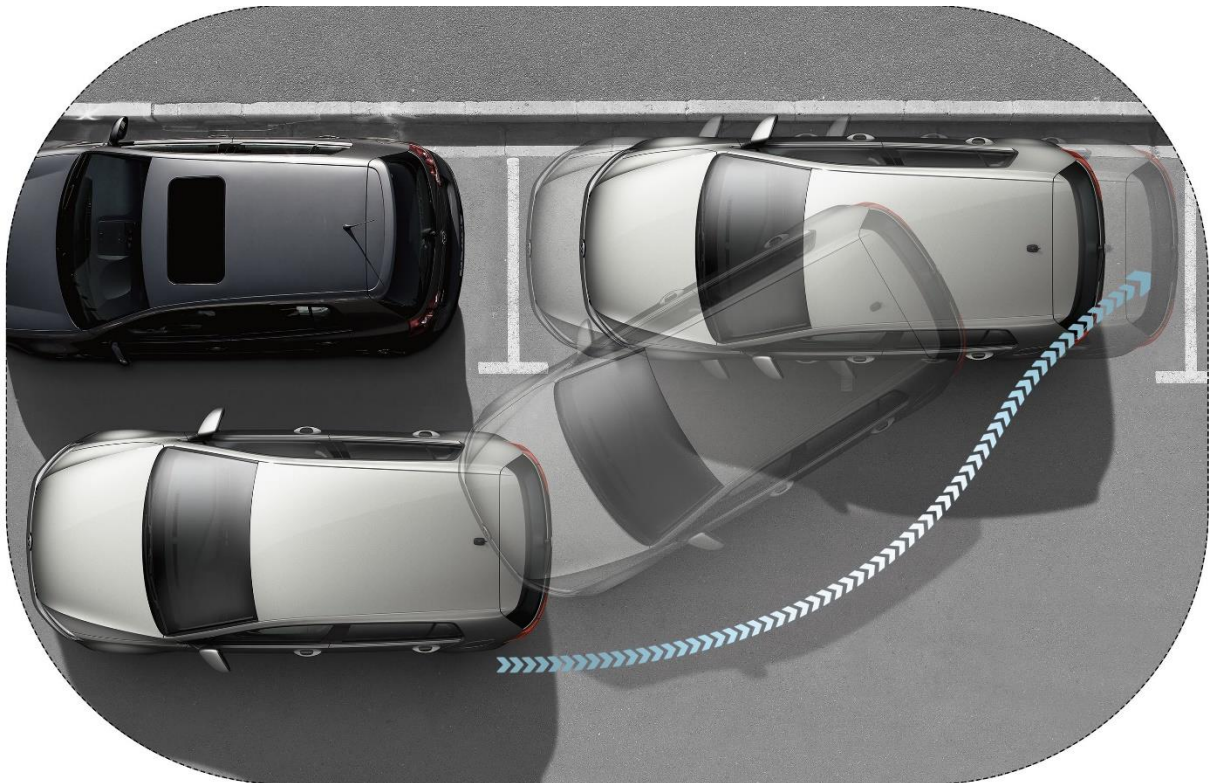


## **CAPTEUR A ULTRASON : ETAT DE L'ART, APPLICATION DU TYPE PARK ASSIST**



**Etudiants :**

**Mehdi ABOUZAIID**

**Ambdoul ATTOUMANI**

**Manon FERCHAUD**

**Julie GALAUP**

**Diane LEBLANC-ALBAREL**

**Florent TIVOLLE**

**Enseignant-responsable du projet :**

**Abdelaziz BENSRAIR**



Date de remise du rapport : **19/06/2017**

Référence du projet : **STPI/P6/2017 – 04**

Intitulé du projet : **Le capteur à ultrason : état de l'art, application de type Park Assist**

Type de projet : **Bibliographique**

Objectifs du projet (10 lignes maxi) :

***Pour notre projet de P6, nous étudions le capteur à ultrason, et plus particulièrement son utilisation dans le Park Assist.***

***Nos recherches se concentrent sur l'état de l'art du capteur à ultrason, sur son fonctionnement et sur son emploi dans le Park Assist. Pour cela, nous nous appuyons sur des recherches informatiques ainsi que des documents fournis par M. BENSRAIR.***

***Ce projet nous permet de découvrir les avancées scientifiques et technologiques du capteur à ultrason en particulier dans le milieu automobile.***

Mots-clefs du projet (4 maxi) :

**Capteur à ultrason**

**Etat de l'art**

**Park Assist**

## TABLE DES MATIERES

1. Introduction .....	5
2. Organisation du travail .....	6
3. Etat de l’art du capteur à ultrason.....	7
3.1. Définition .....	7
3.2. Histoire.....	7
3.3. Applications.....	8
4. Fonctionnement technique du capteur à ultrason .....	9
4.1. Définition et fonctionnement .....	9
4.1.1. Qu’est-ce que les ultrasons ?.....	9
4.1.2. Capteurs à ultrasons .....	9
4.2. Pourquoi des capteurs à ultrason ?.....	10
4.3. Evolutions .....	11
4.3.1. La taille du récepteur.....	12
4.3.2. La forme du récepteur .....	12
5. Etude de cas : le park assist .....	13
5.1. Le mode de fonctionnement du Park Assist .....	13
5.2. Différentes méthodes de stationnement : .....	14
5.3. Comparaisons des différents systèmes et évolutions envisagées .....	17
6. Conclusions .....	20
6.1. Conclusion .....	20
6.2. Conclusions sur l’apport personnel.....	21
6.2.1. Mehdi ABOUZAIID .....	21
6.2.2. Ambdoul ATTOUMANI .....	21
6.2.3. Manon FERCHAUD .....	21
6.2.4. Julie GALAUP .....	21
6.2.5. Diane LEBLANC-ALBAREL .....	21
6.2.6. Florent TIVOLLE .....	21
7. Bibliographie .....	22
8. Crédit des illustrations :.....	22

## 1. INTRODUCTION

En France, une personne sur deux ne sait pas faire de créneau pour se garer en voiture. C'est pour cela, que le Park Assist (en français, aide au stationnement) est né. Cette invention récente consiste à aider les conducteurs à se garer en créneau facilement et surtout sans toucher les commandes. Cette création se développe peu à peu afin de devenir dans un futur proche, une assistance dans les voitures du quotidien.

Mais comment fonctionne le Park Assist ? Ce dernier utilise des capteurs à ultrason pour évaluer les distances et ainsi réussir à piloter la voiture afin de la garer sans difficulté.

Avant tout qu'est-ce qu'un capteur ? Un capteur est un système permettant de convertir une grandeur physique en une autre utilisable. Il peut être utilisé dans tous types de domaines. En effet, nous nous en servons pour calculer : des sons (microphone), des débits (débitmètre), des déplacements (Effet Doppler), etc... Aujourd'hui, nous allons nous focaliser sur un capteur permettant d'évaluer des distances : le capteur à ultrason.

Ainsi, notre rapport se découpera en trois parties. La première partie consiste à faire l'état de l'art du capteur à ultrason, c'est-à-dire l'évolution du capteur à ultrason de ses débuts à aujourd'hui, la définition de capteur à ultrason ainsi que différentes utilisations de ce capteur dans des domaines divers et variés. Ensuite, nous étudierons en profondeur le fonctionnement d'un capteur à ultrason ainsi que son utilisation technique. Pour finir, nous analyserons le système du capteur à ultrason dans le Park Assist.

## 2. ORGANISATION DU TRAVAIL

Nous avons réalisé ce dossier dans le cadre du projet P6 obligatoire pour la validation du quatrième semestre. Nous avons donc un créneau réservé le lundi de 16h45 à 18h15 sous la tutelle de M. BENSRAIR.

La première séance nous a permis de nous organiser et donc de désigner un chef de groupe : Diane LEBLANC-ALBAREL, ceci nous permet de garder contact avec notre professeur ainsi que de faire un point sur l'avancement de notre projet au début de chaque séance.

