigPin, LOW);  
38     delayMicroseconds(2);  
39     digitalWrite(trigPin, HIGH);  
40     delayMicroseconds(10);  
41     digitalWrite(trigPin, LOW);  
42     duration = pulseIn(echoPin, HIGH);  
43     distance= duration*0.034/2;  
44     return distance;  
45 }  
46
```

Annexe 2: Code source Processing (Java)

Ce code permet de créer l'interface graphique du radar, de convertir les données reçues de l'Arduino et de gérer l'effet de traînée pour le tracking

```
sketch radar ▼
1 ArrayList<PVector> points = new ArrayList<PVector>();
2 import processing.serial.*;
3 import processing.sound.*;
4
5 Serial myPort;
6
7 String ang="";
8 String distance="";
9 String data="";
10
11 int angle, dist;
12
13 // VARIABLES SON
14 SinOsc beep;
15 int lastBeepTime = 0;
16
17 void setup() {
```

```

18   size (1000,700);
19   myPort = new Serial(this,"COM3", 9600);
20   myPort.bufferUntil('.');
21   background(0);
22
23   // INIT SON
24   beep = new SinOsc(this);
25 }
26
27 void draw() {
28
29     fill(0,20);
30     noStroke();
31     rect(0, 0, width, height*0.93);
32
33     noStroke();
34     fill(0,255);
35     rect(0,height*0.93,width,height);
36
37     drawRadar(); |
38     drawLine();
39     drawObject();
40     drawText();
41     drawTrail();
42     // GESTION SON
43     manageSound();
44 }
45 // LECTURE SERIE
46 void serialEvent (Serial myPort) {
47     data = myPort.readStringUntil('.');
48
49     if(data == null) return;
50
51     data = trim(data);
52     data = data.substring(0,data.length()-1);
53
54     int index1 = data.indexOf(",");
55

```

```

54   int index1 = data.indexOf(",");
55   if(index1 == -1) return;
56   ang= data.substring(0, index1);
57   distance= data.substring(index1+1);
58   angle = int(ang);
59   dist = int(distance);
60
61   SON INTELLIGENT
62   id manageSound(){
63
64   if(dist > 0 && dist <= 40){
65
66     // fréquence (proche = aigu)
67     float freq = map(dist, 0, 40, 2000, 400);
68     beep.freq(freq);
69
70     // vitesse bip (proche = rapide)
71     int interval = int(map(dist, 0, 40, 50, 500));
72
73     if(millis() - lastBeepTime > interval){
74         beep.amp(0.5);
75         beep.play();
76
77         delay(20); // petit bip court
78         beep.stop();
79
80         lastBeepTime = millis();
81     }
82
83     else {
84         beep.stop();
85     }
86
87     id drawRadar(){
88         pushMatrix();
89         noFill();
90         strokeWeight(0.5);

```

```

91 stroke(10,255,10);
92 translate(width/2,height-height*0.06);
93 line(-width/2,0,width/2,0);
94 arc(0,0,(width*0.5),(width*0.5),PI,TWO_PI);
95 arc(0,0,(width*0.25),(width*0.25),PI,TWO_PI);
96 arc(0,0,(width*0.75),(width*0.75),PI,TWO_PI);
97 arc(0,0,(width*0.95),(width*0.95),PI,TWO_PI);
98 line(0,0,(-width/2)*cos(radians(30)),(-width/2)*sin(radians(30)));
99 line(0,0,(-width/2)*cos(radians(60)),(-width/2)*sin(radians(60)));
100 line(0,0,(-width/2)*cos(radians(90)),(-width/2)*sin(radians(90)));
101 line(0,0,(-width/2)*cos(radians(120)),(-width/2)*sin(radians(120)));
102 line(0,0,(-width/2)*cos(radians(150)),(-width/2)*sin(radians(150)));
103 stroke(175,255,175);
104 line(0,0,(-width/2)*cos(radians(15)),(-width/2)*sin(radians(15)));
105 line(0,0,(-width/2)*cos(radians(45)),(-width/2)*sin(radians(45)));
106 line(0,0,(-width/2)*cos(radians(75)),(-width/2)*sin(radians(75)));
107 line(0,0,(-width/2)*cos(radians(105)),(-width/2)*sin(radians(105)));
108 line(0,0,(-width/2)*cos(radians(135)),(-width/2)*sin(radians(135)));
109 line(0,0,(-width/2)*cos(radians(165)),(-width/2)*sin(radians(165)));
110 popMatrix();
111 id drawLine() {
112   pushMatrix();
113   strokeWeight(9);
114   stroke(0,255,0);
115   translate(width/2,height-height*0.06);
116   line(0,0,(width/2)*cos(radians(angle)),(-width/2)*sin(radians(angle)));
117   popMatrix();
118 id drawObject() {
119
120   pushMatrix();
121   translate(width/2,height-height*0.06);
122
123   strokeWeight(9);
124   stroke(255,0,0);
125
126   float pixleDist = (dist/40.0)*(width/2.0);

```

```

127 float pd=(width/2)-pixleDist;
128 float x=-pixleDist*cos(radians(angle));
129 float y=-pixleDist*sin(radians(angle));
130 if(dist<=40){
131     line(-x,y,-x+(pd*cos(radians(angle))),y-(pd*sin(radians(angle))));
132 }
133 stroke(255,0,0);
134 strokeWeight(8);
135 float d = map(dist, 0, 40, 0, width/2);
136 float px = d * cos(radians(angle));
137 float py = -d * sin(radians(angle));
138 if(dist <= 40){
139     point(px, py);
140 // Z stocker point
141     points.add(new PVector(px, py));
142     if(points.size() > 200){
143         points.remove(0);
144     }
147 popMatrix();
148 id drawText(){
149     pushMatrix();
150     fill(100,200,255);
151     textSize(25);
152     text("10cm", (width/2)+(width*0.115),height*0.93);
153     text("20cm", (width/2)+(width*0.24),height*0.93);
154     text("30cm", (width/2)+(width*0.365),height*0.93);
155     text("40cm", (width/2)+(width*0.45),height*0.93);
156     if(dist<=40) {
157         text("Distance :"+dist,width*0.7,height*0.99);
158     }
159     translate(width/2,height-height*0.06);
160     textSize(25);
161     text(" 30", (width/2)*cos(radians(30)), (-width/2)*sin(radians(30)));
162     text(" 60", (width/2)*cos(radians(60)), (-width/2)*sin(radians(60)));
163     text(" 90", (width/2)*cos(radians(91)), (-width/2)*sin(radians(90)));
164     text("120", (width/2)*cos(radians(123)), (-width/2)*sin(radians(118)));
165     text("150", (width/2)*cos(radians(160)), (-width/2)*sin(radians(150)));

```

```
164 text("120", (width/2)*cos(radians(123)), (-width/2)*sin(radians(118)));
165 text("150", (width/2)*cos(radians(160)), (-width/2)*sin(radians(150)));
166 popMatrix();
167 id drawTrail(){
168   pushMatrix();
169   translate(width/2, height-height*0.06);
170
171   for(int i = 0; i < points.size(); i++){
172     PVector p = points.get(i);
173
174     int alpha = int(map(i, 0, points.size(), 20, 255));
175
176     stroke(255, 0, 0, alpha);
177     strokeWeight(4);
178     point(p.x, p.y);
179   }
180
181   popMatrix();
```

Remarque : après tant d'esses on a traité notre programme du radar avec la nouvelle version de processing (processing 4.4.7) et tout ca en langage java pour la simplicité et on a ajouter des commentaires pour chaque transaction dans le code java