

زارقو التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année : 2018

Faculté: Sciences de l'Ingéniorat
Département: Electronique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de : MASTER

Intitulé :

Réseaux de capteurs intelligents : architecture et fonctionnalités. Application pour un modèle d'automobile fabriqué en ALGERIE.

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : ELECTRONIQUE

Spécialité: INSTRUMENTATION

Par :

Mr. SEBBAGH ABDESSALAM

DEVANT Le JURY

Président : MESSADEG Djemil	Grade : Professeur	UBM Annaba
Directeur de mémoire: TAIBI Mahmoud	Grade : Professeur	UBM Annaba
Examineurs: LARBI Allel	Grade : Professeur	UBM Annaba
Examineurs: SMIRA Hichem	Grade: MCB	UBM Annaba

ملخص

جعل تطوير الإلكترونيات الدقيقة من الممكن دمج تقنيات جديدة في أجهزة الاستشعار، تلك الذكاء بفضل الميزات الرقمية، تتوفر ميزات جديدة: تصحيح أخطاء القياس، التعديل الذاتي، التشخيص الذاتي للقياسات وحالة المستشعر، إعادة التشكيل، الاتصال الرقمي.

Résumé

Le développement de la microélectronique a permis d'intégrer de nouvelles technologies au sein des capteurs, celles de « l'intelligence ». Grâce au numérique, de nouvelles fonctionnalités sont disponibles : correction des erreurs de mesure, auto-ajustage, autodiagnostic des mesures et de l'état du capteur, reconfiguration, communication numérique.

Sommaire

CHAPITRE 1 : Les Capteurs Intelligents

Introduction Générale.....	5
I.1. Introduction	6
I.2. Pourquoi Mettre L'intelligence Au Sein Des Capteurs ?.....	6
I.2.1. L'itinéraire De L'information.....	6
I.2.2. Ce Qu'on Attend D'un Capteur Intelligent	8
I.2.3. Fonctions Associées à« L'intelligence » Des Capteurs	9
I.2.4. Fonctions De L'intelligence Dans Le Traitement De L'information	11
I.3. Les Approches De Réalisation Des Capteurs Intelligents	12
I.4. Modélisation Du Concept Du Capteur Intelligent	13
I.5. Le Capteur Intelligent En Tant Qu'équipement Intelligent	13
I.6. Domaines D'applications Des Capteurs Intelligents	15
I.7. La Conception Des Capteurs Intelligents	16
I.7.1. Approche Fonctionnelle	16
I.7.1.1. La Décomposition Fonctionnelle	16
I.7.1.2. La Décomposition Par Flots De Données	17
I.7.2. Approche Informationnelle	18
I.7.3. Approche Comportementale	18
I.7.4. Approche Hybride	19
I.7.5. Approche Orientée Objet	19

I.8.Les capteurs actifs sans contact	20
I.8.1.Présentation	20
I.8.2.La disposition des capteurs	20
I.8.3.Le capteur à infrarouge	22
I.8.4.Le radar : capteur à micro-ondes.....	23
I.9.Les capteurs passifs sans contact	23
I.9.1.Les capteurs passifs à infrarouge	24
I.9.2.Les capteurs magnétiques	24
I.9.3.Le capteur phonique	25
I.10.Conclusion.....	25

CHAPITRE 2 :Les véhicules Intelligents

II.1. Introduction	26
II.2.Les capteurs	26
II.2.1.Capteur de vitesse	26
II.2.2.Capteurs d'informations sur le véhicule	26
II.2.2.1.Les capteurs de température	26
II.2.2.2.Les capteurs de pression	27
II.2.2.3.Les capteurs spécifiques.....	27
II.2.3.Technologies de guidage et d'évitement d'obstacles	27
II.2.4.Capteur de type magnétorésistif (MR)	29
II.2.5.Capteur de type optoélectronique	29
II.2.6.Caméras et stéréovision	30

1	II.2.7.Radar	3
	II.2.8.Laser couplé à un système de détection	32
	II.3.Aspect coopératif	32
	II.3.1.Communication V2V (Vehicle to Vehicle)	32
	II.3.2.Propriétés	34
	II.3.3.Application	35
	II.3.4.Communication infrastructure-véhicule	35
	II.3.5.Principe de la technologie	36
	II.3.6.Régulateur / limiteur de vitesse	37
	II.3.7.ESP ou ESC (Electronic Stability Program).....	37
	II.4.Conclusion.....	38

CHAPITRE 3 : Étude De La Partie Matérielle Et Logicielle

	III .1.Introduction.....	39
	III .2.Presentation du matériel utilisé	39
	III.2.1.Hardware	39
	III .2.1.1.Arduino.....	39
	III .2.1.2.Capteur sonar à Ultrasons HC- SR04	47
	III .2.1.3.Caractéristiques et spécification du capteur	47
	III .2.1.4.Broches de connexion	48
	III .2.1.5.Fonctionnement	48
	III .2.1.6.Distance de la cible	49
	III.2.2.Plateforme de programmation Arduino	50
	III.2.2.1.Présentation	50

III.2.2.2.Structure générale du programme (IDE Arduino)	52
---	----

III.3.Conclusion.....	60
-----------------------	----

Conclusion générale.....	61
--------------------------	----

Bibliographies.....	62
---------------------	----

Table des figures :

Figure I.1 : L'échange de l'information entre les trois mondes.....	7
---	---

Figure I.2 : La classification des traitements du signal liés au capteur intelligent.	10
--	----

 Figure I.3 : Trois approches différentes pour mettre en œuvre l'intelligence du capteur.12

Figure I.4 : Configuration des capteurs suivant le mode barrage.....	21
--	----

Figure I.5 : Configuration des capteurs suivant le mode reflex.....	21
---	----

Figure I.6 : Configuration des capteurs suivant le mode de proximité.....	22
---	----

Figure I.7 : Positionnement d'un capteur en mode de proximité.....	22
--	----

Figure I.8 : Dispositif à base d'un capteur à infrarouge passif.....	24
--	----

Figure I.9 : Positionnement d'un capteur magnétique.....	25
--	----

Figure II.1 : Schéma d'un capteur de type magnétorésistif.....	29
--	----

Figure II.2 : Schéma d'un capteur de type optoélectrique.....	30
---	----

Figure II.3 : Schéma du fonctionnement d'un radar.....	32
--	----

Figure III.1 :Carte Arduino.....	40
----------------------------------	----

Figure III.2 : Composant ArduinoUno.....	41
--	----

Figure III.3 :Brochage De La Carte ArduinoUno.....	42
--	----

Figure III.4 : Capteur Sonar à Ultrasons HC-SR04	48
--	----

Figure III.5 :Signal d'entrée et sortie du capteur HC-SR04	49
Figure III.6 :Interface de la plateforme Arduino.....	51
Figure III.7 :Barre de boutons Arduino.....	51
Figure III.8 : HyperTerminal de l' Arduino (Moniteur Série)	52
Figure III.9 : Structure générale du programme (IDE Arduino).....	52
Figure III.10 : Matériel nécessaire.....	54
Figure III.11 : Schéma de Circuit global.....	55
Figure III.12 : Circuit final.....	56
Table des tableaux :	
Tableau III.1 :la référence des versions Arduino.....	42
Tableau III.2 : Spécificationsdes capteurs sonar à ultrason HC-SR04.....	48

INTRODUCTION GENERALE :

Représentative de la notion de « capteur intelligent ». Les incessants progrès dans ce domaine sont un archétype d'innovation technologique. L'intégration des fonctions de traitement du signal au sein même des capteurs est un domaine qui est devenu un archétype d'innovation technologique. L'incorporation des traitements dédiés au traitement du signal permet d'augmenter la flexibilité de conception des dispositifs de perception (les capteurs) et de réaliser de nouvelles fonctions complexes. L'autre conséquence est une réduction de la charge sur les unités centrales de traitement et les dispositifs de transmission de l'information obtenue, en distribuant les opérations dans les systèmes de mesure eux-mêmes.

Les progrès rapides dans les technologies connexes à la perception et à la commande impactent très largement le domaine. L'accroissement de la puissance de calcul disponible et l'amélioration des capteurs, tant en performances qu'en coût, augmentent le nombre des systèmes automatisés, offrant par ailleurs une qualité de service accrue. Ces systèmes autorisent et soutiennent à leur tour la progression des capteurs intelligents, alimentant une sorte de « cercle vertueux ».

Les domaines d'application de la perception et de la commande se sont rapidement diversifiés. Les exemples typiques des domaines nouvellement développés sont la Robotique, la mesure environnementale et les secteurs biomédicaux. La diversité des applications de la Robotique intelligente exige des capteurs très avancés afin d'égaliser ou de dépasser la « perception naturelle » des opérateurs humains. Le secteur biomédical et les systèmes de diagnostic sont prometteurs, compte tenu de l'existence d'un fort besoin en la matière. Par ailleurs, l'instrumentation environnementale employant des systèmes de télédétection nous informe des crises environnementales pouvant potentiellement frapper la Terre ou de l'étendue des dégâts en cas de désastre avéré.

La réalisation de fonctions à la fois utiles et attrayantes au sein de dispositifs avancés représente le fruit de l'émergence du concept des capteurs intelligents. Dans ce qui suit, nous abordons les principes de fonctionnement de ces derniers.

I.1. Introduction :

Ce chapitre introduit la notion de « capteurs intelligents » et présente les différentes définitions à la base de ce concept. Le caractère « utile » du capteur intelligent se manifeste clairement dès lors qu'on s'intéresse au cheminement de l'information. Dans cette optique, une attention particulière lui y accordée. Ensuite, nous présentons les différentes architectures de capteurs intelligents et le rôle de « l'intelligence » dans ces derniers. Nous abordons également les différentes méthodes permettant d'intégrer l'intelligence au capteur et les perspectives d'évolution concernant ce domaine. Enfin, nous passerons en revue les différentes approches de conception des capteurs intelligents que nous mettrons en application pour identifier les différents services et fonctionnalités que doit s'approprier le capteur stéréoscopique intelligent.

I.2. Pourquoi Mettre L'intelligence Au Sein Des Capteurs ?

La réponse à cette question passe nécessairement par l'analyse de l'acheminement de l'information entre les différents « mondes » (physique, informationnel « intellectuel » de l'homme). Ceci nous permettra d'établir la problématique associée aux capteurs intelligents.

I.2.1. L'itinéraire De L'information :

Les concepts de mesures, de commande et de communication homme-machine permettent de dresser un tableau d'ensemble de ce qu'est un capteur intelligent. D'une façon générale pour ce qui touche aux systèmes de perception et de commande, l'information circule non seulement entre les objets et les systèmes de perception, mais aussi entre ces entités et l'opérateur (communications homme-machine). Ce flux peut être représenté comme une communication entre trois « mondes » différents. On peut facilement comprendre qu'un échange régulier et efficace de l'information est essentiel et facilite l'exploitation du système par l'utilisateur [1]. Les trois mondes dont il est question plus haut sont définis de la façon suivante :

- 1) ***Le monde physique*** : représente les objets mesurables et contrôlables. Les lois naturelles dominent ce monde dans lequel la causalité est strictement établie.
L'information est transmise en tant que signal physique.
- 2) ***Le monde logique*** : représente le système de traitement de l'information, de la mesure et de la commande. Des règles rationnelles règnent sur ce monde dans lequel l'information est décrite par des codes logiques.

3) **Le monde intellectuel humain** : c'est le monde mental interne du cerveau humain. L'information est traduite en connaissances et concepts. Les lois dominant ce monde « restent à établir de façon formelle et sont l'objet d'actives et nombreuses recherches ».

L'information dans le monde physique est extraite par des techniques de perception et est transférée au monde logique. Elle y est alors traitée selon les objectifs des systèmes de perception et de commande et est finalement interprétée par l'homme au travers des interfaces homme-machine, qui exhibent des données mesurées et traitées. De cette manière, l'information est à la fois acheminée vers le monde intellectuel humain et « formatée » pour pouvoir s'insérer dans le cadre de la connaissance et des concepts de celui-ci. Ainsi, les différentes informations obtenues sont structurées et deviennent une partie de la connaissance. A leur tour, ces connaissances peuvent s'assembler en concepts qui peuvent eux-mêmes s'agréger en domaines de la science et de la technologie.

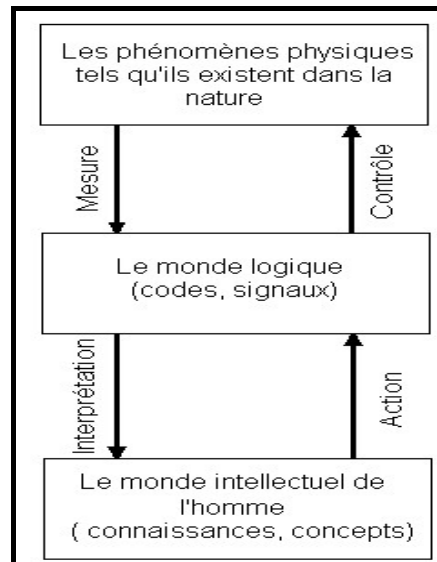


Figure I.1 : L'échange de l'information entre les trois mondes.

Le comportement humain est généralement basé sur l'information et la connaissance préalablement acquise. Les intentions sont exprimées en tant que commandes et elles sont transmises au système par des actions à travers les interfaces homme-machine. Le système de contrôle logique régule ses propres objets au travers d'actionneurs dans le monde physique, les actions entreprises étant basées sur la commande reçue. Nous pouvons détailler la chaîne « perception et contrôle » par un procédé de type perception, identification, action et contrôle impliquant trois mondes différents dans lesquels l'objectif humain est atteint dans le monde physique. Entre le monde physique et le monde logique, l'information s'échange entre les systèmes de perception et les systèmes de contrôle. Les capteurs et les actionneurs agissent donc en tant qu'interfaces. Plus précisément, les capteurs sont les dispositifs d'entrée des

systèmes de perception. Ils extraient l'information issue des objets du monde physique et transmettent le signal correspondant.

Entre le monde logique et le monde humain, les communications sont assurées par une interface homme-machine. Un capteur intelligent permet de rapprocher la frontière entre monde physique et monde logique de celle séparant monde logique et monde humain. Cela signifie en pratique qu'une partie des traitements de l'information effectuée généralement dans le monde logique est remplacée par un traitement au sein du capteur lui-même. Une interface homme-machine intelligente comporte un système dans lequel la frontière entre le monde humain et le monde logique est décalée vers le monde humain. Ainsi, une partie de l'analyse et de l'interprétation des données fournies est effectuée par l'interface homme-machine elle-même.

I.2.2. Ce Qu'on Attend d'un Capteur Intelligent :

Un capteur est dit intelligent lorsqu'il est capable d'élaborer localement sa mesure, en prenant éventuellement en compte les grandeurs d'influence et en vérifiant la cohérence des informations. Il est également capable d'envoyer sa mesure à la demande ou de manière systématique à destination du système qui devra l'exploiter. L'interface de communication permet également au capteur intelligent de recevoir les informations du système nécessaires à l'élaboration de sa mesure et à sa validation. Elle peut également être utilisée dans les phases de calibration et de mise en service de l'équipement dans son environnement de travail (pour plus d'information).

Les technologies associées aux capteurs ont évolué au rythme des besoins. Il est ainsi possible de décrire les grands champs d'investigation actuels et futurs associés aux capteurs intelligents en dressant le panorama des attentes placées dans ces derniers. Il est ainsi possible de dégager les axes majeurs suivants :

- (1) Nous pouvons percevoir les paramètres physiques d'objets dans leur état normal avec à la fois une très grande précision et une grande sensibilité. Cependant, la détection des anomalies et des dysfonctionnements est assez peu développée. La capacité à détecter des défauts et à prévoir des défaillances constitue une fonctionnalité de plus en plus recherchée.
- (2) Les technologies de perception actuelles peuvent mesurer avec précision des quantités physiques ou chimiques en un seul point. Cependant, cette mesure se complique dès lors que la ou les grandeurs qu'on cherche à caractériser ne sont plus « localisées » mais « réparties »

(que ce soit spatialement ou temporellement) dans un espace multidimensionnel, dont notre environnement fourni un bon exemple.

(3) Des grandeurs physiques « élémentaires » (masse, température, vitesse, etc.) peuvent être mesurées avec précision et avec une très grande sensibilité. Cependant, certaines informations considérées comme « élémentaires » du point de vue de la perception humaine, comme par exemple le goût ou l'odeur, nécessitent la mise en œuvre de capteurs complexes auxquels doivent être associés de traitements performants.

Les trois points abordés ci-avant introduisent une problématique commune qui est celle de la définition de l'objet de la mesure. Si nous pouvons le définir clairement et établir son modèle précis, il est possible de lui associer un ensemble de grandeurs caractérisant son état sans ambiguïté et par conséquent de choisir les capteurs les plus appropriés à la mesure de celui-ci. La mise en œuvre d'une telle démarche, classique dans le domaine de l'automatisation des processus, s'avère délicate à mettre en œuvre dès lors qu'est recherché une certaine « universalité » du dispositif [2].

1.2.3. Fonctions Associées à « L'intelligence » Des Capteurs :

Ce qu'il est convenu d'appeler « l'intelligence » du capteur réalise un traitement distribué des signaux dans la couche inférieure de la hiérarchie du système de perception. Le rôle de la fonction de traitement des signaux dans les capteurs intelligents peut être récapitulé comme suit :

- 1) Pallier les caractéristiques « fâcheuses » inhérentes au dispositif de la perception.
- 2) Améliorer la qualité du signal en vue de l'extraction des caractéristiques utiles des objets.