Pendant la première séance, nous avons aussi déterminé notre plan d'attaque. Nous avons donc réalisé des binômes afin de se focaliser sur une partie du plan uniquement. En effet, Manon FERCHAUD et Julie GALAUP se sont occupées de la première partie, c'est-à-dire l'état de l'art ainsi que de la mise en page du dossier (présentation, introduction, organisation du travail, conclusion...) ; Mehdi ABOUZAIID et Ambdoul ATTOUMANI se sont penchés sur le fonctionnement technique du capteur à ultrason et enfin Diane LEBLANC-ALBAREL et Florent TIVOLLE ont fait des recherches sur l'utilisation du capteur à ultrason dans le Park Assist. Cette organisation nous permet à la fois de gagner du temps mais aussi de connaître notre domaine de recherches au mieux.

Par conséquent, notre répartition au niveau de la rédaction du dossier a été la même. Cette organisation des tâches s'est faite avant tout par préférence. Effectivement, nous avons fait notre possible afin que chacun traite une partie pour laquelle il prend plaisir à travailler.

De plus, pour pouvoir échanger des informations sur les parties des autres ainsi que pour nous entraider, nous avons créé un groupe sur Facebook. Ce dernier nous a aussi permis de nous tenir informé de l'avancement du dossier, afin que chacun puisse ajouter sa contribution à la rédaction.

### 3. ETAT DE L'ART DU CAPTEUR A ULTRASON

#### 3.1. Définition



Figure 1 : Capteur à ultrason

Un capteur à ultrason permet de mesurer des distances quel que soit la matière, la couleur de l'objet, ou encore les conditions environnementales (poussière, brouillard...). Pour cela, le capteur émet des impulsions sonores à haute fréquence, donc inaudibles pour les humains. Ces dernières, envoyées à intervalles de temps réguliers, reviennent vers l'émetteur après avoir été réfléchies sur un objet. Le temps mis par ces impulsions pour faire l'aller-retour permet alors de déterminer la distance entre le capteur et l'obstacle.

#### 3.2. Histoire

En 1822, les premières expériences liées aux ultrasons débutent notamment grâce à Jean-Daniel Colladen (un ingénieur suisse) et Charles-François Sturm (un mathématicien français). En effet, ils ont essayé de calculer la vitesse du son dans l'eau d'un lac en utilisant une cloche. Pour cela, ils ont comparé la différence de temps mis par la lumière et par le son pour parcourir la même distance, après avoir frappé dans la cloche.

Au début des années 1900, les bateaux-phares utilisent une combinaison d'une cloche sous l'eau et d'une corne de brume sur le pont. Lorsqu'un bateau s'approche, il peut entendre les sons émis par les deux systèmes. En synchronisant la différence des sons, il peut déterminer sa distance approximative du bateau-phare.

En 1912, le drame vécu par les passagers du Titanic a conduit à des recherches pour détecter des icebergs grâce à l'utilisation d'ultrasons.

L'ère de l'ultrason moderne débute en 1917. Depuis, il a énormément évolué dans divers domaines comme les sciences, la médecine, l'industrie... L'utilisation d'ultrasons dans la médecine a débuté par des applications thérapeutiques en utilisant sa chaleur et ses effets perturbateurs.

En 1940, lors de la Seconde Guerre mondiale, la recherche sur les ultrasons a été considérablement réduite au Japon alors que les Allemands et Américains ont effectué de nombreuses recherches sur les ultrasons et le développement du radar. Firestone aux Etats-Unis et Sproule en Grande-Bretagne ont découvert, la même année, la détection des défauts métalliques par impulsion écho-ultrasonore.

A la fin de celle période, les entreprises japonaises se sont délocalisées aux Etats-Unis et en Angleterre afin de développer plus rapidement leur propre détecteur de défauts.

Josef Krautkrämer et son frère Herbert (deux physiciens autrichiens travaillant dans le domaine des oscilloscopes) ont cherché à développer des instruments à ultrason. En seulement un an, la fratrie accompagnée de petites entreprises a réussi à présenter des détecteurs de défaut d'essai par ultrasons.

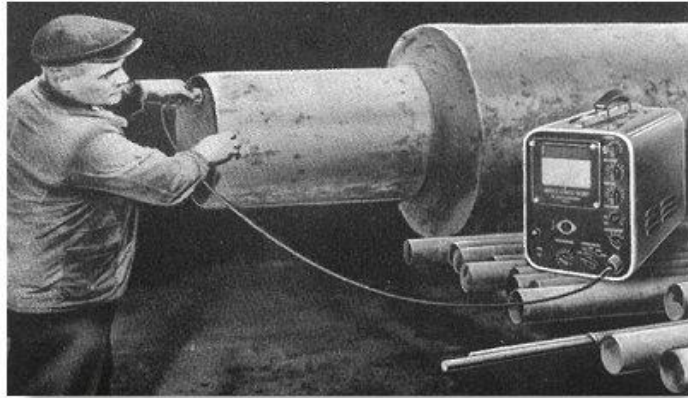


Figure 2 : Essais préliminaires des tuyaux avec les appareils Krautkrämer (années 1950)

Depuis les années 1960, leur entreprise a obtenu et gardé le leadership sur le marché mondial jusqu'à aujourd'hui. Toutefois, d'autres noms sont apparus comme Nukem en Allemagne, Panametrics et Stavely aux Etats-Unis.

### 3.3. Applications

Le domaine médical utilise le capteur à ultrason dans différents domaines tels que l'obstétrique, la cardiologie et la neurologie. En effet, il sert lors de la réalisation d'échographies, d'échocardiographie et l'ultrasonographie de la carotide et des artères intracrâniennes. Ces appareils sont très utiles pour pouvoir observer les problèmes à l'intérieur de notre corps, impossibles à remarquer avec tout autre outil (œil nu, radiologie...).

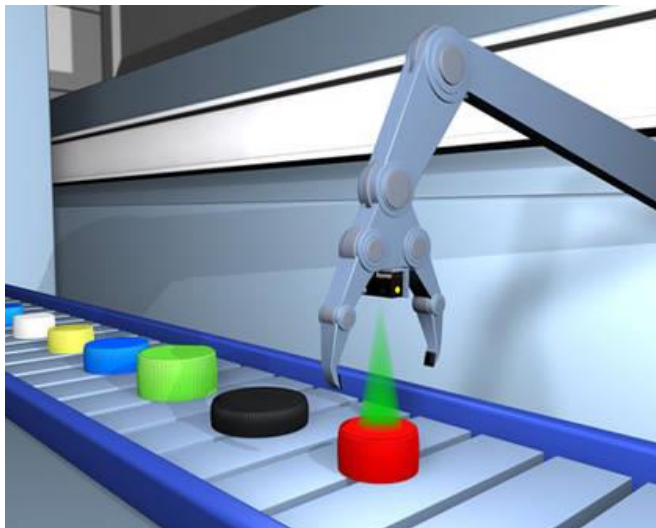


Figure 3 Application du capteur à ultrason dans l'industrie

On retrouve aussi les capteurs à ultrason dans l'industrie pour l'emballage, la mesure de distance et la détection de présence. Ils ont permis à ce domaine de se moderniser grâce à de nouvelles machines plus performantes utilisant notamment des capteurs à ultrason pour fonctionner. Par exemple, ils permettent de vérifier que les emballages des produits ne soient pas détériorés car le consommateur considère dans le même temps l'emballage et la qualité du produit.

Nous allons désormais nous consacrer au fonctionnement des capteurs à ultrason.



## 4. FONCTIONNEMENT TECHNIQUE DU CAPTEUR A ULTRASON

Dans cette partie, nous allons parler plus précisément des capteurs à ultrason. Nous allons expliquer ce qu'est qu'un capteur à ultrason, comment il fonctionne, quelles en sont les limites ainsi que les évolutions possibles qu'il pourrait subir. Nous allons aussi tenter de justifier son utilisation par rapport à d'autres types de capteurs dans le domaine du Park Assist.

### 4.1. Définition et fonctionnement

#### 4.1.1. Qu'est-ce que les ultrasons ?

Le son n'est qu'un simple déplacement d'air. Pour qu'il y ait du son, nous avons besoin de trois outils : une source émettrice qui émet une vibration mécanique (ex : des enceintes), le milieu qui transmet cette vibration (ex : l'air) et des récepteurs (ex : oreilles) qui reçoivent cette vibration.

Il se définit principalement selon deux paramètres : la fréquence (ou la hauteur) du son, et le volume sonore.

