



Université Hassan II

Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de
Mécanique

جامعة الحسن الثاني بCasablanca
 UNIVERSITÉ HASSAN II DE CASABLANCA



Département Génie électrique

Filière : Génie Electrique, Systèmes Embarqués et Télécommunication

Rapport de Projet de Fin d'Année

Les Voitures Autonomes : Application des algorithmes de Deep Learning pour l'ADAS de la reconnaissance et la classification des obstacles

Soutenu le le 08-09-2020 par :

BELKHAIR Abir

BENABELLAH Ibtihal

Encadré par :

Pr. Essaid SABIR

Devant les membres du jury :

- **Pr. ESSAID SABIR**

Encadrant

- **Pr. ESSADIK**

Jury

Table des matières

Abstract / Résumé	3
I- Introduction Générale	4
1. Contexte du projet	4
2. Objectifs du projet	4
3. Méthodologie du travail.....	4
II- Etat de l'Art	6
1- Aspects généraux	6
a. Historique.....	6
b. Avantages	10
c. Législation	20
2- Aspects Techniques.....	24
a. Niveaux d'Autonomie des VAC.....	24
b. Connectivité – Architecture Réseaux	26
c. Acquisition d'information.....	31
d. Traitement de l'information	36
e. Intelligence artificielle pour la conduite autonome	38
1) Algorithmes de ML supervisé	40
2) Algorithmes de ML non supervisé.....	40
3- Défis Technologiques	43
4- Conclusion.....	43
III- Simulation d'une conduit assisté.....	44
1. Présentation des données de test.....	44
2. Environnements de la simulation	44
3. Choix de l'algorithme de reconnaissance et de classification.....	66
4. Comparaison des performances entre les algorithmes de ML.....	74
5. Conclusion.....	75
IV- Conclusion & perspectives.....	75
Références	76

Abstract / Résumé

La classification automatique des flux de trafic est utile pour révéler les embouteillages et les accidents. De nos jours, les routes et autoroutes sont équipées d'une énorme quantité de caméras de surveillance, qui peuvent être utilisées pour l'identification des véhicules en temps réel, et ainsi fournir une estimation du flux de trafic. Ce projet fournit une analyse comparative des détecteurs d'objets de pointe, des caractéristiques visuelles et de la classification modèles utiles pour mettre en œuvre des estimations de l'état du trafic. Plus précisément, trois détecteurs d'objets différents sont comparés pour identifier les véhicules. Quatre techniques d'apprentissage automatique sont successivement utilisées pour explorer cinq caractéristiques visuelles à des fins de classification.

Ce projet a pour but de tester sur Matlab et Python à l'aide de OpenCv (Open Computer vision) ces algorithmes de Deep Learning pour la détection d'objets et obstacles notamment la classification en se basant principalement sur les algorithmes de Haar Cascades et Yolo V3, et pour Matlab en utilisant les Toolboxes de Computer Vision, Image processing et Machine Learning. Finalement on procède par faire une comparaison qualitative entre ces algorithmes.

I- Introduction Générale

La voiture autonome est une voiture conçue de manière à pouvoir rouler partiellement ou entièrement sans l'intervention d'un conducteur. Un véhicule est dit totalement autonome lorsqu'il est équipé d'un système de pilotage automatique. Il peut circuler avec des passagers sur n'importe quel type de route, sans la moindre intervention humaine. Une voiture autonome permet à ses passagers d'être transportés en toute sécurité. Elle doit être sans danger aussi pour les autres usagers de la route (Le coût d'un véhicule autonome est aujourd'hui compris entre 270 000 et 360 000 euros).

1. CONTEXTE DU PROJET

Les routes et autoroutes urbaines ont, de nos jours, de nombreuses caméras de surveillance initialement installées pour diverses raisons de sécurité. Les vidéos de trafic provenant de ces caméras peuvent être utilisées pour estimer le trafic état, pour identifier automatiquement les embouteillages, les accidents et les infractions, et ainsi aider la gestion du transport pour faire face aux aspects critiques de la mobilité. Dans le même temps, ces informations peuvent également être utilisées pour planifier la stratégie de mobilité routière à moyen et long terme. Ceci est un exemple clair d'une ville intelligente application ayant également un fort impact sur la sécurité des citoyens.

Ainsi pour améliorer le système de l'ADAS surtout pour les voitures autonomes car on a besoin que les voitures puissent identifier automatiquement les obstacles et calculer les distances de collision.

2. OBJECTIFS DU PROJET

Dans ce projet, on désire de travailler sur l'apprentissage automatique et l'apprentissage profond avec une base de données contenant des images et des vidéos représentatives de ce qu'on peut rencontrer dans le vrai environnement dont le but principal est la détection, la reconnaissance, l'évitement des objets et leurs classification en utilisant des algorithmes (on se contente tout d'abord des piétons) et savoir ainsi les algorithmes les plus performants concernant la détection et la classification et faire une comparaison entre eux.

3. MÉTHODOLOGIE DU TRAVAIL

La méthodologie qu'on va adopter dans notre projet est de se baser en premier lieu sur Matlab pour se familiariser avec le sujet et acquérir plus de compétences en programmation en utilisant les

ENSEM Casablanca

différentes boîte à outils (TOOLBOX) puis sur Python pour étudier les algorithmes de reconnaissance et de classification les plus utiles et efficaces avec une rapidité de réponse (des algorithmes ultra rapides), où on va essayer d'implémenter les algorithmes d'apprentissage sur le Cloud en utilisant notre données (Dataset) qui se compose principalement des scènes de conduite en vidéos.

II- Etat de l'Art

1- ASPECTS GÉNÉRAUX

a. Historique

L'apparition des voitures autonomes a été effectuée lors des années 1920, c'était un projet flexible qui a subi plusieurs transformations successives, des essais et des travaux réalisés par plusieurs chercheurs et experts :

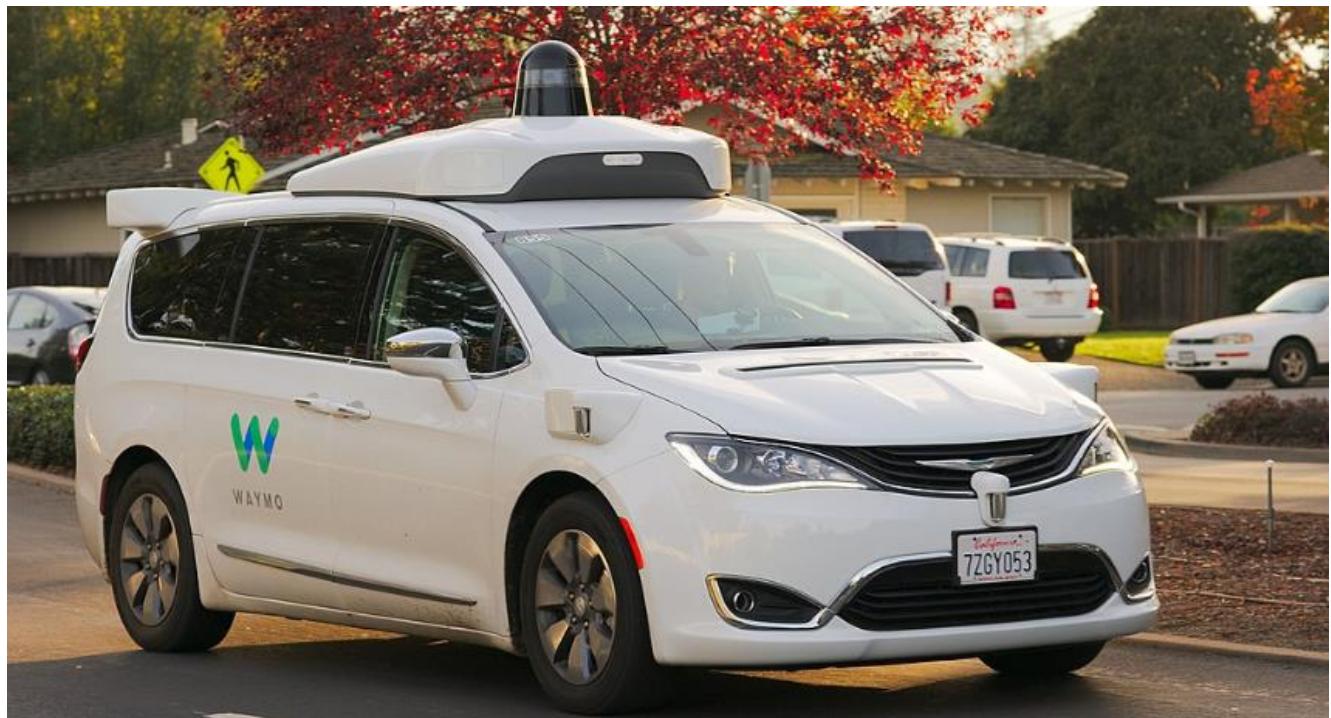
En effet, les premières voitures véritablement autonomes sont apparues dans les années 1980, avec les projets Navlab et ALV de l'Université Carnegie Mellon en 1984 et le projet Eureka Prometheus de Mercedes-Benz et de la Bundeswehr Munich en 1987. Depuis lors, de nombreuses grandes entreprises et organisations de recherche ont développé des véhicules autonomes fonctionnels, dont Mercedes-Benz, General Motors, Continental Automotive Systems, Autoliv Inc., Bosch, Nissan, Toyota, Audi, Volvo, Vislab de l'Université de Parme, de l'Université d'Oxford et de Google.

En juillet 2013, Vislab a présenté Braive, un véhicule qui se déplaçait de manière autonome sur une route à trafic mixte ouverte à la circulation publique.

Depuis 2019, 29 États américains ont adopté des lois autorisant les voitures autonomes. En Europe, des villes de Belgique, de France, d'Italie et du Royaume-Uni prévoient d'exploiter des systèmes de transport pour les voitures sans conducteur et l'Allemagne, les Pays-Bas et l'Espagne ont autorisé les essais de voitures robotisées dans le trafic.

Plusieurs projets ont été réalisés depuis l'apparition des concepts de base des voitures autonomes

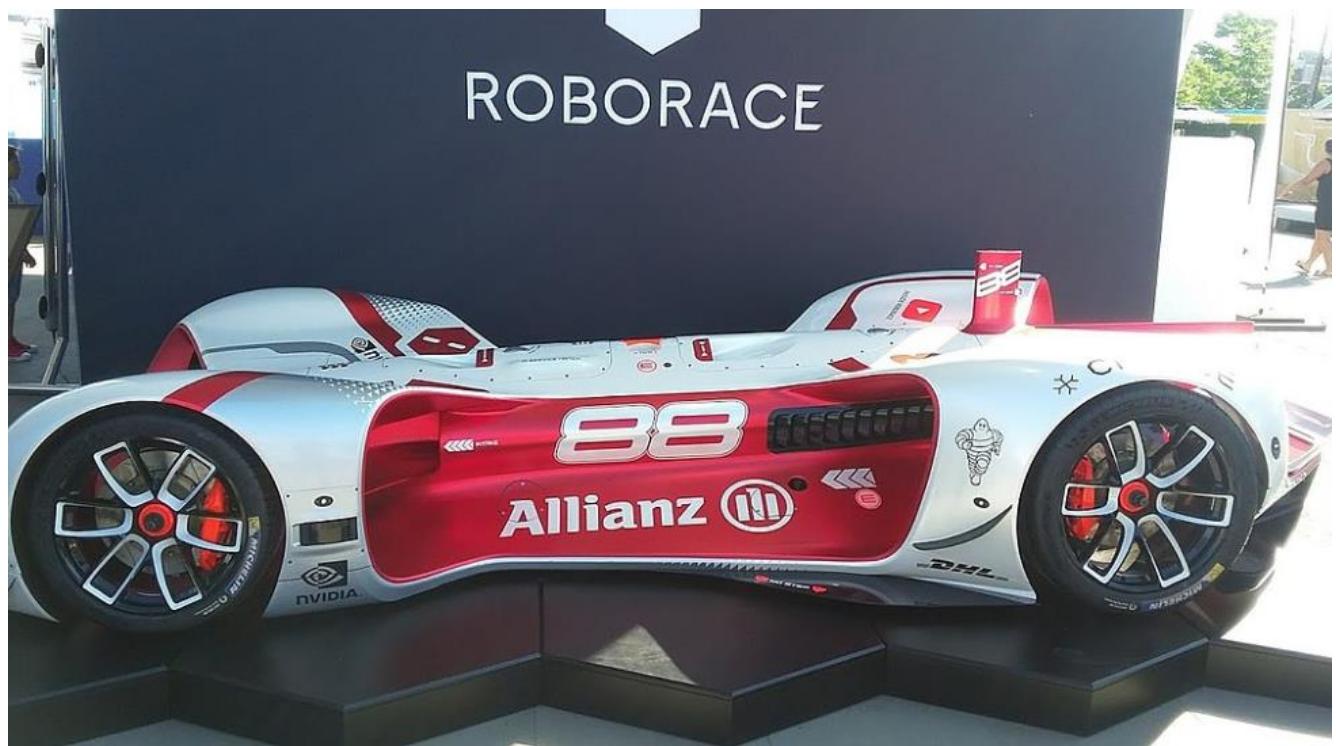
Projets notables:



Le Chrysler Pacifica équipé de la technologie autonome Waymo.



Voiture autonome dont on distingue certains capteurs sur le toit.



Une voiture sans pilote Robocar en présentation au grand prix de Formule E de 2017 à New York.



Les véhicules autonomes Navlab



Véhicule Volvo XC90 modifié par Uber à San Francisco

- ✓ Le Grand Challenge de DARPA a eu lieu en 2004, 2005 et 2007 en tant que compétition de conduite autonome avec des millions de dollars en prix.
- ✓ Le projet de voiture sans conducteur maintient une flotte d'essai de véhicules autonomes qui avaient parcouru 300 000 miles (480 000 km) sans accident grâce à une machine en août 2012. En avril 2014, 700 000 miles parcourus par les véhicules autonomes (1 100 000 km) étaient enregistrés. En décembre 2016, 3 219 000 km étaient réalisés.
- ✓ Le projet 'CE EUREKA Prometheus', d'une valeur de 800 millions d'euros, a mené des recherches sur les véhicules autonomes de 1987 à 1995. Parmi ses points culminants figuraient les véhicules à deux robots qui roulaient longtemps : Ces véhicules exerçaient les plus longs voyages à jamais effectués à ce temps-là par des véhicules sans pilote.
- ✓ Le véhicule ARGO est le précurseur du véhicule Braive qui a été développé en 1996 et présenté au monde en 1998. Or Braive a été développé en 2008 et démontré en 2009 lors de la conférence IEEE IV en Chine.
- ✓ En 2012, le Dynamic Design Lab de Stanford, en collaboration avec le Volkswagen Electronics Research Lab, a produit Shelley, une Audi TTS conçue pour la grande vitesse (supérieure à 100 miles par heure (160 km / h)) sur un circuit de course.
- ✓ Le projet WildCat 2011 de l'Université d'Oxford a créé un Bowler Wildcat modifié qui est capable de fonctionner de manière autonome en utilisant une suite de capteurs flexible et diversifiée.
- ✓ La Volkswagen Golf GTI 53 + 1 est une Volkswagen Golf GTI modifiée capable de conduire de manière autonome et Toyota a développé des voitures prototypes avec des capacités autonomes.
- ✓ En février 2013, l'Université d'Oxford a dévoilé le projet RobotCar UK qui est une voiture autonome peu coûteuse capable de passer rapidement de la conduite manuelle au pilotage automatique sur les itinéraires appris.

- ✓ Israël a déployé des efforts importants de recherche pour avoir un véhicule de patrouille frontalière entièrement autonome.
- ✓ L'Oshkosh Corporation a développé un véhicule militaire autonome appelé TerraMax et va intégrer ses systèmes dans certains futurs véhicules.
- ✓ En 2015, Uber a annoncé un partenariat avec Carnegie Mellon pour développer ses propres voitures autonomes.
- ✓ En juin 2018, l'autorisation a été étendue à toute la ville de Boston avec un cadre pour s'étendre à d'autres villes de l'est du Massachusetts.
- ✓ Prévisions : 745 000 véhicules autonomes en circulation en 2023, En 2018 ils n'étaient que 137 000.

b. Avantages

D'un point de vue économique, le développement des voitures autonomes constitue une opportunité en or pour les constructeurs automobiles. Les particuliers ne sont pas non plus en reste et pourraient voir leur quotidien évoluer grâce à ces voitures nouvelles générations. Il s'agit de plusieurs avantages parmi lesquelles :

- **Réduire le stress lors d'un trajet :**

Les conducteurs n'auront plus à se soucier d'éléments comme l'embrayage ou encore la gestion de la vitesse et pourront être plus détendus au cours de leur trajet (spécialement si le trajet est long) et il ne s'agit plus des risques liés à une fatigue au volant, par contre il s'agit d'une sécurité garantie de tous les usagers de la route avec une possibilité de dormir toute la nuit en toute confiance.

En outre, les automates de transport **évitent tout épisode** en lien avec la conduite. Plus de stress, ou de crainte de ne pas arriver à destination ou de se **tromper d'itinéraire** et rater son rendez-vous.

Ils n'auront également plus à s'efforcer d'être concentrés en permanence afin d'être en mesure de réagir rapidement face à des imprévus par contre ils peuvent lire des bouquins ou travailler sur son ordinateur ou bien tout simplement se relaxer en attendant que la voiture sorte seule du trafic.

- **Limiter le nombre d'accidents de la route :**

La plupart des accidents de la route sont dus d'une erreur humaine. Donc il va s'agir probablement d'une limitation du nombre d'accidents par l'existence des voitures autonomes sur le long terme car la quantité d'erreurs humaines serait moins importante (Une diminution de 80% des accidents de la route, puisqu'elles sont plus fiables que les humains car elles ne commettent pas les erreurs humaines, qui sont à l'origine de 80% des accidents).

ENSEM Casablanca

Elles réduisent notamment le temps de réaction et peuvent donc freiner plus rapidement. Les voitures connectées pourront quant à elles recevoir des informations provenant d'autres véhicules connectés afin de la prévenir des éventuels accidents dans les angles morts.

En effet, les voitures sans chauffeurs détectent grâce à leur technologie telle que le lidar, le radar, le GPS toutes les voitures périphériques et anticipent leur conduite. Cela permet à la voiture d'éviter tous les obstacles qui se présentent sur le chemin tout en respectant le code de conduite sur les routes. De cette manière, les voitures sans chauffeurs contribuent à réduire les cas d'embouteillage sur les routes par une circulation régulée.