L'opération la plus connue pour pallier les caractéristiques inhérentes au capteur est la compensation. Elle consiste à supprimer l'influence des variables indésirables sur le mesurande. Pour améliorer la qualité du signal, divers traitements sont adoptés afin d'extraire les caractéristiques utiles. Les buts du traitement du signal sont d'éliminer le bruit afin d'extraire la caractéristique la moins bruitée possible, c'est - à - dire la plus riche en informations pertinentes compte tenu du phénomène à caractériser.

Les techniques de traitement du signal utilisent généralement les différences entre les réponses dynamiques dues au signal « utile » d'une part et au bruit d'autre part. Elles sont divisées en trois types différents :

- a) Le traitement dans le domaine fréquentiel.
- b) Le traitement dans le domaine temporel.
- c) Les traitements dans le domaine spatial.

Ces traitements constituent une approche dynamique pour l'amélioration de la sélectivité du signal.

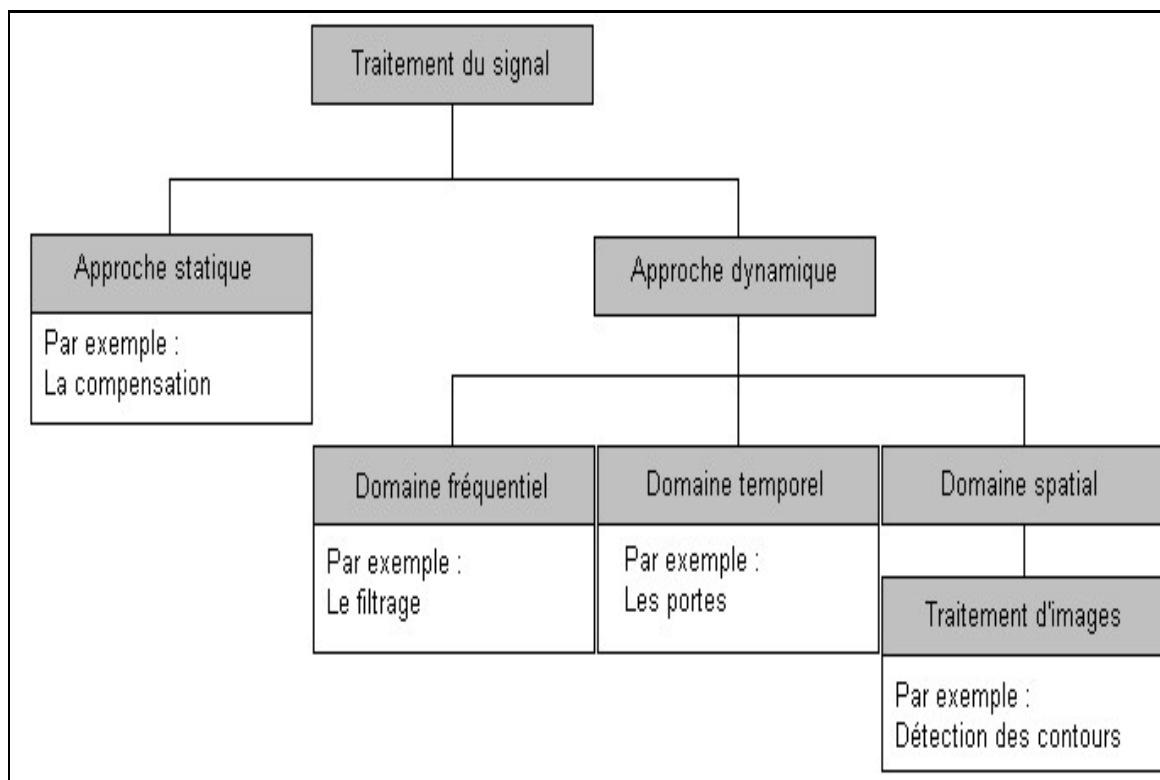


Figure I.2 : La classification des traitements du signal liés au capteur intelligent.

L'archétype du traitement de signal embarqué sur un capteur intelligent est le filtrage du bruit en temps réel. Cette tâche est effectuée par des filtres passe-bas, passe-haut ou passebande dans le domaine fréquentiel. Cette fonction peut être prise en charge par des circuits analogiques, bien qu'ils n'offrent pas la même souplesse que leurs homologues numériques. Tout aussi important que le filtrage fréquentiel, le filtrage spatial dans le cadre du traitement d'images permet par exemple de rendre les signaux visuels plus « signifiants » : Elimination du bruit, calcul de valeurs moyennes (équivalent à un filtrage passe bas), rehausse des contours ou encore extraction d'objets dans l'image traitée.

Au passage, la quantité d'informations issues des capteurs d'images étant énorme, le traitement d'image basique devient une nécessité afin de réduire la charge de travail induite sur les couches plus élevées.

Nous pouvons résumer les fonctions associées à l'intelligence embarquée sur les capteurs en disant que la plus importante d'entre elles est d'améliorer la sélectivité du signal des différents dispositifs de perception dans le monde physique. Ceci inclut les opérations simples effectuées sur les signaux de sortie des différents capteurs, telles que les traitements basiques des données (filtrage, compensation, etc...). Cependant, ceci n'inclut pas l'optimisation des paramètres des dispositifs ou l'intégration des signaux issus des différents capteurs, car ceci exige la connaissance des autres dispositifs de perception et d'informations associées aux objets observés.

I .2.4. Fonctions De L'intelligence Dans Le Traitement De L'information :

Le rôle de l'intelligence dans la couche médiane est d'organiser les sorties multiples de la couche basse et de produire des sorties intermédiaires. Le rôle le plus important est d'extraire les caractéristiques essentielles de l'objet. Dans la couche médiane du système de traitement, les signaux de sortie des multiples capteurs sont combinés ou intégrés. Ainsi, les éléments extraits sont alors utilisés par l'intelligence de la couche supérieure pour identifier la situation. Ce traitement est effectué dans le monde logique.

Nous pouvons considérer l'intégration ou la fusion des signaux des capteurs comme une architecture de base pour concevoir un système de mesure intelligent adaptatif. Les signaux du capteur pour les différents mesurandes sont combinés dans la couche médiane et les résultats fournissent une nouvelle information utile. L'ambiguïté ou l'imperfection du signal d'un mesurande peut être compensée par un autre mesurande. Ce traitement crée une nouvelle phase d'information.

Une autre fonction importante de la couche médiane est l'adaptation des paramètres des capteurs afin d'optimiser les performances du système dans sa globalité. Cette adaptation est conduite sur la base des caractéristiques extraites et la connaissance *a priori* du signal traité. La connaissance provient de la couche supérieure sous la forme d'un algorithme d'optimisation.

I.3. Les Approches De Réalisation Des Capteurs Intelligents :

Il y a trois approches différentes pour mettre en œuvre l'intelligence d'un capteur (Figure. I.3).

- 1) Intégration du capteur avec les ordinateurs, équivalente à une intégration intelligente.
- 2) Utilisation des matériaux fonctionnels spécifiques *ou matériaux intelligents*.

- 3) Utilisation de structures géométriques fonctionnelles équivalentes à une structure intelligente.

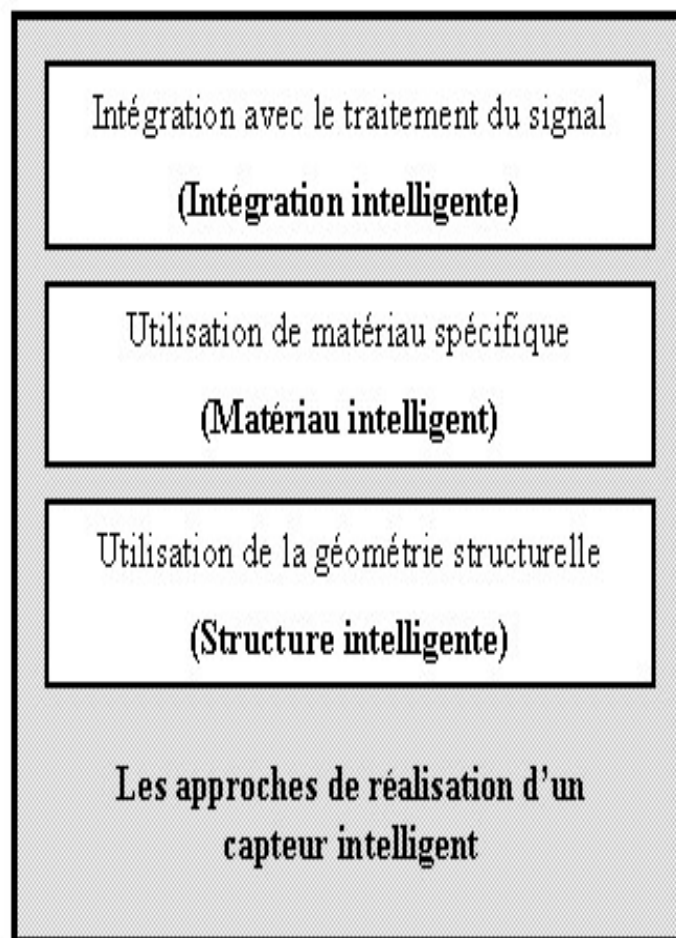


Figure I.3 : Trois approches différentes pour mettre en œuvre l'intelligence du capteur.

La première approche est la plus répandue. Un exemple typique de l'intégration intelligente est l'association de la fonction « mesurer » avec la fonction de traitement de l'information. C'est clairement ce qui est réalisé lorsque le dispositif de perception intègre un microprocesseur. L'algorithme de traitement est dans ce cas programmable et peut être modifié ultérieurement (mise au point, adaptation, « redesign », etc.).

Le traitement de l'information consiste en l'optimisation, l'extraction des simples caractéristiques, etc. Quelques opérations sont effectuées en temps réel et en parallèle avec des circuits analogiques ou à travers le réseau. Nous appelons une telle intégration un capteur – calculateur.

Dans les deuxième et troisième approches, les propriétés du capteur (liées au matériau ou à la structure suivant le cas) permettent à elles seules de discriminer le signal utile du bruit.

La sélectivité du signal est ainsi améliorée.

Dans la deuxième approche plus particulièrement, la combinaison unique des caractéristiques de l'objet et de celles du capteur contribue à la réalisation d'une sélectivité presque idéale du signal. Dans la troisième approche, la fonction de traitement des signaux est réalisée par la structure géométrique ou mécanique du capteur (c'est le cas par exemple de certains dispositifs optiques ou ultrasonores.)[3].

I.4. Modélisation Du Concept Du Capteur Intelligent :

Le développement d'un système, d'un produit, d'un composant ou d'un service, ou plus exactement d'une « fourniture » telle que la norme le définit, passe par la description des activités complémentaires permettant, à partir de l'expression du besoin initial, d'aboutir à une fourniture opérationnelle (dans notre cas un capteur).

Le cycle de développement a été présenté de différentes manières. On trouve principalement le cycle de développement en cascade, le cycle de développement en V, le cycle de développement en spirale et le cycle de développement en X qui est une extension du cycle de développement en V et qui fait apparaître le concept de réutilisation des composants matériels et logiciels.

I.5. Le Capteur Intelligent En Tant Qu'équipement Intelligent :

Les systèmes développés pour les transports intelligents sont en réalité des équipements intelligents et font ainsi partie de l'ensemble des systèmes temps-réel réactifs. Après une définition des qualificatifs relatifs au système étudié (i.e. temps-réel et réactif), on s'attardera sur les domaines d'application plus particuliers des équipements intelligents.

1. Temps-réel :

La définition de l'aspect « temps-réel » d'un système est un problème à part entière, compte-tenu du fait que cette notion est très fortement « couplée » à la dynamique de celui-ci. Le problème qui nous concerne ici est le suivant :

Suivant quels critères qualifions-nous un système de « temps réel » ? Plusieurs points de vue peuvent être adoptés. Le premier point de vue consiste à qualifier tout système dont les données et les résultats sont relatifs à des événements « en cours » de « système temps-réel ». Ceci revient à dire que les informations collectées doivent encore avoir un rapport avec l'état

du système au moment où celles-ci sont prises en compte. Nous aboutissons à l'aphorisme habituellement énoncé dans les systèmes temps-réel.

Le délai dont il est question est fonction de la dynamique du processus piloté par le système qualifié de temps-réel. Ainsi plus celle-ci sera rapide, plus les contraintes « temps-réel » seront strictes et difficiles à respecter matériellement. On peut avoir plusieurs ordres de grandeurs du temps de réponse maximal toléré par rapport au processus considéré :

- De l'ordre de la milliseconde pour les systèmes embarqués (avion, voiture, missiles).
- De l'ordre de la seconde pour les systèmes de détection d'obstacles.
- Jusqu'à plusieurs heures pour certains réacteurs chimiques.

D'une façon générale, tout système automatisé et a plus forte raison tout équipement intelligent se doit de respecter des contraintes de temps plus ou moins sévères suivant le domaine d'application considéré. Ces contraintes peuvent être imposées dans le cahier des charges (par exemple en termes d'échéance maximale) ou non. Par ailleurs, les données temporelles apparaîtront inévitablement au cours du cycle de développement ne serait-ce que pour ordonner les différentes actions du système automatisé.

2. Réactif :

Le terme de système réactif a été introduit. Un système est dit réactif lorsque son comportement dépend directement des informations qu'il échange avec son environnement. Ces informations arrivent au système sous forme de stimuli. Un stimulus est l'occurrence d'un événement en provenance de l'environnement, de l'application vers le système. Cette occurrence est furtive, i.e, si elle n'est pas traitée et/ou mémorisée à l'instant de son occurrence, elle est perdue. Le système doit alors réagir de manière instantanée pour pouvoir prendre en considération l'information contenue dans le stimulus. La rapidité de la réaction dans les systèmes réactifs est un critère déterminant afin d'assurer un fonctionnement adéquat et sûr. De ce fait les systèmes réactifs sont considérés comme étant une classe particulière des systèmes « temps-réel ». Le comportement réactif de tout équipement intelligent est caractérisé suivant la nature de son environnement, à événements discrets ou hybrides. Généralement, les systèmes automatisés intègrent les deux types de comportement à la fois [4].

I.6. Domaines D'applications Des Capteurs Intelligents :

On dénombre quatre grands domaines d'application dans lesquels les capteurs intelligents sont plus particulièrement usités :

1-L'industrie manufacturière, caractérisée par des contraintes temps-réel fortes et des contraintes environnementales variables suivant le type d'application.

2-L'industrie des « processus continus », caractérisée par des contraintes temps-réel plutôt faibles mais qui doit satisfaire des contraintes environnementales fortes (processus chimiques, thermiques, ...).

3-Les systèmes embarqués, qui doivent également satisfaire des contraintes temporelles très variables suivant les applications, mais des contraintes relatives à l'environnement très fortes,

4-Enfin, le tertiaire, qui est le plus souvent le moins contraignant tant au niveau tempsréel qu'environnemental.

Les deux premiers domaines d'applications concernent plus particulièrement les capteurs et les actionneurs intelligents. Les systèmes embarqués sont similaires aux deux précédents et sont en plus assujettis à des contraintes d'encombrement et de consommation énergétique très fortes (espace disponible, poids, puissance, consommation, ...). Le tertiaire ne vise pas un type d'applications bien identifiées, tout au contraire des trois premiers. En effet, le tertiaire est très varié. On peut y trouver par exemple tout ce qui concerne les problèmes de détection utilitaire (incendie, intrusion, ...etc.).

I.7. La Conception Des Capteurs Intelligents :

La problématique de base dans la conception des instruments intelligents en général et des capteurs intelligents en particulier consiste à identifier la meilleure technique pour le développement d'un capteur adapté à un problème donné.

En effet, le processus de développement est étroitement lié à l'approche adoptée pour la conception qui est à son tour issue de la manière avec laquelle nous percevons les choses.

Généralement, les approches de conception font partie de l'un de ces trois points de vue :

- **FAIRE** : On modélise ici ce que le système **fait**. Ce sont les approches orientées fonctions ou traitements.

- **ETRE** : On modélise alors ce que le système **est**. Ce sont les approches orientées données.
- **DEVENIR** : On modélise plutôt ce que le système **devient**. Ce sont les approches orientées comportement ou état.

Les points de vue abordés ci-dessus séparément ne présentent pas le seul point de vue qu'on peut adopter pour la conception des équipements intelligents. Des approches dites « combinées » peuvent être adoptées pour prendre en compte un maximum d'aspects de l'équipement intelligent. Dans ce qui suit, nous allons décrire ce que recouvrent les termes précédemment introduits.

I.7.1. Approche Fonctionnelle :

L'approche orientée fonctions s'articule autour de ce que fait l'équipement sans s'intéresser très finement à comment il le réalise exactement. Ce qui intéresse le concepteur c'est la sortie d'une « boîte noire ». Ce point de vue laisse le choix au concepteur-réalisateur d'adopter la technologie la mieux adaptée en terme de performances attendues et de coût.

I.7.1.1. La Décomposition Fonctionnelle :

L'idée principale de cette approche est de décomposer le problème de conception en plusieurs fonctions, sous-fonctions et interfaces entre ces fonctions. On associe à chaque fonction déterminée un ou plusieurs traitements de bases. En effet, on se penche sur la spécification des différents traitements et interfaces nécessaires pour répondre aux exigences du cahier des charges de l'équipement en question (capteur, actionneur, ...etc.).

