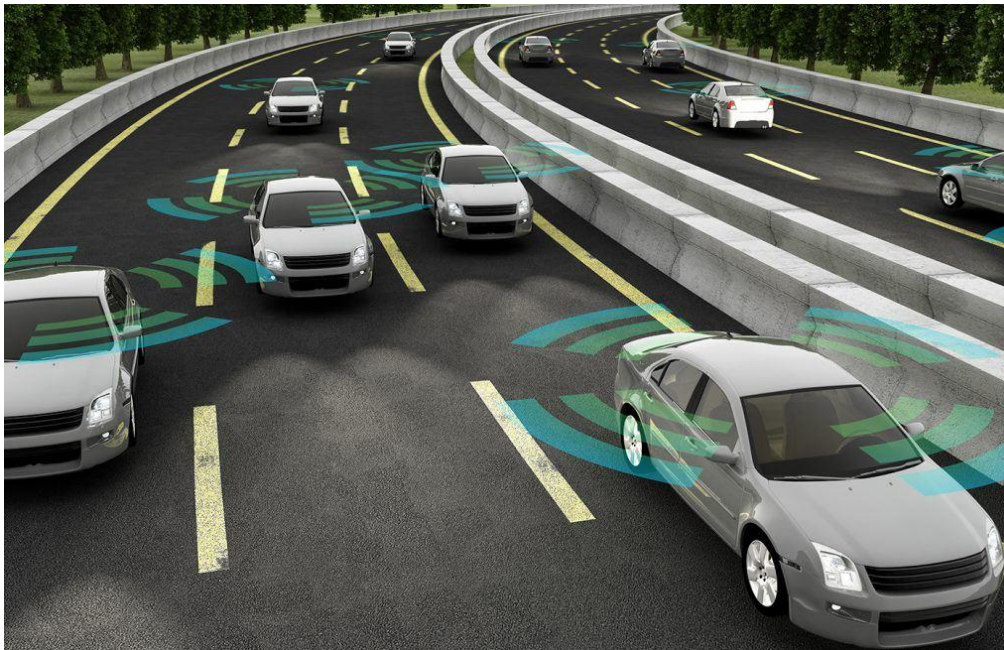


VÉHICULE AUTONOME LOCALISATION / CARTOGRAPHIE



Etudiants :

Romain CANY

Lucie KUEVIKOE

Simon LEGRAND

Louise NGOMAKUKU

Tanoh SAMON

Emna TOUIHRI

Enseignant-responsable du projet :

Abdelaziz BENSRAIR

Date de remise du rapport : 18/06/2018

Référence du projet : STPI/P6/2018 – 04

Intitulé du projet : Véhicule Autonome : localisation/cartographie

Type de projet : Bibliographie, visite d'un centre d'expérimentation

Objectifs du projet :

Ce projet est une étude bibliographique concernant le véhicule autonome et plus précisément découvrir son fonctionnement à travers la cartographie et ses applications. L'ensemble des personnes du groupe a donc fait une recherche d'information poussée sur les différentes parties telles que l'histoire de ces véhicules, leurs aspects techniques ou encore leurs cas d'usage.

Mots-clefs du projet :

- ❖ Véhicule autonome
- ❖ GPS
- ❖ Cartographie
- ❖ Localisation

Introduction

Aujourd'hui, pour se déplacer, différents moyens de transport s'offrent à nous : voiture, train, avion, vélo... L'ère du véhicule autonome, qui semblait totalement futuriste il y a quelques années, est enfin arrivée. L'apparition de ce nouveau moyen de transport bouleverse la société actuelle dans de nombreux domaines, en particulier l'économie, la technologie, l'environnement ou encore l'éthique.

L'apparition des voitures autonomes représente une économie mondiale amenée à s'étendre dans le futur, modifiant ainsi totalement le marché automobile mondial. À titre d'exemple, les États-Unis investissent 100 millions de dollars pour la recherche et le développement dans le domaine des technologies de conduite autonome.

La mise en circulation de ces voitures nous concerne tout particulièrement, notamment avec la mise en place d'une voiture sans chauffeur sur le site du Madrillet, en septembre 2018. La question de la mise en circulation du véhicule autonome est bien présente, mais est encore peu rendue réelle, à cause de certains inconvénients et limites de fonctionnement. Par exemple, on peut se poser la question de la responsabilité lors d'un accident ou encore du coût de cette nouvelle technologie.

Le véhicule autonome représente une avancée technologique considérable. Afin de se déplacer, il a besoin de connaître plusieurs informations. Tout d'abord, il est indispensable de connaître sa localisation dans l'espace, afin de se diriger convenablement. Ensuite, connaître la configuration de la chaussée, ainsi que l'environnement dans sa globalité. Enfin, il nécessite de connaître en temps réel le nombre des différents usagers présents sur la route : piétons, cyclistes, voitures, pour prévoir et analyser leur comportement.

Notre projet porte sur la localisation grâce à la cartographie des véhicules autonomes. À travers une recherche bibliographique, nous avons étudié le principe permettant aux voitures de se localiser dans l'espace. Pour cela, nous avons organisé notre travail en trois grandes parties. Tout d'abord, nous avons effectué un état de l'art de la voiture autonome et du GPS. Ensuite, nous nous sommes concentrés sur les aspects techniques de la cartographie, ainsi que du GPS pour les voitures autonomes. Enfin, nous avons terminé par l'utilisation quotidienne de la cartographie.

Méthodologie et organisation du travail

Pour le projet de physique, nous avons été assignés au sujet suivant : Voiture autonome, localisation et cartographie. Pour étudier ce sujet, nous avons été encadrés par M. Abdelaziz BENSRAHAI.

Aux premières séances, nous avons découvert notre sujet et comment bien l'aborder au long du semestre. Un chef de groupe a été désigné (Romain CANY) afin de communiquer plus facilement avec notre professeur et le tenir au courant de l'avancée de notre projet.