- **Réduction des temps de déplacement et des distances de sécurité :**

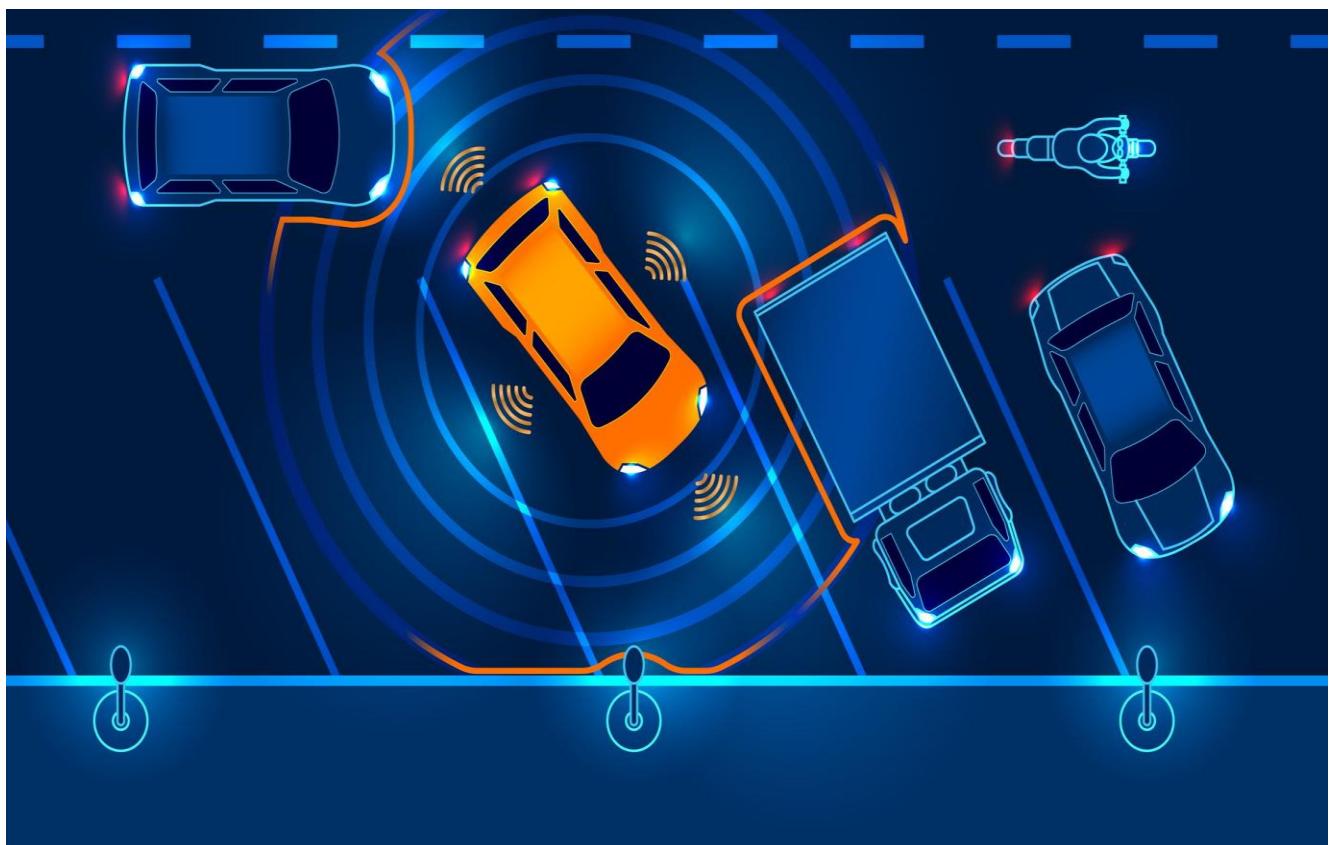
Les voitures autonomes pourront réduire de 90% du temps de déplacement grâce à une amélioration de la fluidité du trafic. En effet, elles optimisent mieux les flux et anticipent plus rapidement, ce qui entraîne un gain de temps.

Les voitures autonomes permettraient en outre de réduire les distances de sécurité, puisqu'elles possèdent un temps de réaction plus rapide que celui des humains.

- **Se garer avec plus de facilité et pas de nécessité d'avoir un permis:**

On notera que l'un des avantages de ce type de voiture est **sa capacité à se garer sans problème** ce qui conduira très probablement à une optimisation de l'espace de stationnement. En effet, selon une estimation, les voitures autonomes pourront libérer près de 15% de places de parking en plus grâce aux différents capteurs et caméras. Cela sera particulièrement bénéfique dans les villes où le stationnement n'est pas toujours aisé.

Elle peut même vous déposer à un endroit et se chercher après un parking pour se garer. Avec de telles dispositions, elles peuvent inciter à **hausser la limite de vitesse** afin de faciliter une circulation fluide. Elles permettront aux personnes handicapées et aux enfants de voyager en toute liberté sans être obligés d'avoir au préalable un permis de conduire.



- **Une conduite plus économique :**

- Pour un trajet donné, les voitures autonomes savent exactement combien de carburant utiliser.
- En outre, l'automatisation permettrait à 4 fois plus de véhicules de circuler, et donc ça permet des économies de temps et d'argent.
- De plus, grâce à leur système électronique intégré, elles sont capables de prévoir les chemins les plus courts et les plus économiques. Les dépenses de carburant s'en trouveront donc limitées.

- **Vers plus d'autonomie pour les personnes en situation de handicap :**

Trop de personnes ont des difficultés à se déplacer. Les transports en commun, bien souvent mal adaptés, n'aident pas à changer cet état de fait. Cependant les voitures autonomes contribuent à favoriser l'autonomie et la mobilité des personnes en situation de handicap. Le recours à des voitures autonomes pourrait ainsi leur éviter le recours aux services publics ou d'un tiers comme un service de taxi par exemple et partant de bouger sans problème.

- **Sur le plan légal :**

- Les assurances **perdront** sans nul doute leur attrait ou du moins leur pouvoir commercial, ce qui s'en répercute sur les tarifs de leur forfaits, et ce toujours aux profits **des utilisateurs**.
- Moins de vol, due à un système de sécurité et de géolocalisation plus performant que jamais.

- **Réduction des taux de pollution Sur le plan environnemental :**

Avec les voitures autonomes, les véhicules pourront s'adapter à toutes les circonstances et conduire les passagers en toute sûreté. Ce type de véhicule peut anticiper sur l'allumage d'un feu rouge, ou prendre par des raccourcis pour vous amener à une destination en un temps record. De ce fait, il contribue à la réduction de la quantité de CO₂ émise dans l'atmosphère par les voitures. En effet, en réduisant le trajet parcouru par la voiture, on réduise sa consommation de carburant et donc son émission de dioxyde de carbone.

1- PERSPECTIVES

Les progrès techniques devraient permettre d'arriver, dans les années à venir, à une conduite automobile complètement autonome, s'affranchissant de la supervision du conducteur. On peut en particulier s'attendre au développement des voitures autonomes en environnement autoroutier et périurbain dès les prochaines années :

✓ **Percevoir l'environnement avec des capteurs plus performants et plus divers**

Le principal défi du développement de la voiture autonome est de détecter et comprendre l'environnement complexe qui l'entoure. Cet environnement inclut d'autres véhicules, autonomes ou non, une signalisation qui peut être de qualité variable, des piétons, des cyclistes et des trottinettes. Ces trois dernières catégories sont vulnérables et ont des trajectoires difficiles à prédire. Contrairement à une voiture, si un piéton avance tout droit à un instant, il y a des chances pour qu'à l'instant suivant il ait fait un quart de tour pour s'engager sur la voie et traverser.

Le système autonome est équipé de capteurs, qui sont l'équivalent des yeux et des oreilles du conducteur traditionnel. Ces capteurs se diversifient et sont en constant progrès depuis quelques années. Mais aucun capteur individuel, n'est aussi efficace qu'une paire de bons yeux. La clé du défi est donc de varier les technologies utilisées afin d'assurer une complémentarité des capteurs et une redondance de la détection.

La complémentarité des capteurs consiste à utiliser le meilleur de chaque technologie pour maximiser les performances de détection. Par exemple, une caméra est idéale pour détecter les caractéristiques sémantiques d'un objet : différencier une voiture et un vélo, détecter et lire un panneau, etc. Les lasers scanners (ou lidars), sont les plus aptes à détecter un objet lointain (jusqu'à 300 m) avec une précision centimétrique. S'ajoutent les radars qui exploitent l'effet Doppler afin de mesurer la vitesse des objets environnants et les ultrasons qui détectent principalement les objets

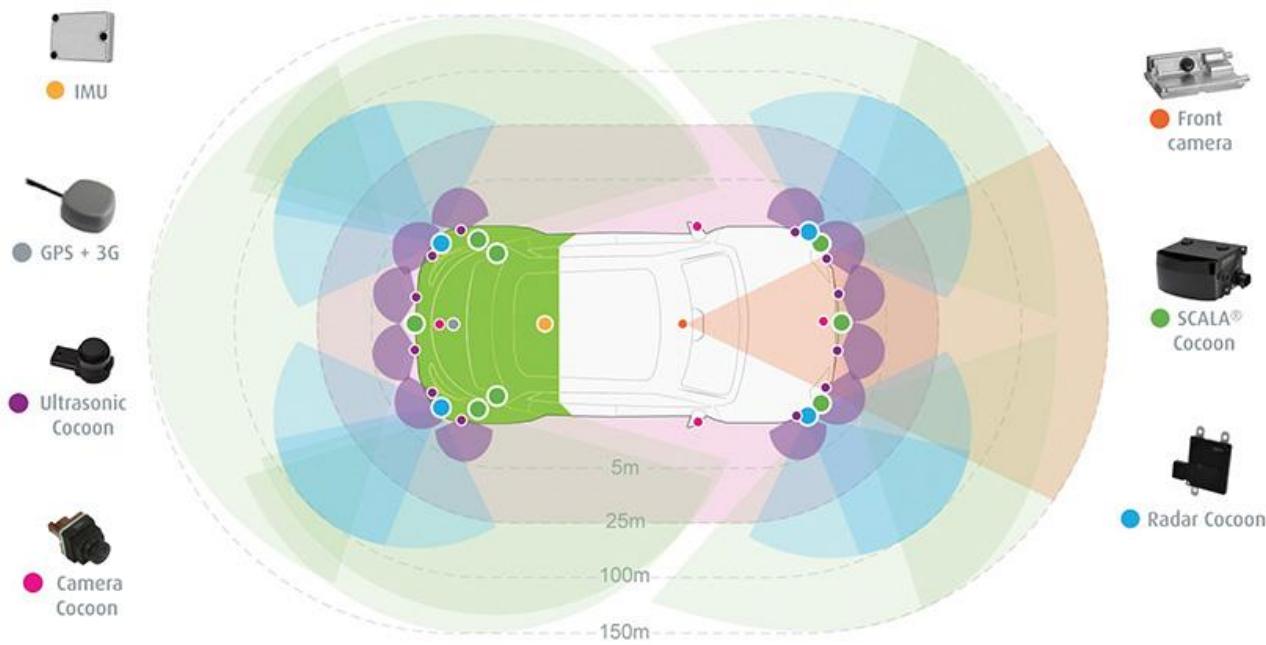
proches. L'objectif est donc de fusionner les informations de tous ces capteurs afin de préciser les caractéristiques d'un objet.

Au-delà de cette complémentarité des capteurs, leur diversité permet d'assurer une redondance de la fonction. Par exemple, quand les conditions de visibilité sont faibles (nuit, brume, etc.), les lasers scanners et les radars continuent à détecter l'environnement avec suffisamment d'information pour éviter tout accident. On tire aussi parti des progrès de l'intelligence artificielle, notamment des techniques d'apprentissage profond et le traitement d'images.

✓ Se localiser avec précision



Un autre défi tout aussi important pour un véhicule autonome est sa localisation. En milieu urbain, celle-ci doit être précise à une dizaine de centimètres. Les technologies de GPS plus précises ont un coût beaucoup trop élevé et sont toujours affectées par les pertes de signaux intermittents en environnement urbain ou dans les tunnels. L'arrivée de cartographies très précises des routes (cartes HD) permet d'atteindre cette précision de localisation tout en se passant d'un tel matériel. Grâce aux capteurs, le système détecte des éléments de repère environnants, les marquages au sol et l'infrastructure, et les faire coïncider avec la cartographie pour déduire sa position avec précision. L'autre avantage est de pouvoir faire automatiquement remonter les informations au fournisseur de cartographie et mettre à jour la carte en temps réel en fonction des changements détectés dans l'environnement.



✓ Prendre des décisions sûres et réactives

L'objectif premier des voitures autonomes est de réduire les accidents de la route, dont plus de 90 % sont dus aux usagers. En évitant les problèmes d'alcoolémie, de fatigue et de distraction, la voiture autonome a tout ce qu'il faut pour réduire drastiquement ces accidents. Mais le défi est avant tout dans l'acceptation sociale de la technologie. Un accident causé par une voiture autonome sera considérablement moins toléré qu'un accident causé par un conducteur. Il est ainsi en général considéré que le risque d'accident pour un véhicule autonome doit être trois ordres de grandeur en dessous de celui d'un conducteur humain.

L'intelligence du véhicule doit donc être capable de gérer une diversité de cas d'usage extrêmement élevée et d'y réagir de façon à la fois sûre et naturelle pour ses utilisateurs. Pour cela, différentes approches existent et sont en général combinées.

-L'approche « classique » consiste à modéliser l'environnement et le comportement potentiel des usagers et d'introduire dans les programmes du véhicule un ensemble de règles que le véhicule doit respecter (s'arrêter au feu rouge, ne pas franchir une ligne continue, etc.). Cela peut s'apparenter, pour un être humain, à l'apprentissage du code avant le passage du permis de conduire. Cette approche ne permet cependant pas de gérer tous les cas d'utilisation qui sont trop nombreux.

-L'autre approche qui vient en complément est celle de l'apprentissage (que l'on peut comparer aux heures de conduite et à l'expérience d'un conducteur). Les techniques d'apprentissage profond permettent alors de gérer un ensemble de cas d'usage beaucoup plus grand. En poussant l'idée au plus loin, des concepts de véhicule autonome ont été présentés, pour lesquels toute la chaîne de traitement depuis les données capteurs jusqu'aux commandes volant et moteur est un gigantesque réseau de neurones entièrement construit par apprentissage.

✓ Les nouveaux acteurs de l'innovation

L'automatisation de la conduite ouvre l'industrie automobile à de nombreux nouveaux acteurs. Les équipementiers traditionnels ajoutent à leurs portefeuilles des capteurs considérés comme nécessaires et acquièrent de l'expertise dans certaines briques logicielles. De nombreuses start-up proposent des capteurs innovants permettant de faciliter la perception et la localisation.

On peut ajouter à ces acteurs proches de l'automobile des acteurs d'écosystèmes parallèles : des géants de l'industrie de l'IT comme Intel et Nvidia investissent massivement pour pénétrer le marché automobile avec des puces électroniques permettant d'améliorer les algorithmes.

Les GAFA utilisent leurs atouts en informatique pour avancer dans ce domaine. Des entreprises de flottes de véhicules développent des navettes autonomes et des taxis robots. Enfin, les acteurs de la 5G s'intéressent de près aux besoins des voitures autonomes et des fournisseurs de cartes très précises se développent.

✓ Un écosystème en pleine mutation

Toute l'activité de développement d'un véhicule autonome, de sa spécification avec un ensemble de cas d'usage à sa validation sur des données simulées, enregistrées ou en conduite réelle, en passant par le développement d'algorithmes de plus en plus fondés sur de l'apprentissage, nécessite une quantité de données toujours plus grande. Il s'agit d'un véritable défi pour les constructeurs et équipementiers qui renforcent pour cela leurs équipes de Data Science. Le défi est d'autant plus

grand que la donnée doit être annotée pour être exploitée, c'est-à-dire qu'une vérité terrain doit lui être associée, indiquant l'état réel de l'environnement ou la décision que le véhicule est censé prendre.

Les progrès technologiques de la voiture autonome s'accélèrent et l'écosystème s'agrandit. L'état de l'art des capteurs, des algorithmes d'intelligence artificielle et des calculateurs doit être maîtrisé et en même temps porté à un niveau de maturité et de sûreté automobile suffisant. Cela bouleverse les méthodes de développement traditionnelles et demande aux acteurs de l'automobile de s'adapter afin de tenir compte d'un besoin étendu en masse de données et en méthodes de validation efficaces. C'est également une opportunité pour eux d'étendre leur positionnement et pour des nouveaux acteurs d'émerger à l'aide d'innovations judicieuses.

✓ Un changement de paradigme pour l'ingénieur

Historiquement, le développement d'un véhicule nécessite une validation de sûreté portant essentiellement sur les défaillances internes, notamment électroniques. La question que se posait l'ingénieur était si le système va continuer ou non à fonctionner dans son état nominal. Cette question est toujours aussi importante pour le véhicule autonome mais ne suffit plus : il est maintenant nécessaire de s'intéresser aussi à l'environnement autour du véhicule et aux différents événements qui peuvent s'y produire. La question que l'ingénieur doit se poser est alors si le système suffit pour faire face à tous les événements extérieurs possibles. Une telle validation est un énorme défi pour tous les acteurs de l'industrie automobile, car le nombre de cas d'utilisation est infini.

De nouveaux standards sont donc en cours de développement.

2- LIMITES ET INCONVENIENTS :

Potentiellement défini comme le véhicule du futur, la voiture autonome suscite le débat. Si les avantages sont nombreux, les inconvénients et les limites le sont tout autant :

• Une technologie qui reste encore à parfaire

Un conducteur humain peut faire des erreurs au volant, c'est un fait. Toutefois, cela peut aussi être le cas de véhicules autonomes. Des fortes pluies, une chute de neige intensive ou de la neige fondu au sol sont autant d'éléments pouvant perturber le fonctionnement du véhicule autonome et des

caméras dont il est équipé. D'autres éléments, comme l'apparition soudaine d'animaux devant le véhicule, sont aussi des sources d'interrogation.

En effet, les intempéries telles que la neige fondu et les fortes pluies peuvent interférer avec les capteurs et les caméras. Cela peut fausser les informations reçues et entraîner la mise en danger des personnes situées dans l'habitacle. En fait, la technologie laser des capteurs est troublée pendant les fortes pluies et la caméra se voit parfois la vision obstruer par la neige :

- **Les risques d'ingérence et de piratage informatique**

Le fonctionnement des voitures autonomes repose sur un système informatique. Comme tout système informatique, il est susceptible de faire l'objet de défaillances ou de tentatives de piratage. En fait, Le piratage informatique du système interne de la voiture compromet la sécurité du véhicule et peut entraîner son contrôle à distance. De plus, un hacker peut accéder à vos informations personnelles telles que vos numéros de téléphone et de carte de crédit ou votre lieu de résidence.

- **Formalités administratives en cas d'accident**

Lors d'un incident sur la route, les conducteurs concernés doivent établir un constat. Ce dernier doit déterminer les responsabilités de chacun et faciliter la prise en charge des organismes d'assurance auto. En cas d'accident impliquant un véhicule autonome, l'établissement des responsabilités de chacun semble plus complexe car plus de parties prenantes doivent être prises en considération. Le constructeur de la voiture, le conducteur mais aussi l'éditeur du logiciel utilisé dans le véhicule sont tous susceptibles d'être mis en cause.