Néanmoins, il est difficile d'estimer si la spécification apportée recouvre tous les aspects de ce que la nouvelle application doit faire, puisque l'approche par décomposition fonctionnelle n'offre que peu de correspondances entre la fonctionnalité et le domaine d'application. De ce fait, la complétude du problème n'est donc pas atteinte si on néglige certaines parties qui n'apparaissent pas explicitement dans l'énoncé du cahier des charges. Par exemple, le calcul de la vitesse relative nécessite deux types de données : la distance relative et le temps. Pour pouvoir s'assurer de la complétude de notre spécification, nous devons soit définir une nouvelle fonction permettant de fournir la ou les données manquantes, soit celles-ci doivent être fournies par l'environnement de l'équipement intelligent : il faut alors l'explicitier. Par conséquent, la décomposition fonctionnelle seule ne couvre pas tous les aspects du problème à traiter. C'est pour cette raison que celle-ci doit être associée à des décompositions par flots de données.

I.7.1.2. La Décomposition Par Flots De Données :

Cette approche, en complémentarité à la décomposition fonctionnelle, permet de regrouper les flots de données et de contrôle en entrée et en sortie de l'équipement intelligent (capteur, actionneur, ...etc.).

Les raffinements successifs des différents traitements permettent d'exprimer les traitements en termes de flots de données. De ce fait, cette méthode exige qu'on ait une bonne compréhension des traitements utilisés pour obtenir les différentes données ou des besoins en terme de données de sorties relatifs aux traitements ainsi que les flots de contrôle générés.

En effet, cette approche permet au concepteur – réalisateur de représenter directement le monde réel à partir du cahier des charges. Ce dernier, comme le révèle la décomposition fonctionnelle, donne les différents flots de données demandés générés par la spécification en fonctions. Ces fonctions sont des traitements qui transforment et consomment des données, elles-mêmes issues d'autres fonctions. Par conséquent, cette approche nécessite une bonne analyse des flots de données de la part du concepteur et du demandeur de service.

La décomposition fonctionnelle par flots de données est à la base de plusieurs langages de conception très connus tels que : S.A (Structured Analysis) et son extension aux systèmes temps-réels incluant des problèmes temporels dans la spécification réalisée.

I.7.2. Approche Informationnelle :

Cette approche incite à s'intéresser à ce qu'est l'équipement, dans son ensemble et, en particulier, à ses propriétés intrinsèques. L'équipement est alors décrit minutieusement. Cette particularité de l'approche orientée donnée implique qu'on s'intéresse au type d'équipement et à la technologie utilisée, i.e. comment est réalisé ce que l'équipement fait. Cette méthode permet de modéliser tous les aspects liés à l'information. On y retrouve par exemple les diagrammes entités-relations définies par Peter Chen : Objet + attributs + Relations. Ces types de diagrammes sont particulièrement utilisés pour structurer des systèmes d'information de grande taille. Ainsi, tous les langages de description formelle appartiennent à la catégorie des approches orientées données.

Néanmoins, les informations ainsi modélisées ne traitent pas certains concepts comme le service, en termes de comportement et de structure, de liens généralisation-spécialisation et de composés-composants. Ainsi, les approches orientées données ne suffisent pas en

elles-même à l'entière conception d'un équipement intelligent mais elles restent incontournables pour prendre en charge l'aspect informationnel attaché à celui-ci.

I.7.3. Approche Comportementale :

Les approches orientées comportement s'intéressent plus à la dynamique du système et à son évolution dans le temps qu'à son état statique qui est plus représenté par les approches orientées fonctions (ou traitements). Ainsi, il est courant de joindre au modèle obtenu soit par une approche orientée données soit par une approche orientée fonctions, un modèle de comportement « dynamique ». En effet, les approches orientées comportement s'appuient sur le modèle développé par l'une des deux approches précédentes afin de déterminer les changements du système dans le temps, puisque le comportement du système est étroitement lié à ce qu'il fait et/ou sur quoi il le fait.

Parmi les approches orientées comportement les plus connues, on trouve :

- Approches par systèmes de transitions,
- Approches par Réseaux de Petri,
- Approches par GRAFCET,
- Langages asynchrones : ELECTRE,

Il existe un nombre important de langages permettant d'étudier le comportement dynamique des systèmes sans autant pouvoir exclure une analyse « statique préalable » afin de modéliser correctement le comportement. La multitude d'approches s'explique par le fait qu'il existe plusieurs moyens d'aborder le comportement d'un système : les notions de séquençement de tâches, parallélisme, d'exclusion, de préemption, de synchronisation, ...etc. ne sont pas toutes prises en charge par les modèles proposés. Pour plus de détail sur les différentes approches orientées comportement.

I.7.4.Approche Hybride :

La constatation dominante lors de l'analyse des différentes approches introduites plus haut, nous laisse penser qu'une seule approche n'est pas suffisante pour prendre en compte tous les aspects d'un système : Données, traitements, et comportement.

De ce fait, la combinaison des différentes approches peut apporter un plus considérable à la tâche de conception d'un capteur intelligent. On trouve principalement des méthodes qui allient à la fois le côté « Données » et le côté « Fonctions » car elles permettent d'avoir une

bonne vision du système tant au point de vue fonctionnel qu'au point de vue structurel. Parmi les approches hybrides les plus connues, la méthode S.A.D.T (Structured Analysis and Design Technique) utilise des actigrammes inspirés d'une représentation par flots de données et de l'analyse structurée.

Afin d'apporter une vision incluant l'aspect comportemental aux aspects données et traitements, les approches orientées objets ont fait leur apparition dans la modélisation [5].

I.7.5. Approche OrientéeObjet :

Cette approche vise à décomposer le système à concevoir en objets interagissant les uns avec les autres. L'apport principal de cette méthode est son adéquation avec les propriétés intrinsèques liées à tout objet, puisque celui-ci se définit par des informations le caractérisant, un fonctionnement et également un comportement. Le concept de l'approche orientée objet se base sur trois principes fondamentaux :

- a) **ABSTRACTION** : Chaque objet dispose d'un état relatif à ses attributs et d'un ensemble d'opérations qui fournissent des services aux autres objets qui sont clients de l'objet.
- b) **ENCAPSULATION** : L'encapsulation d'un objet permet de séparer ses aspects externes, accessibles aux autres objets, de ses aspects internes concernant l'implémentation et donc généralement invisibles aux autres objets.
- c) **HERITAGE** : L'héritage est le mécanisme qui définit entre les classes une relation dans laquelle une classe partage la structure ou le comportement défini dans une ou plusieurs classes. La relation d'héritage organise hiérarchiquement les classes en graphe d'héritage et permet d'hériter d'une ou de plusieurs classes à la fois [6].

I.8.Les capteurs actifs sans contact :

I.8.1.Présentation :

Ils sont constitués d'un émetteur et d'un récepteur. L'émetteur envoie une onde qui sera reçue ensuite par le récepteur. L'onde est de nature différente : elle est soit électromagnétique soit acoustique. Dans le cas des capteurs infrarouges ou du radar, elle est électromagnétique. Seule une longueur d'onde différente les distingue. Pour les capteurs à ultrasons, l'onde est acoustique.

La mesure de distance est obtenue à partir du temps de propagation de l'onde, c'est-à-dire du temps mis par l'onde depuis son émission jusqu'à son retour au récepteur après réflexion sur la cible. Ces ondes sont envoyées sous forme de trains d'ondes. Le récepteur convertit l'énergie des ondes réfléchies en un signal électrique. La mesure du temps séparant l'émission et la réception du signal permet d'en déduire la distance de l'objet.

I.8.2. La disposition des capteurs :

Le mode barrage :

L'émetteur et le récepteur sont séparés (figure 4.9). Ainsi en présence d'un obstacle bloquant l'onde entre ces deux éléments, le récepteur ne reçoit pas de signal de l'émetteur.

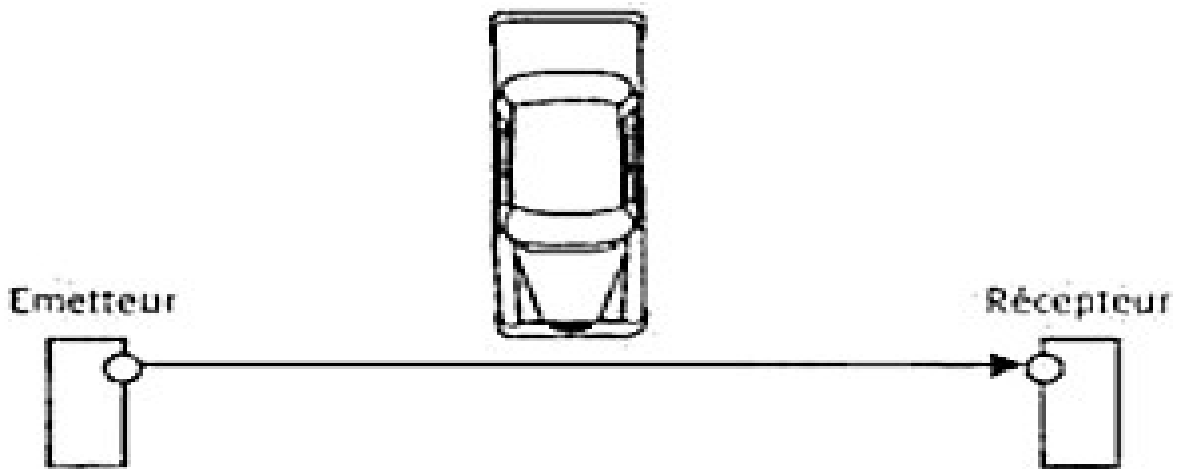


Figure I.4 : Configuration des capteurs suivant le mode barrage.

Le mode reflex :

L'émetteur et le récepteur sont placés côte à côte. Une plaque réfléchissante est placée plus loin pour limiter la zone de détection. Le signal est donc réfléchi sur cette surface et revient vers le récepteur près de l'émetteur. Dans le cas du passage d'un obstacle, le signal est coupé. Le capteur ne reçoit aucune information.

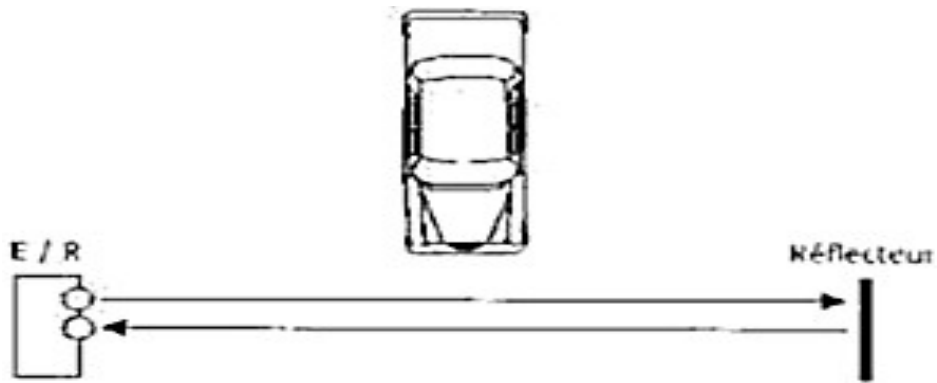


Figure I.5 : Configuration des capteurs suivant le mode reflex.

Mode de proximité :

Il s'agit d'un mode qui ressemble au mode reflex. Il se distingue par l'absence du réflecteur (figure I.6). Sa portée est plus limitée car c'est l'obstacle qui joue le rôle de réflecteur.

L'absorption du signal lumineux est donc plus significative.

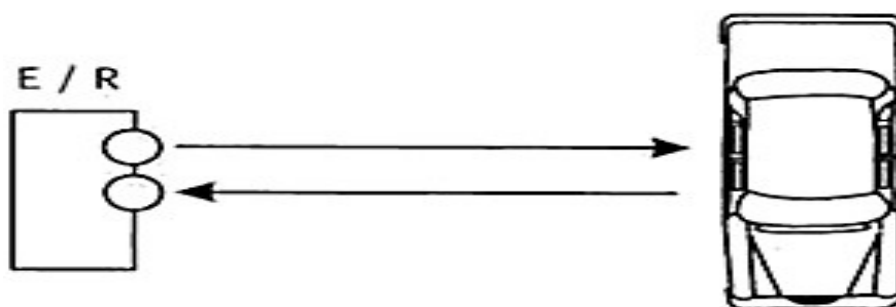


Figure I.6 : Configuration des capteurs suivant le mode de proximité.

Ce système s'accroche en hauteur à un mât de fixation ou une glissière de sécurité. En position de visée verticale (figure I.7), il sert plus particulièrement à réaliser une différence entre les voitures et les poids lourds. En visée verticale, le problème se pose lorsqu'un véhicule léger transporte des objets sur son toit (vélo, meubles, bagages...).

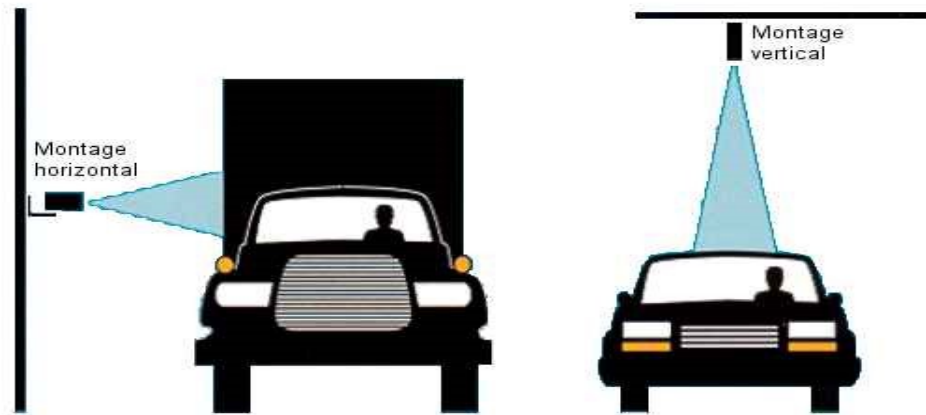


Figure I.7 : Positionnement d'un capteur en mode de proximité (ici ce capteur utilise une technologie fondée sur les ultrasons).

I.8.3.Le capteur à infrarouge :

L'émetteur envoie une onde infrarouge dont la largeur de bande est fine. Dans le cas du mode barrage, la portée s'étend jusqu'à 200 m. Leur temps de réponse est très rapide (10 ms).

En utilisant deux capteurs infrarouges actifs, la vitesse est obtenue avec une précision de 5%.

En cas d'utilisation prolongée du système de mesure à infrarouge, il est nécessaire de nettoyer le système. Des saletés peuvent limiter leur passage. De plus, le mauvais temps limite les capacités de détection des infrarouges. De même, un soleil trop intense peut entraîner de fausses détections en raison de la réflexion des rayons lumineux ou de leur arrivée directe sur le capteur.

I.8.4.Le radar : capteur à micro-ondes :

Inventés peu avant la Deuxième Guerre mondiale, les radars ont été initialement développés pour détecter des objets. Ce mot provient de la combinaison de « Radio Detection And Ranging ». C'est un capteur à ondes électromagnétiques dans la gamme des micro-ondes dont la fréquence varie entre 1 GHz et 300 GHz (c'est-à-dire une longueur d'onde comprise entre 1 cm et 30 cm). Néanmoins, les radars les plus performants utilisent des fréquences atteignant 77 GHz. La gestion du trafic fait appel à des radars dont la fréquence retenue est de 10,525 GHz dans la bande X (entre 8 GHz et 12 GHz). Les derniers modèles de radars fonctionnent à 76 GHz (contre 24 GHz actuellement). Les versions récentes des radars à

micro-ondes de la gendarmerie ont une portée 350 m. Suivant la longueur d'onde utilisée, il peut détecter un objet jusqu'à 500 km (cas des radars pour les avions).

Le radar transmet son énergie par l'intermédiaire d'une antenne directive. Par cette même antenne, il reçoit une partie du signal réfléchi par la voiture. En fonction de la composition du signal émis, l'analyse de sa réverbération peut donner différentes informations comme la vitesse du véhicule. Divers radars sont référencés (à impulsions, à ondes continues, à poursuite automatique, à compression d'impulsions, Doppler à impulsions). Néanmoins, seuls les radars à ondes continues sont utilisés pour les équipements routiers. Ce type de radars se décline en deux versions : le radar à ondes continues (appelé parfois radar Doppler) et le radar à ondes continues modulées en fréquence.

I.9. Les capteurs passifs sans contact :

Ces capteurs se distinguent par le simple emploi d'un récepteur basé sur l'onde étudiée.

I.9.1. Les capteurs passifs à infrarouge :

Ils détectent la chaleur émise par tous les corps. Ils sont déployés pour repérer les piétons ou bien la chaleur émise par un moteur en tenant compte de l'apport d'énergie provoqué par le véhicule en mouvement (figure I.8). Ils sont disposés sur des mâts visant la zone de détection souhaitée. Des précisions similaires aux systèmes utilisant la vidéo sont obtenues. Ce type de capteur à un temps de réponse relativement long : un peu moins de 250 ms. Les capteurs à infrarouges passifs repèrent dans une zone donnée les véhicules. Certains systèmes intègrent plusieurs capteurs dans un même boîtier. Plusieurs zones sont ainsi surveillées en même temps. Il est alors possible de récupérer la vitesse du véhicule mais l'erreur de mesure dépasse les 10 %. Certains capteurs vidéos sont sensibles à l'infrarouge. Les techniques de traitement de l'image sont alors utilisées.