Après quelques recherches, nous avons vite établi un plan partiel qui a été amélioré au cours du temps. Une fois le plan créé, nous avons pu nous répartir le travail de la sorte : deux personnes sur l'état de l'art, trois personnes sur l'aspect techniques et une personne sur les utilisations dans la vie courante.

Nous nous sommes donné comme date pour rendre nos parties respectives le 16 Avril afin de pouvoir avoir le temps de les modifier, de mettre en page et également de travailler l'oral et le poster correctement. Pour respecter nos temps fixés, nous avons dû travailler chez nous en plus des séances hebdomadaires. Ainsi nous avons pu avoir une première version brute du rapport dès le 16 Avril, que nous avons peaufiné et mise en page afin de rendre une première version du rapport le 4 Juin. Comme nous avons fini notre rapport assez tôt, nous avons pu travailler sur l'oral assez tôt afin de proposer une première présentation le 28 Mai.

Afin de rester en contact entre nous et de pouvoir communiquer des différentes difficultés rencontrées ou des avancés de chacun, nous avons créé une conversation de groupe sur Facebook ce qui a réellement rendu la communication plus simple.

I. Table des matières

I.	Etat de l'art	7
1.	Cartographie et GPS.....	7
1.1.	Histoire de la cartographie	7
1.2.	Histoire du GPS.....	7
2.	La voiture autonome	9
2.1.	Définition et caractéristique du véhicule autonome.	9
2.2.	Avantages et inconvénients d'un tel moyen de transport.....	9
2.3.	Les Limites par rapport au mode de vie actuel de la société	10
2.4.	Le véhicule autonome ne date pas d'aujourd'hui	11
II.	Aspects Techniques	12
1.	Fonctionnement de la cartographie.....	12
1.1.	Principe et définition de la cartographie	12
1.2.	Système d'information géographique (SIG)	13
1.3.	Cartographie et localisation simultanée	13
2.	Fonctionnement d'un GPS.....	14
3.	Les alternatives au GPS américain.....	17
III.	Application quotidienne de la cartographie	18
1.	Importance de la cartographie	18
2.	Autres exemples d'application	19

I. Etat de l'art

1. Cartographie et GPS

1.1. Histoire de la cartographie

L'histoire de la cartographie est le reflet des connaissances techniques nécessaires à l'établissement de cartes, de l'Antiquité à nos jours. Elle permet la représentation de certains éléments sur une surface plane.

La cartographie est une partie intégrante de l'histoire de l'humanité depuis longtemps. Elle fait partie des sciences géographiques et est à l'origine du désir incessant de connaître notre position physique sur la planète.

L'un des avantages de la cartographie est de nous permettre de nous déplacer, mais ces cartes changent au fur et à mesure que le monde évolue. De ce fait, elles ne sont pas fiables si l'on se base sur la modernisation ainsi nous devons trouver d'autres alternatives actuelles pour y remédier. C'est pour cela que l'on a décidé de s'intéresser au GPS.

1.2. Histoire du GPS

Le GPS était un projet de recherche de l'armée américaine. A la demande du président Richard Nixon, il a été lancé en 1960. Ce projet était sous la supervision d'Ivan A. Getting qui a mis en œuvre un ensemble de satellites gravitant en orbite et émettant des ondes radio UHF captées par des récepteurs GPS.

Le premier satellite est lancé en 1978. En 1995, 28 satellites opérationnels ont été déployés dont quatre satellites de secours. En cas de dysfonctionnement ces derniers sont placés en orbite quasi-circulaires autour de la Terre formant un angle de 55° avec l'équateur et de 60° avec chacune des autres orbites à une altitude de 20200 Km, et un segment de contrôle. Ces satellites fournissent la position d'un point sur la planète en temps réel, 24h sur 24 et ont une durée de vie moyenne de 8,5 ans. Par la suite, ils ont été utilisés pour localiser des véhicules roulants, des navires, des avions, des missiles et même des satellites évoluant en orbite basse.

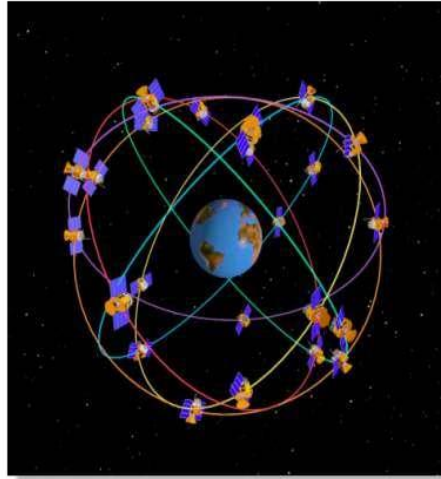


FIGURE 1 : SATELLITE GRAVITANT AUTOUR DE LA TERRE

Suite à la mort des 269 passagers du vol 007 Korean Airlines, le président Ronald Reagan propose que la technologie GPS soit disponible gratuitement aux civils, une fois opérationnelle en 1983. Une seconde série de satellites est lancée à partir de 1989 en vue de constituer une flotte suffisante.

En 1995, le nombre de satellites disponibles permet au GPS opérationnel d'être permanent sur toute la planète, avec une précision limitée à une centaine de mètres pour un usage civil. En 2000, le président Bill Clinton confirme l'avantage de la technologie à des fins civiles et approuve une diffusion non restreinte des signaux GPS, permettant une précision d'une dizaine de mètres et une démocratisation de la technologie au grand public à partir du milieu des années 2000.