Les molécules d'air sont donc compressées les unes sur les autres. Cette compression engendre le déplacement des autres molécules d'air présentes à côté des premières, ce qui les compressera également et provoquera le déplacement des molécules suivantes. Et ainsi de suite. C'est ainsi qu'une onde de compression est produite et propagée dans l'air sous forme d'une variation de pression.

Les ultrasons sont des sons ayant une fréquence supérieure aux capacités de l'oreille humaine, dépassant les 20 000 Hertz. On ne peut donc pas les entendre.

#### 4.1.2. Capteurs à ultrason

Les capteurs à ultrason utilisent la mesure du temps aller et retour d'une onde ultrasonore réfléchi sur les obstacles pour calculer la distance qui les sépare. Cette information est par la suite transmise au robot qui, à l'aide de ses programmes, adopte une trajectoire à suivre selon son environnement.

Pour mesurer une distance avec des ultrasons, il faut d'abord connaître leur vitesse de déplacement. La vitesse des ultrasons, à 20 °C par exemple, est de 340 mètres par seconde, ce qui correspond à plus de 1200 kilomètres par heure. Sachant cela, il est donc facile de déterminer la distance qu'à parcourue l'onde ultra sonore si nous connaissons le temps qu'elle a mis pour parcourir cette même distance grâce à la relation :

$$\text{Vitesse} = \text{distance} / \text{temps}$$

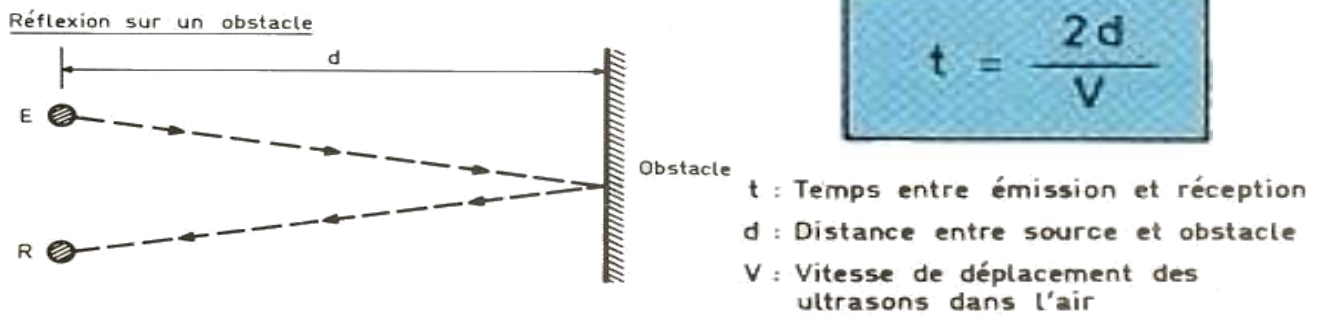


Figure 4 : Mesure du temps de parcours de l'onde

Le capteur à ultrason est capable de détecter des obstacles ne se trouvant pas exactement devant lui, mais dans un cône relativement large d'environ 30 degrés, que l'on appelle *le cône de détection*.

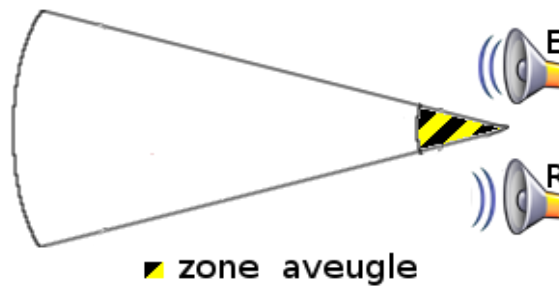


Figure 5 : Cône de détection d'un capteur à ultrason

Les capteurs à ultrason possèdent cependant une zone aveugle de quelques centimètres de longueur où ils ne peuvent détecter les obstacles. Cela est due au fait que le récepteur du capteur à ultrason est désactivé pendant un court instant après l'émission de l'onde ultra sonore.

En effet, la désactivation du capteur pendant un court instant après l'émission de l'onde évite la réception d'un éventuel écho ultrasonore provenant d'un obstacle très proche du capteur suite à la proximité du récepteur et de l'émetteur et qui fausserait donc la mesure de distance.

Ainsi, le capteur à ultrason possède une zone aveugle d'environ 5 centimètres. Il lui est donc impossible de mesurer des distances inférieures à 5 centimètres. La portée réelle du capteur à ultrason est donc entre 5 et 255 centimètres.

#### 4.2. Pourquoi des capteurs à ultrason ?

En comparant les différents capteurs de distance présents sur le marché, nous observons que ceux qui sont les plus avantageux pour le déplacement de robots sont les capteurs à ultrason et les capteurs infrarouge. Les capteurs laser et temps de vol sont quant à eux peu utilisés.

En effet, plusieurs critères sont pris en compte notamment la portée, la directivité, la précision, le coût et la sensibilité des interférences.

	<b>Ultrason</b>	<b>Infrarouge</b>	<b>Laser</b>	<b>Temps de vol</b>
<b>Portée</b>	De 5 à 55 cm	De 5 à 80 cm	Plusieurs mètres à plusieurs dizaines de mètres selon les modèles	De 20 à 14 cm (5/6 cm au soleil)
<b>Directivité</b>	Cône d'environ 30°	Cône d'environ 5°	Les plus directifs (de l'ordre du degré, voire du demi-degré)	Cône d'environ 3°
<b>Précision</b>	Relativement précis mais précision diminue avec la distance, l'angle de mesure et les conditions de température et pression	Relativement précis mais la précision diminue avec la distance	Sont précis avec un bruit de quelques centimètres sur des mesures de plusieurs mètres	Jusqu'à ± 4 cm en mode précision
<b>Coût</b>	Peu chers	Peu chers	Relativement chers	Peu chers
<b>Sensibilité aux interférences</b>	Sensible à la température et à la pression. Egalement sensible aux autres robots utilisant la même fréquence ce qui peut poser problème dans une compétition	Sont sensibles aux fortes sources de lumière qui contiennent un fort rayonnement infrarouge. Sont également sensibles à la couleur et à la nature des obstacles	Ne peut pas détecter les objets réfléchissant la lumière laser (vitres, objets chromés,...)	Peu sensible aux interférences, s'utilise dans des environnements variés

Concernant la portée de détection, tous les capteurs en ont une suffisamment grande pour la plupart des utilisations, cependant le capteur infrarouge se limite à 80cm maximum.

La plupart des capteurs sont utilisés pour des systèmes ayant une direction donnée contrairement aux capteurs à ultrason qui ont un angle de balayage de 30 degré, captant ainsi même les obstacles sur les côtés.

Les capteurs se sont beaucoup développés et sont donc dans l'ensemble peu chers, seuls les capteurs pour une utilisation spécifique tels que les capteurs laser restent relativement chers.

La plupart restent cependant fragiles en raison des interférences liés à l'environnement comme la température, la pression et aux sources extérieures mais le temps de vol en échappe.

Les capteurs à ultrason sont utilisés ici puisqu'ils réunissent ainsi tous les critères requis pour la détection d'obstacles lors de l'utilisation du Park Assist. En effet, une portée assez grande, une bonne précision et surtout un angle de détection assez grand sont nécessaires pour ce dispositif

### 4.3. Evolutions

Pour permettre une meilleure performance de ces capteurs à ultrason, la distance de détection doit être la plus grande possible. Pour se faire, il faut agir sur deux critères : la puissance d'émission et la sensibilité de réception.

### La puissance d'émission

La puissance d'émission de l'émetteur d'ultrasons est directement liée à sa puissance et à sa tension. En effet, plus l'émetteur est puissant, plus il émet loin et plus la tension en entrée est élevée, plus il y aura d'ultrasons émis.

### La sensibilité de réception

La sensibilité de réception est la capacité du capteur à détecter des ultrasons très faibles. Ainsi, en plus de la tension, la sensibilité dépend de la taille et de la forme du récepteur.

#### **4.3.1. La taille du récepteur**

Pour être détecté au plus loin par le capteur à ultrason, un objet doit renvoyer le plus d'ondes ultra-sonores possible vers ce dernier. Car si l'onde ultra-sonore en retour vers le récepteur d'ultrasons est trop faible, elle ne sera pas détectée par celui-ci à cause de sa sensibilité insuffisante. Plus sa surface est grande, plus il renverra d'ondes vers le récepteur du capteur à ultrason. De fait, le capteur à ultrason pourra détecter plus facilement un mur à 250 centimètres qu'un petit objet à plusieurs dizaines de centimètres seulement.