- **Le coût**

Les voitures autonomes présenteront très probablement un coût nettement plus important que les voitures classiques en raison de leur technologie avancée. Elles ne seront donc pas accessibles à tous les porte-monnaie.

En fait, ces véhicules coûtent très chères, elles ne seront donc pas commercialisées à prix abordable avant environ 2030 car leurs équipements coûtent en moyenne 120 milles euros.

- **Limites de conduction**

Un robot aurait du mal à appréhender les signaux humains. En effet, les voitures autonomes ne voient pas les péages ni les zones travaux; En outre, elles ne reconnaissent pas bien les panneaux de signalisation routière et autorisent à doubler par la droite (sauf Tesla);

En plus les modes “autopilote” ne fonctionnent pas sur des routes sans marquage des lignes; elles ne maîtrisent pas toutes les situations d’insertion plus ou moins rapides et elles ne voient pas les ronds-points, terre-pleins et autres équipements de délimitation.

- **Pertes d'emplois**

L'autonomisation des taxis, bus et autres camions aura des conséquences lourdes sur les conducteurs et leur emploi donc il y aura une disparition des métiers des chauffeurs VTC, de taxi, coursier ou de camions. En outre, les voitures autonomes pourraient supprimer des métiers comme ceux de l'auto-école car il n'y aura peut-être plus besoin de permis de conduire ou ceux des assureurs car les conducteurs ne seront plus responsables des accidents dans lesquels ils sont impliqués.

Ce qui aurait un impact négatif sur le taux de chômage et sur l'économie. L'impact sur l'économie est difficilement mesurable, mais une telle révolution des transports ne peut qu'entraîner une crise sociale.

- **La vitesse de déplacement**

Pour l'instant la voiture autonome ne peut pas dépasser 60 KM/H car à plus de 60 KM/H la caméra de la voiture autonome a un temps de réaction plus long que celui d'un humain.



L'éthique est un problème encore plus important que la justice ou même le dysfonctionnement de la voiture. Les concepteurs de voiture autonome ne veulent aucune distinction entre les humains (enfants/personne âgée).

✚ Les limites de la compatibilité

La commercialisation de la voiture autonome peut engendrer un conflit entre les compagnies qui vont faire une course à la voiture autonome la plus performante. L'aspect économique étant primordiales pour les sociétés, il se peut qu'elles ne veuillent pas partager le même réseau pour se déplacer. Ainsi ceci risque d'engendrer des problèmes d'incompatibilité entre les voitures. Si ces voitures ne sont pas compatibles, la conduite serait moins bien organisée et il pourrait y avoir des complications au niveau du réseau routier.



c. Législation

Plusieurs pays ont autorisé les notions des voitures autonomes, mais ceci dépend de chaque pays :

✓ États-Unis

Cinq États des États-Unis autorisent les véhicules autonomes sur leur territoire :
le Nevada (depuis juin 2011), la Floride (depuis avril 2012), la Californie (depuis septembre 2012),
le Michigan (fin 2013), et Washington (début 2013).

ENSEM Casablanca

Une dizaine d'États américains (dont New York, Hawaï, New Jersey, Oklahoma, etc.) ont légalisé ces véhicules en 2015.

Dans un rapport de l'association spécialisée sur les questions automobiles publié en mars 2017, 54 % des Américains estimaient ne pas être rassurés de partager à l'avenir la route avec des voitures sans conducteur.

✓ Québec

Le code de la sécurité routière québécois prévoit qu'un véhicule autonome est un véhicule routier équipé d'un système de conduite autonome qui a la capacité de conduire un véhicule conformément au niveau d'automatisation de conduite 3, 4 ou 5 de la norme J3016 de la SAE International .

✓ France

Le véhicule à pilotage automatique fait l'objet de l'un des 34 plans de la « nouvelle France industrielle » annoncés en octobre 2013. D'autre part, l'Assemblée nationale autorise le 14 octobre 2014 le principe des tests sur route du véhicule à délégation totale ou partielle de conduite , dans le cadre de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte. Ainsi 2 000 km de voie devraient être ouverts dès 2015 sur le territoire national notamment à Bordeaux, en Isère, en Île-de-France et à Strasbourg. Renault et le laboratoire de recherche Heudiasyc (unité mixte entre l'université de technologie de Compiègne et le CNRS) travaillent sur le sujet depuis au moins 10 ans, et ont créé un laboratoire de recherche commun (Sivalab) à Compiègne pour travailler sur la localisation des véhicules autonomes, leur fiabilité, leur intégrité et leur précision. En 2016, le conseil des ministres du 3 août 2016, autorise le premier essai de voitures autonomes via une ordonnance permettant de contourner la loi internationale indiquant que le conducteur d'un véhicule doit toujours avoir ses deux mains sur le volant pendant la conduite donc il faut que le conducteur soit toujours présent, en état de vigilance, derrière le volant. En 2017, un appel à projets I-PME a été annoncé, doté d'un fonds de 200 000 euros, et l'État pourrait soutenir le projet de Continental Automotive France (si la Commission européenne le valide), dans le cadre du programme d'investissements d'avenir (PIA). Un programme industriel pour le véhicule connecté doit se doter d'une feuille de route avant mi-2017, portant notamment sur la Cybersécurité, la gestion des données et la normalisation des infrastructures. Il bénéficiera d'un « centre d'essai des véhicules autonomes » (prévu en 2018 au centre d'essais de l'Utac Ceram, à Linas-Montlhéry dans l'Essonne, financé à hauteur de 7,4 millions d'euros par le PIA).

ENSEM Casablanca

En cas d'accidents, la responsabilité pénale reste celle du conducteur car ce sont des voitures autonomes avec un conducteur, par contre la société qui a obtenu l'autorisation de mettre la voiture sur la route pourrait être tenue responsable civilement. Beaucoup d'acteurs appellent la mise en place d'enregistreurs dans le véhicule pour déterminer qui du conducteur ou de l'ordinateur était actif au moment d'un accident.

Enfin, avec l'arrivée éventuelle de voitures 100 % autonomes, l'assurance automobile telle qu'on la connaît aujourd'hui pourrait disparaître.

✓ Allemagne

En 2015, l'Allemagne a annoncé l'ouverture de zones d'essai sur autoroute.

Une étude d'EY menée en Allemagne a ainsi montré que seulement 26 % des Allemands s'imaginent monter futurement à bord d'un véhicule autonome et 18 % le conduire.

Convention de Vienne

La Convention de Vienne, qui définit les règles internationales pour la circulation routière, stipule que le conducteur doit toujours rester maître de son véhicule mais autorise depuis 2016 les systèmes automatisés "à condition qu'ils puissent être contrôlés voire désactivés par le conducteur".

En effet, en mars 2016, la Commission économique pour l'Europe des Nations unies (UNECE) a annoncé une révision de la Convention de Vienne sur la circulation routière. Les systèmes de conduite automatisée seront explicitement autorisés sur les routes, à condition qu'ils soient conformes aux règlements des Nations unies sur les véhicules, ou qu'ils puissent être contrôlés et désactivés par le conducteur ; néanmoins les véhicules sans conducteur totalement autonomes restent encore interdits à la circulation. L'amendement de 2016 vise à prendre en compte les interactions entre le conducteur et le véhicule, telle que la capacité pour le véhicule de corriger des oubli humains, et la capacité pour le conducteur de prendre la main sur le véhicule, en conformité avec la réglementation technique.

✓ Europe

Suite à l'amendement de 2016 de la convention de Vienne, du parlement européen et du conseil du 27 novembre 2019, des définitions sont données pour la notion d'automatisation et d'autonomie. -«véhicule automatisé»: un véhicule à moteur conçu et construit pour se déplacer de façon autonome pendant certaines périodes de temps sans supervision continue de la part du conducteur, mais pour lequel l'intervention du conducteur demeure attendue ou requise;

ENSEM Casablanca

-«véhicule entièrement automatisé»: un véhicule à moteur qui a été conçu et construit pour se déplacer de façon autonome sans aucune supervision de la part d'un conducteur;

✓ Atlantique

De l'autre côté de l'Atlantique, la chambre des représentants américaine a approuvé une loi censée faciliter le déploiement des véhicules autonomes, en empêchant les Etats d'imposer des réglementations trop restrictives.

Malgré l'engouement des constructeurs face à cette technologie, de nombreux gouvernements entendent bien réglementer la chose. C'est pourquoi une cinquantaine de pays dont la France ont adopté à l'ONU **une législation inédite sur les voitures autonomes** dont l'entrée en vigueur est prévue en **2021**. Plus précisément, ce règlement a été adopté par le Forum mondial pour l'harmonisation des règlements concernant les véhicules de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies (**UNECE**).

Derrière cette longue appellation se regroupent pas moins de **53 pays** européens, asiatiques et africains. Si le Japon et l'Allemagne ont prévu d'appliquer cette législation dès 2021, la Commission européenne a fait savoir que ce règlement s'appliquerait ultérieurement dans les autres pays de l'UE. Les États-Unis devront s'y plier s'ils veulent vendre leurs véhicules à l'étranger.

Des exigences strictes en matière de sécurité concernant les systèmes de conduite autonome :

-Activation du système uniquement sur les routes avec terre-plein central où les piétons et cyclistes sont interdits.

-Vitesse maximale en conduite autonome limitée à 60 km/h.

-Tous les écrans utilisés pour le divertissement doivent être automatiquement déconnectés au moment où le conducteur reprend la main.

En outre, l'UNECE requiert également l'intégration d'un **système pour vérifier la présence et la disponibilité du conducteur**. Pour ce faire, ce dispositif pourra s'appuyer sur différentes données comme la ceinture bouclée, le poids sur le siège, les mouvements conscients du corps, ou encore le clignement ou la fermeture des yeux.

Dernier point, tous les véhicules autonomes devront donc être équipés d'une boîte noire appelée « *Système de stockage des données pour la conduite automatisée* ». Pour éviter les piratages et des scènes de chaos en ville, les constructeurs devront s'assurer que ces boîtes noires sont aux dernières

normes en matière de Cybersécurité. En outre, des mises à jour logicielles devront être déployées régulièrement.

2- ASPECTS TECHNIQUES

a. Niveaux d'Autonomie des VAC

De la voiture entièrement prise en charge par son conducteur ou sa conductrice, jusqu'à la voiture entièrement autonome, les véhicules sont habituellement classés en **6 niveaux d'autonomie**. Le véhicule totalement autonome est entièrement piloté par une intelligence artificielle. Il est capable de se diriger seul, d'interagir avec son environnement pour adapter sa conduite en fonction des événements (accidents, travaux...) et des autres usagers de la route (voitures, piétonnes et piétons...), afin de se rendre en un lieu donné sans intervention humaine. Si certains prototypes actuels s'en approchent dans certaines situations particulières, ils ne couvrent pas encore tous les cas de figure réels.

On peut distinguer 6 niveaux d'autonomie :

VERS LE VÉHICULE SANS CONDUCTEUR					
VÉHICULES EN PRODUCTION			RECHERCHE ET INNOVATION		
0	1	2	3	4	5
Aucune automatisation	Assistance à la conduite	Automatisation partielle	Automatisation conditionnelle	Automatisation élevée	Automatisation complète
L'ensemble de la conduite est accomplie par le conducteur	Une fonction aide le conducteur dans la conduite en assumant le contrôle de la direction du véhicule ou de l'accélération / décélération	Une ou plusieurs fonctions aident le conducteur en assumant le contrôle de la direction du véhicule et de l'accélération / décélération	Le système de conduite automatisé accomplit l'ensemble des tâches de la conduite et le conducteur doit être disponible pour intervenir et conduire au besoin	Le système de conduite automatisé accomplit l'ensemble des tâches de la conduite même si le conducteur n'est pas disponible pour intervenir et conduire au besoin	Le système de conduite automatisé accomplit la totalité de la conduite dans toutes les circonstances sans la nécessité d'une intervention du conducteur

Extrait du pré-cahier IAU : « La Mobilité du futur » (2018)

Niveau 0 : aucune assistance

Niveau 1 : « Eyes on, hands on » Le conducteur ou la conductrice garde en permanence la responsabilité des manœuvres, mais délègue une partie des tâches au système, typiquement pour le contrôle longitudinal du véhicule, par exemple à travers un régulateur de vitesse adaptatif. Elle ou il doit être capables de reprendre totalement la main sur la conduite si la situation l'exige.

Niveau 2 : « Eyes on, hands off » la responsabilité des manœuvres est entièrement déléguée au système, mais tout s'effectue sous supervision constante du conducteur ou de la conductrice, qui peut décider de reprendre la main à tout moment, par exemple lors d'un changement de voie automatique. Autre illustration : l'assistance au stationnement

(le Parking Assist), qui n'est activée que lorsqu'une place de stationnement est détectée ou choisie par le conducteur ou la conductrice.

Niveau 3 : « Eyes off, hands off, mind on » le conducteur ou la conductrice peut déléguer la conduite sur les deux dimensions de guidage (longitudinal et latéral) et peut abaisser son niveau de vigilance pour se consacrer de manière brève à d'autres tâches. Le système de pilotage intelligent se charge alors de positionner et de maintenir le véhicule sur sa voie tout en conservant une allure adaptée à la vitesse et aux conditions de trafic. Le conducteur ou la conductrice doit rester en mesure de reprendre le contrôle de la conduite si les conditions l'exigent.

Niveau 4 : « Eyes off, hands off, mind off » c'est un niveau hautement automatisé dans lequel le conducteur ou la conductrice n'intervient déjà plus et peut en effet complètement détourner son attention pour faire autre chose. En revanche, ce niveau ne concerne que certains modes de conduite, et sous certaines conditions. C'est le conducteur ou la conductrice qui active et désactive le mode automatisé.

Niveau 5 : « No eyes, no hand, driverless », c'est l'automatisation ultime : l'être humain n'intervient plus, ni dans le contrôle, ni dans la supervision de la tâche de conduite ou de navigation. Tout est

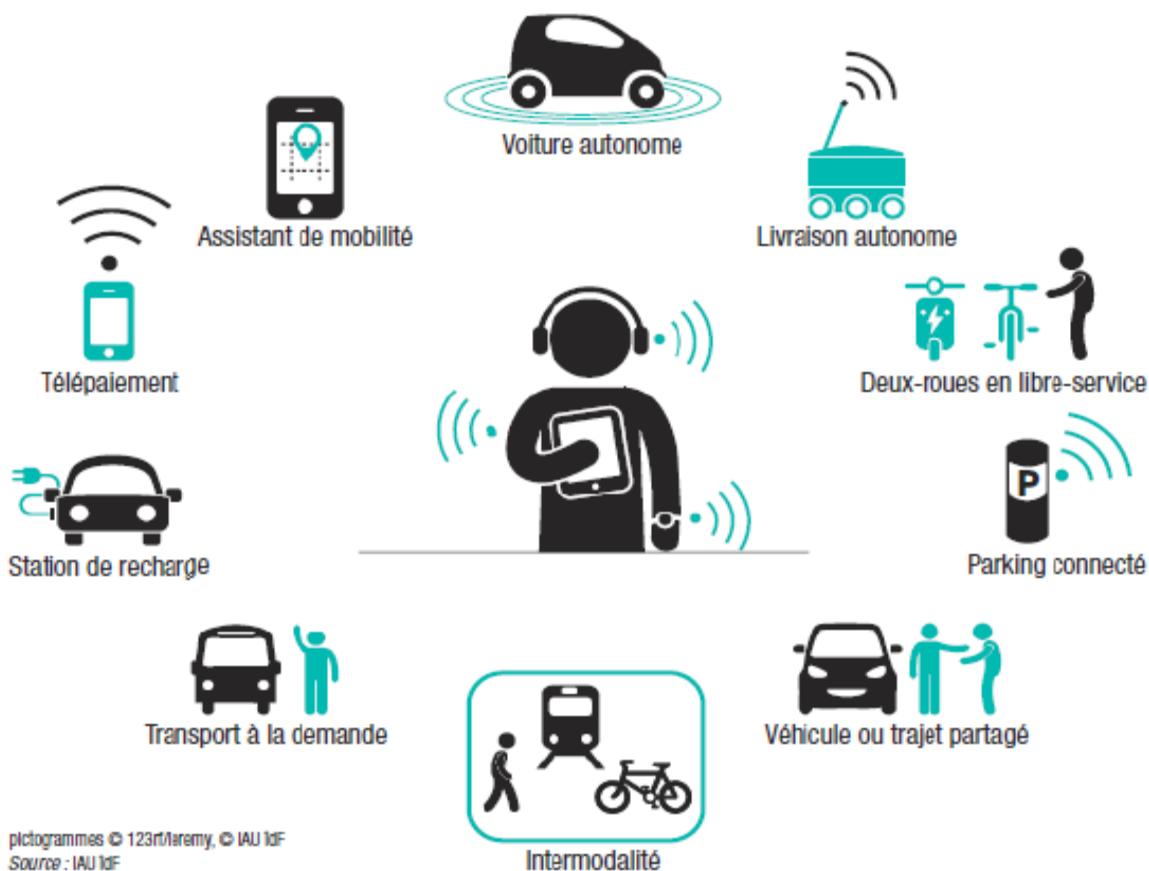
sous la responsabilité et le contrôle du système. La présence même d'un être humain aux commandes n'est plus forcément nécessaire.

b. Connectivité – Architecture Réseaux

Un véhicule connecté intègre des systèmes de télécommunications sans fil qui lui permettent de collecter des informations qu'il pourra enregistrer, traiter, exploiter et relayer vers d'autres véhicules, ou envoyer vers l'infrastructure routière. Les données collectées par le véhicule sont nombreuses et variées. Certaines sont liées au pilotage, comme l'information sur la distance avec un autre véhicule mesurée par un radar, ou les données de géolocalisation. D'autres données concernent la vie à bord, par exemple le transfert de musique stockée sur un Smartphone ou d'un film... On peut facilement s'imaginer que les futurs VAC traiteront jusqu'à plusieurs giga-octets de données par seconde.

Depuis 2017, sur décision de l'Union européenne, tous les véhicules neufs doivent être connectés afin de passer automatiquement un appel d'urgence en cas d'accident : c'est le service e-Call. À l'horizon 2020, on estime que 80 % du parc automobile seront connectés.

L'USAGER AU COEUR DU SYSTÈME



Extrait du pré-cahier IAU : « La Mobilité du futur » (2018)

2.1. Assurer une communication fiable entre les véhicules

Le déploiement des véhicules autonomes et connectés ne pourra se faire sans une profonde adaptation des réseaux de télécommunications, et sans leur sécurisation. L'explosion du nombre d'agents communicants – les véhicules, mais aussi les serveurs informatiques de gestion des réseaux – aura un fort impact sur l'occupation des canaux de communication, aujourd'hui déjà largement saturés.

Dans cette perspective, l'IEEE a décidé d'allouer une bande de fréquence autour de 5.9 GHz dédiée aux applications véhiculaires (IEEE 802.11p). La sécurité routière exige un échange d'informations hautement réactif et fiable entre véhicules voisins, dans n'importe quelles conditions de densité de circulation. Le défi est donc de concevoir des moyens de communications sans fil fiables dans des scénarios présentant de fortes densités.