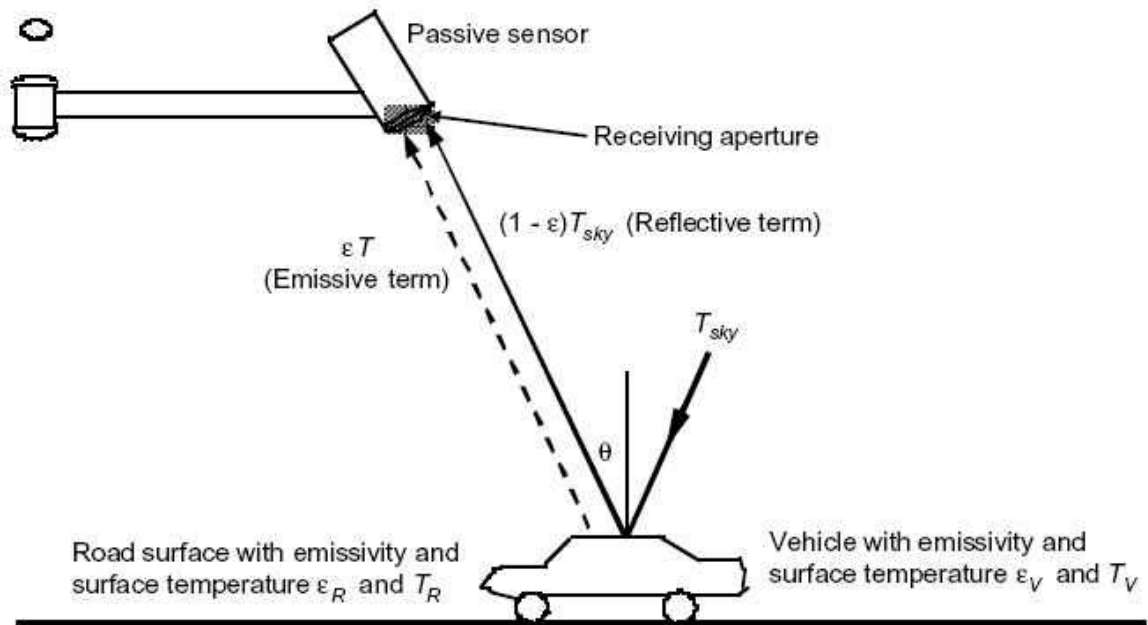


Figure I.8 : Dispositif à base d'un capteur à infrarouge passif.

I.9.2. Les capteurs magnétiques :

Le capteur magnétique est apparu au cours des années 1990. La terre est entourée d'un champ magnétique considéré comme constant à notre échelle. Le but de ce capteur est d'analyser les fluctuations de ce champ. En effet, quand une masse métallique, comme un véhicule, circule, elle modifie localement ce champ

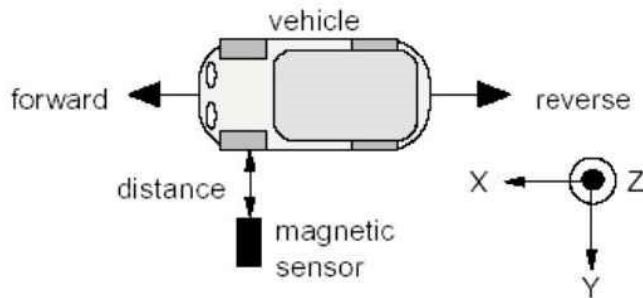


Figure I.9 : Positionnement d'un capteur magnétique.

Il est possible de compter les véhicules et de mesurer leur longueur. En combinant deux capteurs, la mesure de la vitesse est réalisable avec une précision inférieure à 10 %. Néanmoins, aux Etats-Unis, des chercheurs arrivent à employer un seul capteur pour réaliser des mesures de vitesse moyenne. Les estimations ne sont pas encore aussi performantes que

celles des boucles, cette technique ne permet que d'observer un véhicule dans une zone. Les positions longitudinale et latérale ne sont pas mesurables.

I.9.3. Le capteur phonique :

Ce capteur étudie les ondes sonores générées par la circulation. A l'aide de capteurs acoustiques passifs, il mesure le bruit environnant puis effectue par tranche de quelques minutes des enregistrements. En évaluant la dynamique du signal, l'état du trafic est estimé (fluide, saturé, bloqué). Il est également possible de connaître la vitesse moyenne des véhicules en considérant une longueur prédéfinie des véhicules. La position sur la chaussée du véhicule n'est que très approximative.

I.10. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné une vision assez globale de ce qui est un capteur et avons précisé les différentes architectures associées à un système de mesure intelligent. Différentes approches relatives à la réalisation de tels systèmes en adéquation avec leurs fonctions ont été présentées.

Dans un deuxième temps, nous avons abordé la problématique de la modélisation du concept du capteur dit intelligent et les différents domaines d'applications qui lui sont associés. Les différentes approches de conception des capteurs intelligents ont été également introduites.

II.1. Introduction :

Actuellement, l'automatisation de la conduite automobile est sujette à un grand intérêt. En effet, ses potentialités sont nombreuses et séduisantes, qu'il s'agisse de l'optimisation des infrastructures, de l'amélioration de la mobilité, de la minimisation des risques et du temps de parcours et, par voie de conséquence, de la consommation d'énergie. Ce chapitre présente les approches les plus communément utilisées dans le cadre de la thématique « véhicules intelligents », et plus spécifiquement dans le contexte de la « conduite automatique de véhicule ». Il passe en revue les solutions expérimentales les plus prometteuses et les prototypes développés à travers le monde. Ceux-ci se basent essentiellement sur des techniques d'Intelligence Artificielle et sur la Vision par ordinateur afin de percevoir l'environnement du véhicule. N'ont été retenues ici que les approches jugées les plus intéressantes du point de vue de notre problématique. La fin du chapitre est l'occasion d'évoquer les perspectives d'évolution pour les décennies à venir de ce domaine en constante mutation que constituent les « véhicules intelligents ».

II.2.Les capteurs :

II.2.1.Capteur de vitesse :

Sur une voiture, la roue possède des dents aimantées, séparées d'intervalles identiques. Deux peuvent être retirés pour permettre au capteur de déterminer la position des pistons du moteur.

Le principe du capteur à effet Hall est le suivant : lorsque qu'une dent passe, il délivre une petite tension (pôle nord) et lorsque que c'est un creux, il ne délivre rien.

Le capteur donne au calculateur les informations de tension et de position des pistons, qui va pouvoir calculer la vitesse ainsi que par exemple le moment d'injection et l'avance à l'allumage.

II.2.2.Capteurs d'informations sur le véhicule :

II.2.2.1.Les capteurs de température :

Il en existe trois types :

- Température d'air d'admission et température d'eau moteur : ces données sont importantes pour le bon fonctionnement du véhicule.

- Capteurs CTP : Coefficient de Température Positif : dans ce cas, le capteur est une résistance dont la valeur augmente avec la température, et le courant qui passe donne la valeur de la température.

- Capteurs CTN : Coefficient de Température Négatif : à l'inverse, plus la température augmente, plus la résistance de celui-ci diminue, mais le principe est le même.

II.2.2.2. Les capteurs de pression :

On en distingue deux sortes :

- Les matériaux piézo-électrique (comme le quartz) permettent une mesure de la pression, car ils y réagissent en changeant le courant qui les parcourt.

- La pression des pneus, ou du carburant dans le moteur, peuvent par exemple être déterminées de cette façon.

II.2.2.3. Les capteurs spécifiques :

- Le capteur d'oxygène, situé dans les pots d'échappement, sert à déterminer la quantité d'oxygène présent.

- Il est constitué de céramique et d'électrodes ; il fonctionne comme une pile à concentration d'oxygène.

- Il fournit une tension, qui est d'environ 1 V quand il y a trop d'oxygène, 0.1 V quand il y en a trop peu.

II.2.3. Technologies de guidage et d'évitement d'obstacles :

• Parmi les méthodes de guidage :

- il existe le guidage par induction qui consiste à mesurer l'induction à partir d'un fil alimenté par un courant alternatif sur le sol. L'information est lue par un capteur d'induction.

- Dans le passé, était utilisée la méthode de guidage magnétique. Cette méthode fonctionne sur les trajectoires planes. Elle consiste à introduire des aimants dans la chaussée. Lorsqu'ils sont détectés par les capteurs placés dans le véhicule, le système de navigation du véhicule ressort la position relative de ce dernier.

- Une méthode améliorée du guidage magnétique est le guidage par transpondeurs. Les aimants sont dits « intelligents » car ils fournissent au système leur position, leur

identifiant, et quelques caractéristiques du réseau. Autrement, le système fonctionne de la même manière que le guidage magnétique.

- La localisation laser sur cibles est une technique qui fonctionne grâce à un laser qui réalise un scan sur 360°, tout autour du véhicule, pour détecter les éléments alentour. Il est aussi question de la mesure du temps de vol du faisceau laser afin de détecter la distance des éléments. Un inconvénient est que des réflecteurs sont nécessaires pour que ce dispositif fonctionne.
- Il faut rappeler la méthode du guidage par satellite (GPS) qui est décrite précédemment.
- Enfin il existe la méthode de guidage par la navigation inertielle. Cela consiste à maintenir une position relative par intégration constante des valeurs d'un capteur de mouvements comme l'accéléromètre, le gyromètre etc. Par exemple, il faudrait intégrer selon le déplacement horizontal et le déplacement vertical pour un avion en décollage. En revanche, un inconvénient pour cette méthode est qu'il faut re-calibrer la position relative du véhicule lors des longs trajets.

•Parmi les méthodes pour éviter les obstacles :

- Il y a la détection par ultrason très utilisée dans l'industrie automobile. Il s'agit en fait du même fonctionnement que pour un sonar. Le temps mis par l'onde pour atteindre un élément environnant et revenir vers l'émetteur du son est mesuré, ce qui permet de déterminer la distance de cet élément.
- Mais aussi, le scanner laser qui est le détecteur d'obstacles le plus utilisé sur les véhicules automatisés en industrie. Ce dispositif est basé sur un rayon laser placé horizontalement qui donne la distance et l'angle de tous les objets rencontrés dans ce plan. Son rayon d'action est d'environ 50 m.
- Viennent ensuite les ondes radar courtes et longues. Les courtes sont utilisées principalement pour l'aide au stationnement, le régulateur de vitesse, le système STOP&START, la détection d'angle mort et le stationnement automatique. Quant aux ondes radar longues, il est possible de rencontrer des dispositifs différents : le balayage peut être mécanique (des parties mécaniques font bouger le rayon horizontalement), ou bien il peut être électronique (une antenne fait bouger le rayon à travers l'ensemble des circuits électroniques). Les radars utilisent le signal Doppler pour la mesure directe de vitesses. Un autre avantage des signaux radars qui peuvent être cachés derrière des parties en plastique, telles que les pare-chocs, ce qui est un réel avantage visuel.

II.2.4. Capteur de type magnéto-résistif (MR) :

Ce capteur est composé d'un élément dit magnéto-résistif, revêtu d'une alternance de couches de Permalloy (alliage magnétique de fer (15%) et de nickel (80%)) et de silicium. Ces couches modifient la résistance ohmique en fonction de l'intensité et de la direction du champ magnétique (face Nord ou Sud). L'élément magnéto-résistif est incorporé dans un pont de Wheatstone afin d'en mesurer sa résistance. Une mesure de tension est effectuée au passage des champs magnétiques. La variation de tension entraîne la formation d'un courant dont l'intensité varie entre deux valeurs : 7 ou 14 mA. Ces différentes valeurs d'intensité vont alors créer une tension en créneaux. La fréquence de cette tension représente la vitesse de rotation de la roue.

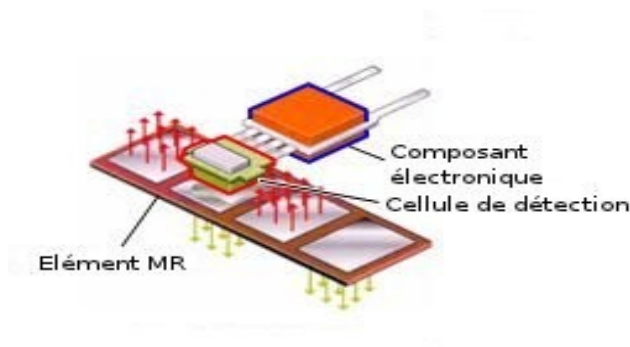


Figure II.1 :Schéma d'un capteur de type magnéto-résistif

II.2.5. Capteur de type optoélectronique :

Ce type de capteur est composé d'un disque avec fenêtrés (comprendre un disque troué), d'une diode capable d'émettre un signal lumineux, ainsi que d'un récepteur optique. Le capteur opto-électronique est notamment utilisé dans la mesure de variations d'angles. Lorsque le disque tourne, il y a alternance de signaux au niveau du récepteur, et chaque nouveau signal lumineux correspond à un angle parcouru (qui est fonction du nombre de trous sur le disque). Il suffit alors de compter ce nombre de signaux lumineux afin de donner une mesure de l'angle. Afin de déterminer le sens de l'angle, le disque est percé de deux rangées de trous comme visible sur le schéma suivant.

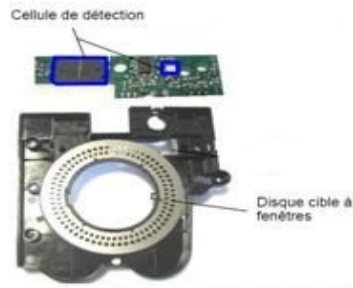


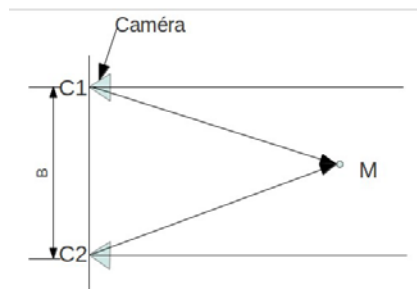
Figure II.2 : Schéma d'un capteur de type opto-électrique

II.2.6. Caméras et stéréovision :

Lors de notre présentation orale, nous avons oublié de mentionner les capteurs tels que les caméras à fonctionnement monoscopique, stéréoscopiques et infrarouge.

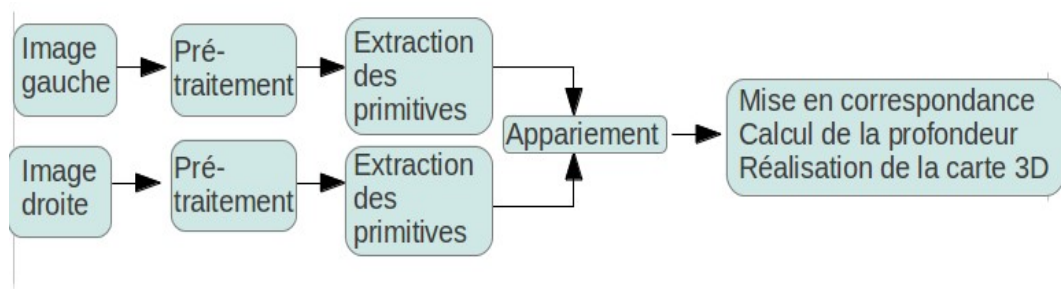
La méthode stéréoscopique fonctionne grâce à deux images fournies par deux caméras décalées l'une par rapport à l'autre, qui, lorsqu'elles sont couplées permettent de ressortir une image en relief. Le principe de fonctionnement de nos yeux : chaque œil représente une caméra, chacun est décalé par rapport à l'autre et l'image qui est interprétée dans notre cerveau est en relief. Ce procédé est utilisé dans les industries car il est plus rentable d'acheter et d'utiliser des caméras à bas prix plutôt que des dispositifs très sophistiqués et coûteux comme vu précédemment.

La monoscopie est une méthode qui permet la perception en relief d'une image plane. Lorsque l'on ferme un œil, on perçoit toujours l'image en relief. C'est sur ce même principe que fonctionne la monoscopie. Les facteurs qui entrent en jeu sont la perspective conique, la perspective atmosphérique ou bien l'ordre logique dans lequel les éléments sont placés dans l'espace etc. C'est grâce à ces facteurs que la perception de l'image se fait en relief. C'est une méthode qui est très peu connue mais qui ouvre des perspectives intéressantes. Les caméras thermiques enregistrent les différents rayonnements infrarouges émis par le corps et qui varient en fonction de leur température. Ces caméras sont surtout utilisées pour les sapeurs-pompiers, par l'armée, dans le bâtiment, les aéroports ou dans le domaine médical. Mais elles peuvent être aussi utilisées en tant que capteur automobile. La stéréovision est un composant important du véhicule intelligent. Elle vise à reconstruire la structure 3D des objets avec plusieurs images. Elle permet ainsi d'estimer la position d'un objet par rapport au véhicule. Afin d'être précis, les caméras utilisées doivent être calibrées : il s'agit alors de déterminer la configuration géométrique (rotations et translations) entre ces dernières.



Grâce aux deux caméras C1 et C2, on obtient deux images du point M et de son environnement. Ce point a donc pour coordonnées : M : m = (x1, y1 ; z1) dans l'image 1 et M : m = (x2, y2, z2) dans l'image 2. x2 est lié à x1 par la relation $x_2 = x_1 - B$. La profondeur étant inversement proportionnelle à la distance entre les deux points d'intérêt sur les images, il est possible de générer une carte des profondeurs en se focalisant sur plusieurs points des images.