Afin de le rendre plus performant, les États-Unis remplacent et ajoutent des satellites et mettent à disposition des signaux GPS complémentaires, plus précis et demandant moins de puissance aux appareils de réception. Un accord d'interopérabilité a également été confirmé entre les systèmes GPS et Galileo afin que les deux systèmes puissent utiliser les mêmes fréquences et assurer une compatibilité entre eux. Deux autres systèmes ont été mis au point par la Russie, le GLONASS à partir de 1980, et par la Chine, le Beidou initié en 2000.

2. La voiture autonome

2.1. Définition et caractéristique du véhicule autonome.

Un véhicule autonome est tout d'abord un moyen de transport qui permet de se déplacer d'un point de départ à un point d'arrivé sans intervention humaine. Pour permettre de circuler dans des conditions réelles, il est équipé d'un système de pilotage automatique. Celui-ci est alors composé d'un certain nombre de capteurs, caméras et radars lui servant à modéliser l'environnement global qui l'entoure. Cette modélisation est essentielle au bon fonctionnement du véhicule puisque c'est grâce à elle qu'il va pouvoir circuler en prenant en compte les éléments de la circulation tels que les marquages au sol, les panneaux ou encore les autres véhicules.

Il existe plusieurs catégories de véhicules autonomes de différents niveaux numérotés de 0 à 4. Le niveau 4 étant consacré aux véhicules qui assurent pleinement toutes les fonctions principales de conduite. Le véhicule autonome doit donc remplir de nombreuses tâches primaires comme connaître sa localisation ou encore choisir le bon itinéraire (en fonction de critères spéciaux tels que le coût, ou encore minimiser le temps de trajet). Mais il doit aussi remplir des tâches secondaires liées au bien-être des passagers pendant le trajet (régler la climatisation, la musique ou encore l'utilisation des vitres).

La mise en place d'un tel moyen de transport impacterait la société dans son ensemble. En effet, il est évident que l'industrie automobile serait la première affectée par ce changement mais les utilisateurs devraient eux aussi s'adapter non seulement à cette nouvelle technologie mais aussi à de nouvelles mœurs. Aujourd'hui, le véhicule est considéré comme un bien matériel personnel et adapté selon les différentes catégories sociales. Dans le futur, le véhicule autonome pourrait être un bien appartenant à l'ensemble de la société et l'individu n'aurait donc plus ce bien personnel.

2.2. Avantages et inconvénients d'un tel moyen de transport.

Ce nouveau moyen de transport apporte de nombreux avantages. Les actualités traitent très souvent des sujets concernant le domaine des transports (accidents, embouteillages, sécurité routière...). En effet, le véhicule autonome pourrait réduire considérablement le risque d'accident dû par exemple à la fatigue, à la consommation d'alcool, de stupéfiant ou encore à l'erreur humaine. Il fluidifierait la circulation rendant la formation d'embouteillage quasi-impossible. De plus, tous les véhicules autonomes étant connectés entre eux, une augmentation de la vitesse de croisière et donc une diminution de la durée du trajet pourraient être une possibilité. Cela impliquerait aussi un nouvel aménagement des centres villes avec

l'augmentation d'espace gagné grâce aux anciens parkings (les véhicules autonomes déposeraient les usagers directement sur le lieu désiré et iraient vers un endroit de stockage loin de la ville).

L'espace intérieur de la voiture serait alors totalement réinventé : les commandes de pilotage laisseraient place à des objets pour le loisir. Lors des longs trajets, les usagers pourront se reposer tout en arrivant sur le lieu désiré. Le permis de conduire ne serait plus une obligation et une partie de la société comme les personnes handicapées ou encore les mineurs pourront accéder à une liberté de déplacement encore plus grande.

Cependant, comme toutes avancées technologiques, il existe quelques inconvénients et réticences. Tout d'abord le risque 0 n'existe pas, ce qui veut dire que les véhicules autonomes peuvent avoir des accidents. La question qui se pose est « qui est le responsable dans ce cas ? ». Mais l'époque où tous les moyens de transport seront remplacés par des véhicules autonomes est encore assez loin et nous pouvons donc espérer une meilleure législation concernant ce domaine dans les années à venir. Des réticences de la part des usagers peuvent apparaître notamment pour la totale indépendance du véhicule, le coût d'achat et l'entretien ou encore l'exposition à des piratages des systèmes électroniques. La question de la reconversion des professionnels dans ce domaine, notamment les conducteurs de taxis, est présente. L'intervention des forces de l'ordre lors des infractions ou des crimes seraient assez difficile étant donné qu'il s'agit de véhicule sans chauffeur.

Il existe aussi des problèmes ethniques notamment lors de décisions cruciales à prendre lors de situations catastrophiques : le véhicule doit protéger les passagers ou bien les personnes en dehors de celui-ci ? Doit-il éviter un animal sur la route ou bien assurer la protection des passagers ?

Bien que les inconvénients soient moins nombreux que les avantages du véhicule autonome, ils amènent certaines limites à ce nouveau mode de transport.

2.3. Les Limites par rapport au mode de vie actuel de la société

En plus de ses inconvénients, le véhicule autonome comporte des limites qui impactent l'apparition de ce mode de transport dans les années à venir. D'une part, les limites sont techniques : les capteurs et les radars ne sont pas aussi minutieux que l'œil humain (capacité d'adaptation biologique) et c'est ce qui est problématique pour notre environnement très complexe. Partout les routes ne sont pas les mêmes et les panneaux de signalisation ne sont pas disposés de la même manière. Le système de pilotage automatique a besoin de normaliser l'ensemble des données de toutes les situations auxquelles il sera confronté. Les conditions climatiques peuvent aussi changer ces données. De plus, les différentes situations d'aménagements des routes sont des données à mettre à jour dans la cartographie du véhicule. Des données qui peuvent être considérablement lourdes à télécharger et à stocker. La cartographie

est donc l'un des plus gros enjeux du véhicule autonome, c'est pour cela que nous allons nous y intéresser dans une seconde partie.