Parmi les solutions actuellement étudiées, la technologie VLC (Visible Light Communication) assure une communication sans fil en utilisant la lumière visible. Très bien adaptée aux courtes distances, elle a très vite été envisagée pour des applications de véhicules autonomes circulant en convoi.

Mais pour une utilisation plus générale, il faudra prendre en compte l'hétérogénéité des réseaux de communication : les réseaux cellulaires, les réseaux maillés de faible puissance, le WiFi (faible consommation) et la technologie Bluetooth (faible puissance) peuvent répondre à différents besoins de communication d'un véhicule autonome et connecté. Chacun, cependant, utilise des compromis différents entre la fiabilité, la consommation d'énergie et le débit. Il est donc nécessaire d'étudier les limites de chaque technologie et d'élaborer des critères clairs pour sélectionner celle qui convient le mieux à chaque utilisation.

2.2. Le réseau 5G (IMT-2020) comme fondement de la conduite autonome

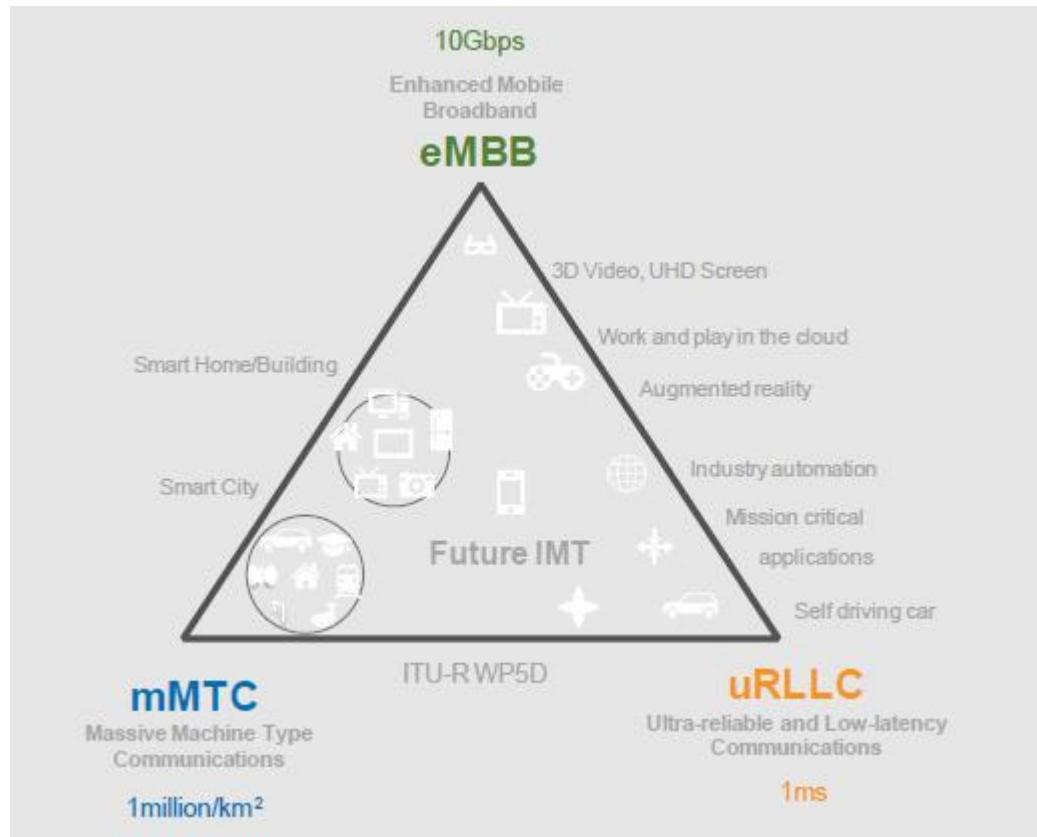
Permettant une connexion encore plus rapide entre les systèmes de transport, le réseau 5G offrira de nouvelles options d'application faisant progresser le développement des voitures autonomes.

Non seulement ils pourront à l'avenir prendre des décisions autonomes, mais ils communiqueront et coopéreront également. La conduite automatisée est le terme utilisé pour décrire un scénario dans lequel un système de transport routier entièrement interconnecté et intelligent est créé grâce à ces capacités.

Infrastructure de transport intelligente grâce à l'interconnexion

Les bases de la conduite autonome sont des réseaux de communication rapides et fiables, tels que le LTE et la 5G. Par conséquent, par exemple, Deutsche Telekom prévoit d'installer le réseau 5G sur tous les principaux axes de transport - tels que les autoroutes, les routes principales et les voies ferrées - d'ici 2025. Des experts de divers secteurs travaillent à la 5G Automotive Association (5GAA), définissant les bases de afin de garantir que la nouvelle norme de communication mobile réponde aux exigences spécifiques d'interconnexion des différents utilisateurs des transports et de conduite automatisée.

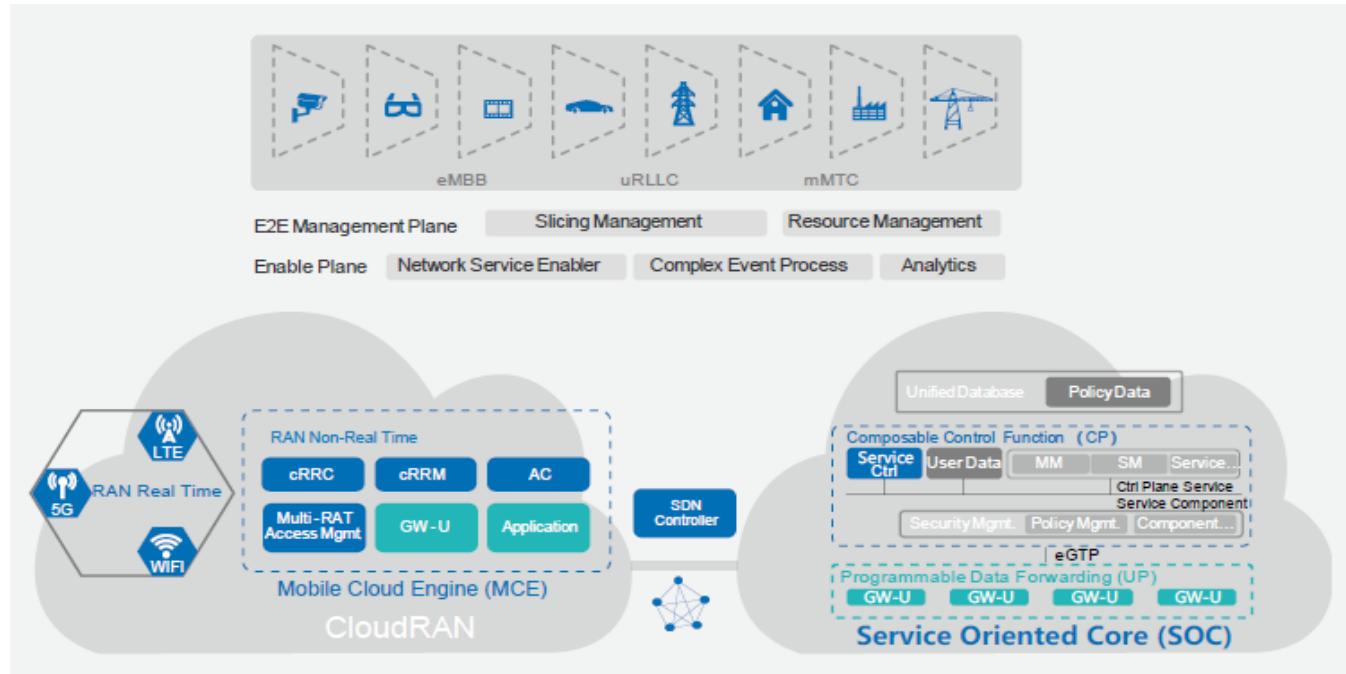
Grâce à la technologie sans fil et à la connexion Internet, les voitures connectées avec leurs services numériques et de localisation peuvent améliorer considérablement notre confort de conduite. La voiture s'appuie sur des mises à jour régulières des données pour la navigation, par ex. des cartes routières détaillées, ainsi que des mises à jour dans des situations de circulation imprévues, telles que la congestion, la pluie ou la glace noire. En combinaison avec des applications pour les systèmes de pilotes et Cloud, les informations de maintenance ou d'autres rapports d'état peuvent être récupérés et envoyés. Grâce à l'informatique de périphérie mobile, ces fonctions sont déjà réalisées aujourd'hui, basées sur le LTE à un taux de transmission allant jusqu'à 300 mégabits par seconde et des latences de moins de 100 millisecondes, même en cas d'urgence ou de conduite télécommandée à basse vitesse. À l'avenir, la 5G offrira une qualité encore plus élevée à de nombreux services numériques embarqués.



L'architecture 5G orientée services

L'architecture de réseau 5G axée sur les services vise à répondre de manière flexible et efficace aux besoins diversifiés des services mobiles. Avec la mise en réseau définie par logiciel (SDN) et la virtualisation des fonctions réseau (NFV) prenant en charge l'infrastructure physique sous-jacente,

La 5G cloudifie complètement l'accès, le transport et les réseaux centraux. L'adoption du cloud permet une meilleure prise en charge de services 5G diversifiés et permet les technologies clés de découpage de réseau E2E, le déploiement à la demande d'ancres de service et les fonctions réseau basées sur des composants...



2.3. L'Internet des Objets (Internet of Things IoT)

L'Internet des objets (IoT) fait référence à la connectivité de plusieurs appareils via Internet. Les voitures sans conducteur utilisent cette connectivité lors de la mise à jour de leurs algorithmes en fonction des données utilisateur. Ces véhicules autonomes nécessitent une énorme quantité de collecte et de traitement de données. Dans ce cas, via l'IoT, la voiture sans conducteur partage des informations sur la route (qui a déjà été tracée). Ces informations incluent le chemin réel, le trafic et la manière de contourner les obstacles. Toutes ces données sont partagées entre les voitures connectées à l'IoT et sont téléchargées sans fil vers un système Cloud pour être analysées et utilisées pour améliorer l'automatisation.

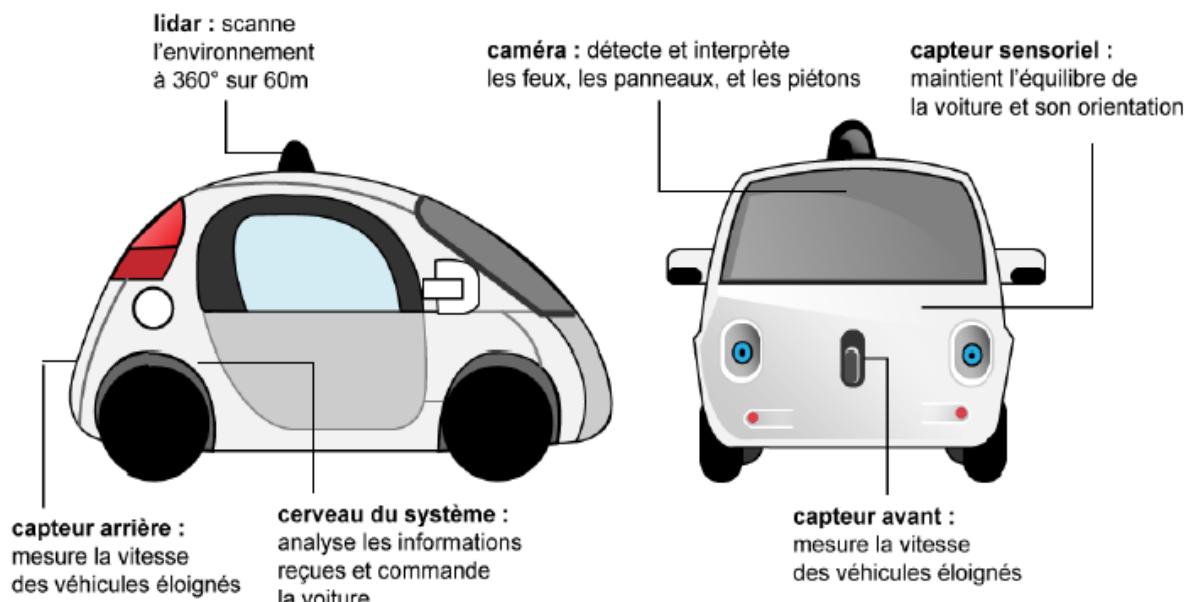
Bien que la connexion via l'IoT accélère le développement des voitures autonomes d'aujourd'hui, les gens essaient de s'attaquer à cette idée depuis des années.



c. Acquisition d'information

Le système informatique embarqué dans une voiture autonome doit continuellement se poser deux questions essentielles pour prendre les meilleures décisions. Où est-ce que je suis ? Est-ce que je vais heurter un obstacle ? Pour répondre à ces questions, la voiture doit collecter de l'information de son environnement, grâce aux capteurs dont le véhicule est équipé et à l'information partagée par les autres utilisateurs.

VOITURE AUTONOME



2.4. Les capteurs

a) Caméra

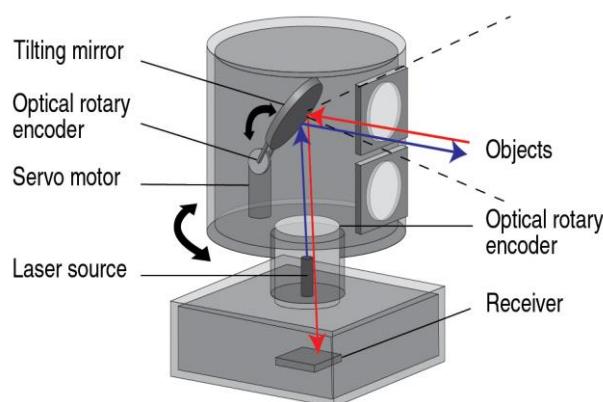
Les **caméras** remplacent les yeux de l'utilisateur permettant à la voiture de voir le monde qui l'entoure. Une voiture autonome peut être équipée de différents types de caméras : des caméras mono vision, stéréo vision, des caméras infrarouges, et il existe même des situations dans lesquelles



les voitures sont munies de caméras 3D.

Ces dernières sont utilisées pour détecter les obstacles puis les identifier grâce aux images de la chaussée et de la route. En outre, on dispose d'une caméra frontale pour identifier le marquage au sol, les panneaux de signalisation, les piétons... On trouve également des caméras sur les rétroviseurs ainsi qu'à l'arrière de la voiture pour couvrir les angles morts. Par conséquent, les caméras prendront un grand nombre d'images de manière continue tout au long du voyage et, par la suite, ces images seront analysées par des algorithmes afin qu'elles soient exploitable par le véhicule intelligent. En revanche, les caméras 3D illuminent la scène avec des rayons infrarouges modulés et, par la suite, mesurent le déphasage de la lumière réfléchie pour calculer la distance par rapport à chaque pixel de manière à reconstituer une image 3D.

b) LIDAR



Le mot **Lidar** est l'acronyme du mot anglais (Laser Detection And Ranging). Il s'agit d'un appareil qui mesure la distance entre un objet et le dispositif grâce à un faisceau de lumière qui peut aller du spectre infrarouge au spectre ultraviolet.

ENSEM Casablanca

Le lidar est l'un des capteurs les plus importants et le plus cher utilisé sur les voitures autonomes

Ce qui le rend si spécial, c'est sa capacité à réaliser des scanners de zones étendues. En effet, il peut scanner à plus de cent mètres de l'environnement de la voiture et il génère également une carte spatiale en trois dimensions de façon précise et immédiate du monde qui l'entoure. Cela signifie que la voiture peut utiliser ces données pour prendre des décisions sur la façon de réagir dans différentes circonstances.

Cependant, la quantité d'informations générées par le lidar peut devenir très volumineuse ce qui pourrait s'avérer problématique. Dans le cas de la vision d'ordinateur, les véhicules autonomes sont équipés de processeurs puissants capables de gérer toutes les informations acquises en temps réel sans déphasage.

c) Radar

Le radar (Radio Detection And Ranging), à la différence du lidar, utilise des ondes radio mais est lui aussi incapable de calculer la vitesse des objets qui entourent la voiture. Le dispositif envoie des ondes sonores entre 27GHz et 77Ghz lesquelles, si elles sont renvoyées, permettront la détection d'obstacles. Ainsi, en fonction du temps mis par les ondes pour effectuer un aller/retour et de la vitesse du son connue, le radar peut déterminer la vitesse ainsi que la distance qui sépare la voiture de l'obstacle.

On distingue deux types de radar. D'un côté, on a les radars de courte portée, environ 30 mètres, lesquels sont utilisés à faible vitesse. D'un autre côté, on a les radars à longue portée, environ 200 m, employés à grande vitesse.

d) Centrale à inertie

Il s'agit un équipement composé de trois **gyromètres** et de trois **accéléromètres** utilisé en navigation. Les gyromètres ont pour rôle de calculer la vitesse et de déterminer la position d'un objet. Quant aux accéléromètres, ils mesurent les trois composantes du vecteur spécifique, soit, le déplacement dans un repère orthonormé de trois dimensions. La centrale à inertie joue le même rôle qu'un GPS. Toutefois, elle n'a pas besoin d'une connexion internet ce qui pourrait être crucial si le GPS rencontre des problèmes de fonctionnement ou encore si la voiture rencontre des problèmes de connexion à internet.

e) L'odomètre

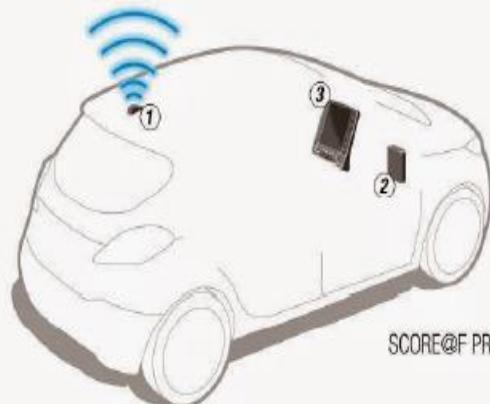
L'odomètre est un dispositif qui mesure la vitesse de la voiture en se basant sur la circonférence d'une roue ainsi que le nombre de rotations effectuées. À partir de cette information, ce dispositif peut déterminer la distance parcourue par la voiture.

Les capteurs utilisés dans la voiture autonome peuvent fournir la même information ce qui nous mène à penser qu'il existe une certaine redondance dans les données. Cependant, avoir à disposition

le même renseignement permet à l'ordinateur d'avoir une information plus fiable ce qui aura une influence par la suite sur la décision prise par l'algorithme et donc par le véhicule autonome.