On peut résumer le procédé par le diagramme suivant :



Exemple des systèmes de vision embarqués du LITIS composés de :

- 2 cartes caméras VCM 3405 Philips
- 2 objectifs de 50 mm de focale
- 1 bâti rigide

II.2.7.Radar :

Les systèmes radars sont composés de deux éléments essentiels : un émetteur et un récepteur d'ondes. Si un obstacle se trouve sur le chemin de l'onde émise, un signal est réfléchi. En analysant ce signal, l'objet peut être localisé, et sa vitesse de déplacement peut être calculée en utilisant l'effet Doppler.

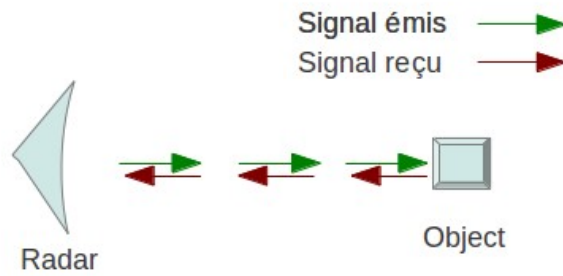


Figure II.3 :Schéma du fonctionnement d'un radar

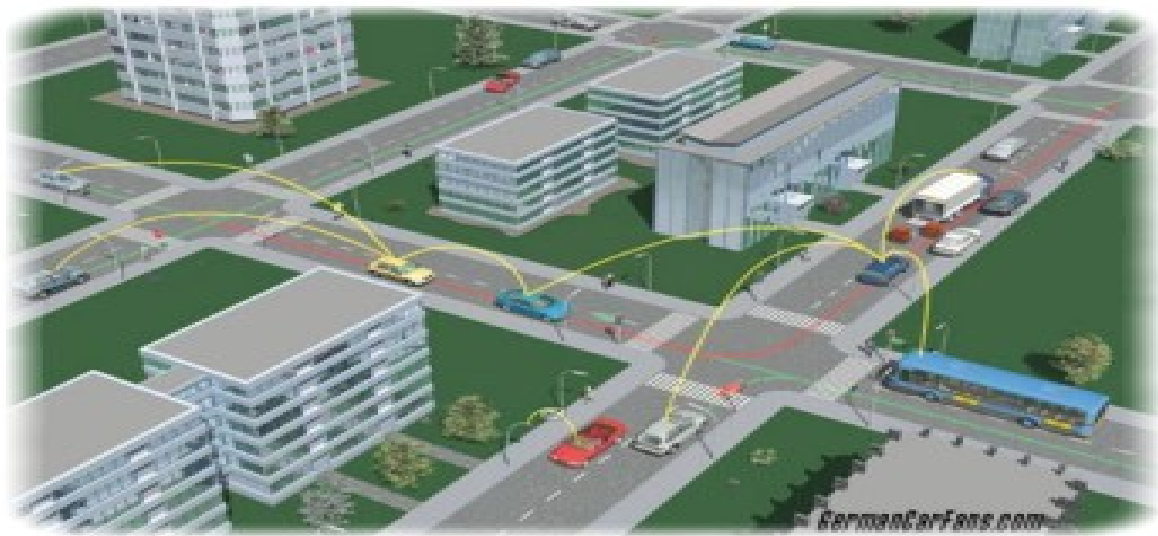
II.2.8.Laser couplé à un système de détection :

Basé sur le même principe de fonctionnement que le radar, le laser est également utilisé sur les véhicules intelligents. Le laser émet une onde lumineuse qui, quand elle rencontre un objet, est en partie rétrodiffusée vers le système de détection. Il est alors possible d'estimer la distance à laquelle se situe l'objet. C'est le principe de fonctionnement du LIDAR notamment que l'on abordera dans la troisième partie de ce dossier.

II.3.Aspect coopératif :

II.3.1.Communication V2V (Vehicle to Vehicle) :

L'objectif de l'intelligence ambiante est de créer un espace quotidien intelligent, immédiat d'utilisation, intégré dans les murs de nos maisons, dans nos bureaux, dans nos routes, dans nos voitures..., en somme partout. Ce nouveau concept doit être invisible, il doit en effet se fondre dans notre environnement quotidien et doit être présent au moment où nous en avons besoin[7].



Une des applications de ce concept consiste à munir nos voitures et nos routes de capacités permettant de rendre la route plus sûre (informations sur le trafic, accidents, dangers, déviations possibles, informations météorologiques, etc.) et de rendre le temps passé sur les routes plus convivial (accès à l'Internet, jeux en réseau, aider deux personnes à se suivre sur la route, ou bien créer un groupe de discussion dans un embouteillage, etc.). Cette application est l'exemple type de ce qu'on appelle les systèmes de transport intelligents (ITS, Intelligent Transportation System) et dont le but est d'améliorer la sécurité, l'efficacité et la convivialité dans les transports routiers, au travers de l'utilisation des nouvelles technologies d'information et de communication (NTIC).

Les systèmes de gestion de trafic « conventionnels » sont basés sur des infrastructures centralisées, où des caméras et des capteurs implantés sur la route collectent des informations sur la densité et l'état du trafic et transmettent ces données à une unité centrale pour les traiter et prendre les décisions adéquates.

De tels systèmes nécessitent un coût de déploiement assez important et se caractérisent par un temps de réaction long pour le traitement et le transfert des informations, dans un contexte où le délai de transmission de l'information est vital et revêt d'une importance majeure dans ce type de systèmes.

De plus, les équipements mis en place sur les routes nécessitent une maintenance périodique et chère. Par conséquent, pour un large déploiement d'un tel système, un investissement important dans l'infrastructure de communication et de capteurs est nécessaire.

Cependant, avec le développement rapide des technologies de communications sans fil, des systèmes de localisation et de collecte d'information via les capteurs, une nouvelle architecture décentralisée (ou semi centralisée) basée sur des communications véhicule à véhicule (V2V, Vehicle to Vehicle) suscite ces dernières années un réel intérêt auprès des constructeurs automobiles, de la communauté R&D et des opérateurs Télécoms.

Ce type d'architecture s'appuie sur un système distribué et autonome, et est formé par les véhicules eux même sans l'appui d'une infrastructure fixe pour le relaying des données et des messages. On parle dans ce cas d'un réseau ad hoc de véhicules (VANET, Vehicle Ad hoc NETWORK), qui n'est autre qu'une application dédiée et spécifique des réseaux ad hoc mobiles conventionnels (MANET, Mobile Ad hoc NETWORK)

II.3.2. Propriétés :

Faisant partie intégrante d'un système ITS, les communications inter-véhicules brassent les technologies et les disciplines suivantes.

Collecte d'information et perception de l'environnement proche : En utilisant différents capteurs (conditions météorologiques, état de la route, état de la voiture, pollution et autres) et des caméras, le conducteur peut à bord de son véhicule disposer d'un certain nombre d'informations et d'une meilleure visibilité, lui permettant ainsi de réagir d'une manière adéquate aux changements de son environnement proche.

Traitement : avec une grande capacité de traitement à bord, les véhicules de nos jours sont dotés d'intelligence et sont capables d'interpréter les informations collectées pour ensuite aider le conducteur à prendre une décision (particulièrement dans les systèmes d'aide à la conduite).

Stockage : un grand espace de stockage est nécessaire dans ce contexte afin de disposer des différentes classes et types d'information. Ces structures de données seront alimentées et mises à jour en fonction des événements et décisions du système de communication. A noter que dans un réseau de véhicules, l'énergie et l'espace de stockage sont suffisamment disponibles.

Routage et communication : pour l'échange et la diffusion d'information dans le réseau lui-même ou vers d'autres types de réseaux (IP ou cellulaire par exemple). Ce qui

permet ainsi d'augmenter le périmètre de précaution grâce à une perception étendue de l'environnement et ainsi une meilleure anticipation des difficultés de conduite.

II.3.3.Application :

Applications pour la sécurité routière : la sécurité routière est devenue une priorité dans la plupart des pays développés. Cette priorité est motivée par le nombre croissant d'accidents sur les routes, associé à un nombre de véhicules de plus en plus important. Afin d'améliorer la sécurité des déplacements et faire face aux accidents routiers, les IVC offrent la possibilité de prévenir les collisions et les travaux sur les routes, de détecter les obstacles (fixes ou mobiles) et de distribuer les informations météorologiques.

Applications pour les systèmes d'aide à la conduite et les véhicules coopératifs : pour faciliter la conduite autonome et apporter un support au conducteur dans des situations particulières : aide aux dépassements de véhicules, prévention des sorties de voies en ligne ou en virage, etc. Nous pouvons citer également le cas des compagnies de transports utilisant les IVC dans un but de productivité pour réduire la consommation de carburant.

Applications de confort du conducteur et des passagers : en particulier les services de communication et d'informations des utilisateurs comme l'accès mobile à l'Internet, la messagerie, le chat inter-véhicules, les jeux en réseaux, etc.

II.3.4.Communication infrastructure-véhicule :

Hormis la transmission analogique par voie hertzienne telle que la fréquence modulée FM dédiée à l'information autoroutière, les principales technologies de communication entre la route et le véhicule sont :

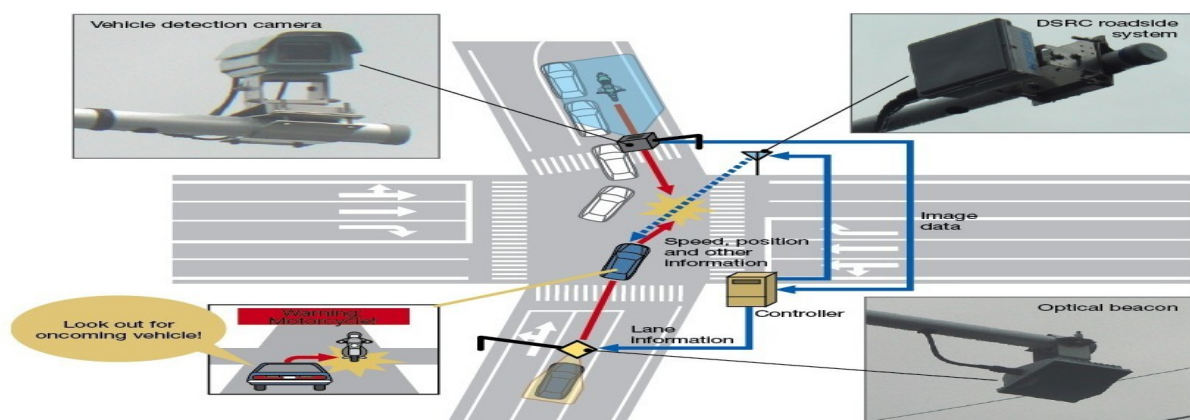
- La communication à courte portée ou DSRC ;
- La téléphonie cellulaire ou GSM (Global System for Mobile communications) ;
- La technologie sans fil appelée WIFI.

D'autres techniques de diffusion, par voie hertzienne, d'informations aux conducteurs se sont développées. Il s'agit de la transmission par la radio numérique DAB (Digital Audio Broadcasting). Nous aborderons également dans cette partie la technique de localisation par

satellite (GPS) qui est souvent associée aux différentes technologies de communication citées ci-dessus.

II.3.5.Principe de la technologie :

Les communications à courte portée (DSRC) sont issues d'une des technologies utilisables pour la liaison sol-véhicule. C'est un média qui offre la possibilité de développer plusieurs applications comme le télépéage (péage électronique, l'information routière, les aides à la navigation, l'assistance à la conduite, la gestion de l'information des transports en commun et des véhicules commerciaux et enfin les systèmes de priorité aux feux.



Ce lien hyperfréquence sol-véhicule à courte distance utilise des zones de communication entre les mobiles et l'infrastructure de l'ordre de 4 à 10 mètres. La liaison est bidirectionnelle et se base sur un fonctionnement en semi-duplex (signifie que les équipements fixes et mobiles émettent à tour de rôle). L'instance internationale de normalisation ISO a défini un modèle destiné à permettre le dialogue entre des systèmes hétérogènes. Ce système, appelé "modèle de référence pour l'interconnexion des systèmes ouverts", est basé sur une architecture composée de sept niveaux ou couches. Chacun d'eux effectue des fonctions indépendantes de celles assurées par les autres niveaux.

Le modèle de communication à courte portée DSRC est conforme à cette architecture mais avec une importance accordée à 3 couches suffisantes pour les besoins de la communication. Ce sont la couche 1 dite 'physique' basée sur le lien micro-ondes à 5.8 GHz, la couche 2 permettant la gestion des données et les communications point à point entre équipement au sol et dispositif embarqué et la couche 7 dite « d'application » comportant un ensemble de commandes qui traitent les applications envisagées.

La fréquence de communication est centrée sur 5.8 GHz avec l'allocation d'une bande passante de 10 MHz. Plusieurs canaux sont exploitables dans cette bande. Ils sont en fonction des choix technologiques faits par les industriels. La technologie DSRC permet plusieurs classes de débits allant de 250 Kbits/s à 1 Mbits/s. En Europe, les débits utilisés pour la majorité des applications et notamment le télépéage sont de 500 Kbits/s dans le sens descendant (infrastructure vers véhicule) et de 250 Kbits/s dans le sens montant (véhicule vers infrastructure).

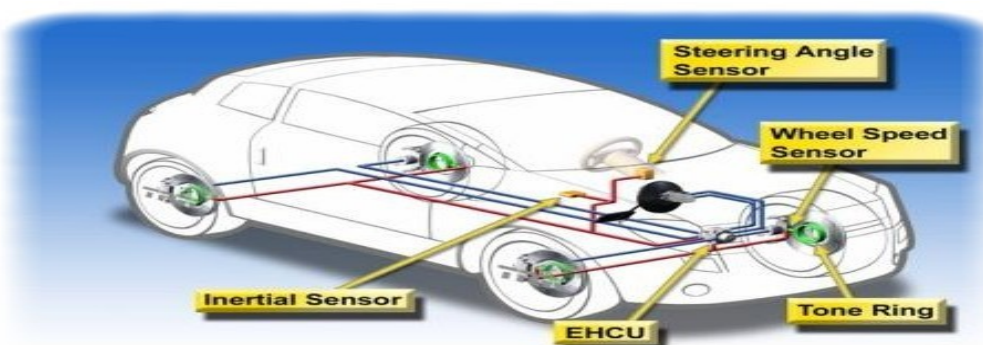
II.3.6.Régulateur / limiteur de vitesse :

Le régulateur de vitesse a été inventé en 1945 par Ralph Teetor (Américain). Chrysler a été le premier constructeur automobile à équiper une de ses voitures en 1958. Comme son nom l'indique, ce système permet de rouler à une allure constante de façon automatique, afin d'éviter les excès de vitesse et d'obtenir une consommation optimale du carburant. Le régulateur de vitesse est composé :

- d'un capteur de vitesse à la sortie de la boîte de vitesses qui envoie les mesures à l'ECU.
- d'un ECU (Engine Control Unit) qui régule le régime moteur en fonction de la consigne fixée par l'utilisateur. Il agit directement sur le micro-moteur de la commande des gaz.

II.3.7.ESP ou ESC (Electronic Stability Program) :

Ce système, qui travaille en collaboration avec l'ABS, a pour but de détecter les pertes d'adhérence en virage. Il a été développé par Bosch, et utilisé pour la première fois en 1995.



Les principaux capteurs de l'ESP sont :

- les capteurs de vitesse des roues.
- un mesureur d'angle du volant au niveau de la direction.

- un capteur gyroscopique pour mesurer la vitesse de lacet (mouvement de rotation horizontal par rapport à l'axe vertical du véhicule).
- un capteur à effet Hall (Hall effectsensor : mesure de la variation du champ magnétique) afin de mesurer l'accélération transversale.

L'ESP agit sur le système de freinage et le couple moteur pour éviter deux sortes de perte de contrôle : -sous-virage (le train avant dérive => l'automobile ne suit pas la courbe) : l'ESP freine la roue arrière intérieure.

- sur-virage (le train arrière dérive => tête-à-queue) : l'ESP freine la roue avant extérieure.

II.4.Conclusion :

Comme nous l'avons vu dans ce rapport, les systèmes de transport intelligents sont partout. Depuis quelques années, ils sont apparus sous forme de capteurs améliorant la sécurité des usagers du véhicule, comme l'ABS pour ne prendre qu'un exemple, puis ils sont apparus tout à fait récemment pour améliorer le confort des personnes, en plus de leur but premier qui est de pourvoir la sécurité à chacun. Ils se sont développés à tel point que des véhicules autonomes sont sur le point de voir le jour. Encore des prototypes, ils sont constamment améliorés dans le but de produire des véhicules qui pourront être conduits... Sans conducteur ! Ces cybercars comme on les appelle aujourd'hui seront grandement bénéfiques au trafic, le rendant moins dangereux, moins saturé. Ces systèmes de transport intelligents fonctionnant à base d'une multitude de capteurs et d'une Intelligence Artificielle ultra-performante seront sans doute les véhicules de demain dans les domaines du transport (autant de marchandises que d'humains), mais aussi et surtout les véhicules personnels de chacun.

III .1.Introduction:

Avec le développement de matériel et de logiciel embarqué, diverses technologies sont de plus en plus intégrées. Son but est de simplifier les schémas électroniques et par conséquent réduire l'utilisation de composants électroniques, en réduisant ainsi le coût de fabrication d'un produit. Et en résulte des systèmes plus complexes et performants pour un espace réduit. Au cours des dernières années, le mouvement open source du matériel est populaire dans le monde. Arduino est un chef de file dans ce mouvement d'où les groupes d'utilisateurs répartis des ingénieurs aux étudiants, puis aux élèves de collège ou même les enfants de l'école primaire. L'émergence d'une variété de plates-formes matérielles open source réduit considérablement la courbe d'apprentissage, stimule l'innovation et accélère la conversion de l'idée à la réalisation.