Ces limites peuvent être aussi économiques puisque les différents composants (capteurs, radars, caméras...) sont très onéreux. Ceux-ci s'accompagnent d'un coût de fabrication encore plus élevé. De nos jours, on estime qu'un véhicule autonome coûte environ entre 10 000 et 100 000 dollars.

D'autre part, ces limites sont aussi sociales. Comme dit précédemment, les usagers peuvent être réticents à l'idée de donner le contrôle total d'un véhicule à une intelligence artificielle. En effet, le véhicule autonome a une chance infime de faire des erreurs. De plus l'intégration de cette technologie dans notre société serait un bouleversement total et irréversible dans notre mode de vie actuel. Un lancement trop tôt de ce mode de transport (système pas assez sophistiqué, fiable ou encore dangereux) pourrait alors accroître la méfiance des usagers et devenir un énorme frein au développement technologique.

2.4. Le véhicule autonome ne date pas d'aujourd'hui

D'un point de vue historique, les chercheurs ont commencé à s'intéresser au véhicule autonome dans les années 1960. A l'époque, les objectifs principaux étaient l'aide à la conduite et notamment sur l'itinéraire. Cependant, les infrastructures informatiques n'étaient pas assez sophistiquées pour aller plus loin. C'est aux cours des années 1970 que les premiers essais de voitures autonomes ont eu lieu au Japon. Une voiture du laboratoire Tsubuka a réalisé un parcours à une vitesse de 30 km/h grâce à son système de reconnaissance du marquage au sol. Puis, en 1984, Mercedes-Benz a créé une camionnette autonome capable d'atteindre une vitesse de 100 km/h.

Quelques années plus tard, le Laboratoire de Robotique de Pittsburgh concentre ses recherches sur le développement de véhicules automatiques appelés NAVLAB. À la fin des années 1980, on assiste à une accélération du développement de la voiture autonome qui est dû en partie grâce au programme européen PROMETHEUS. Ce projet de la commission européenne s'élève à 800 millions d'euros et a pour but d'améliorer la circulation routière. En 1994, la société Daimler-Benz réalise un test en situation réelle en France sur deux voitures autonomes capable de réaliser différentes manœuvres comme par exemple le changement de file et le dépassement avec une vitesse de 130 km/h.

Au cours du XXI^{ème} siècle, chaque gouvernement se penche déjà sur la législation des véhicules autonomes. Par exemple, aux Etats-Unis, l'état du Nevada adopte plusieurs lois sur le fonctionnement des voitures sans conducteurs. En 2015, pour la première fois de l'histoire, un autobus autonome est mis en service à Trikala (Grèce). C'est un véhicule permettant de faire voyager environ 10 passagers. Cette expérience a permis de montrer la population était assez intriguée par ce nouveau moyen de transport et qu'elle ne s'était pas montrée sceptique concernant ses

performances. Cependant, le premier accident mortel impliquant un véhicule autonome a lieu aux Etats-Unis en 2016.

II. Aspects Techniques

1. Fonctionnement de la cartographie

1.1. Principe et définition de la cartographie

La cartographie est la réalisation et l'étude des cartes géographiques et géologiques. Elle est très dépendante de la géodésie, science qui s'efforce de décrire, mesurer et rendre compte de la forme et des dimensions de la Terre.

La collecte des informations pour cette étude se fait en deux parties :

❖ **Fond de carte**

La réalisation d'un fond de carte consiste à relever les contours de l'espace à représenter.

Cet élément est primordial dans le fonctionnement de la cartographie, en effet, les fonds de carte apportent des données clés pour constituer une fondation réutilisable pour une variété de cartes, tout en fournissant un contexte géographique et des détails de référence.

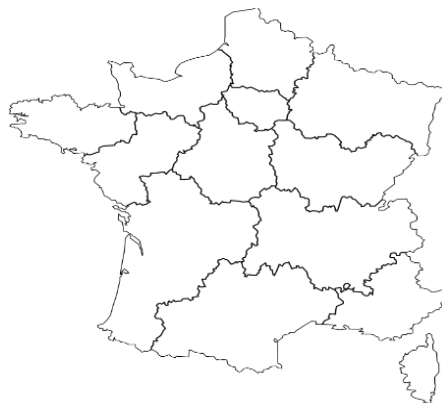


FIGURE 2 : EXEMPLE DE FOND DE CARTE POUR LA FRANCE

❖ **Caractérisation**

Des relevés des données statistiques, à représenter sur cet espace, sont effectués. Puis, est réalisé, un travail de sélection des informations, de conception graphique

(icônes, styles), d'assemblage (création de la carte), et de renseignement de la carte (légende, échelle, rose des vents).

1.2. Système d'information géographique (SIG)

Un système d'information géographique (SIG) est un système d'information conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques.

De manière générale, ce terme représente système d'information qui intègre, stocke, analyse et affiche l'information géographique.

Peu importe la manière d'identifier et de représenter les objets et les événements qui illustrent notre environnement (coordonnées, latitude & longitude, adresse, altitude, temps, médias sociaux, etc.), les SIG permettent de réunir toutes ces dimensions autour d'un même référentiel, véritable colonne vertébrale du système d'information.

Le fonctionnement d'un SIG se fait sous forme de couches. Il existe deux formats de couches :

- ❖ **Le format raster** : Il s'agit des images (plans scannés, photographies aériennes, images satellitaires) repérées dans l'espace. Une matrice divise le territoire avec une grille régulière de cellules (les pixels) pour former une matrice de lignes et de colonnes
- ❖ **Le format vectoriel** : Utilise le concept d'objets géométriques (points, lignes, polygones) pour représenter les entités géographiques.