2.5. Les systèmes coopératifs

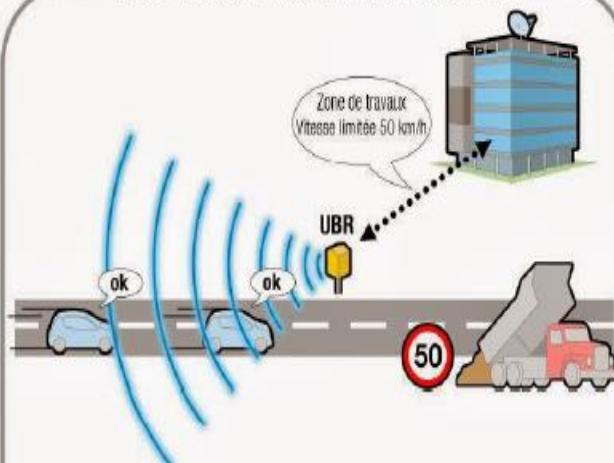
SCORE@F : SYSTÈME COOPÉRATIF ROUTIER EXPÉRIMENTAL EN FRANCE



- 1 WIFI AMÉLIORÉ (PORTÉE ~ 1KM)
- 2 TCU : UNITÉ TÉLÉMATIQUE AVEC MODEM G5
- 3 AFFICHAGE DES INFORMATIONS

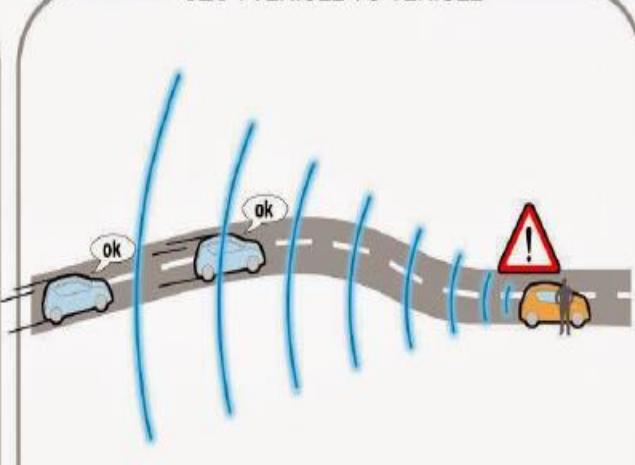
SCORE@F PRÉPARE LE DÉPLOIEMENT DES SYSTÈMES DE TRANSPORT INTELLIGENTS COOPÉRATIFS.

V2I : VEHICLE TO INFRASTRUCTURE



Les Unités Bord de Route (UBR) peuvent émettre des messages contextuels avertisissant d'un danger sur la trajectoire du véhicule.

V2V : VEHICLE TO VEHICLE



Les véhicules peuvent diffuser des messages de signalisation d'un danger routier déclenchés automatiquement ou manuellement.

De nos jours, les voitures communiquent très peu entre elles. Or, avec les avancées scientifiques dans le domaine de l'informatique, la coopération entre les différents acteurs devient cruciale pour la sécurité des utilisateurs.

On trouve deux types de systèmes communicants. Le premier est eCall, qui existe déjà. Il s'agit d'un système d'appel d'urgence automatique permettant à une voiture d'envoyer un message d'urgence ainsi que sa position exacte aux secours dans le cas d'un accident même si les utilisateurs sont inconscients. Le second porte le nom de **système coopératif**. D'après la définition donnée par la Commission européenne (CE), unité C.5 – ICT pour "ICT for Transport and the Environment" : « Etat de coopération des acteurs du système de transport (exploitants, infrastructures, véhicules, leurs conducteurs et autres usagers de la route) dans le but d'offrir le plus sûr, le plus fiable et le plus confortable des déplacements ». Les systèmes coopératifs peuvent être divisés en trois niveaux selon leur niveau de coopération. Le premier niveau correspond au Système autonome dans lequel la voiture n'intéragit pas directement avec les autres véhicules. De ce fait, elle est équipée par les différents capteurs nécessaires comme le lidar, le radar, les caméras... Le deuxième niveau est le Système coopératif aussi appelé « C-ITS » (Cooperative Intelligent Transport Systems). Dans celui-ci, les conducteurs disposent de plus d'informations ainsi que d'une meilleure connaissance de leur environnement grâce à la communication entre les infrastructures routières et les véhicules (**V2I**). Cela permet l'acquisition davantage d'informations à la voiture concernant l'état de la circulation sur sa voie ainsi que sur les voies voisines. Le dernier niveau est le système interactif dans lequel la voiture échange non seulement de l'information avec les infrastructures, mais aussi avec les autres véhicules (**V2V**). A ce niveau, l'ordinateur embarqué dispose d'un accès en temps réel aux informations dont disposent les autres utilisateurs. Ce niveau décrit le cas de figure idéal car la voiture dispose de plus d'informations sur la circulation, notamment en matière de détection d'obstacles (piétons, infrastructures, autres véhicules ou même un accident). Avoir un accès à une grande variété de sources d'informations permettra à la voiture d'anticiper ses actions. Toutefois, le fait de partager de l'information en continue avec les autres conducteurs entraîne un coût non négligeable en matière de traitement de données massives en temps réel et plus particulièrement en termes de puissance de calcul, d'algorithmes ainsi que dans le cadre du matériel utilisé. Afin de remédier à ce problème, on peut considérer un système coopératif ponctuel qui négligera l'information issue de la réalisation de tâches annexes, entre autres le stationnement.

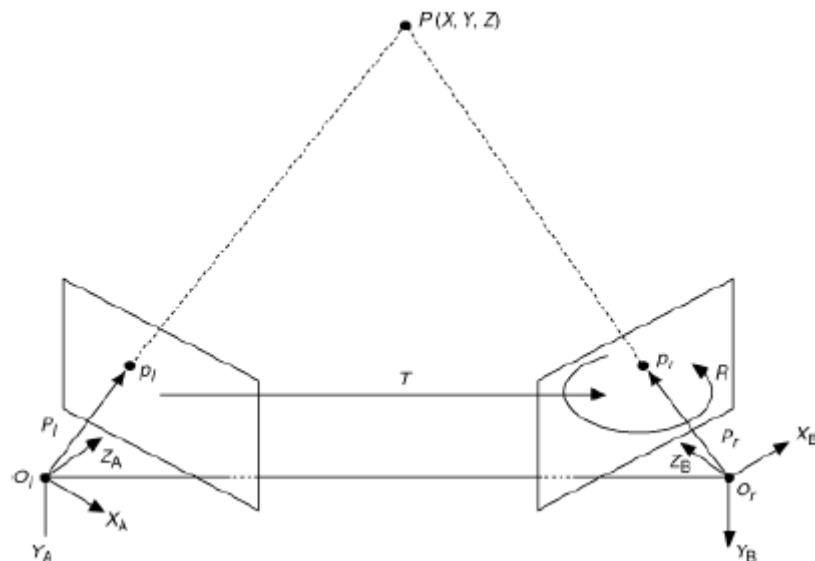
d. Traitement de l'information

La voiture intelligente, comme on l'a vu auparavant, a besoin de capteurs de différents types pour fournir au tableau de bord un nombre suffisant d'informations qui lui permettent d'effectuer différentes tâches, de la plus simple à la plus complexe. Parmi les tâches que l'on peut qualifier d'élémentaires, on peut nommer le calcul de la vitesse ou de la distance avec des obstacles, tandis que dans les tâches les plus complexes on retrouve la modélisation 3D de l'environnement qui entoure la voiture ou encore l'apprentissage par expérience de celle-ci, plus communément appelé "Machine-Learning".

2.6. La stéréovision

Pour circuler en toute sécurité, la voiture intelligente a besoin de percevoir l'environnement qui l'entoure. Une méthode, très utilisée, pour y parvenir, est la mesure stéréoscopique (ou stéréovision).

D'un point de vue général cette méthode permet de déterminer les dimensions, les formes ou les positions d'objets grâce à l'utilisation d'au moins deux appareils photographiques, ou caméras. En ce qui concerne la voiture autonome, la stéréovision a différents enjeux tel que la détection d'obstacles et de véhicules en temps réel et la localisation du véhicule sur la route. La stéréovision a l'avantage de présenter une résolution spatiale importante pour un faible coût , en effet toutes les informations peuvent être obtenues avec seulement deux caméras standards.



Le principe de la stéréovision, bien qu'en pratique il ne soit pas facile à mettre en oeuvre, est relativement simple en théorie. Il consiste, en partant du principe qu'un pixel peut être assimilé à l'image d'un rayon lumineux atteignant le capteur de la caméra, à trouver, dans chaque image, le pixel qui provient de la même source.

Grâce à la position des 2 pixels, on pourra déterminer par triangulation la position de la source S dans l'espace. En effet, en prenant l'angle formé par les deux rayons lumineux considérés (connus car ils

passent par le pixel et le centre optique de la caméra) et l'axe reliant les deux pixels correspondants on peut aisément trouver la distance entre le pixel et sa source S. Ainsi, l'utilisation de deux caméras combinée avec des techniques de traitement d'images permet la détection d'obstacles fixes ou mobiles devant le véhicule et la reconstruction tridimensionnelle de la géométrie de la route devant le véhicule.

2.7. Localisation cartographie 3D

Une des idées pour connaître la position du véhicule par rapport à sa voie de circulation est d'effectuer une reconstruction tridimensionnelle de cette dernière grâce à la détection des bords de route par stéréovision et par le biais d'utilisation d'outils mathématiques. Cette idée est largement développée par Nabil BENMANSOUR, doctorant à l'Université Pierre et Marie Curie, dans sa thèse intitulée « Reconstruction Tridimensionnelle de la Géométrie de la Route par Stéréovision »..

Une fois les capteurs stéréoscopique calibrés, on cherche à reconstruire les bords de routes. Les bords de routes sont caractérisés par des lignes blanches continues et donc correspondent sur les images capturés par les caméras, à une forte déviation de couleur. L'algorithme de recherche des bords de route correspond donc à la reconnaissance de pixels à forte déviation de couleurs, et à une phase d'appariement, c'est-à-dire de mise en correspondance des pixels provenant de la même source. Cela consiste donc en un travail difficile et dont la complexité pour le tableau de bord est grande. Pour que cet algorithme soit plus efficace, il est nécessaire de restreindre la zone de recherche, par exemple en utilisant un modèle mathématique se basant sur la dépendance statistique entre les différents paramètres constituant le modèle de la route (voir (1)). Une fois la détection des bords de route effectuée, il est possible, grâce à la méthode de triangulation expliquée précédemment, de connaître l'ensemble des coordonnées (X,Y,Z) des bords de route (voir relation (2)). La reconstruction 3D des bords de route est réalisée. À ce stade, et grâce à la méthode des moindres carrés pondérés, on peut estimer les paramètres de position du véhicule et des caméras sur la voie ainsi que les paramètres de la géométrie tridimensionnelle de la route (voir (1)). La stéréovision et les connaissances qui y sont associées permettent donc de localiser le véhicule sur sa voie et d'estimer la géométrie tridimensionnelle de la route devant lui.

Modèle mathématique 3D de la route reposant sur le système de coordonnées :

$$X = \lambda L + \frac{1}{2}C_{h0}Z^2 + \frac{1}{6}C_{h1}Z^3 \quad Y = -\lambda \omega L + \frac{1}{2}C_{v0}Z^2 + \frac{1}{6}C_{v1}Z^3$$

avec pour paramètres constituants le modèle de la route :

- **L** : largeur de la voie de circulation
- **Cho** : courbure horizontale de la route

- **Ch₁** : variation de la courbure horizontale
- **Cv₀** : courbure verticale de la route
- **Cv₁** : variation de la courbure verticale
- ω : angle de roulis (= dévers de la route)
- $\lambda = 0$: pour identifier le bord droit
- $\lambda = -1$: pour identifier le bord gauche

Il apparaît tout de même différents problèmes en ce qui concerne la stéréovision. Les caméras ont une portée de vision restreinte et la netteté des images capturées dépend grandement des conditions météorologiques. L'efficacité de cette méthode présente donc un aspect incertain. Le manque d'informations capturés par cette méthode est donc combler par l'utilisation de LIDAR qui sont des capteurs 360° longue distance. L'utilisation de ses capteurs ne sera pas détaillée dans cette partie.

La conduite autonome est couplé à la navigation GPS, ce qui nous permet de se repérer via la cartographie.

e. *Intelligence artificielle pour la conduite autonome*

A ce stade du traitement de l'information réalisé par le tableau de bord, ce dernier est capable de réceptionner des signaux lui permettant de reconstruire en temps réel l'environnement qui entoure la voiture et se positionner par rapport à celui-ci. Seulement, il lui faut maintenant le comprendre et réagir en conséquence. Pour cela, la solution la plus efficace de nos jours consiste en machine-learning, ou « apprentissage automatique ».

Le machine Learning est un domaine de l'intelligence artificielle. Il s'inspire du fonctionnement du cerveau humain. Ce domaine étudie la façon dont des algorithmes peuvent apprendre en étudiant des exemples. C'est-à-dire qu'il va déterminer, à partir d'un nombre considérable d'exemples de situations, les corrélations les plus fortes reliant les différentes variables du problème. L'avantage de ce type d'apprentissage, que l'on peut définir d'apprentissage non supervisé, du fait que l'homme laisse dans un premier temps l'algorithme travailler seul, est qu'il va prendre en compte l'ensemble des facteurs (ou variables), indépendamment des préjugés humains, pour comprendre la situation dans laquelle il se trouve et réagir d'après ce qu'il connaît. Ce type d'apprentissage a donc comme point fort de pouvoir faire ressortir des corrélations entre des variables que l'homme n'aurait pu imaginer. L'algorithme utilisé est ainsi très performant et est utilisé dans de nombreux domaines tels que la reconnaissance vocale ou faciale, la détection de fraudes bancaires sur internet ou encore dans le cas des voitures autonomes.

En ce qui concerne la voiture autonome, le Machine Learning, et plus particulièrement sa version « Deep Learning », aide à la détection des obstacles. Ainsi, après avoir visionné un très grand nombre d'images, la voiture pourra déterminer la nature des objets qui l'entourent et donc adopter un comportement et des règles de conduite appropriés. Pour fonctionner correctement, la voiture autonome doit parcourir une quantité colossale de kilomètres pour affiner sa compréhension de l'environnement qui l'entoure (notamment les changements de conditions météorologiques) grâce à un grand nombre d'images qu'elle aura capturée. La capture de tous ces clichés est donc une solution longue, coûteuse et fastidieuse. C'est la raison pour laquelle, les chercheurs utilisent le jeu Grand Theft Auto V (GTA V) pour l'apprentissage des voitures intelligentes. En effet, ce jeu vidéo a l'avantage de se dérouler dans de grands paysages urbains très réalistes et dont les conditions climatiques sont extrêmement variables (14 météos différentes). Il est donc possible d'explorer, avec GTA V, un grand nombre de situations grâce à un simulateur, et cela sans grosses contraintes de coûts et de temps. De plus, depuis peu, un kit d'outils est mis à disposition en « Open Source » pour les chercheurs.

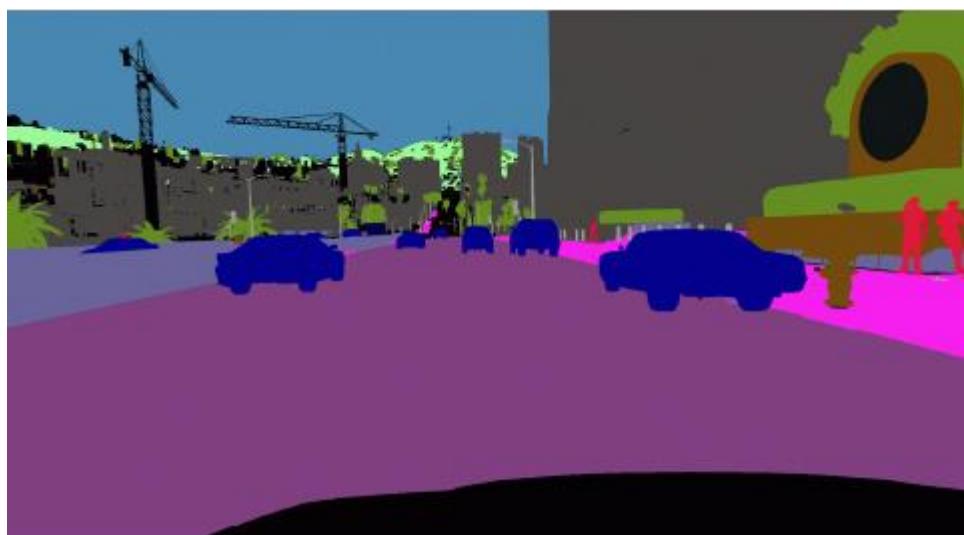


Figure : Apprentissage grâce aux cartes de GTA V

Les voitures autonomes sont très étroitement associées à l'IoT industriel. L'IoT combiné à d'autres technologies telles que l'apprentissage automatique, l'intelligence artificielle, l'informatique locale, etc. fournissent les technologies essentielles pour les voitures autonomes. Pour beaucoup, les questions les plus curieuses sont de savoir comment fonctionnent ces voitures autonomes. Ce qui fonctionne réellement à l'intérieur pour les faire fonctionner sans que les conducteurs prennent le contrôle de la roue. Très bien connu que de nos jours les voitures sont équipées de nombreux capteurs, actionneurs et contrôleurs. Ces appareils terminaux sont pilotés par des logiciels reposant sur divers logiciels spécifiques aux fonctions exécutés sur des calculateurs (unités de contrôle électronique). Le logiciel d'apprentissage automatique fait également partie de cet ensemble.