#### **4.3.2. La forme du récepteur**

La forme de l'objet est donc tout aussi importante que sa surface en ce qui concerne la portée de détection de cet objet par le capteur à ultrason. En effet, un objet bien plat et perpendiculaire au capteur à ultrason renverra toute l'onde de retour dans la même direction. Ce qui favorisera sa détection. Ce n'est pas le cas d'un objet aux formes arrondies, comme une balle par exemple, qui renverra l'onde dans de multiples directions et donc ne renverra qu'une toute petite partie de cette onde vers le récepteur du capteur à ultrason.

La texture de l'objet peut aussi avoir une influence sur sa distance de détection. Le fait d'avoir une balle en caoutchouc, en mousse ou en plastique par exemple, fera que l'onde soit plus ou moins *absorber* par la matière de la texture.

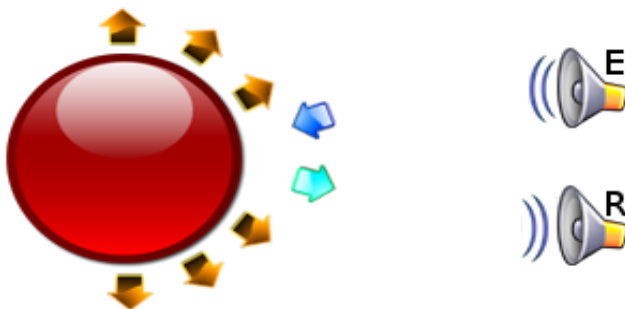


Figure 6 : Ondes émises et partiellement renvoyées par une balle à l'émetteur-récepteur (capteur)

Après avoir détaillé le fonctionnement technique des capteurs à ultrason, voyons maintenant l'aspect pratique dans le système du Park Assist avec un cas concret : la voiture.

## 5. ETUDE DE CAS : LE PARK ASSIST

### 5.1. Le mode de fonctionnement du Park Assist

De nombreuses technologies, à l'exemple du radar de recul, ou encore du détecteur de place, ont été développées afin de faciliter la vie des automobilistes. Bien que très récentes, les technologies d'aide au stationnement se généralisent sur les véhicules de série. Nous allons dans un premier temps nous intéresser au mode de fonctionnement du Park Assist.

#### Fonctionnement général :

Les manœuvres du Park Assist sont rendues possibles grâce aux signaux émis par des capteurs, qui sont au nombre de douze : quatre sous chaque pare-chocs et deux sur chaque côté de la voiture. Ils permettent de détecter une place libre en balayant les côtés du véhicule à la manière de sonars, un acronyme pour la navigation sonore et le radar. Les capteurs définissent également un angle de braquage idéal du volant à adopter et détectent les éventuels obstacles. En effet, les signaux rebondissent et sont renvoyés vers un calculateur qui va évaluer avec une légère marge d'erreur la taille de l'emplacement grâce au temps mis par les ondes sonores pour faire l'aller-retour jusqu'à l'obstacle. Le conducteur n'a plus qu'à accélérer ou freiner. Ainsi, il garde à tout moment le contrôle du véhicule et peut mettre fin à la manœuvre en reprenant le volant ou en appuyant sur un bouton sur le tableau de bord.

#### Procédure à suivre :

Nous allons maintenant vous présenter la procédure à suivre par le conducteur pour pouvoir garer sa voiture. Tout d'abord, quand l'utilisateur veut se garer, il doit adapter son allure et passer sous la barre des 40 km/h (voire 20km/h pour certains constructeurs), puis enclencher le Park Assist afin qu'il puisse détecter une place libre assez grande. Il sera alors demandé à l'utilisateur s'il veut se garer en bataille ou en créneau. Le système fonctionne seulement si le véhicule n'est pas éloigné de plus d'1,5 mètre avec le bord de la route. Puis, le système localise une place sur la droite ou la gauche du conducteur en fonction du clignotant utilisé : si le conducteur enclenche le clignotant droit, le Park Assist cherche alors une place à droite. Une fois trouvée, il est demandé au conducteur d'abaisser encore sa vitesse et de passer juste devant la place repérée. Ensuite, une fois la place dépassée, l'utilisateur doit passer la marche arrière, puis accélérer faiblement pour ne pas dépasser les 5 km/h. La voiture se gare alors toute seule en marche arrière, sans que le conducteur n'ait à toucher le volant.

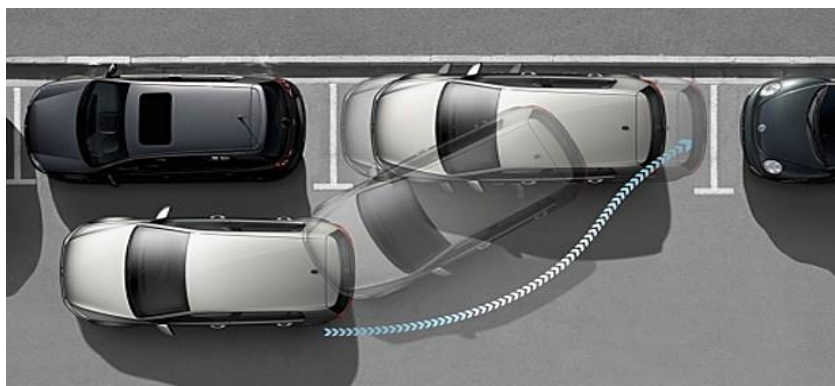


Figure 7 : Les différentes étapes du stationnement, réalisées à l'aide du Park Assist

De plus, remarquons qu'il est important qu'une place assez grande soit disponible pour pouvoir se garer. En effet, la distance doit-être supérieure d'environ 33 % à la taille d'une voiture dite « standard » (entre 4 et 5 mètres). Pour les plus petites voitures, de longueur inférieure à 4 mètres, la longueur nécessaire de la place reste à peu près la même qu'une voiture de 4 mètres, c'est-à-dire environ 5,3 mètres. Mais par exemple pour une voiture de 4,70 mètres il faut laisser 6,3 mètres de libre.

La question est donc maintenant de connaître les différentes manœuvres possibles, et comment elles fonctionnent. Nous allons donc analyser les trois modes de stationnement proposé par les constructeurs de Park Assist.

## 5.2. Différentes méthodes de stationnement :

### Parking en une manœuvre :

Cette manœuvre de parking s'effectue à faible vitesse. Afin de sortir de sa place, un conducteur doit braquer en direction de la route, puis contre braquer pour rester dans sa voie de circulation. Le Park Assist s'est inspiré de ce type de manœuvre pour définir sa trajectoire, le but étant d'effectuer sa manœuvre selon une trajectoire composée de deux arcs de cercle. Dans le cas de l'entrée dans une place de parking, il suffit donc d'inverser cette trajectoire. Ce type de trajectoire suppose un braquage des roues à l'arrêt du véhicule.

En ce qui concerne les conditions de faisabilité de la manœuvre, elles sont surtout déterminées par la taille de la place de parking : sa longueur et sa largeur doivent être supérieures à des valeurs minimales. La longueur minimale de la place doit être de 6,32 mètres, avec quasiment 1,6 mètres de plus que la longueur totale du véhicule. En effet, pour pouvoir effectuer un stationnement en une manœuvre, la taille disponible doit être bien plus élevée que si le stationnement s'effectuait en plusieurs manœuvres.