1.3. Cartographie et localisation simultanée

La cartographie en trois dimensions a vu le jour dans un contexte industriel où la demande de systèmes robotiques, capables d'exécuter des tâches de façon autonome dans un environnement plus ou moins inconnu et contraignant, est très forte. En effet, ces systèmes mobiles ont besoin de se localiser et de visualiser leur environnement dans le but de prendre une décision en total indépendance.

Elle se développe actuellement dans différents domaines tels que l'exploration, l'assistance à la personne ou encore le véhicule intelligent pour le transport de marchandises et/ou de personnes.

Cet outil est plus connu sous le nom de SLAM « simultaneous localization and mapping » qui signifie en français localisation et cartographie simultanée.

Le SLAM consiste donc à construire ou améliorer une carte de l'environnement qui entoure le sujet et même temps lui permet de s'y localiser. La cartographie est donc présente pour représenter l'espace grâce aux informations qui lui seront transmises et la localisation, pour estimer l'emplacement du véhicule sur un plan. Ces derniers ont donc chacun un rôle différent mais celui-ci ne peut pas être effectué indépendamment de l'autre.

Ces deux aspects mis en corrélation permettent de détecter la position de l'objet tout en cartographiant progressivement l'environnement, uniquement à partir d'images ou de flux vidéos acquis par une caméra numérique spécifique explorant un milieu partiellement connu voire inconnu et d'un de systèmes de vision par ordinateur. Cela a ainsi pour but de reproduire le sens humain de la vue et d'imiter les capacités humaines d'analyse et d'interprétation des images perçues.

Ces analyses du milieu vont permettre la construction d'une carte en trois dimensions en relevant des points 3D de l'environnement et en estimant les coordonnées précises de la caméra dans l'espace. Ce processus peut être réalisé à partir de deux images minimum d'un même lieu, prises avec des points de vue différents ou à partir du traitement d'images successives d'un flux vidéo.

Dans le cadre de la voiture autonome, afin de collecter les données pour réaliser les cartes en trois dimensions en haute définition qui vont être utilisés par ces véhicules, des entreprises come Here, ont recours à la diffusion de nombreuse voitures équipées de caméras à haute précision sur les routes du monde.

2. Fonctionnement d'un GPS

Le GPS permet de se situer à la surface de la Terre. Cette technologie est aujourd'hui très utilisée que ce soit dans le domaine civil ou militaire. C'est pour cette raison qu'il existe deux types de GPS : le Standard Positioning System et le Precise Positioning System. Ces deux systèmes se différencient par leur précision qui peut aller jusqu'à environ 5 mètres. Il permet aussi de trouver un itinéraire sans utiliser des cartes manuellement. Pour cela, il utilise les satellites. Il cherche à calculer la distance entre le satellite et le récepteur. Le récepteur est une puce GPS, on la trouve dans les boîtiers GPS, mais également dans les smartphones.

A 20 200 km autour de la Terre, 24 satellites se déplacent sur 6 orbites différentes, inclinées de 55° par rapport à l'équateur, de manière à avoir toujours 5 satellites au-dessus de l'endroit où on se trouve. Chacun envoie des ondes électromagnétiques se déplaçant à la vitesse de la lumière avec deux données : la position dans l'espace du satellite et l'heure et la date d'émission du signal.

La puce reçoit ces signaux et indique également l'heure d'arrivée du signal. Ainsi, grâce à ces différentes données on peut calculer la distance séparant le satellite du récepteur, par le calcul :

$$\text{Distance} = (T_{\text{arrivée}} - T_{\text{départ}}) \times c$$

Avec $c = 3,00.108 \text{ m.s}^{-1}$ vitesse de la lumière dans le vide

Les informations nécessaires au calcul de la position des satellites étant transmises régulièrement au récepteur, celui-ci peut, grâce à la connaissance de la distance qui le sépare des satellites, connaître ses coordonnées.

Il faut au moins 4 satellites pour que l'appareil calcule sa position (latitude, longitude, altitude). Pour cela, il utilise la trilatération des signaux électromagnétiques, c'est une méthode similaire à la triangulation mais cela s'utilise sans calcul d'angles.

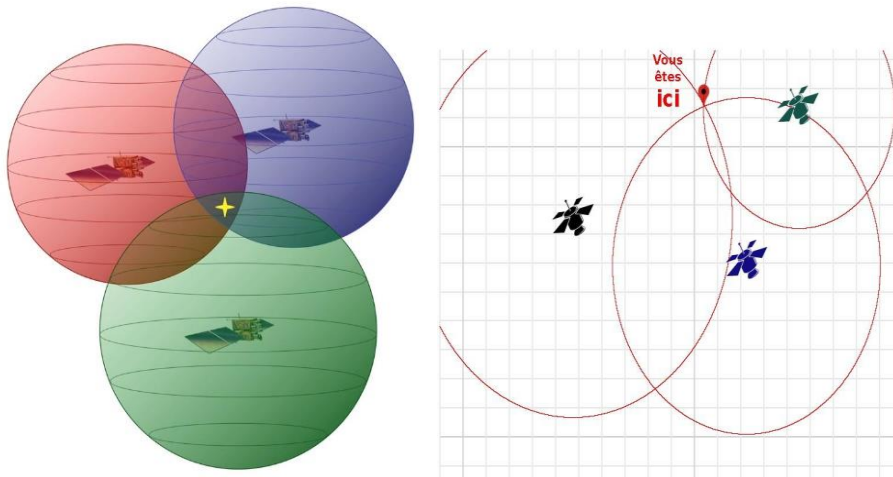


FIGURE 3 : TRILATERATION DANS L'ESPACE ET DANS LE PLAN

En réalité, le trilatération ne s'effectue pas dans un plan mais dans l'espace. Les cercles sont des sphères. L'intersection de 2 sphères correspond à un cercle, et l'intersection de 3 sphères correspond à 2 points. En pratique, un des deux points ne se trouve pas sur la Terre, mais sur une position absurde, donc il est facile de connaître l'emplacement du récepteur.