L'une des tâches principales de tout algorithme d'apprentissage automatique dans la voiture autonome est un rendu continu de l'environnement et la prédiction de changements possibles dans cet environnement. Ces tâches sont principalement divisées en quatre sous-tâches:

- Détection d'objets
- Identification ou reconnaissance d'objet Classification d'objet
- Localisation d'objets et prédiction de mouvement

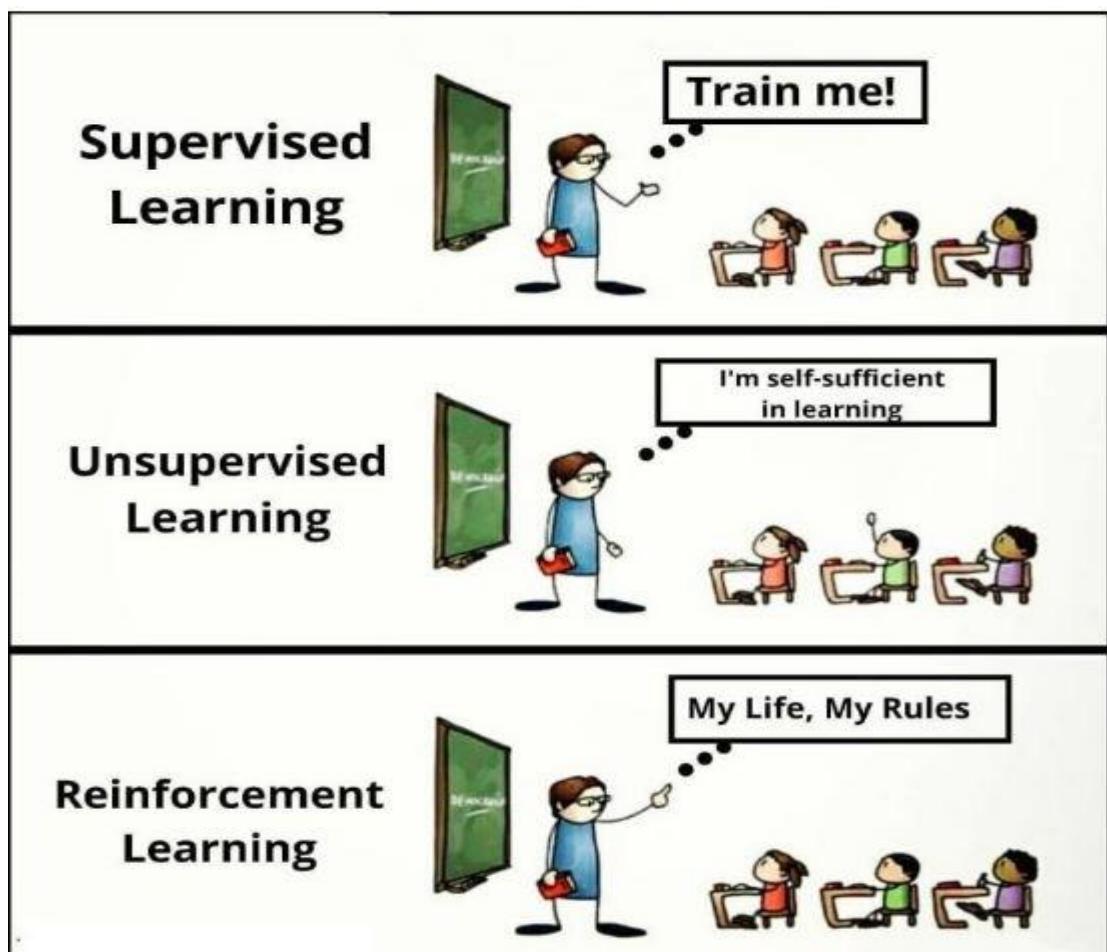
On a principalement deux types de Machine Learning :

1) Algorithmes de ML supervisé

Ces algorithmes utilisent un ensemble de données d'entraînement pour apprendre. Ils continuent à apprendre jusqu'à ce qu'ils atteignent le niveau souhaité qui promet des erreurs minimes. Les algorithmes de ML supervisés peuvent en outre être classés en algorithmes de classification, de régression et de réduction de dimension.

2) Algorithmes de ML non supervisé

Ces algorithmes apprennent en donnant un sens aux données disponibles. Aucun ensemble de données d'entraînement n'est utilisé ici. Ils essaient de trouver des modèles identifiables dans les données, puis divisent les données en classes / groupes en fonction du niveau de similitude entre eux. Le clustering et l'apprentissage des règles d'association sont les deux types d'algorithmes de ML non supervisés.



Les algorithmes d'apprentissage automatique peuvent être vaguement divisés en quatre catégories: les algorithmes de régression, la reconnaissance de formes, les algorithmes de cluster et les algorithmes de matrice de décision.

2.8. Les algorithmes de régression

Dans ADAS, les images (radar ou caméra) jouent un rôle très important dans la localisation et l'activation, tandis que le plus grand défi pour tout algorithme est de développer un modèle basé sur l'image pour la prédiction et la sélection des caractéristiques (features). Les types d'algorithmes de régression pouvant être utilisés pour les voitures autonomes sont, entre autres, une régression bayésienne, une régression de réseau neuronal (CNN) et une régression de forêt de décision.

2.9. Les Algorithmes de reconnaissance de formes (classification)

Dans ADAS, les images obtenues grâce à des capteurs possèdent tous les types de données environnementales; le filtrage des images est nécessaire pour reconnaître les instances d'une

catégorie d'objet en excluant les points de données non pertinents. Les algorithmes de reconnaissance des formes sont efficaces pour éliminer les points de données inhabituels. La reconnaissance des modèles dans un ensemble de données est une étape importante avant de classer les objets. Ces types d'algorithmes peuvent également être définis comme des algorithmes de réduction des données.

Ces algorithmes aident à réduire l'ensemble de données en détectant les bords des objets et en ajustant les segments de ligne (polylinéaires) et les arcs de cercle aux bords. Les segments de ligne sont alignés sur les bords jusqu'à un coin, puis un nouveau segment de ligne est démarré. Les arcs circulaires sont adaptés à des séquences de segments de ligne qui se rapprochent d'un arc. Les caractéristiques de l'image (segments de ligne et arcs de cercle) sont combinées de différentes manières pour former les caractéristiques utilisées pour reconnaître un objet.

Les machines à vecteurs de support (SVM) avec histogrammes de gradients orientés (HOG) et analyse en composantes principales (PCA) sont les algorithmes de reconnaissance les plus couramment utilisés dans ADAS. La règle de décision de Bayes et K le plus proche voisin (KNN) sont également utilisées.

2.10. Le regroupement (Clustering)

Parfois, les images obtenues par le système ne sont pas claires et il est difficile de détecter et de localiser des objets. Il est également possible que les algorithmes de classification manquent l'objet et ne parviennent pas à le classer et à le signaler au système. La raison pourrait être des images à faible résolution, très peu de points de données ou des données discontinues. Ce type d'algorithme est bon pour découvrir la structure à partir de points de données. Comme la régression, il décrit la classe de problèmes et la classe de méthodes. Les méthodes de clustering sont généralement organisées en modélisant des approches telles que centroïdes et hiérarchiques. Toutes les méthodes visent à utiliser les structures inhérentes aux données pour organiser au mieux les données en groupes de similitude maximale. Le type d'algorithme le plus couramment utilisé est K-means, Multi-class Neural Network.

2.11. Les Algorithmes de Matrice de Décision (DMA)

Ce type d'algorithme permet d'identifier, d'analyser et d'évaluer systématiquement les performances des relations entre les ensembles de valeurs et les informations. Ces algorithmes sont principalement utilisés pour la prise de décision. Qu'une voiture doive prendre un virage à gauche ou qu'elle doive freiner dépend du niveau de confiance que les algorithmes ont sur la classification, la reconnaissance et la prédiction du prochain mouvement d'objets. Ces algorithmes sont des modèles composés de plusieurs modèles de décision formés indépendamment et dont les prédictions sont combinées d'une certaine manière pour faire la prédiction globale tout en réduisant le risque d'erreurs dans la prise de décision. Les algorithmes les plus couramment utilisés sont le Gradient Boosting (GDM) et AdaBoosting.

3- DÉFIS TECHNOLOGIQUES

a. Limites techniques et éthiques

Voiture sans chauffeur : La responsabilité en cas d'accident :

La responsabilité juridique en cas d'accident pour certains états ont évolué leur législation en affectant la responsabilité au concepteur du système autonome qui est engagée.

Voiture autonome et alcool

Plusieurs grands noms de l'industrie de l'alcool ont rejoint un groupe de pression favorable au déploiement rapide du véhicule autonome, avec dans un coin de leur tête la conviction que ce nouveau mode de transport va stimuler les ventes d'alcool.

Rompre l'isolement des seniors en zone rurale

Un programme d'expérimentations de navettes autonomes en milieu rural est en cours dans plusieurs contrées rurales pour permettre à la population d'accéder aux pôles de services les plus proches. Le véhicule autonome est envisagé comme une solution de mobilité plus inclusive capable de rendre autonomes des populations qui ne le sont plus.

Une adaptation nécessaire des infrastructures

Si la 5G représente la pierre angulaire grâce à laquelle les applications et objets connectés communiqueront, elle ne représente qu'un seul des nombreux défis que révèlent les véhicules autonomes. En effet, ce type de mobilité et les véhicules qui y sont associés bouleversent la manière dont les espaces communs sont conçus et donc les infrastructures publiques.

Cependant, des limites sont toujours soulevées (intempéries, objets inattendus, bas-côté endommagé, etc.) et l'exhaustivité des cas d'usage ne sera probablement pas couverte par la simple analyse d'un unique radar. La nécessité de communiquer entre les véhicules et l'infrastructure apparaît donc comme un moyen de se prémunir contre un plus grand nombre de risques et d'améliorer les capacités prédictives des IA embarquées.

4- CONCLUSION

On a remarqué que les voitures autonomes ont un avenir très prometteur surtout avec le développement de l'intelligence artificielle, Big DATA et la 5G, mais les inventeurs et les investisseurs essayent toujours d'améliorer et conduire des recherches innovantes pour résoudre ces problèmes.

III- Simulation d'une conduit assisté

1. Présentation des données de test

Nos données de test sont principalement des vidéos enregistrés depuis les cameras d'autoroutes et des scènes de conduite réels.

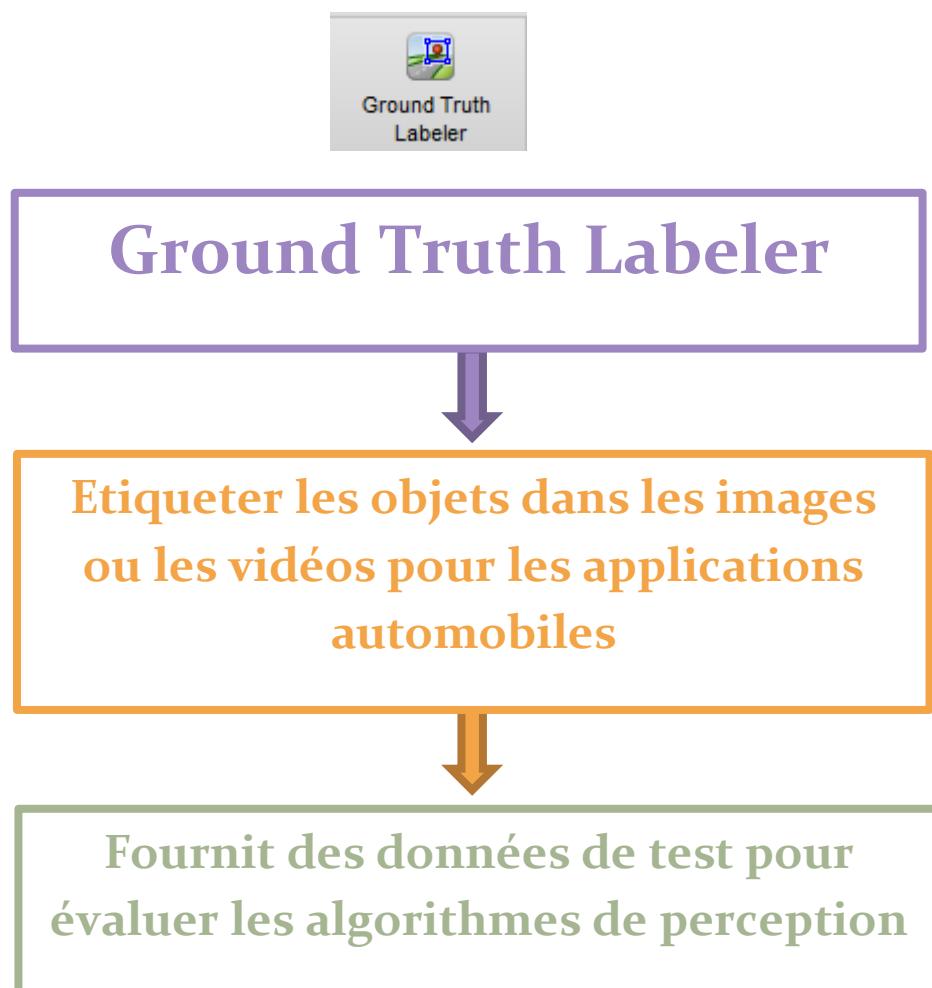
2. Environnements de la simulation

a. *Matlab (Toolboxes Utilisés)*

Durant notre projet, on va utiliser principalement trois Toolboxes Matlab ce sont :

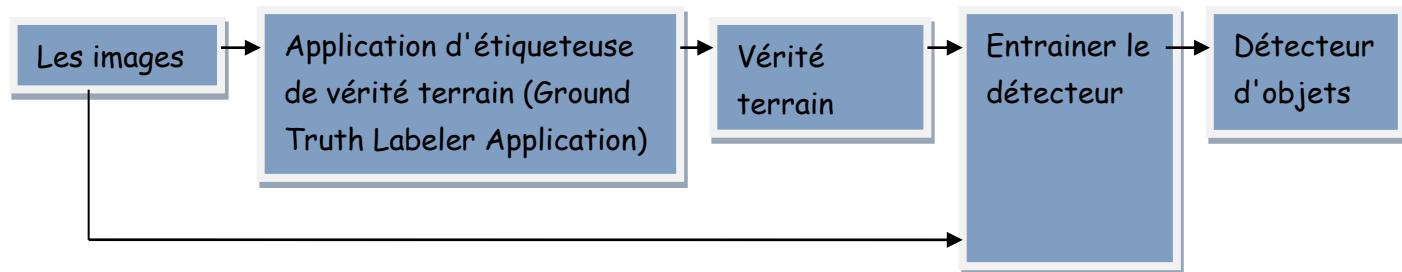
- Automated Driving System Toolbox 1.2
- Machine Learning Toolbox
- Image Processing & Computer Vision Toolbox

Premièrement, on va commencer par utiliser l'outil **Ground Truth Labeler** qui appartient au **Automated Driving System Toolbox**, qui permet d'étiqueter les données /objets dans une image ou une vidéo pour les applications automobiles.



Flux de travail (workflows) :

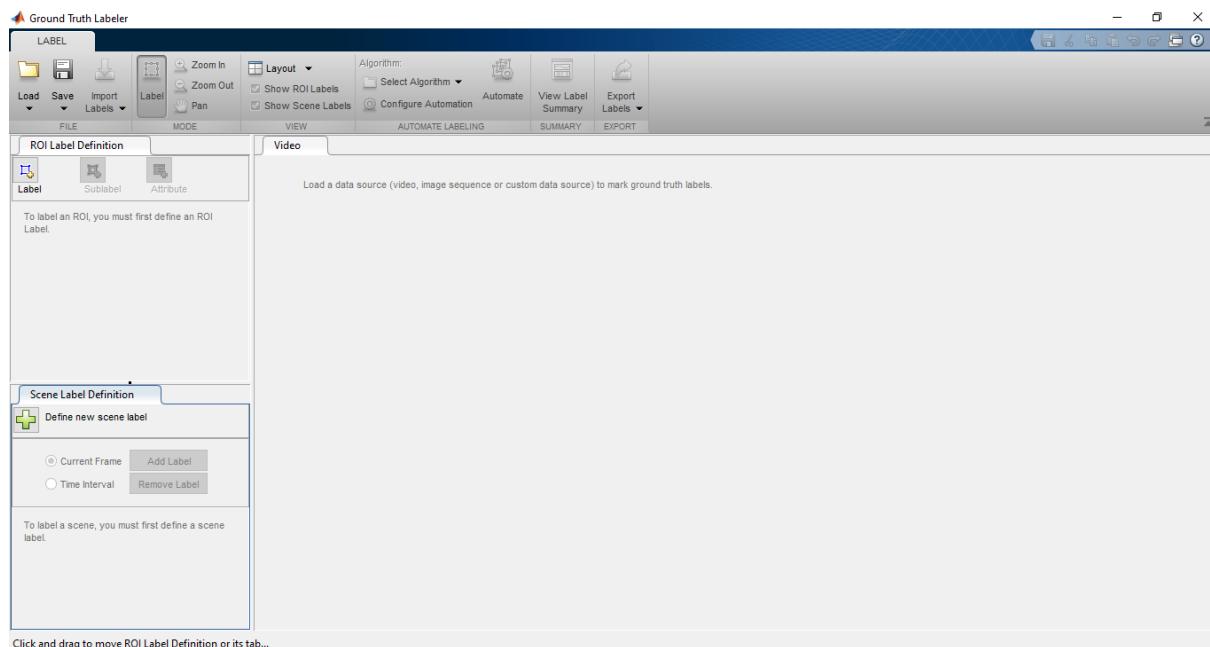
- ✚ Créer les données de vérité terrain pour la détection d'objets et la segmentation sémantique.
- ✚ Utiliser les algorithmes pour automatiser le processus d'étiquetage.
- ✚ Intégrer les informations de vérité terrain provenant d'autres capteurs (LIDAR, radar ..)



❖ Ground Truth Labeler :

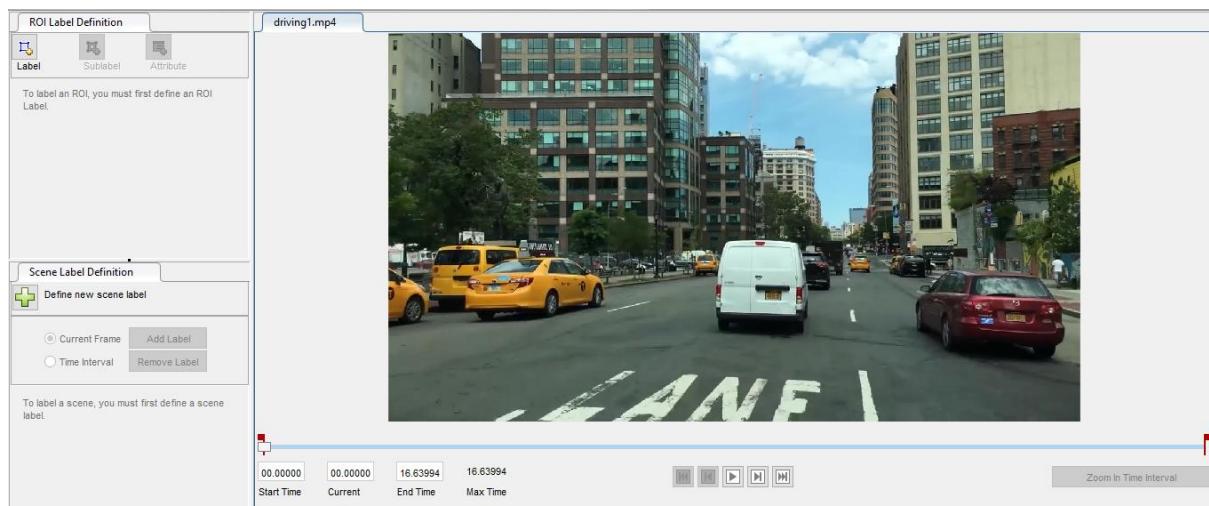
Détection des véhicules :

On commence tout d'abord par ouvrir l'application Ground Truth Labeler :

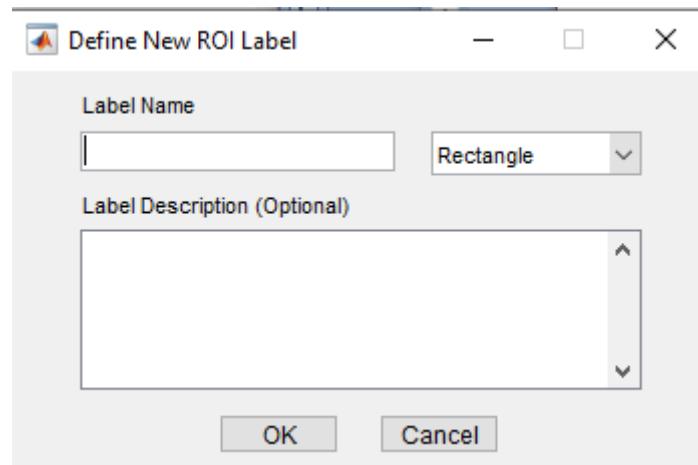


On charge donc notre vidéo à travers l'icone ' Load' :