III .2.Presentation du matériel utilisé :

On va présenter les deux parties HARD ET SOFTWARE pour notre travail

III.2.1.Hardware :

III .2.1.1.Arduino :

Arduino est une plateforme de prototypage à bas coût sous licence Créative Commons. Basée sur les microcontrôleurs ATMEGA, elle permet de réaliser rapidement des projets électroniques sur les trois plateformes Linux, Mac et Windows.

Il est peut être utilisé pour construire des objets interactifs indépendants (prototypage rapide), ou bien peut être connecté à un ordinateur pour communiquer avec ses logiciels (ex. : Macromedia Flash, Processing, Max/MSP, Usine Hollyhock, Pure Data, SuperCollider ...). En 2011, les versions vendues sont préassemblées. Des informations sont fournies pour ceux qui souhaitent assembler l'Arduino eux-mêmes [8] .

«Le projet Arduino a reçu un titre honorifique à l'Ars Electronica 2006, dans la catégorie Digital Communities ».



Figure III.1 : Carte Arduino

Description du Matériel :

Un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur Atmel AVR (ATmega328 ou ATmega2560 pour les versions récentes, ATmega168 ou ATmega8 pour les plus anciennes), et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5 V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Le microcontrôleur est préprogrammé avec un bootloader de façon à ce qu'un programmeur dédié ne soit pas nécessaire.

Les modules sont programmés au travers d'une connexion série RS-232, mais les connexions permettant cette programmation diffèrent selon les modèles. Les premiers Arduino possédaient un port série, puis l'USB est apparu sur les modèles UNO, tandis que certains modules destinés à une utilisation portable se sont affranchis de l'interface de programmation, relocalisée sur un module USB-série dédié (sous forme de carte ou de câble).

L'Arduino utilise la plupart des entrées/sorties du microcontrôleur pour l'interfaçage avec les autres circuits.

ArduinoUno : La carte ArduinoUno est une carte à microcontrôleur basée sur ATmega328.

Elle dispose :

- de 14 broches numériques d'entrées/sorties (dont 6 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée)),
- de 6 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques),
- d'un quartz 16Mhz,

- d'une connexion USB,
- d'un connecteur d'alimentation jack,
- d'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit"),
- et d'un bouton de réinitialisation (reset).

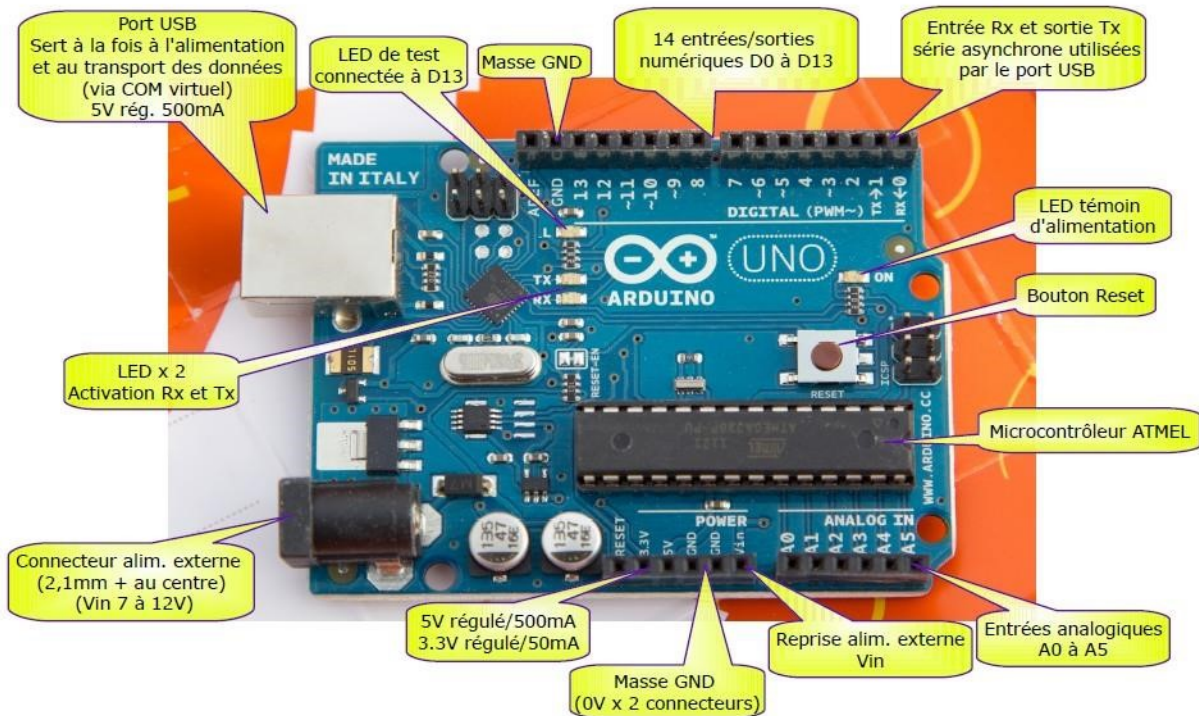


Figure III.2: Composant ArduinoUno

Il contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur ; Pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation étant fournie par le port USB).

La carte ArduinoUno diffère de toutes les cartes précédentes car elle n'utilise pas le circuit intégré FTDI usb-vers-série. A la place, elle utilise un Atmega8U2 programmé en convertisseur USB-vers-série.

La carte UNO et la version 1.0 du logiciel seront la référence des versions Arduino à venir. La carte Uno est la dernière d'une série de carte USB Arduino, et le modèle de référence des plateformes Arduino ; pour une comparaison avec les versions précédentes [9].

Tableau III.1 : la référence des versions Arduino.

Microcontrôleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5V

Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Tension d'alimentation (limites)	6-20V
Broches E/S numériques	14 (dont 6 disposent d'une sortie PWM)
Broches d'entrées analogiques	6 (utilisables en broches E/S numériques)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5V)	40 mA (ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V	50 MA
Intensité maxi disponible pour la sortie 5V	Fonction de l'alimentation utilisée - 500 mA max si port USB utilisé seul
Mémoire Programme Flash	32 KB (ATmega328) dont 0.5 KB sont utilisés par le bootloader
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	2 KB (ATmega328)
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	1 KB (ATmega328)
Vitesse d'horloge	16 MHz

Branchage de la carte Uno

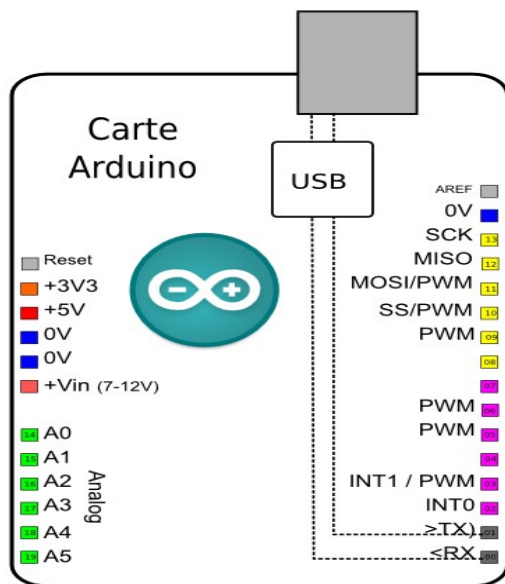


Figure III.3 :Brochage De La Carte ArduinoUno

Alimentation :

La carte ArduinoUno peut-être alimentée soit via la connexion USB (qui fournit 5V jusqu'à 500mA) ou à l'aide d'une alimentation externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par la carte.

L'alimentation externe (non-USB) peut être soit un adaptateur secteur (pouvant fournir typiquement de 3V à 12V sous 500mA) ou des piles (ou des accus). L'adaptateur secteur peut être connecté en branchant une prise 2.1mm positif au centre dans le connecteur jack de la carte. Les fils en provenance d'un bloc de piles ou d'accus peuvent être insérés dans les connecteurs des broches de la carte appelées Gnd (masse ou 0V) et Vin (Tension positive en entrée) du connecteur d'alimentation.

La carte peut fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si la carte est alimentée avec moins de 7V, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V et la carte pourrait être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de tension de la carte pourrait chauffer et endommager la carte. Aussi, la plage idéale recommandée pour alimenter la carte Uno est entre 7V et 12V.

Les broches d'alimentation sont les suivantes :

- VIN. La tension d'entrée positive lorsque la carte Arduino est utilisée avec une source de tension externe (à distinguer du 5V de la connexion USB ou autre source 5V régulée). Vous pouvez alimenter la carte à l'aide de cette broche, ou, si l'alimentation est fournie par le jack d'alimentation, accéder à la tension d'alimentation sur cette broche.
- 5V. La tension régulée utilisée pour faire fonctionner le microcontrôleur et les autres composants de la carte (pour info : les circuits électroniques numériques nécessitent une tension d'alimentation parfaitement stable dite "tension régulée" obtenue à l'aide d'un composant appelé un régulateur et qui est intégré à la carte Arduino). Le 5V régulé fourni par cette broche peut donc provenir soit de la tension d'alimentation VIN via le régulateur de la carte, ou bien de la connexion USB (qui fournit du 5V régulé) ou de tout autre source d'alimentation régulée.
- 3V3. Une alimentation de 3.3V fournie par le circuit intégré FTDI (circuit intégré faisant l'adaptation du signal entre le port USB de votre ordinateur et le port série de l'ATmega) de

la carte est disponible : ceci est intéressant pour certains circuits externes nécessitant cette tension au lieu du 5V). L'intensité maximale disponible sur cette broche est de 50mA.

- GND. Broche de masse (ou 0V).

Entrées et sorties numériques

Chacune des 14 broches numériques de la carte UNO (numérotées des 0 à 13) peut être utilisée soit comme une entrée numérique, soit comme une sortie numérique, en utilisant les instructions `pinMode`, `digitalWrite` et `digitalRead` du langage Arduino. Ces broches fonctionnent en 5V. Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40mA d'intensité et dispose d'une résistance interne de "rappel au plus" (pull-up) (déconnectée par défaut) de 2050 KOhms. Cette résistance interne s'active sur une broche en entrée à l'aide de l'instruction `digitalWrite` (broche, HIGH). De plus, certaines broches ont des fonctions spécialisées :

- **Communication Série** : Broches 0 (RX) et 1 (TX). Utilisées pour recevoir (RX) et transmettre (TX) les données séries de niveau TTL. Ces broches sont connectées aux broches correspondantes du circuit intégré ATmega8U2 programmé en convertisseur USB-vers-série de la carte, composant qui assure l'interface entre les niveaux TTL et le port USB de l'ordinateur.
- **Interruptions Externes** : Broches 2 et 3. Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, sur un front montant ou descendant, ou sur un changement de valeur. Voir l'instruction `attachInterrupt()` pour plus de détails.
- **Impulsion PWM (largeur d'impulsion modulée)** : Broches 3, 5, 6, 9, 10, et 11. Fournissent une impulsion PWM 8-bits à l'aide de l'instruction `analogWrite()`.
- **SPI (Interface Série Périphérique)** : Broches 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Ces broches supportent la communication SPI (Interface Série Périphérique) disponible avec la bibliothèque pour communication SPI. Les broches SPI sont également connectées sur le connecteur ICSP qui est mécaniquement compatible avec les cartes Méga.
- **I2C** : Broches 4 (SDA) et 5 (SCL). Supportent les communications de protocole I2C (ou interface TWI (TwoWire Interface - Interface "2 fils"), disponible en utilisant la bibliothèque `Wire/I2C` (ou TWI - Two-Wire interface - interface "2 fils").

- **LED** : Broche 13. Il y a une LED incluse dans la carte connectée à la broche 13. Lorsque la broche est au niveau HAUT, la LED est allumée, lorsque la broche est au niveau BAS, la LED est éteinte[10].

Communication :

La carte ArduinoUno dispose de toute une série de facilités pour communiquer avec un ordinateur, une autre carte Arduino, ou avec d'autres microcontrôleurs. L'ATmega 328 dispose d'une UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter ou émetteur-récepteur asynchrone universel en français) pour communication série de niveau TTL (5V) et qui est disponible sur les broches 0 (RX) et 1 (TX). Un circuit intégré ATmega8U2 sur la carte assure la connexion entre cette communication série vers le port USB de l'ordinateur et apparaît comme un port COM virtuel pour les logiciels de l'ordinateur. Le code utilisé pour programmer l'ATmega8U2 utilise le driver standard USB COM, et aucun autre driver externe n'est nécessaire. Cependant, sous Windows, un fichier .inf est requis.

Le logiciel Arduino inclut une fenêtre terminal série (ou moniteur série) sur l'ordinateur et qui permet d'envoyer des textes simples depuis et vers la carte Arduino. Les LEDs RX et TX sur la carte clignote lorsque les données sont transmises via le circuit intégré USB-vers-série et la connexion USB vers l'ordinateur (mais pas pour les communications série sur les broches 0 et 1). Une librairie Série Logicielle permet également la communication série (limitée cependant) sur n'importe quelle broche numérique de la carte UNO.

L'ATmega 328 supporte également la communication par protocole I2C (ou interface TWI (TwoWire Interface - Interface "2 fils") et SPI :

- Le logiciel Arduino inclut la librairie Wire qui simplifie l'utilisation du bus I2C. Voir la documentation pour les détails
- Pour utiliser la communication SPI (Interface Série Périphérique), la librairie pour communication SPI est disponible.

Dix-sept versions des cartes de type Arduino ont été produites et vendues dans le commerce à ce jour dans l'ordre chronologique ci-dessous :

1. *Serial Arduino* programmé avec une connexion série par connecteur DB9 et utilisant un ATmega8.
2. *ArduinoExtreme*, programmable via une connexion USB et utilisant un ATmega8.
3. *Arduino Mini*, une version miniature de l'Arduino utilisant un ATmega168 de type CMS.
4. *Arduino Nano*, une version encore plus petite de l'Arduino alimenté par USB et utilisant un ATmega168 (avant la version 3) ou ATmega328 (à partir de la version 3.0) de type CMS.
5. *LilyPadArduino*, une conception de type minimaliste pour permettre une application portable utilisant un ATmega168 de type CMS.
6. *Arduino NG*, programmable via une connexion USB et utilisant un ATmega8.
7. *Arduino NG plus*, programmable via une connexion USB et utilisant un ATmega168.
8. *Arduino Bluetooth(BT)*, programmable via une connexion Bluetooth et utilisant un ATmega 328.
9. *ArduinoDiecimila*, possède une interface USB et utilise un ATmega168 dans un boîtier format DIL28. (16 ko flash, 1 ko SRAM, 0,5 ko EEPROM)
10. *ArduinoDuemilanove* (2009) utilise un ATmega168 et est alimenté en électricité par le connecteur USB ou une alimentation externe avec commutation automatique⁵. La nouvelle version est équipée d'un ATmega328 (32 ko de flash, 2 ko de SRAM, et 1 ko d'EEPROM).
11. *ArduinoMega* est équipé d'un ATmega1280 de type CMS pour avoir des Entrées/Sorties supplémentaires et de la mémoire (128 ko flash, 8 ko SRAM, 4 ko EEPROM).
12. *ArduinoUno* utilise un ATmega328 comme les derniers modèles de Duemilanove, mais alors que le Duemilanove utilisait une puce FTDI pour la programmation via un connecteur USB, le Uno utilise une puce ATmega8U2 programmé comme un convertisseur série⁸.
13. *Arduino Mega2560* est équipé d'un ATmega2560 de type CMS, augmentant la mémoire totale disponible à 256 ko. Il est équipé aussi de la nouvelle puce USB ATmega8U2⁹.
14. *Arduino Ethernet* est une carte Arduino UNO intégrant un chip Wiznet W5100 pour rajouter la connectivité Ethernet intégré¹⁰.
15. *Arduino Leonardo* est une version bas coût de l'Arduino UNO à base d'un ATmega32U4.
16. *Arduino DUE* est une évolution de l'Arduino Mega2560 avec un micro-contrôleur 32 bits Atmel SAM3X (ARM 32 bits Cortex-M3).
17. *ArduinoEsplora* est une carte dérivée de l'Arduino Leonardo. Elle a la forme d'une manette de jeu. Contrairement aux autres Arduino, c'est une carte « tout-en-un » qui comporte de nombreux capteurs (température, accélération, lumière, microphone,

potentiomètre...) ainsi que 4 boutons poussoirs, un potentiomètre et un joystick analogique [11], [12].

Les avantages :

- Pas cher !
- Environnement de programmation clair et simple.
- Multiplateforme : tourne sous Windows, Macintosh et Linux.
- Nombreuses bibliothèques disponibles avec diverses fonctions implémentées.
- Logiciel et matériel open source et extensible.
- Nombreux conseils, tutoriaux et exemples en ligne (forums, site perso etc...)
- Existence de « shield » (boucliers en français) : ce sont des cartes supplémentaires qui se connectent sur le module Arduino pour augmenter les possibilités comme par exemple : afficheur graphique couleur, XBEE, GPS, etc..

Par sa simplicité d'utilisation, Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme

L'électronique industrielle et embarquée...