Ainsi, 3 satellites pourraient donc suffire. Cependant pour un besoin de précision, l'utilisation de l'horodatage d'une horloge atomique à bord d'un 4^{ème} satellite est primordiale. Puisque ce système permet de gagner en précision sur la position du récepteur. Par exemple, une différence d'un millième de seconde entraîne une erreur de 300 km sur la position. Ainsi, le GPS utilise donc 3 satellites pour connaître la position et un autre pour la synchronisation et la confirmation de cette dernière.

Cependant, pour que le GPS fonctionne correctement, il faut corriger quelques phénomènes relativistes. Tout d'abord, la vitesse de déplacement des satellites étant grande (14 000 km/h), leurs référentiels espace et leur référentiel temps sont différents de ceux de la Terre. Ainsi, les horloges sont retardées de 7 μs par jour.

D'autre part, du fait de leur altitude élevée, les satellites sont soumis à un champ gravitationnel terrestre différent. D'après la relativité, l'écoulement du temps est accéléré si le champ gravitationnel diminue. Ici, 45 ms/jour.

En réunissant ces 2 phénomènes, on obtient un décalage de 38 μ s/jour, ce qui pourrait entraîner une erreur de position supérieure à 11 km.

Au fur et à mesure des années, les scientifiques ont inventé d'autres méthodes pour calculer le positionnement du récepteur avec encore plus de précision. C'est pourquoi, l'utilisation du GPS différentiel (DGPS) s'est popularisée puisqu'il réduit les erreurs dues au passage du signal dans l'ionosphère et la troposphère.

Le principe du DGPS est assez simple, il s'appuie sur un récepteur GPS mobile et un autre fixe sur la Terre. Le récepteur GPS fixe calcule et transmet l'écart entre les positions indiquées par les satellites et leurs positions réelles connues par celui-ci. C'est ce que l'on nomme des erreurs des pseudo-distances. Ces erreurs peuvent être appliquées au récepteur GPS mobile puisque la correction applicable au récepteur fixe l'est aussi pour celui qui se déplace (en négligeant l'écart entre les deux récepteurs).

La seconde méthode trouvée est une variante du DGPS, qui utilise le positionnement inversement différentiel (IDGPS). Une unité centrale de calcul reçoit les positions d'un ou de plusieurs récepteurs mobiles, puis effectue la technique du DGPS afin de connaître les erreurs des pseudo-distances des satellites. Elle va alors appliquer ces erreurs aux positionnements reçus des récepteurs, et les guider jusqu'à leur destination voulue. Cette technique est assez intéressante d'un point de vue économique puisqu'elle est moins coûteuse que les autres. En effet, chaque récepteur mobile ne doit pas forcément être muni d'un DGPS. Par ailleurs il doit nécessairement être équipé d'un système de communication avec l'unité centrale de calcul.

Cependant, le bon fonctionnement du GPS a ses limites. En effet, il peut ne pas fonctionner correctement en forêt ou dans des bâtiments, le ciel n'est pas visible. En montagne également, car il se peut que les signaux soient bloqués par les hauts reliefs. Il arrive aussi que des erreurs atmosphériques apparaissent, lorsque les signaux traversent les couches de l'ionosphère et de la troposphère, des interférences avec les électrons peuvent se produire. Enfin, le multi trajet peut parfois avoir lieu, lorsque le signal n'emprunte pas le trajet le plus direct, spécialement après réflexion sur des obstacles.

3. Les alternatives au GPS américain

On commencera par Galiléo, équivalent du GPS, mais européen, il est constitué de 30 satellites en orbite (23 222 km d'altitude)

Il est créé pour rendre l'Europe indépendante du GPS américain, comme GLONASS en Russie et BEIDOU en Chine. Fin 2016 il y avait déjà 15 satellites en orbite. On vise fin 2020 pour avoir les 30 satellites en orbite. Galiléo devrait avoir un satellite visible de n'importe où dans le monde.

La France a un rôle à jouer dans ce projet (lanceur Ariane) + « Par ailleurs, le rôle du CNES à Toulouse est de préparer et de réaliser les opérations de mise à poste en partenariat avec l'ESOC (ESA) dans le cadre du "CNESSOC". Calculs d'orbite et de manœuvres, mise en œuvre des systèmes à bord, gestion des centres de contrôle et du réseau de stations au sol sont autant de tâches qui solliciteront l'expertise des deux agences spatiales. »

Contrairement à Galiléo, les satellites GLONASS et BeiDou sont déjà opérationnels. GLONASS est d'ailleurs utilisé par nombreuses applications, contrairement à la croyance populaire. Presque toutes les applications l'utilisent afin d'avoir un positionnement toujours meilleur. Par exemple, si à un endroit donné, le smartphone va choisir le positionnement GLONASS s'il capte plus de satellites russes, et inversement pour le GPS.

BeiDou, quant à lui, ne couvre pas encore le globe, mais seulement la Chine et les pays avoisinants (Corée, Laos, Pakistan par exemple). Il couvrira le monde entier en 2020 (comme Galiléo).

Comme on a pu le voir précédemment, le GPS n'est pas le seul système de positionnement par satellites disponible. Mais aujourd'hui, le positionnement par satellite n'est plus le seul système de position qui existe. En effet, Valeo a opté pour une voiture autonome sans GPS, et cela est possible grâce à la technologie de Safran : l'Epsilon 20.

III. Application quotidienne de la cartographie

1. Importance de la cartographie

Les voitures aujourd'hui sont de plus intelligentes et possèdent de plus en plus de fonctionnalités pour faciliter la conduite.