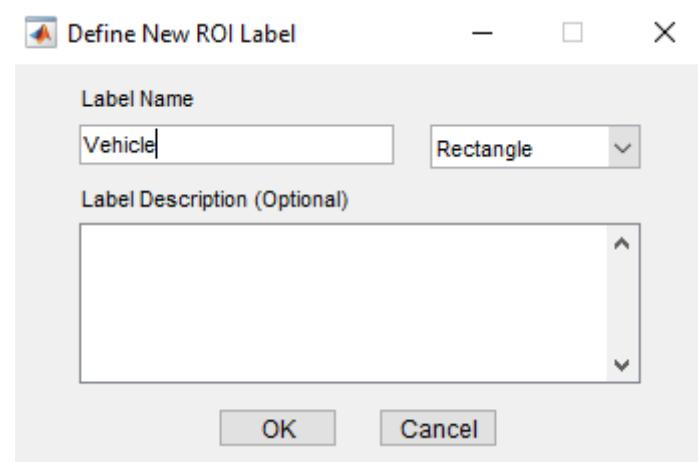
ENSEM Casablanca



Une fois chargée, on commence donc à créer des étiquettes :



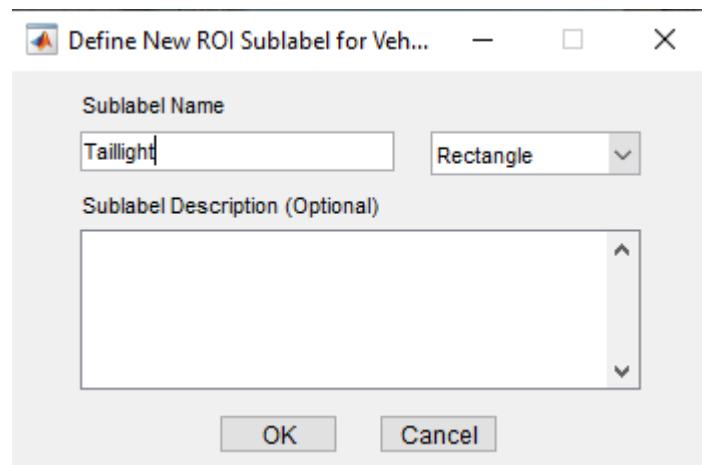
On le nomme donc 'Vehicle' puisqu'on veut détecter les véhicules :



On étiquète donc ces véhicules avec le cadre de sélection :

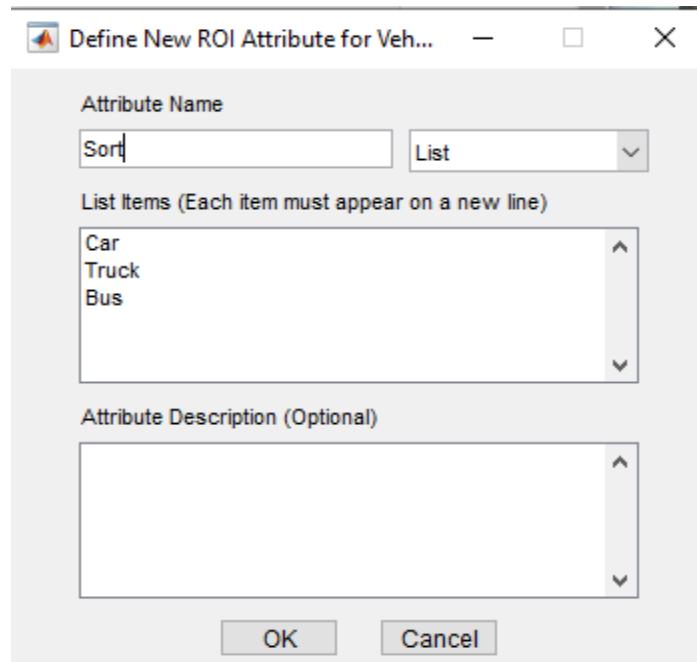


Ensuite, on définit des sous-étiquettes associés à notre étiquette 'Vehicle' qui portent plus de détails selon nos choix de cette étiquette (feu d'arrière, roues...):



En outre, on peut définir des attributs pour notre étiquette, par exemple, on peut avoir l'attribut type de véhicule (sort): voiture, bus, camion, véhicule de combat (ACV)...:

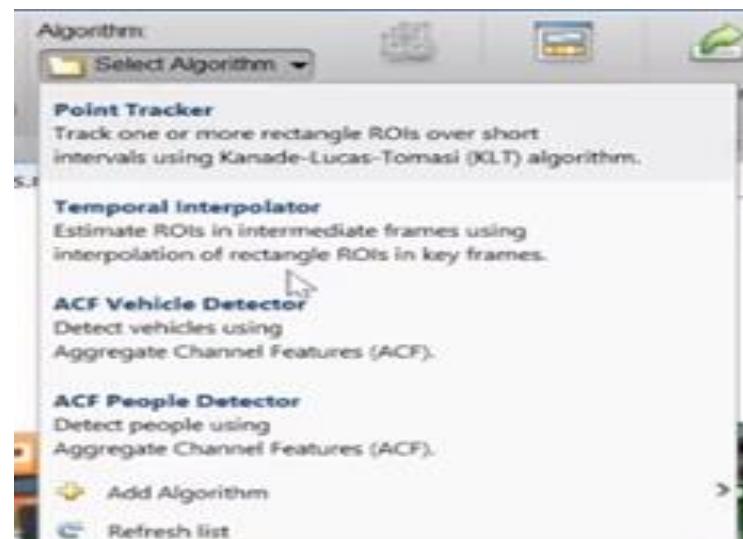
ENSEM Casablanca



On choisit donc pour chaque véhicule, quel type lui convient :



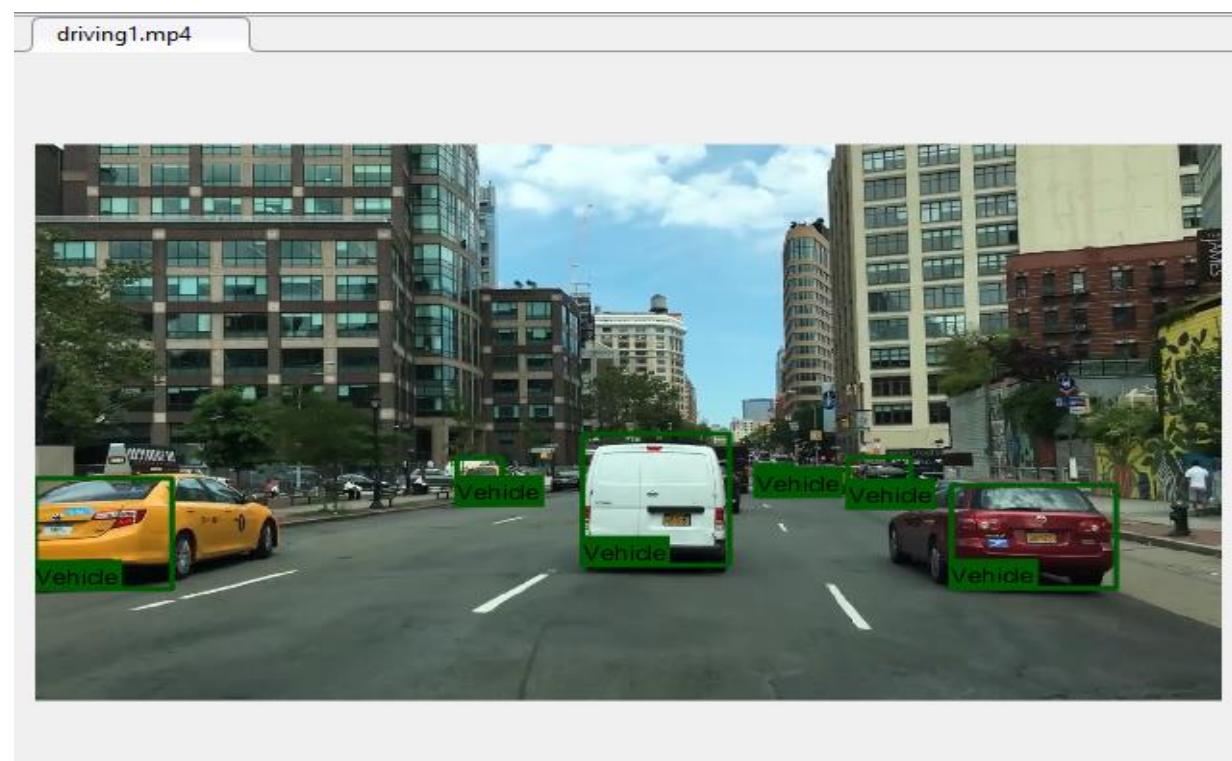
On peut choisir maintenant n'importe quelle méthode :



1/ Méthode de suivi de points (Point Tracker):

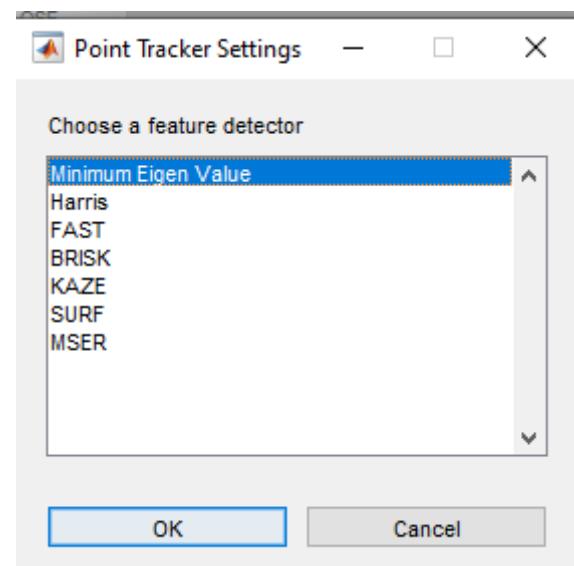
1/Détecteur de caractéristiques : Valeur propre minimale

Après l'affectation de chaque véhicule avec son type, on choisit une méthode pour l'automatisation : On débute par choisir la méthode de suivi de points (Point Tracker) qui utilise l'algorithme '*Kanade-Lucas-Tomasi*' qui nous permet de suivre un ensemble de points, on choisit comme temps de simulation 6s et on sélectionne les voitures qu'on veut suivre :



On choisit comme paramètres de cette méthode : Valeur propre minimale :

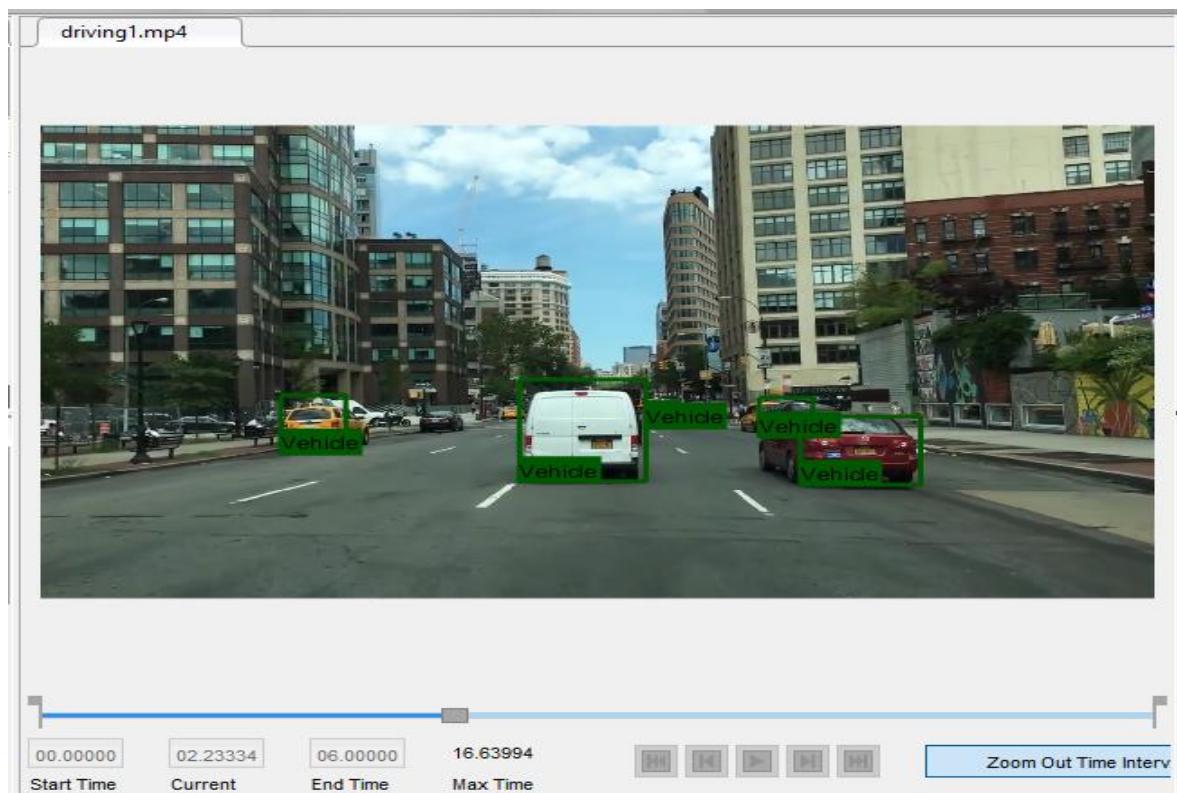
ENSEM Casablanca



On automatise la scène à l'aide de l'icone 'Automate' :

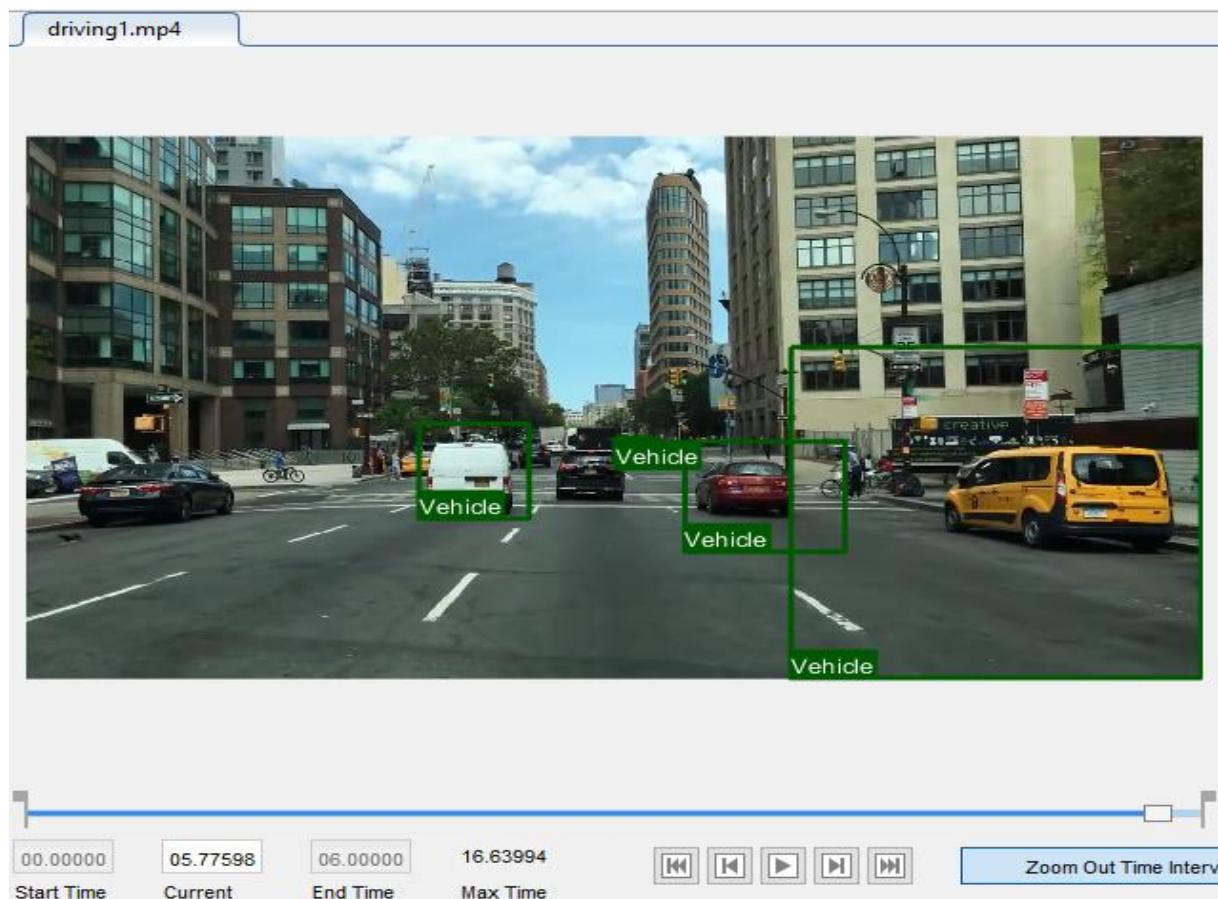


On obtient :

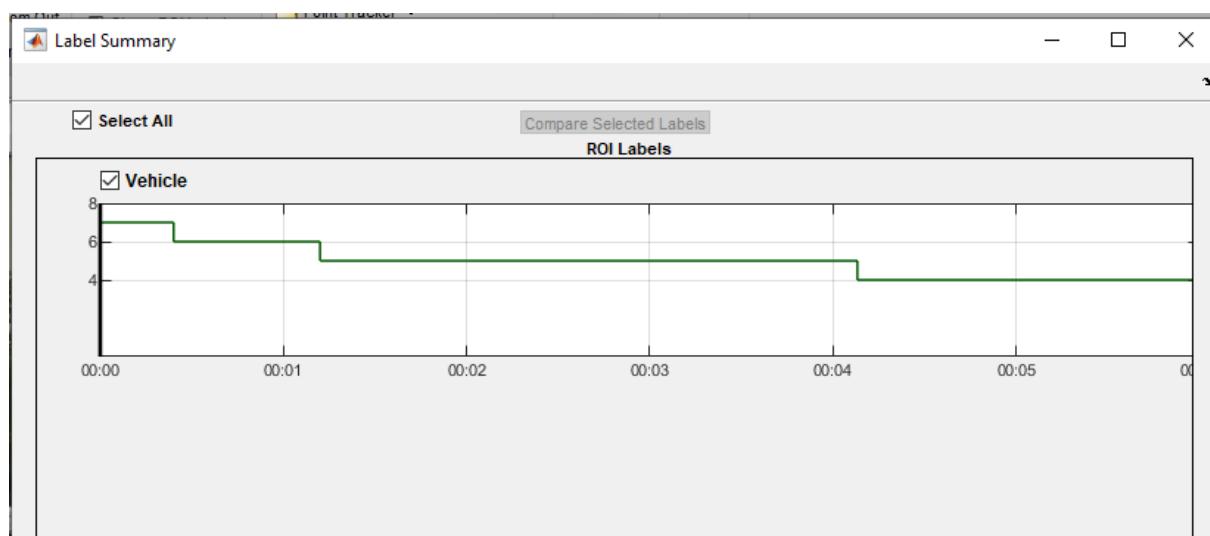


Et vers la fin de la simulation :

ENSEM Casablanca



Sommaire des étiquettes:



Conclusion :

- On remarque que les résultats ne sont pas assez satisfaisants car au début de la simulation on avait 7 véhicules tandis qu'à la fin on avait que 4.