III .2.1.2. Capteur sonar à Ultrasons HC-SR04 :

Un capteur est une interface entre un processus physique et une information manipulable. Il ne mesure rien, mais fournit une information en fonction de la sollicitation à laquelle il est soumis. Il fournit cette information grâce à une électronique à laquelle il est associé .

Le capteur HC-SR04 utilise les ultrasons pour déterminer la distance d'un objet. Il offre une excellente plage de détection sans contact, avec des mesures de haute précision et stables. Son fonctionnement n'est pas influencé par la lumière du soleil ou des matériaux sombres, bien que des matériaux comme les vêtements puissent être difficiles à détecter.

Ce capteur de distance à ultrasons permet des mesures de distance allant de (2cm à 500cm) avec une précision pouvant aller jusqu'à (3mm). L'angle du cône de mesure est d'environ (15°). Le sonar

HC-SR04 comprend un émetteur ultrasons, un récepteur ultrasons ainsi qu'un circuit de contrôle [13], [15].



Figure III.4 : Capteur Sonar à Ultrasons HC-SR04

III .2.1.3.Caractéristiques et spécification du capteur :

Les caractéristiques en détail du Capteur sonar à Ultrasons HC-SR04 sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Distance de captation	2 cm à 5 m
Résolution (précision)	3mm
Tension d'exploitation (Voltage d'entrée)	5 V
Courant (Ampérage d'entrée)	15 mA
Fréquence d'opération	40 Hz
Angle de mesure	30 degrés
Angle efficace	15 degrés
Signal d'entrée trigger	10 μ s TTL impulsion
Dimensions L x W x H	45 mm x 20 mm x 15mm
Poids	8.5g

Tableau III.2 : Spécifications des capteurs sonar à ultrason HC-SR04.

Remarque : La borne GND doit être connectée en premier, avant l'alimentation sur Vcc.

III .2.1.4.Broches de connexion :

Les broches du Capteur sonar à Ultrasons HC-SR04 sont :

- ❖ Vcc : Alimentation +5 V DC
- ❖ Trig : Entrée de déclenchement de la mesure (Trigger input)
- ❖ Echo : Sortie de mesure donnée en écho (Echo output)

❖ GND : Masse de l'alimentation.

III .2.1.5.Fonctionnement :

Pour déclencher une mesure, il faut présenter une impulsion "High" (5 V) d'au moins 10 µs sur l'entrée "Trig". Le capteur émet alors une série de 8 impulsions ultrasoniques à 40 kHz, puis il attend le signal réfléchi. Lorsque celui-ci est détecté, il envoie un signal "High" sur la sortie "Echo", dont la durée est proportionnelle à la distance [15].

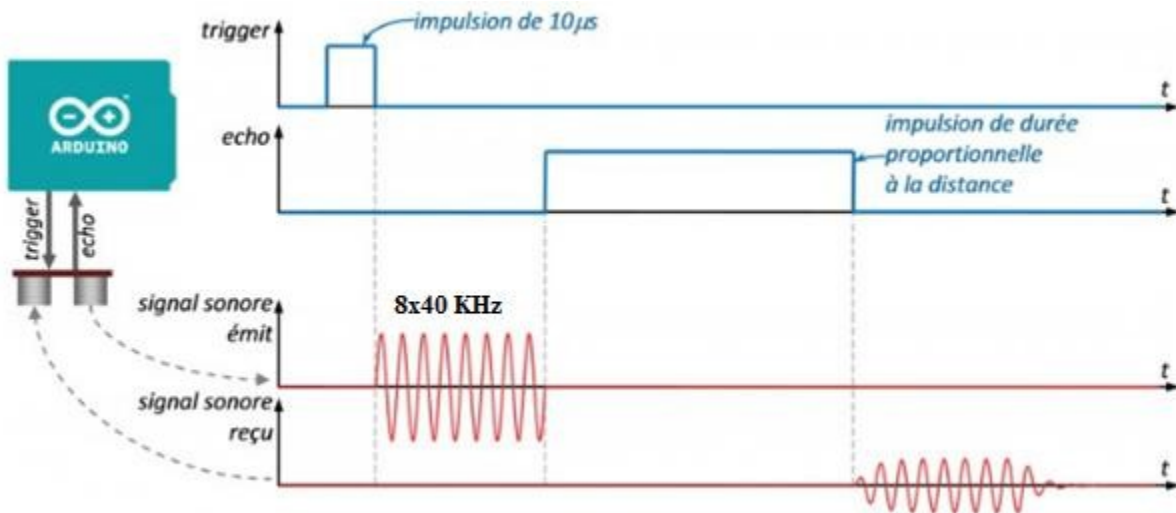


Figure III.5 : Signal d'entrée et sortie du capteur HC-SR04

III .2.1.6.Distance de la cible :

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 µs) par le temps de propagation, soit :

$$d = v \cdot t \quad (2.1)$$

d : distance en mètre ; **v** : vitesse de son mètre par seconde ; **t** : temps en seconde.

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

La distance vaut donc la moitié.

$$d = \left(\frac{34000}{1000000} \cdot 10 \cdot \text{Valeur} \right) \cdot \frac{1}{2} \quad [\text{cm}] \quad (2.2)$$

En simplifiant :

$$d = \frac{17000}{1000000} \cdot \text{Valeur} \quad [\text{cm}] \quad (2.3)$$

Finalement,

$$d = \frac{17}{100} \cdot \text{Valeur} \quad [\text{cm}] \quad (2.4)$$

$$d = \frac{\text{durée}}{58} \quad [\text{cm}](2.5)$$

La formule (2.5) 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 : À grande distance, la surface de l'objet à détecter doit mesurer au moins 0.5 m².

III.2.2. Plateforme de programmation Arduino :

III.2.2.1. Présentation :

L'interface de l'IDE Arduino est plutôt simple voir figure III.6, il offre une interface minimale et épurée pour développer un programme sur les cartes Arduino. Il est doté d'un éditeur de code avec coloration syntaxique et d'une barre d'outils rapide. Ce sont les deux éléments les plus importants de l'interface, c'est ceux que l'on utilise le plus souvent. On retrouve aussi une barre de menus, plus classique qui est utilisée pour accéder aux fonctions avancées de l'IDE. Enfin, une console pour afficher les résultats de la compilation du code source, des opérations sur la carte, etc.

Le langage Arduino est inspiré de plusieurs langages. On retrouve notamment des similarités avec le C, le C++, le Java et le Processing. Le langage impose une structure particulière typique de l'informatique embarquée.

- La fonction « **Setup** » contiendra toutes les opérations nécessaires à la configuration de la carte (directions des entrées sorties, débits de communications série, etc.).
- La fonction « **Loop** », elle est exécutée en boucle après l'exécution de la fonction setup. Elle continuera de boucler tant que la carte n'est pas mise hors tension, redémarrée (par le bouton reset). Cette boucle est absolument nécessaire sur les microcontrôleurs étant donné qu'ils n'ont pas de système d'exploitation. En effet, si l'on omettrait cette boucle, à la fin du code produit, il sera impossible de reprendre la main sur la carte Arduino qui exécuterait alors du code aléatoire [16], [17].

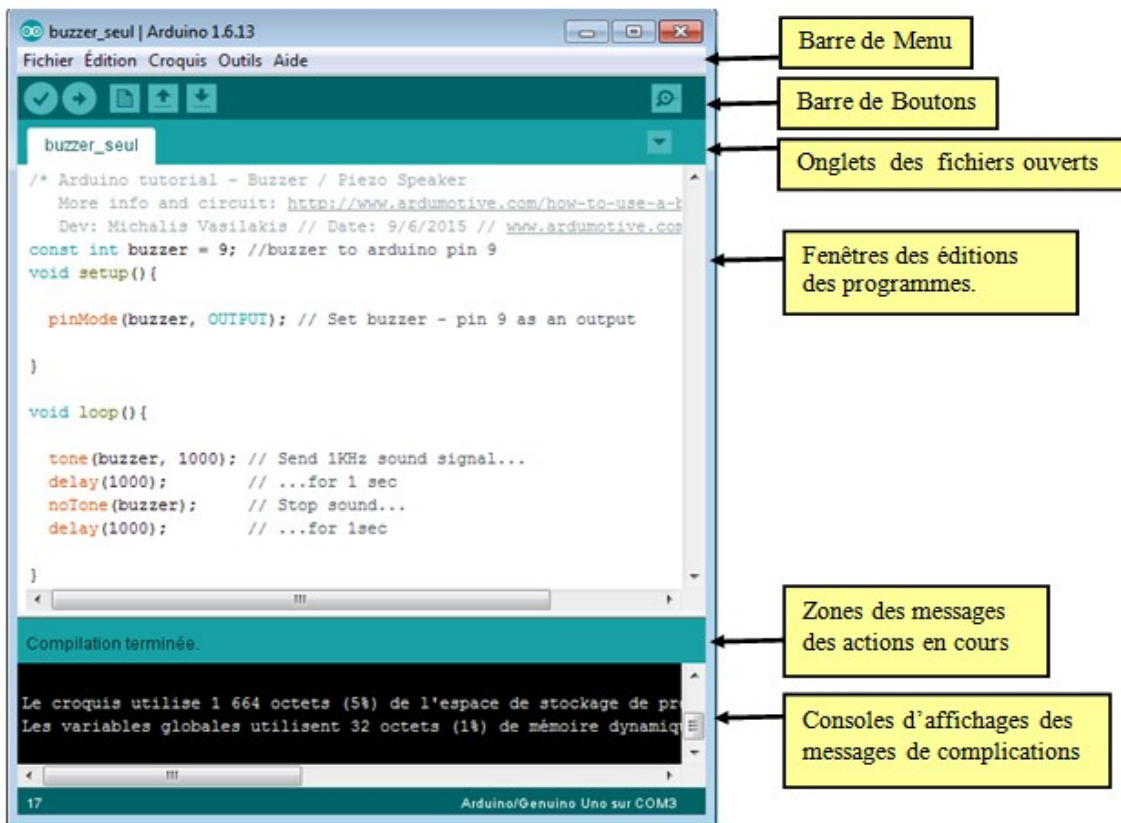


Figure III.6 :Interface de la plateforme Arduino

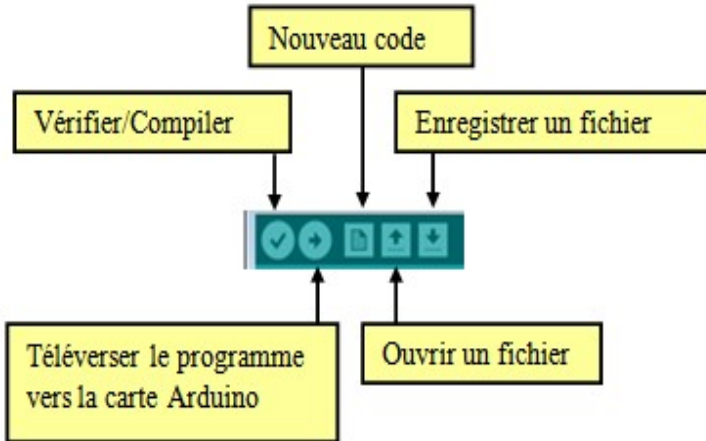


Figure III.7 :Barre de boutons Arduino

Le logiciel comprend aussi un moniteur série (Equivalent à HyperTerminal) qui permet de d'afficher des messages textes émis par la carte Arduino et d'envoyer des caractères vers la carte Arduino (en phase de fonctionnement) :

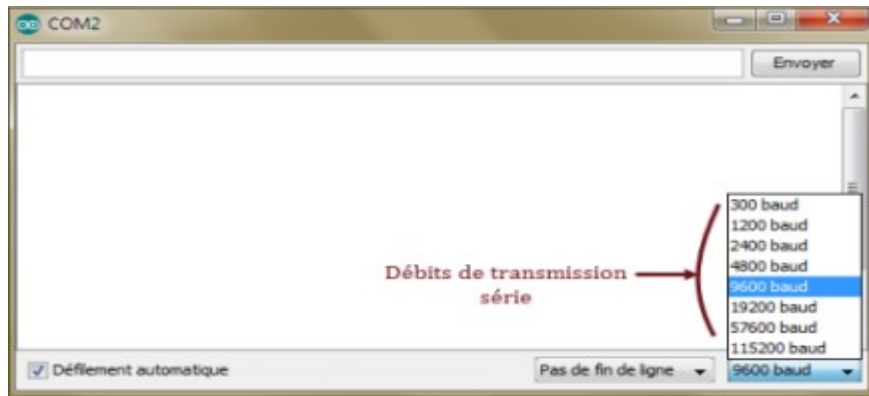


Figure III.8 : HyperTerminal de l'Arduino (Moniteur Série)

III.2.2.2. Structure générale du programme (IDE Arduino) :

Un programme utilisateur Arduino est une suite d'instructions élémentaires sous forme textuelle, ligne par ligne. La carte lit puis effectue les instructions les unes après les autres, dans l'ordre défini par les lignes de code. La structure d'écriture d'un programme sous Arduino est de la forme suivante :

Figure III.9 : Structure générale du programme (IDE Arduino).

- Comment mesurer une distance :

Pour mesurer des distances, il faut un capteur de distance (s'en blague !). Il existe sur le marché un grand nombre de capteurs de distance : infrarouge (réflectif), laser (par temps de parcours ou par calcul d'angle), physique (règles optiques absolues ou incrémentielles), ou ultrason.

- Les capteurs infrarouges ont l'avantage d'être bon marché, relativement précis et disponibles à peu près partout. Malheureusement, ils sont assez complexes à mettre en œuvre du fait de leurs non-linéarités. Il faut appliquer une formule complexe pour obtenir une mesure utilisable. De plus, ils sont très sensibles à la lumière ambiante et au coefficient de réflexion lumineuse de la surface en face du capteur.
- Les (vrais) capteurs de distance laser sont extrêmement précis, mais aussi extrêmement chers. Un capteur de distance laser (par mesure de temps de parcours) coûte facilement, mais fait des mesures à plus de 30 mètres sans problème pour certains modèles. C'est donc au final une question de budget / utilisation.

PS Il existe des (faux) capteurs de distance laser fonctionnant par triangulation. Au lieu de mesurer le temps d'aller-retour d'un faisceau laser, ces modules calculent l'angle entre le point du laser et le capteur. Ces modules sont moins chers, mais aussi beaucoup moins précis.

- Les capteurs physiques, le plus souvent un duo comportant une règle graduée et un capteur optique, sont à la fois bon marché et très précis. Mais ils sont très limités en distance mesurable et se retrouvent donc généralement dans des imprimantes.

Reste les capteurs ultrasons, et ça tombe bien, c'est le sujet de cet article.

Un capteur de distance à ultrason utilise le même principe qu'un capteur laser, mais en utilisant des ondes sonores (inaudible) au lieu d'un faisceau de lumière. Ils sont bien moins chers qu'un capteur laser, mais aussi bien moins précis. Cependant, contrairement aux capteurs à infrarouge, la lumière ambiante et l'opacité de la surface en face du capteur ne jouent pas sur la mesure.