Depuis sa première apparition, la voiture autonome a beaucoup évolué au fil des années grâce à l'investissement des nombreux acteurs. Aujourd'hui, on peut dire qu'elle possède cinq fonctionnalités principales qui lui permettent de remplir son but qui est de circuler librement sans intervention humaine et dans des conditions réelles de circulation.

Actuellement une voiture autonome serait dotée d'un système de localisation géographique, de capteurs lasers (lidar), de capteurs de mouvement, de caméras embarquées et d'un ordinateur central, pour modéliser son environnement en trois dimensions, éviter les obstacles (bâtiments, véhicules, piétons...) et identifier les éléments indispensables au code de la route (panneaux, feux de signalisation, marquages au sol...).

Grâce à ces nombreux atouts, les voitures peuvent plus facilement effectuer des prises de décision en fonction de l'environnement qui l'entoure mis en parallèle avec le respect du code de la route et de la sécurité.

Pour se déplacer en totale autonomie, elle s'appuie donc surtout sur une batterie de capteurs (LIDAR, sonars, capteurs à ultrasons, caméras vidéo...) qui enregistrent des données autour la voiture.

Cependant des études ont montré que pour se repérer, une voiture autonome aurait besoin de plus que des capteurs et des caméras pour être totalement fiable.

En effet, ces capteurs possèdent certains inconvénients problématiques car pour pouvoir rouler indépendamment, une voiture autonome a besoin de données extrêmement précises et complètes. Or l'exactitude des données recueillies grâce à des technologies comme la détection laser peut être altérée par exemple par des aléas météorologiques.

De plus, si la voiture doit s'orienter elle-même, un guidage par satellite comme par exemple grâce au GPS par lui mettra de se repérer et de s'orienter mais avec une précision allant de 7 à 10 mètres, qui est loin d'être suffisante pour laisser une totale autonomie au véhicule dans des conditions réelles de circulation. Dans le cas de la voiture autonome, la marge d'erreur ne doit pas excéder la vingtaine de centimètres.

La seule technologie actuelle qui pourrait répondre à ces critères de précision serait une cartographie haute définition. En effet, sans celle-ci, la voiture autonome ne sera pas totalement opérationnelle pour se diriger et se repérer sur les routes sans assistance humaine.

En plus d'être précise, cette cartographie devra être mise à jour en temps réel car une voiture en totale autonomie doit être informée de tous les événements pour pouvoir anticiper son action, voire même réagir en direct.

2. Autres exemples d'application

Waze est une application qui agit comme une sorte de « GPS » communautaire. Elle utilise le GPS américain et GLONASS et en plus de cela, Waze utilise ce qui s'appelle les « Waze Beacons », des balises qui sont placés dans les tunnels afin de continuer à connaître sa position dans ceux-ci (où les signaux GPS et GLONASS) ne passe plus, ces balises utilisent le bluetooth pour rendre cela possible. C'est une application qui va vous guider pour un trajet voulu, et qui calcule le trajet le plus rapide, en évitant les embouteillages qui sont calculer grâce aux utilisateurs : en fait, si waze détecte que beaucoup d'utilisateurs de l'application (il faut que l'appli soit ouverte) sont à vitesse réduite sur une route, et bien l'appli détecte alors un bouchon, et elle calculera un autre trajet où les utilisateurs roulent à vitesse normale. De plus, les utilisateurs interviennent couramment, pour prévenir les autres usagers de travaux, accidents, contrôles de police ou radars sur le trajet, et ceux directement sur l'application. L'application permet également de voir où trouver son essence au meilleur prix sur notre trajet, encore une fois grâce à la communauté qui signale les prix des stations.

Comme dit précédemment, chaque utilisateur de Waze peut prévenir les autres de radars ou contrôles de police sur les routes, ce qui est interdit. Néanmoins, les utilisateurs de Waze sont anonymes, et que l'on ne peut fouiller votre téléphone afin de savoir si vous utilisez l'appli, les utilisateurs ne se privent pas bien que ce soit interdit.

Sur l'application, il est également facile de partager un trajet ou sa position à d'autres personnes. Si ces fonctionnalités sont pour la plupart connu du grand publique, notamment grâce à Google Map, c'est puisqu'en 2013, Google a racheté Waze, ainsi elle tendrait peut-être à disparaître dans les années à venir.

Dans le même genre que Waze, en France (et en Europe), nous avons Coyote. Ici il ne s'agit plus d'une simple application sur smartphone mais d'un boîtier, un peu comme un Tom-Tom par exemple. De la même façon que Waze, le programme va prévenir l'utilisateur des limitations de vitesse, ralentissements, accidents, etc. et ce, grâce à la communauté encore une fois.

Conclusion

Pour conclure, ce projet a été très intéressant et très enrichissant. En effet, nous avons découvert le fonctionnement de la cartographie, notion qui était alors inconnue pour la majorité du groupe, ainsi que son application pour les voitures autonomes. À travers une recherche bibliographique poussée, nous avons dû sélectionner les informations les plus importantes, afin de faciliter la compréhension du fonctionnement de la cartographie d'un point de vue technique, et faire en sorte que ces informations ne soient pas redondantes.

Nous avons également rencontré des doctorants travaillant sur les technologies nécessaires aux voitures autonomes, ce qui nous a permis de voir concrètement ce qui était indispensable pour le bon fonctionnement de ceux-ci. Comme par exemple la détection de piétons grâce à une caméra. Bien que ce nouveau moyen de transport paraisse assez proche, il représente une avancée majeure car il nécessite la concentration de nombreuses technologies.