La trajectoire suivie par la voiture lors du stationnement en une seule manœuvre est la suivante :

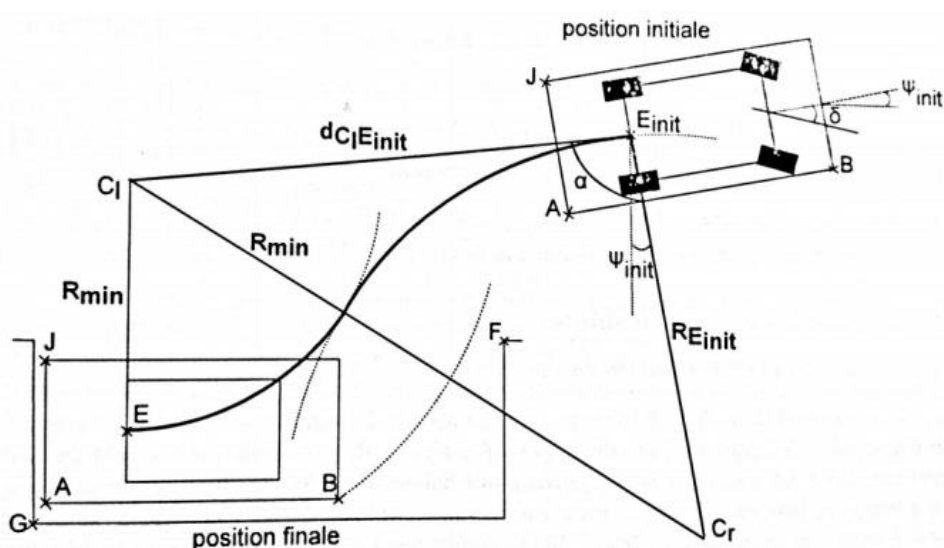
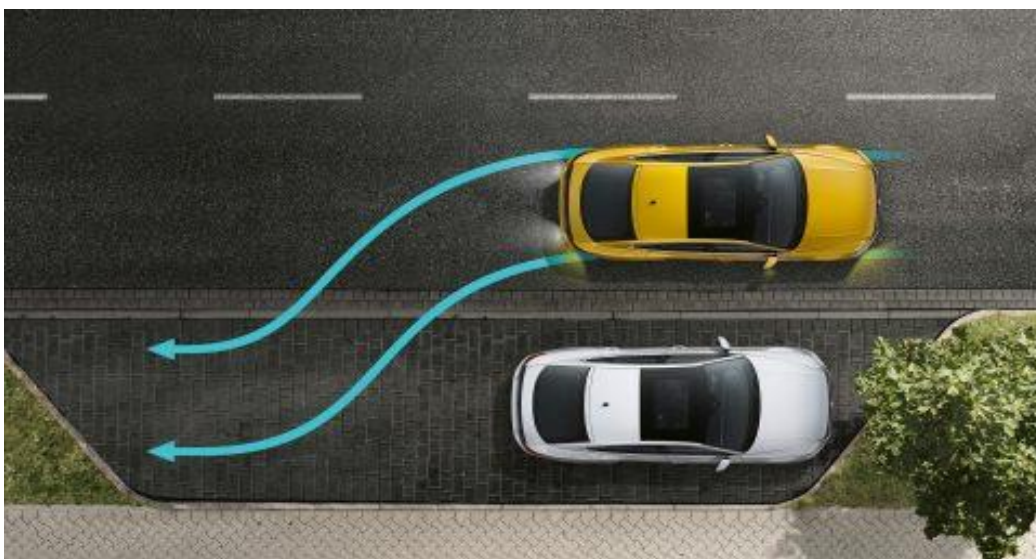


Figure 8 Trajectoire suivie par le véhicule pendant le parking en une seule manœuvre

Le rayon du premier arc de cercle,  $RE$  initial, est déterminé grâce à l'angle  $\Psi$ , l'angle entre la voiture et la perpendiculaire au trottoir par l'expression  $a/\tan \Psi$ ,  $a$  étant déterminé

grâce aux conditions initiales.  $\alpha$  est lui, déterminé grâce à l'angle initial de braquage des roues. Le côté du grand triangle « dcl » est alors tracé suivant cet angle. On calcule sa longueur grâce à la projection perpendiculaire au trottoir correspondant à l'arrière de la voiture dans sa position finale. On obtient alors le rayon du deuxième de cercle qu'on peut ainsi tracer, la fin et le début de chaque arc de cercle correspondant à la diagonale commune des deux triangles.

Une des conditions de faisabilité pour la manœuvre de parking décrite précédemment est la réalisation du premier arc de cercle de la trajectoire d'entrée dans le parking. Elle est admissible si le véhicule est à une distance minimale définie et possède un angle également prédéfini puisque le véhicule ne peut pas braquer plus que son braquage maximal. De plus, des conditions similaires sont nécessaires pour permettre à la voiture de sortir de son stationnement. Si ces conditions ne sont pas satisfaites, le véhicule doit avancer ou reculer en ligne droite, de sa position initiale, jusqu'à ce qu'il arrive à une position satisfaisant les conditions énoncées.



*Figure 9 : Trajectoire permettant la réalisation d'un créneau en une manœuvre*

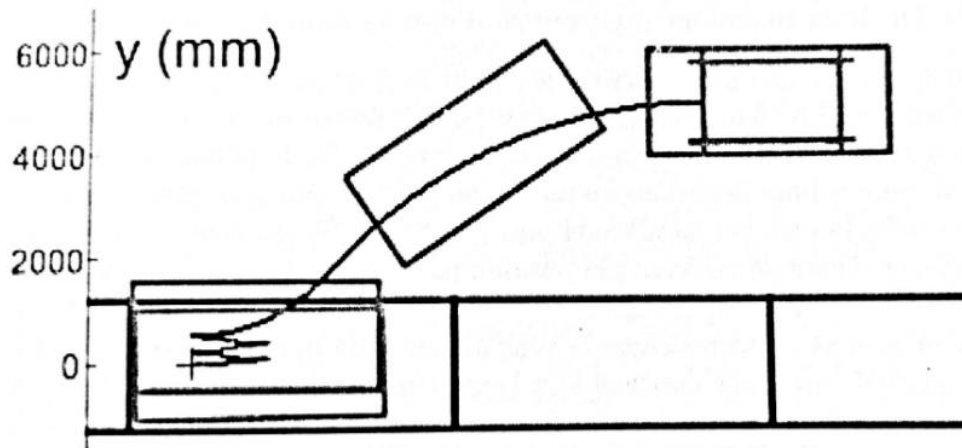
L'avantage de cette technique est de permettre un stationnement en une seule manœuvre, et donc plus rapide et moins gênant pour les usagers qui ont ainsi moins à patienter. De plus, en diminuant le stress du conducteur, et en l'impatience des usagers, le risque d'accident se réduit également. Cependant, cette technique présente également des désavantages. En effet, la trajectoire en deux arcs de cercle nécessite de se garer avec les roues avant braquées à l'arrêt vers la route (pour pouvoir sortir en une seule manœuvre). Cette manœuvre peut aussi provoquer une usure prématurée des pneus et faire perdre du temps au conducteur, à cause du braquage des roues à l'arrêt. Pour finir, la taille supplémentaire nécessaire (1,6 mètre en moyenne) est difficilement présente dans la réalité, notamment en centre-ville, où le peu de places libres sont souvent très petites.

Pour améliorer cette technique, qui est tout de même utilisée par Volkswagen et son Parking Steering Assistance (permettant un créneau en 15 secondes si la place est suffisamment grande), nous avons identifié deux solutions. La première étant de se garer en créneau, en marche avant, ce qui serait plus rapide et gênerait moins les autres usagers ; la seconde étant d'augmenter le nombre de manœuvres, afin de réduire la taille de la place nécessaire pour se garer. Cependant, il paraît compliqué de se garer en créneau en marche avant étant donné que la quasi-totalité des véhicules disposent uniquement de deux roues motrices placées à l'avant (saut certains 4x4 qui disposent de quatre roues motrices). Celles-ci rendent extrêmement difficile, voire périlleux, le stationnement en créneau en marche

avant. Nous pouvons donc d'ores et déjà éliminer cette éventualité. Ainsi, il ne nous reste plus que la possibilité d'un stationnement à plusieurs manœuvres afin de limiter la place nécessaire.

Il se peut que la longueur de la place ne soit pas suffisante pour qu'un parking en une seule manœuvre soit possible. Dans ce cas, il est intéressant d'envisager un parking en plusieurs manœuvres. Parmi les méthodes de génération de trajectoire pour le parking en plusieurs manœuvres, se trouvent : la méthode parallèle (applicable lorsque la longueur du parking est strictement plus grande que la longueur du véhicule), et l'inversée (une généralisation du parking en une seule manœuvre).