Le montage :

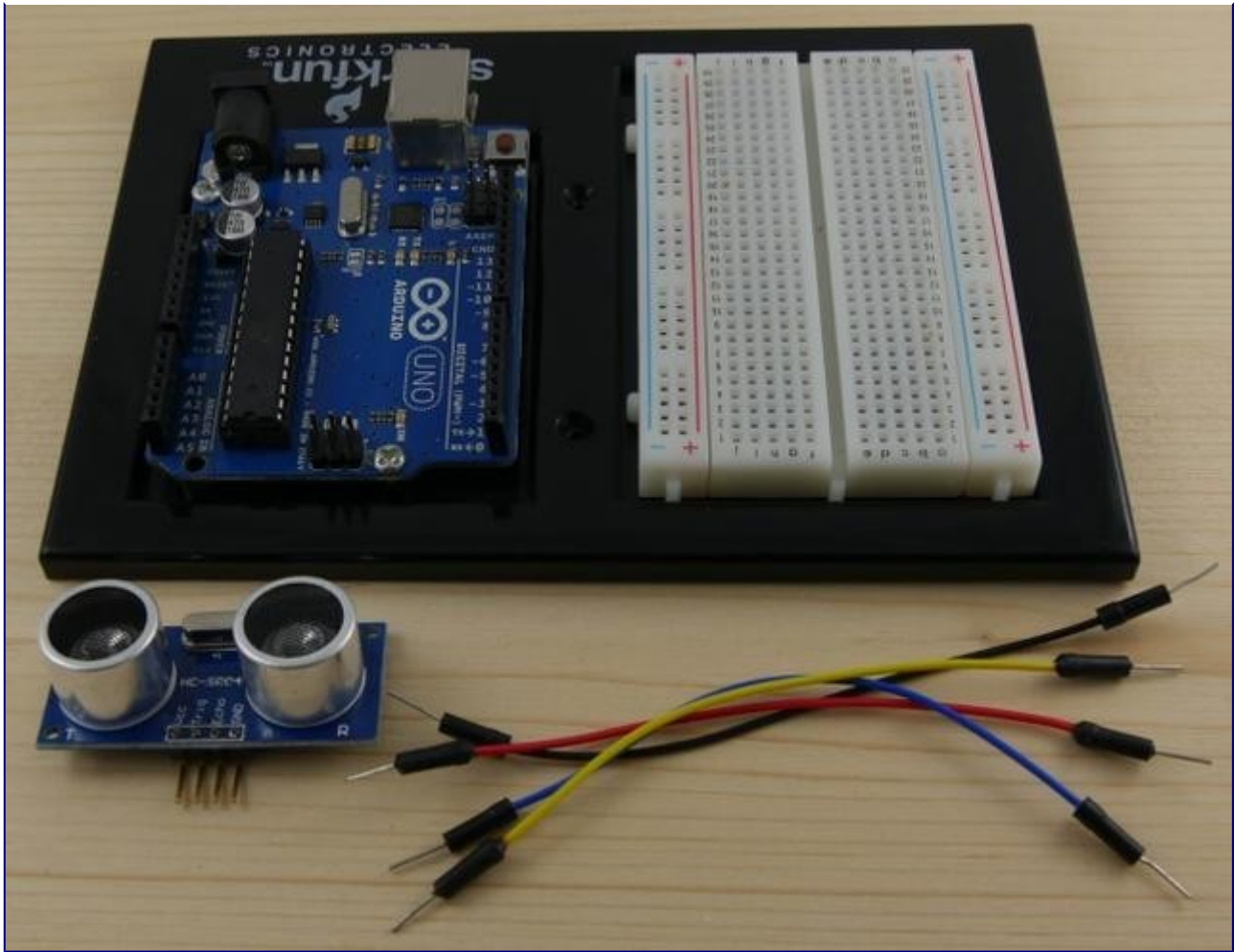
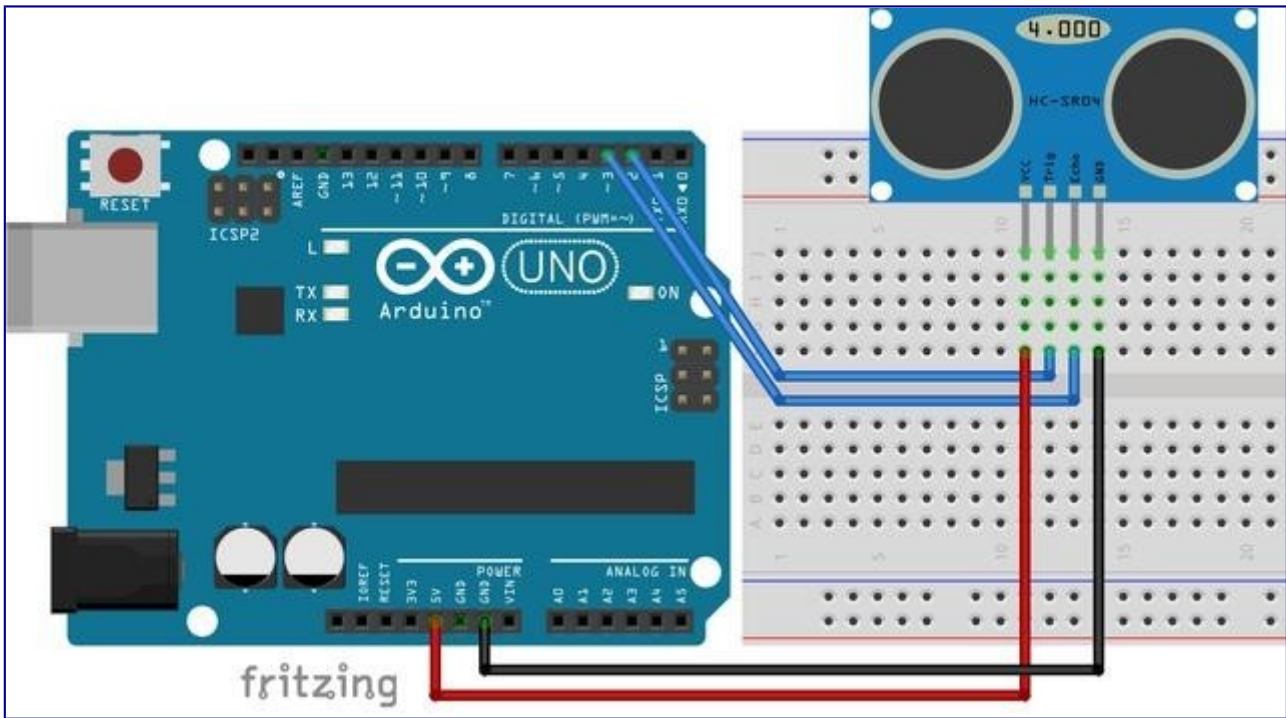


Figure III.10 : Matériel nécessaire

Pour réaliser ce premier montage, il va nous falloir :

- Une carte Arduino UNO (et son câble USB),
- Un capteur HC-SR04,
- Une plaque d'essai et des fils pour câbler notre montage.



Vueprototypagedumontage

Figure III.11 : Schéma de Circuit global

Le montage est d'une simplicité déconcertante :

- L'alimentation 5V de la carte Arduino va sur la broche VCC du capteur.
- La broche GND de la carte Arduino va sur la broche GND du capteur.
- La broche D2 de la carte Arduino va sur la broche TRIGGER du capteur.
- La broche D3 de la carte Arduino va sur la broche ECHO du capteur.

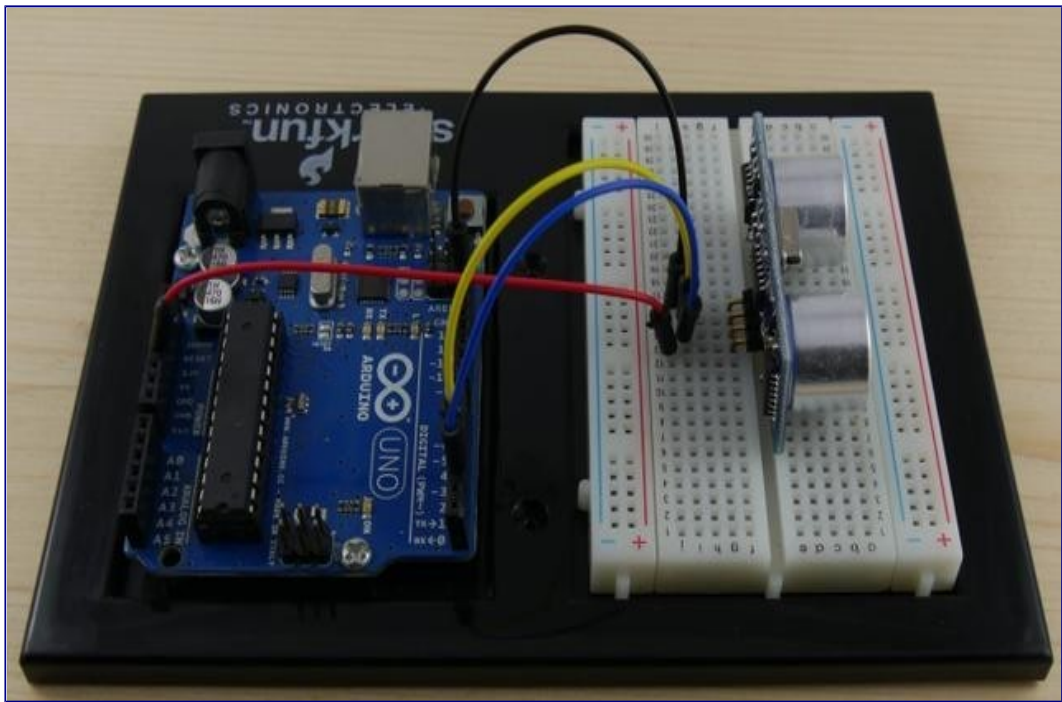


Figure III.12 : Circuit final

Le montage fini

Vous pouvez choisir d'utiliser d'autres broches que D2 et D3 si vous le souhaitez. Il suffira de mettre à jour les numéros de broches dans le code du chapitre suivant.

N.B. La plaque d'essai est ici totalement optionnelle. Si vous avez des fils mâles / femelles, vous pouvez directement câbler le capteur à la carte Arduino.

Le code :

Au final, le plus compliqué dans ce tutoriel, c'est le code

```
1 /* Constantes pour les broches*/
2 const byte TRIGGER_PIN = 2; // Broche TRIGGER
3 const byte ECHO_PIN = // Broche
4 /* Constantes pour le timeout*/
5 const unsigned long MEASURE_TIMEOUT = 25000UL; // 25ms = ~8mà
6 340m/s
7
8 /* Vitesse du son dans l'air en mm/us*/
9 const float SOUND_SPEED = 340.0 /1000;
```

On commence le code avec quatre constantes : deux constantes pour les broches TRIGGER et ECHO du capteur, une constante qui servira de timeout pour la prise de mesure et une constante pour définir la vitesse du son.

Le timeout correspond au temps nécessaire avant de considérer qu'il n'y a pas d'obstacle, donc pas de mesure possible. J'ai choisi d'utiliser une timeout de 25 millisecondes (4 mètres aller-retour à 340m/s).

N.B. Vous remarquerez que j'ai déclaré la vitesse du son en millimètres par microseconde. Cela est nécessaire, car la mesure du temps se fait en microsecondes et je souhaite avoir un résultat en millimètres en sortie du calcul.

```
1 void setup(){
2     /* Initialise le port série*/
3     Serial.begin(115200);
4
5     /* Initialise les broches*/
6     pinMode(TRIGGER_PIN, OUTPUT);
7     digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW); // La broche TRIGGER
doit être
8     à LOW au repos
9     pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
8
```

La fonction setup() initialise le port série, met la broche TRIGGER du capteur en sortie et à LOW, et met la broche ECHO du capteur en entrée. Rien de bien palpitant.

```

void loop() {
1
2   /* 1. Lance une mesure de distance en envoyant une impulsion
3   HIGH de 10µs sur la broche TRIGGER*/
4   digitalWrite(TRIGGER_PIN, HIGH);
5   delayMicroseconds(10);
6   digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW);
7
8   /* 2. Mesure le temps entre l'envoi de l'impulsion ultrasonique
9   et son écho (si il existe)*/
10  long mesure = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, MEASURE_TIMEOUT);
11  /* 3. Calcul la distance à partir du temps mesuré*/
12  float distance_mm = mesure / 2.0 * SOUND_SPEED; 13
14
15  /* Affiche les résultats en mm, cm et m*/
16  Serial.print(F("Distance:"));
17  Serial.print(distance_mm);
18  Serial.print(F("mm("));
19  Serial.print(distance_mm / 10.0, 2);
20  Serial.print(F("cm, "));
21  Serial.print(distance_mm / 1000.0, 2);
22  Serial.println(F("m"));
23
24  /* Délai d'attente pour éviter d'afficher trop de résultats à
25  la seconde*/
   delay(500);
}

```

La fonction loop() s'occupe de la mesure et de l'affichage.

Elle génère d'abord l'impulsion HIGH de 10µs qui déclenche la prise de mesure. Elle mesure ensuite le temps nécessaire pour un aller-retour du signal ultrason avec la fonction `pulseIn()`. Pour finir, elle calcule la distance avant de l'afficher sur le port série.

N.B. La fonction `pulseIn()` retourne 0 si le temps de timeout est atteint. Il est donc possible de gérer l'absence d'obstacle si vous le souhaitez avec un `if (mesure == 0) { ... }` par exemple.

PS La valeur retournée par `pulseIn()` doit être divisée par deux avant de faire le calcul de distance. Un aller-retour est égal à deux fois la distance mesurée.

Le code complet avec commentaires :

```

1   /*
2   * Code d'exemple pour un capteur à ultrasons HC-SR04.
3   */
4
5   /* Constantes pour les broches */
6   const byte TRIGGER_PIN = 2; // Broche TRIGGER
7   const byte ECHO_PIN = 3; // Broche ECHO

```

```

/* Constantes pour le timeout */
8     const unsigned long MEASURE_TIMEOUT = 25000UL; // 25ms = ~8m à
9     340m/s
10    /* Vitesse du son dans l'air en mm/us */
11    const float SOUND_SPEED = 340.0 / 1000; 12
13    /** Fonction setup() */
14    void setup() { 15
16    /* Initialise le port série */
17    Serial.begin(115200); 18
19    /* Initialise les broches */
20    pinMode(TRIGGER_PIN, OUTPUT);
21    digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW); // La broche TRIGGER doit être
22    à LOW au repos
23    pinMode(ECHO_PIN, INPUT);
24    }
25
26    /** Fonction loop() */
27    void loop() { 28
29    /* 1. Lance une mesure de distance en envoyant une impulsion
30    HIGH de 10µs sur la broche TRIGGER */
31    digitalWrite(TRIGGER_PIN, HIGH);
32    delayMicroseconds(10);
33    digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW); 34
35    /* 2. Mesure le temps entre l'envoi de l'impulsion ultrasonique
36    et son écho (si il existe) */
37    long measure = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, MEASURE_TIMEOUT); 38
39    /* 3. Calcul la distance à partir du temps mesuré */
40    float distance_mm = measure / 2.0 * SOUND_SPEED; 41
42    /* Affiche les résultats en mm, cm et m */
43    Serial.print(F("Distance: "));
44    Serial.print(distance_mm);
45    Serial.print(F("mm ("));
46    Serial.print(distance_mm / 10.0, 2);
47    Serial.print(F("cm, "));
48    Serial.print(distance_mm / 1000.0, 2);
49    Serial.println(F("m")); 50
51    /* Délai d'attente pour éviter d'afficher trop de résultats à
52    la seconde */
delay(500);
}

```

III.3.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons vu une carte d'acquisition qui est l'Arduino donnant ainsi les raisons pour lesquelles on l'a choisie, puis nous avons cité des différents types de cette dernière, ainsi quelques descriptions théoriques sur le capteur ultrason. Ensuite, nous avons expliqué les deux parties essentielles de l'Arduino ; plus précisément (la partie matérielle et la partie de programmation). Nous avons également expliqué le principe de fonctionnement de la carte Arduino sans oublier ses caractéristiques.

CONCLUSION GENERALE

Notre projet comporte un travail théorique accompagné d'une réalisation, son objectif consiste sur étude et la réalisation d'un capteur de distance. Pour faire preuve notre réalisation nous avons utilisé une carte Arduino, le capteur de distance à ultrason.

Notre capteur ultrason fonctionne en rotation, il détecte et calcule les distances suivant un programme avancé. Pour réaliser ce travail, on a passé par différentes étapes : On a utilisé un détecteur à ultrason HC-SR04 pour la détection des obstacles et le calcul de la distance.

L'ensemble de système de détection et de déplacement est commandé par la carte Arduino programmable qui doit en utilisant les informations actuelles, décider l'action à prendre. Pour notre cas ; on a utilisé la carte ArduinoUno dont ses caractéristiques particulières nous à faciliter les taches surtout en ce qui concerne sa programmation.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] H. Yamasaki, Sensors and Intelligent Systems, Y. Hashimoto and W. Day ed. Mathematical and Control Applications in Agriculture and Horticulture (Proc. IFAC/ISHS Workshop Matsuyama 1991), Pergamon Press, 1991.
- [2] M. Staroswiecki et M. Bayart, “Actionneurs intelligents », Edition Hermes, 1994.
- [3] H. Yamasaki Approaches to Intelligent Sensors, Proc. of the 4th Sensor Symposium, 1984.
- [4] E. Lemaire, “Spécification et Vérification Fonctionnelle et Comportementale d’un Équipement Intelligent”, Thèse de l’université des sciences et technologies de Lille, décembre 1999.
- [5] A.L. Gehin, “Analyse fonctionnelle et Modèle Générique des Capteurs Intelligents : Application à la Surveillance de l’Anesthésie », Thèse de l’université de Lille 1, Janvier 1994.
- [6] J.E. Brignell, Sensors in Distributed Instrumentation Systems, Sensors & Actuators, Vol.10, pp.249, 1986.
- [7] P. Coulombeau, C. Laugeau, “Vehicle yaw, pitch, roll and 3D Line shape recovery by vision”, in: Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicle Symposium, Versailles, Paris, France, June 2002.
- [8] KRAMA Abdelbasset, GOUGUI Abdelmoumen. 08/06/2015. Etude et réalisation d’une carte de contrôle par Arduino via le système Android. Mémoire de Master Académique en sciences et technologies, Filière Génie électrique, Spécialité Electrotechnique Industrielle. Université KasdiMerbah Ouargla.
- [9] Simon Landrault (Eskimon), Hippolyte Weisslinger (olyte). Arduino: Premiers pas en informatique embarquée [en ligne]. Edition du 19 juin 2014. Le blog d’Eskimon.
- [10] B. Cottenceau. Carte ARDUINO UNO Microcontrôleur AT Mega328 [en ligne]. Microcontrôleurs EI3 Option AGI.
- [11] Christian Tavernier. **Arduino** Applications avancées [en ligne]. Dunod, Paris, 2012. ISBN 978-2-10-058205-1
- [12] Xavier HINAULT (2010) Référence Arduino français.
- [13] Lucien Bachelard. HC-SR04 - Module de détection aux ultrasons - Utilisation avec Picaxe [en ligne]. 28 novembre 2015.

- [14] Arduino UNO Reference Design.
- [15] The Application of PWM Capture (Data Acquisition) and UltrasonicSensors [en ligne].
- [16] Astalaseven, Eskimon et olyte. Arduino pour bien commencer en électronique et en programmation [en ligne]. Licence Creative Commons BY-NC-SA 2.0.
- [17] Mathieu DUMONT ; Loick ATTAGNANT ; Killian JACQUET. *Arduino*[en ligne].

CHAPITRE 1

LES CAPTEURS INTELLIGENTS

CHAPITRE 2

LES VÉHICULES INTELLIGENTS

CHAPITRE 3

ÉTUDE DE LA PARTIE MATÉRIELLE ET LOGICIELLE