Ainsi, pour que la voiture de demain puisse naître, de nombreux outils et technologies sont requis. Cependant, des limites existent sur les plans éthiques, économiques ou encore juridiques. Moralement, de nombreuses personnes hésiteraient encore à monter dans un véhicule autonome, et la question de la totale indépendance de celui-ci est une problématique importante à régler. D'un point de vue financier, la voiture autonome coûte cher, et sur le long terme, peut amener à des difficultés économiques pour un pays : suppression du métier de chauffeur, non utilité du permis de conduire... Enfin, au niveau juridique, faudrait-il établir une législation pour les concepteurs de ces véhicules, ainsi que leurs utilisateurs ? Ainsi, ces limites ne doivent pas être négligées, et constituent un aspect important dans le développement des voitures autonomes.

Enfin, nous voulons remercier Mr. BENSRAHAI pour son aide et son soutien durant toute la durée du projet. Nous remercions également les doctorants nous ayant présenté l'objet de leur thèse concernant les véhicules autonomes.

Rapport d'étonnement

Romain : Ce projet a été très enrichissant pour moi. Il m'a permis de découvrir un sujet qui me passionne et qui pour moi représente un enjeu majeur dans le monde automobile. De plus nous avons pu voir le travail qu'effectuent les doctorants dans ce domaine ici, à l'INSA, et nous avons pu donc comprendre ce qu'effectue un doctorant et cela me sera très utile si jamais je continue avec un doctorat après mes années à l'INSA. Enfin je pense que ce projet est très important puisque le travail d'ingénieur s'effectue majoritairement en groupe et en collaboration avec d'autres, et ce projet nous permet de mieux nous organiser entre nous et de nous entraîner à notre futur job.

Simon : Personnellement, ce projet de physique m'a permis d'avoir une meilleure connaissance concernant les véhicules autonomes. Sujet qui devient de plus en plus d'actualités. D'autre part ce projet permet d'avoir une autre expérience sur le travail de groupe, ce qui est très important pour le métier d'ingénieur. Enfin, ce projet m'a aussi conforté dans le choix de mon futur département.

Louise : Travailler sur la cartographie, notamment pour les véhicules autonomes fût très intéressant et très enrichissant. J'ai énormément appris, comme par exemple comment fonctionne le système GPS. De plus, ce projet a été une nouvelle expérience du travail en groupe, il nous a appris à collaborer et à gérer tous ensemble les problèmes.

Lucie : Ce projet a été enrichissant aussi bien sur le plan social que d'un point de vue acquisition de nouvelles connaissances. En effet, cette nouvelle expérience de travail en groupe a été instructive et m'a permis d'améliorer mon esprit d'équipe et mon sens de la responsabilité. De plus, ce sujet touche de nombreux domaines techniques qui pourront m'être utile pour mon futur professionnel en tant qu'ingénieure.

Tanoh : D'une part, à travers ce projet, j'ai pu acquérir de nouvelles connaissances dans le domaine de la cartographie et des véhicules autonomes. D'autre part, le travail en équipe m'a permis de pouvoir côtoyer des collègues appartenant à des cultures différentes et ayant une manière de penser différentes de la mienne.

Emna : Ce projet m'a été bénéfique sur plusieurs plans. En effet, tout d'abord, il m'a permis d'acquérir de nouvelles connaissances dans un domaine d'innovation et de technologie nouvelle (la cartographie et la voiture autonome), un sujet sur lequel plusieurs universités et entreprises travaillent actuellement.

Ensuite, c'était une occasion pour travailler et collaborer en groupe. Cela m'a entraînée sur l'esprit d'équipe, une valeur indispensable pour un futur ingénieur.

Bibliographie

Etat de l'art

- ❖ <http://carnets-davenir.com/synthese-sur-limpact-des-vehicules-autonomes/>
- ❖ <http://www.minutefacile.com/high-tech-auto/voiture/25231-les-avantages-et-desavantages-de-la-voiture-autonome/>
- ❖ <http://www.fiches-auto.fr/articles-auto/voitures-autonomes/s-1709-voiture-autonome-les-problematiques.php>
- ❖ <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/voiture-voiture-autonome-15601/>
- ❖ <http://www.kronobase.org/chronologie-categorie-Voiture+autonome.html>
- ❖ <http://reperageterrestre.free.fr/historique.html>
- ❖ <http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/cartographie/>

Aspects techniques

- ❖ <https://couleur-science.eu/?d=2016/06/02/17/54/23-quel-est-le-principe-de-fonctionnement-du-gps>
- ❖ <http://eduscol.education.fr/orbito/system/navstar/gps1.htm>
- ❖ <http://reperageterrestre.free.fr/principe.html>
- ❖ <https://www.youtube.com/watch?v=OnontHDe-a0>
- ❖ <https://www.youtube.com/watch?v=IDYz37uuRw4>
- ❖ http://www.unoosa.org/pdf/icg/2017/CRASTE-LF/1_03.pdf
- ❖ <http://reperageterrestre.free.fr/erreurs.html>
- ❖ <http://www.sxbluegps.com/fr/technologie/le-gps-et-les-erreurs/>
- ❖ https://www.over-blog.com/Comment_fonctionne_un_logiciel_de_cartographie-1095203942-art157339.html
- ❖ <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Cartographie>
- ❖ <https://www.lesnumeriques.com/voiture/cartographie-hd-element-cle-voiture-autonome-a3501.html>
- ❖ <https://www.numerama.com/tech/262719-decouvrez-comment-une-voiture-autonome-visualise-la-route.html>
- ❖ <https://www.voiture-autonome.net/economie/voiture-autonome-preferences-conducteur-550.html>

Utilisation quotidienne

- ❖ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Beidou>
- ❖ <https://fr.wikipedia.org/wiki/GLONASS>
- ❖ <http://www.montre-cardio-gps.fr/quest-ce-qui-est-mieux-avec-le-glonass-quavec-le-gps/>
- ❖ <https://www.waze.com/fr/>
- ❖ <https://support.google.com/waze/?hl=fr#topic=6273402>
- ❖ <https://www.leblogauto.com/2018/03/budget-us-100-millions-usd-aux-vehicules-autonomes.html>