**Méthode parallèle :**



*Figure 10 : Trajectoire suivie par le véhicule pendant la méthode parallèle*

Pour effectuer le premier arc de cercle, on réalise la même manœuvre que pour le premier arc de cercle du parking en une seule manœuvre. Une fois ce premier arc effectué, la voiture est alors en position parallèle au bord de la chaussée, en étant plus ou moins proche du bord du trottoir ou de la place. Ensuite, comme vu sur le schéma ci-dessus, la voiture avance en diagonale jusqu'au véhicule présent devant lui, puis recule dans le sens de la diagonale opposée afin de se repositionner de manière parallèle (d'où le nom de cette méthode). Le véhicule répète alors la même manœuvre jusqu'à rentrer correctement dans la place de parking. Une fois cela fait, le véhicule est parfaitement garé puisqu'il se repositionne, à chaque manœuvre, de manière parallèle au bord du trottoir ou de la place. Néanmoins, pour être toujours parallèle à la place de parking à la fin de chaque manœuvre, et pour maximiser le déplacement latéral, les angles de braquage gauche et droit doivent être égaux et maximaux. C'est-à-dire qu'à chaque nouveau déplacement avant ou arrière le Park Assist doit braquer ou contrebraquer au maximum des capacités du véhicule, ce qui peut allonger considérablement le temps de stationnement.

Cette méthode présente l'avantage de pouvoir être effectuée dans n'importe quelle situation, puisque la place nécessaire est la plus petite possible. En effet, tant que la place est plus grande que la voiture, la méthode peut être réalisée. L'inconvénient de cette technique est, bien sûr, qu'elle nécessite tout de même un peu plus de temps que le parking en une manœuvre pour être réalisée. De plus, plus la place sera petite, plus le nombre de manœuvres sera grand, et donc plus le temps pour stationner sera important. On peut même imaginer un temps de plus d'une dizaine de minutes pour se stationner si la place de parking fait la taille de la voiture plus quelques centimètres...



### Méthode inversée :

Nous allons maintenant évoquer la méthode inversée. Pour être effectuée, cette méthode nécessite également que la place disponible soit strictement supérieure à la diagonale du véhicule.

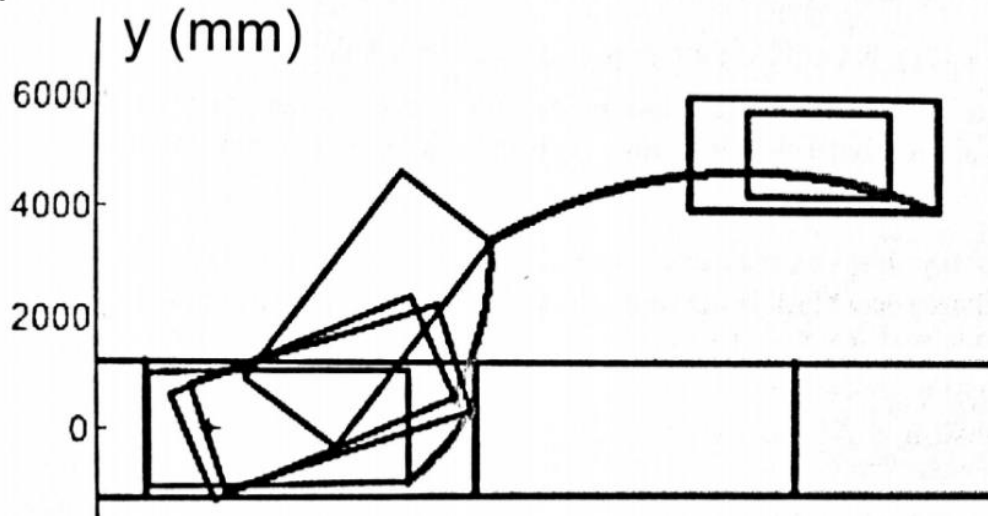


Figure 11 : Trajectoire suivie par le véhicule pendant la méthode inversée

Pour déterminer la trajectoire du véhicule lors de l'exécution de la méthode dite « inversée », une trajectoire de sortie semblable à ce qu'un humain pourrait faire est cherchée, puis inversée. La trajectoire de sortie comme de rentrée sur la place est alors composée de marches avant et marches arrière jusqu'à ce que le véhicule puisse sortir ou rentrer.

Cette méthode est celle qui se rapproche le plus de la manière de faire d'un humain actuellement, elle est d'ailleurs calquée sur les capacités supposées d'un utilisateur lambda, puisque la sortie théorique doit pouvoir être effectuée par un humain. La différence avec la méthode précédente est qu'à chaque nouvelle manœuvre le but n'est pas de retrouver une trajectoire parallèle au bord de la place ou du trottoir. Le véhicule doit être positionné parallèlement seulement au terme de la manœuvre, ainsi il va arriver de manière totalement incliné dans la place, avec un angle aigu entre le côté du trottoir supposé et le véhicule puis ré-avancer et reculer de manière à ce que cet angle soit le plus proche possible de zéro, c'est-à-dire que la voiture soit totalement parallèle au rebord de la place.

Ces méthodes utilisées par le Park Assist sont intégrées dans quasiment tous les systèmes vendus par les constructeurs. De plus, le Park Assist est désormais proposé par un grand nombre de constructeurs, chacun y apportant sa spécificité. Ainsi, cette technologie dispose encore d'une grande capacité d'évolution, et c'est ces deux points que nous allons aborder dans cette dernière partie.

### **5.3. Comparaisons des différents systèmes et évolutions envisagées**

#### Comparaisons :

Inventé il y a seulement quelques années, le système Park Assist est en train de se démocratiser à l'ensemble des constructeurs automobiles, qui proposent quasiment tous ce système, à quelques exceptions près. Ainsi, les aides au stationnement se multiplient et diffèrent selon les constructeurs. Chez Lancia, c'est le « Magic Parking » qui permet de se garer en créneau. Volkswagen et sa seconde génération du Park Assist permettent de se stationner aussi bien en créneau qu'en bataille, mais aussi de ressortir des places. Audi, Ford ou encore PSA proposent des systèmes semblables, tandis que chez Nissan, il est

nécessaire de sélectionner sur l'écran du tableau de bord la place où l'on souhaite se garer. Mais le plus avancé sur le marché actuel reste tout de même BMW. En effet, le constructeur dispose d'un temps d'avance sur ses concurrents, étant donné que son Park Assist s'occupe de tout ! Le conducteur peut ainsi lâcher le volant et les pédales sans aucun risque !

Le montant pour ces assistances au stationnement, qui sont généralement proposées en option, reste donc très variable selon les constructeurs, et le niveau d'avancement de la technologie. Il faut compter environ 360 € pour obtenir l'aide au stationnement de PSA qui comprend uniquement le rangement en créneau, mais qui reste ainsi le prix le plus abordable pour les clients. D'autres constructeurs proposent eux un dispositif plus complet gérant à la fois les stationnements en créneau, bataille et les sorties de place, comme Volkswagen qui le propose à 680 €, un peu plus cher que le dispositif similaire d'Audi proposé à 595 €. Mais l'un des meilleurs rapports qualité/prix est proposé par Ford, et son Active Park Assist qui propose le même dispositif complet pour seulement 400 € ! Le système complètement automatisé de BMW reste quant à lui plutôt accessible, étant donné qu'il faudra déboursier 600 € pour obtenir son assistance plus perfectionnée.

D'autre part, le domaine de l'aide au stationnement est, de nos jours, sujet à de nombreuses innovations, et la plupart des constructeurs automobiles se livrent une lutte acharnée afin d'obtenir les systèmes les plus innovants, fiables et performants.

### **Evolutions :**

En effet, une optimisation des méthodes de parking habituelles, utilisant des arcs de cercle est sur le point de voir le jour : la méthode des arcs continus.

Ces méthodes géométriques avec arcs de cercle permettent de générer des trajectoires de parking afin de garer un véhicule en une ou plusieurs manœuvres dans une place au moins aussi grande que le véhicule, quel que soit la position et orientation initiale. L'idée générale est alors de générer une trajectoire avec arcs de cercle puis de transformer chaque arc en un virage à courbure continue. Cette méthode n'est donc pas une méthode à proprement parlé mais représente plutôt une optimisation des méthodes utilisant des arcs de cercle, ainsi elle permet au véhicule d'avoir une trajectoire continue et non formée d'une multitude d'arcs de cercle.

Pour la méthode dite inversée ou la méthode parallèle (ou la plupart des autres méthodes), il faut que le véhicule réalise plusieurs arcs de cercle pour pouvoir réussir à se garer correctement. Le problème est qu'à chaque nouvel arc de cercle le véhicule doit s'immobiliser pour pouvoir bouger ses roues et ainsi changer de direction pour commencer un nouvel arc. Cet arrêt du véhicule pose plusieurs complications majeures comme par exemple l'allongement du temps de la manœuvre, qui peut poser des problèmes de sécurité et de gêne pour les autres usagers.

Le principe de cette méthode est donc de prévoir une trajectoire continue formée d'un minimum d'arcs de cercle et non d'une multitude de petit. Pour ce faire la trajectoire choisit est une trajectoire appelée trajectoire clothoïde. Une clothoïde est une courbure transcendante plane variant linéairement avec son abscisse curviligne et ce avec une constante qui la caractérise. Étant donné la complexité de la chose nous ne pouvons expliquer de manière détaillée le processus permettant d'obtenir une clothoïde mais nous pouvons donner les équations permettant d'obtenir l'abscisse et l'ordonnée des coordonnées du véhicule à un instant t.

$$\begin{cases} x(t) &= a \int_0^t \cos u^2 du \\ y(t) &= a \int_0^t \sin u^2 du \end{cases}$$

Avec  $a$  une constante qui est déterminé grâce aux coordonnées de l'état initial du véhicule. Grâce à cette formule il est donc possible d'optimiser les trajectoires afin de ne garder que des trajectoires continues et donc, sans arrêt le temps gagné est ainsi considérable. La sécurité des usagers en est alors renforcée. De plus le système est ainsi plus agréable à utiliser pour le conducteur.

Enfin, de nouveaux systèmes de Park Assist, tous plus inventifs les uns que les autres, arrivent petit à petit sur le marché.

En effet certains constructeurs, à l'exemple de Volkswagen, souhaitent étendre le domaine du Park Assist à certains cas particuliers comme les manœuvres avec remorque. En effet, Trailer Assist, un assistant pour ce type de manœuvre, est en cours de développement par les ingénieurs recherche et développement de Volkswagen. Cette fonctionnalité, qui assure le guidage de l'attelage, et permet de simplifier considérablement ces manœuvres qui posent un réel problème pour les automobilistes. Ainsi, le conducteur devra tout d'abord entrer l'angle d'articulation entre le véhicule et la remorque, puis Trailer Assist permettra de braquer automatiquement les roues du véhicule de manière à ce que la remorque soit constamment maintenue dans la bonne trajectoire. Ainsi, cette fonction permettra aux conducteurs d'entrer en marche arrière dans certaines allées afin de charger ou décharger leur remorque par exemple. On note aussi qu'il sera possible de corriger la trajectoire à chaque instant.

D'autres comme Volvo souhaitent apporter plus de contrôle aux automobilistes lors de leur stationnement. En effet, le Volvo XC90 propose un dispositif facilitant les manœuvres délicates dans de petits espaces, mais également les manœuvres effectuées avec des caravanes ou remorques. Ainsi, Volvo propose à ses clients une version dotée d'une assistance de stationnement semi-automatique : « Volvo Park Assist Pilot », qui transmet également au conducteur une vision aérienne du véhicule : la « Surround View à 360° ». Ceci permet au de visualiser l'ensemble des zones alentours de la voiture : vue aérienne, en face, derrière et sur les côtés. En ce qui concerne la vision aérienne, elle est assurée par quatre caméras « fish-eye », ayant un angle de champ très grand, qui sont dissimulées dans la voiture : une à l'avant, une dans chaque rétroviseur et une à l'arrière, au-dessus de la plaque d'immatriculation.

Mais la plupart des constructeurs souhaitent développer des versions de Park Assist entièrement automatisées, comme celui de BMW. En effet, le groupe Peugeot-Citroën, a par exemple annoncé une version totalement automatisée pour 2017. Ainsi, avec la "City Park Full Automatic", fini de nous occuper des pédales et de la boîte de vitesses ! Les ingénieurs de Toyota ont également mis en place l'Intelligent Park Assist (IPA), permettant de gérer les de créneaux de manière automatique. Une innovation qui a quand même ses limites : pour les systèmes complètement automatisés, où l'utilisateur n'a pas à gérer le contrôle de la vitesse et de la boîte de vitesse, la boîte de vitesse manuelle doit être couplée à une boîte automatique !

Enfin, de nombreux constructeurs entreprennent des projets audacieux. En effet, Ford met actuellement en place un prototype, nommé « Fully Assisted Parking Aid », qui permet à l'utilisateur de gérer la manœuvre à l'aide d'une télécommande, et ce, à l'extérieur du véhicule ! Mais Mercedes ainsi que Volkswagen souhaitent aller encore plus loin ! En effet, les constructeurs allemands prévoient un stationnement effectué depuis son smartphone ! Le groupe PSA, lui, s'attache à développer le Valet Parking, une technologie permettant à l'utilisateur de laisser son véhicule se garer de manière complètement autonome ! Une évolution qui marche sur les pas de la voiture autonome, et qui va peut-être modifier la réglementation de l'Organisation Internationale des Constructeurs Automobiles (OICA) obligeant le conducteur à rester à proximité de son véhicule pendant le stationnement.

## 6. CONCLUSIONS

### 6.1. Conclusion

Le secteur automobile est un secteur très connu du grand public, mais dont les nouvelles avancées technologiques sont encore très confidentielles du fait de la concurrence omniprésente. Ceci n'a pas facilité nos recherches. Nous avons préféré ignorer le nombre important d'informations que nous trouvions sur des sources peu fiables.

Toutefois, ce projet nous a permis de découvrir le domaine automobile sous un autre angle que celui de consommateur. De plus, nous avons découvert le domaine des capteurs de distance en particulier les capteurs à ultrason qui sont très utilisés dans divers domaines sans que nous le sachions. Nos recherches ont été très enrichissantes et ont approfondi nos connaissances sur les technologies actuellement en développement. Elles nous ont aussi permis de nous forger un avis plus concret sur les progrès technologiques qui ne cessent de croître autour de nous, à partir d'éléments existants depuis des années, comme le capteur à ultrason.

Le capteur à ultrason est un système très performant et d'une grande précision pour des distances comprises entre cinq et cinquante-cinq centimètres. De plus, le coût d'un capteur à ultrason est raisonnable. Toutefois, ce dernier est sensible à la température et à la pression. Cependant, son cône de directivité est de trente degrés. En comparaison avec les autres capteurs, il est donc évident que la meilleure solution était l'utilisation de ce capteur en particulier.

D'autre part, si nous avions eu ce projet sur une durée plus conséquente, nous aurions développé la partie sur le Park Assist en abordant d'autres points très importants mais moins techniques. En effet, le Park Assist se développe de plus en plus chez tous les concessionnaires. Toutefois, nous pouvons nous demander comment une nouvelle invention technologique comme celle-ci peut à la fois rester très confidentielle à cause de la concurrence, et à la fois se développer chez tous les constructeurs automobiles. De plus, nous aurions pu approfondir l'aspect économique, pour avoir une idée plus précise de la somme dépensée pour la recherche, la conception ainsi que le développement de cette nouvelle technologie.

Pour finir, nous souhaitons remercier particulièrement M. BENSRAHAI pour nous avoir supervisé tout au long du semestre et nous a fourni des documents très enrichissants, en particulier la thèse : Conception et méthode de validation de lois de contrôle pour des systèmes de conduite automatisée du véhicule, soutenue le 28/11/2014 à Paris par H. VOROBIEVA pour Renault.

## **6.2. Conclusions sur l'apport personnel**

### **6.2.1. Mehdi ABOUZAIID**

J'ai trouvé ce projet intéressant et très enrichissant d'un point de vue technique mais aussi et surtout humain. Il m'a permis de développer mes connaissances sur les capteurs à ultrason et sur le Park Assist, un dispositif révolutionnaire qui a suscité notre curiosité. Concernant l'organisation et le travail en équipe, je trouve que le projet nous offre une bonne expérience pour la suite de notre cursus d'ingénieur. Il est cependant dommage de ne pas avoir eu d'outils concrets à manipuler.

### **6.2.2. Ambdoul ATTOUMANI**

D'une part ce projet a été pour moi une occasion d'enrichir mes connaissances personnelles concernant les domaines technologique et scientifique. En effet ça a été l'occasion de revoir certaines lois de la physique et de voir des domaines d'applications qui peuvent s'y appliquer. D'autre part, ce projet étant réalisé par une équipe de six personnes, ça a été l'occasion pour moi d'apprendre d'autres manières de gérer un groupe efficacement. Globalement, je retiendrai de ce projet qu'il a non seulement été très agréable à réaliser, mais aussi que c'est une expérience bénéfique et très enrichissante pour la suite.

### **6.2.3. Manon FERCHAUD**

Ce projet m'a fait découvrir un nouveau domaine : celui des capteurs à ultrason, notamment la manière dont ils ont été découverts. De plus, ce projet m'a fait voir tout le fonctionnement du Park Assist, un outil qui va très certainement devenir essentiel dans nos voitures dans les années à venir. Par conséquent, j'ai trouvé cela très intéressant d'étudier ce sujet. Enfin, ce projet m'a permis de vivre une nouvelle expérience de travail en groupe, ce qui est essentiel pour réussir plus tard en tant qu'ingénieure.

### **6.2.4. Julie GALAUP**

Cette matière m'aura permis d'apprendre à travailler en groupe et à se répartir les tâches afin d'être plus productif. Nous avons été à l'écoute les uns des autres pour faire la partie qui nous intéressait le plus, à savoir la mise en page et les recherches générales. Toutefois, cette partie n'a pas été de tout repos car les informations sont minimales à ce sujet. Le P6 m'a aussi permis de découvrir un domaine que je ne connaissais pas : l'automobile. Plus particulièrement, les nouvelles technologies qui font évoluer ce domaine. L'automobile est un domaine passionnant qui commence à m'intéresser de plus en plus.

### **6.2.5. Diane LEBLANC-ALBAREL**

Tout d'abord il m'aurait paru intéressant et peut-être un peu plus motivant de pouvoir réaliser quelque chose de concret, pourquoi pas un petit objet utilisant des capteurs à ultrason ? Cependant ce projet nous a tout de même permis de réaliser un de nos premiers vrais projets en groupe. Il a donc fallu s'organiser réellement et efficacement afin de pouvoir produire un travail de la meilleure qualité possible. Le Park Assist et les capteurs à ultrason sont des sujets actuels et qui vont se développer dans le futur, ainsi, parfaire notre culture dans ces domaines nous sera très certainement utile dans la suite de notre cursus à l'INSA mais aussi dans notre vie professionnelle.

### **6.2.6. Florent TIVOLLE**

J'ai été très intéressé par ce projet, notamment parce que c'est un sujet récent et en pleine évolution. Travailler sur l'étude de cas du Park Assist m'a permis de comprendre que les trajectoires de stationnement utilisées étaient sans cesse optimisées, dans le but d'avoir le stationnement le plus rapide possible, sans pour autant devoir disposer d'une grande place. En ce qui concerne le travail en équipe, il a été bien organisé puisque le fait de se répartir le développement du projet nous a permis de finaliser le texte, et de préparer le poster et l'oral tous ensemble.

## 7. BIBLIOGRAPHIE

- <http://www.microsonic.de/fr/support/capteurs-%C3%A0-ultrasons/principe.htm> (Consulté le 13/03/2017)
- [https://www.sick.com/media/dox/3/53/853/Product\\_information\\_Capteurs\\_%C3%A0\\_Ultrasons\\_UM30\\_UM18\\_UC12\\_UC4\\_fr\\_IM0059853.PDF](https://www.sick.com/media/dox/3/53/853/Product_information_Capteurs_%C3%A0_Ultrasons_UM30_UM18_UC12_UC4_fr_IM0059853.PDF) (Consulté le 13/03/2017)
- [https://www2.ac-lyon.fr/etab/lycees/lyc-69/descartes/IMG/pdf/Capteur\\_ultrasonique\\_Li2oc.pdf](https://www2.ac-lyon.fr/etab/lycees/lyc-69/descartes/IMG/pdf/Capteur_ultrasonique_Li2oc.pdf) (Consulté le 13/03/2017)
- [http://www.ob-ultrasound.net/ultrasonics\\_history.html](http://www.ob-ultrasound.net/ultrasonics_history.html) (Consulté le 5/04/2017)
- [https://perso.telecom-paristech.fr/bloch/P6Image/Cours\\_ACIMED\\_ultrasound\\_2007.pdf](https://perso.telecom-paristech.fr/bloch/P6Image/Cours_ACIMED_ultrasound_2007.pdf) (Consulté le 7/04/2017)
- <http://www.sitedunxt.fr/articles/print.php?id=14> (Consulté le 5/04/2017)
- <http://www.robotshop.com/blog/fr/comment-fabriquer-un-robot-lecon-7-utiliser-des-capteurs-2-4316> (Consulté le 5/04/2017)
- <http://tpeultrason2016.wixsite.com/ultrasons> (Consulté le 22/04/2017)
- <http://www.generationrobots.com/blog/fr/2017/03/capteur-ultrason-capteur-a-ultrason-en-vente-chez-generation-robots/> (Consulté le 22/04/2017)
- <http://www.sitedunxt.fr/articles/print.php?id=14> (Consulté le 22/04/2017)
- <http://www.microsonic.de/fr/support/capteurs-%C3%A0-ultrasons/les-modes-de-fonctionnement.htm> (Consulté le 24/04/2017)
- [http://tpe.over-blog.org/pages/II\\_Le\\_son-894233.html](http://tpe.over-blog.org/pages/II_Le_son-894233.html) (Consulté le 24/04/2017)
- <http://www.cochlea.org/entendre> (Consulté le 24/04/2017)
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Son\\_\(physique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Son_(physique)) (Consulté le 24/04/2017)
- <http://www.automobile.challenges.fr> (Consulté le 13/03/2017)
- <http://www.minutefacile.com> (Consulté le 13/03/2017)
- <http://www.lefigaro.fr> (Consulté le 13/03/2017)
- <http://www.presse-citron.ne> (Consulté le 13/03/2017)
- <http://www.caradisiac.com> (Consulté le 5/04/2017)
- <http://www.auto-moto.com> (Consulté le 5/04/2017)
- <http://www.autodeclics.com> (Consulté le 5/04/2017)
- <http://www.auto-moto.com> (Consulté le 20/04/2017)
- <http://www.bmw.fr> (Consulté le 20/04/2017)
- <http://www.psa-peugeot-citroen.com> (Consulté le 20/04/2017)
- <https://www.audifrance.fr> (Consulté le 20/04/2017)
- <http://www.cnetfrance.fr> (Consulté le 20/04/2017)
- <http://www.franfinance.fr> (Consulté le 20/04/2017)
- <http://www.latribuneauto.com> (Consulté le 30/05/2017)
- <http://www.autonews.fr> (Consulté le 30/05/2017)
- <http://www.groupe-psa.com> (Consulté le 30/05/2017)
- <http://www.feline208.fr> (Consulté le 30/05/2017)
- <http://www.news.peugeot.fr> (Consulté le 30/05/2017)

## 8. CREDIT DES ILLUSTRATIONS :

- <http://www.roboticus.org/la-robotique/97-capteur-de-distance-collision-par-ultrason.html> (Figure 1)
- <http://www.ob-ultrasound.net/project/kraut3.jpg> (Figure 2)
- [http://www.baumer.com/typo3temp/pics/Product\\_Distance\\_Ultrasonic\\_distance\\_detection\\_cf8f8e2e31.jpg](http://www.baumer.com/typo3temp/pics/Product_Distance_Ultrasonic_distance_detection_cf8f8e2e31.jpg) (Figure 3)
- <http://www.sitedunxt.fr/articles/print.php?id=14> (Figures 4, 5 et 6)
- <http://www.autonews.fr/technologie-voiture/le-park-assist-ou-comment-se-garer-parfaitement-sans-les-mains-57885> (Figure 7)
- <https://www.volkswagen.fr/fr/modeles/arteon.html> (Figure 9)
- Thèse : Conception et méthode de validation de lois de contrôle pour des systèmes de conduite automatisée du véhicule ; Soutenue le 28/11/2014 à Paris par H. VOROBIEVA pour Renault (Figures 8, 10 et 11)