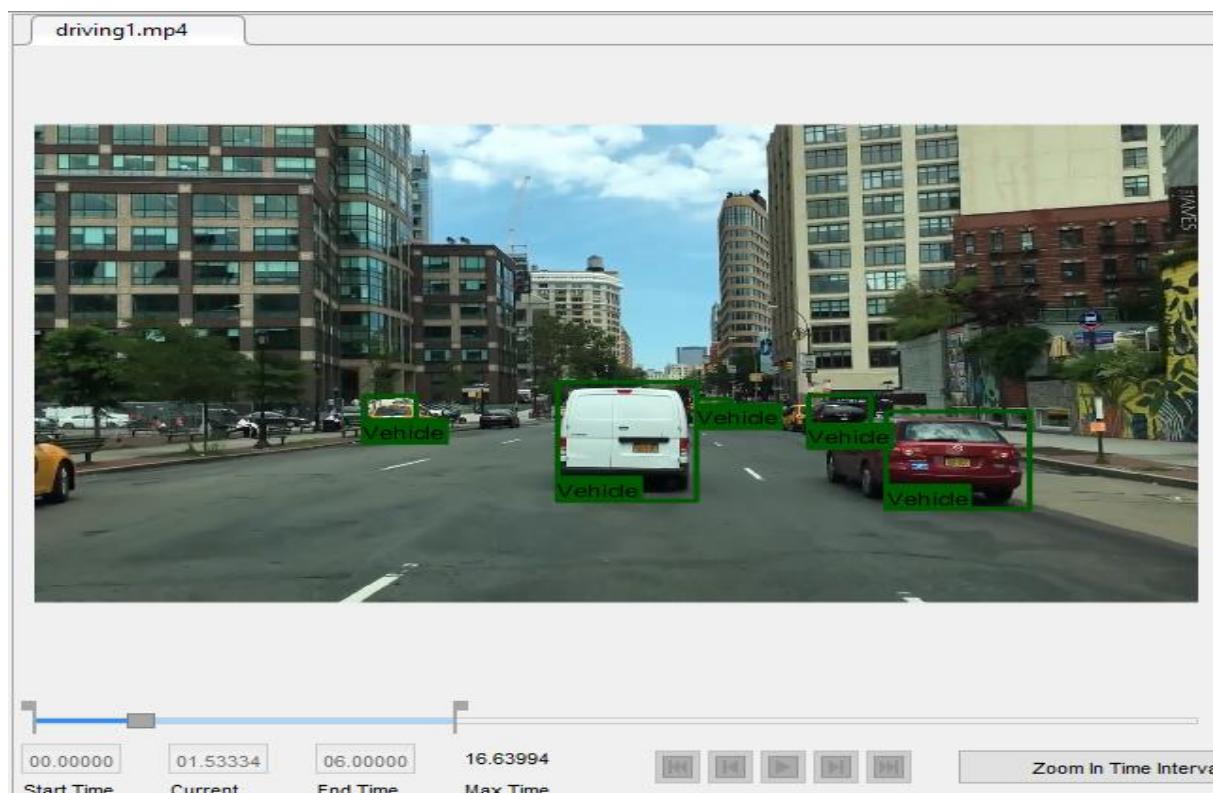
ENSEM Casablanca

- + L'algorithme n'est pas capable de détecter des nouveaux véhicules mais juste de faire un suivi aux véhicules sélectionnés au début de la simulation, (à l'aide de l'algorithme de suivi de caractéristiques Kanade-Lucas-Tomasi qui permet de suivre les points) sachant que le rectangle du véhicule reste le même et ne se modifie pas en fonction du temps.

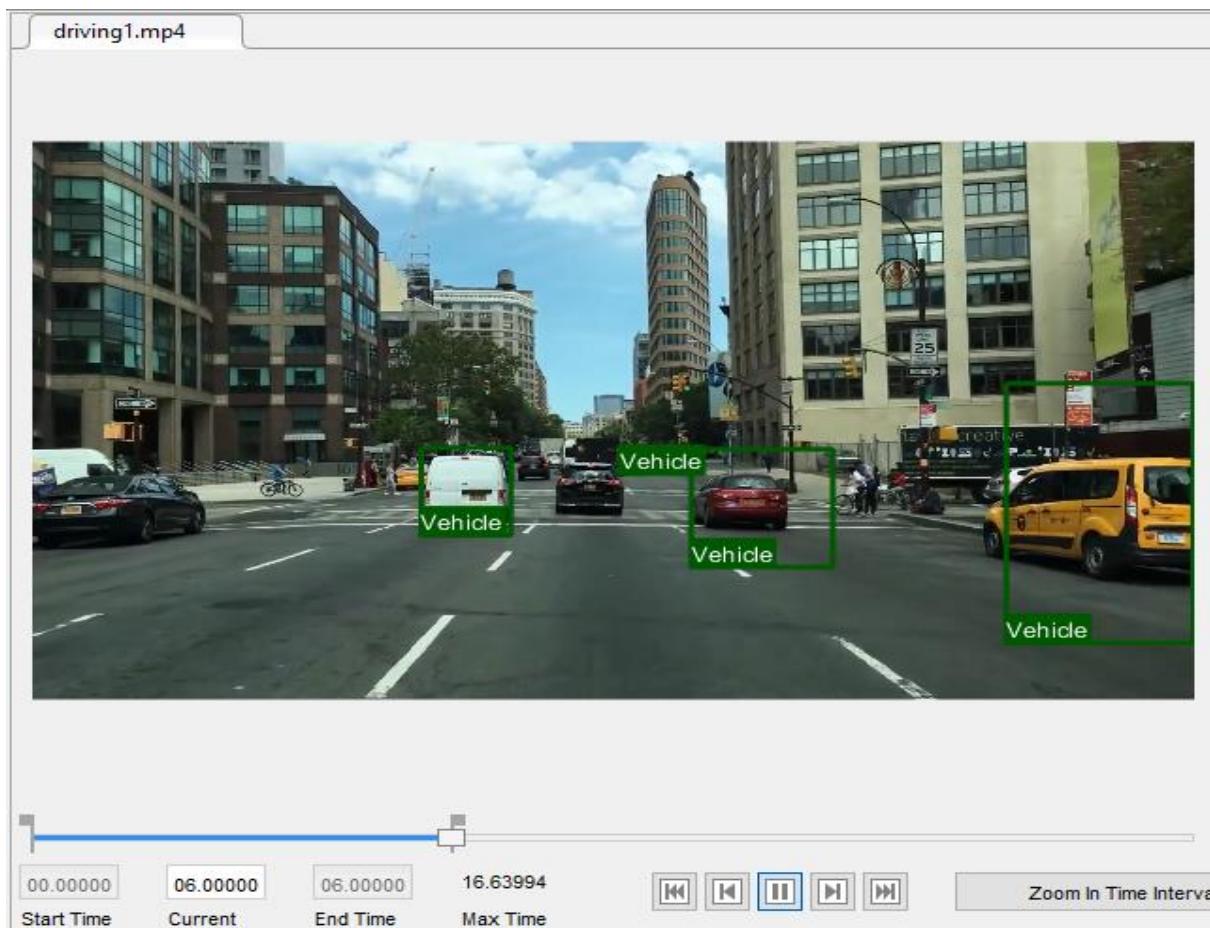
On peut modifier le détecteur de caractéristiques en choisissant le détecteur MSER.

2/ Détecteur de caractéristiques : MSER

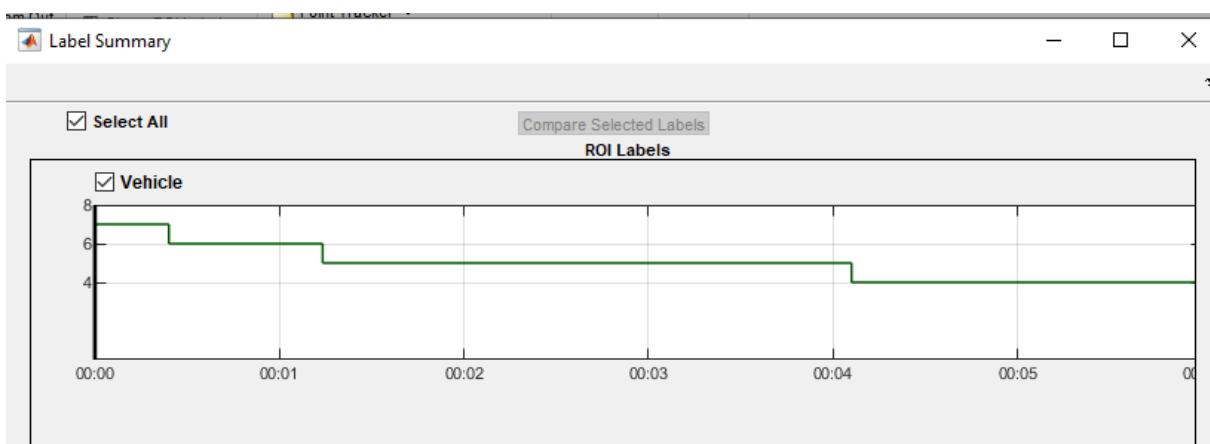
On ne modifie pas le temps de la simulation et on automatise la scène, on obtient :



A la fin de la simulation, on a :



Pour le sommaire des étiquettes, on obtient :

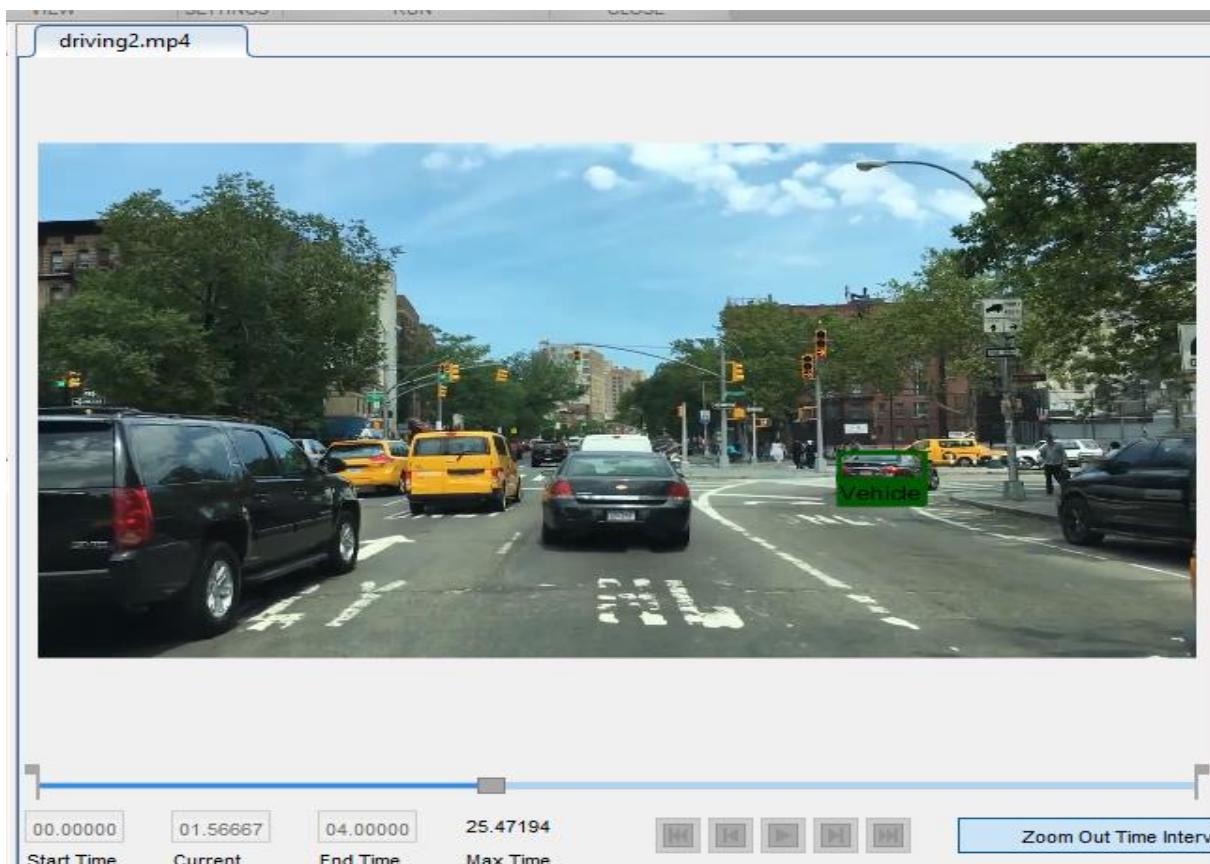


Conclusion :

- ➡ On constate que ce détecteur nous donne les mêmes résultats que le précédent.
- ➡ Cette méthode nous permet grâce à l'algorithme qu'elle utilise de faire un suivi de points pour faire le suivi des objets.
- ➡ Au fur et à mesure que l'algorithme de suivi de points progresse dans le temps, des points peuvent être perdus en raison de variations d'éclairage, d'une rotation hors plan ou d'un mouvement articulé, donc le suivi doit être périodique.

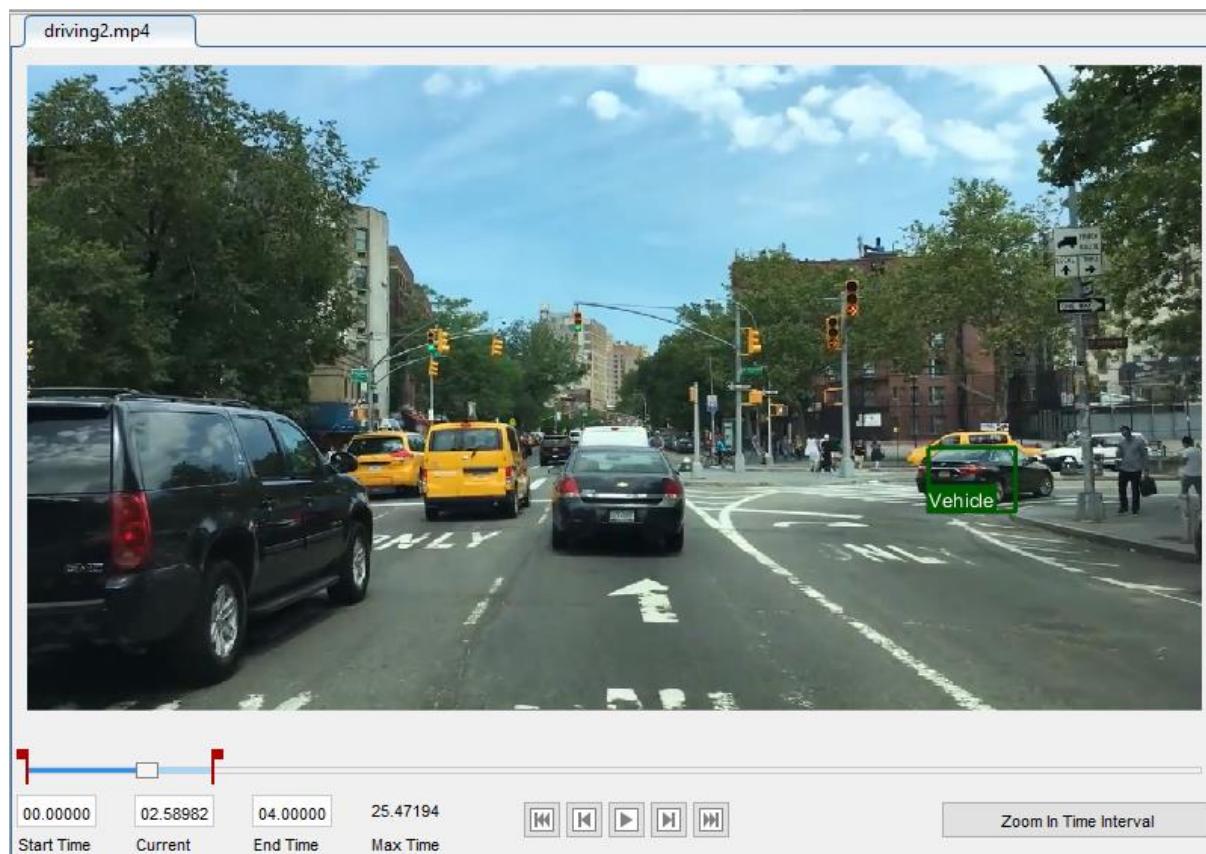
2/ Méthode d'interpolateur temporel:

On change la méthode de travail en choisissant l'interpolateur temporel, on sélectionne un seul véhicule et on observe l'évolution de sa position en fonction du temps pour un intervalle de 4 secondes :

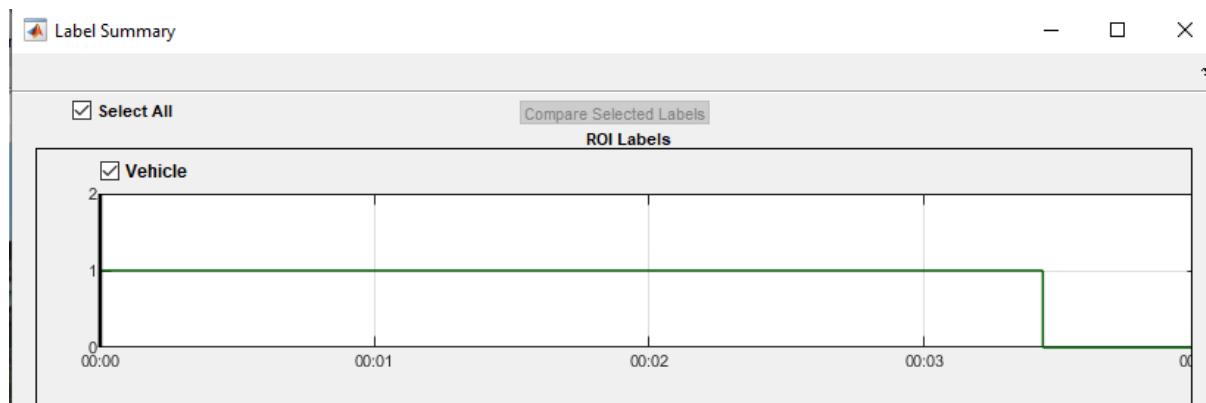


Vers la fin :

ENSEM Casablanca



Pour le sommaire des étiquettes, on obtient :



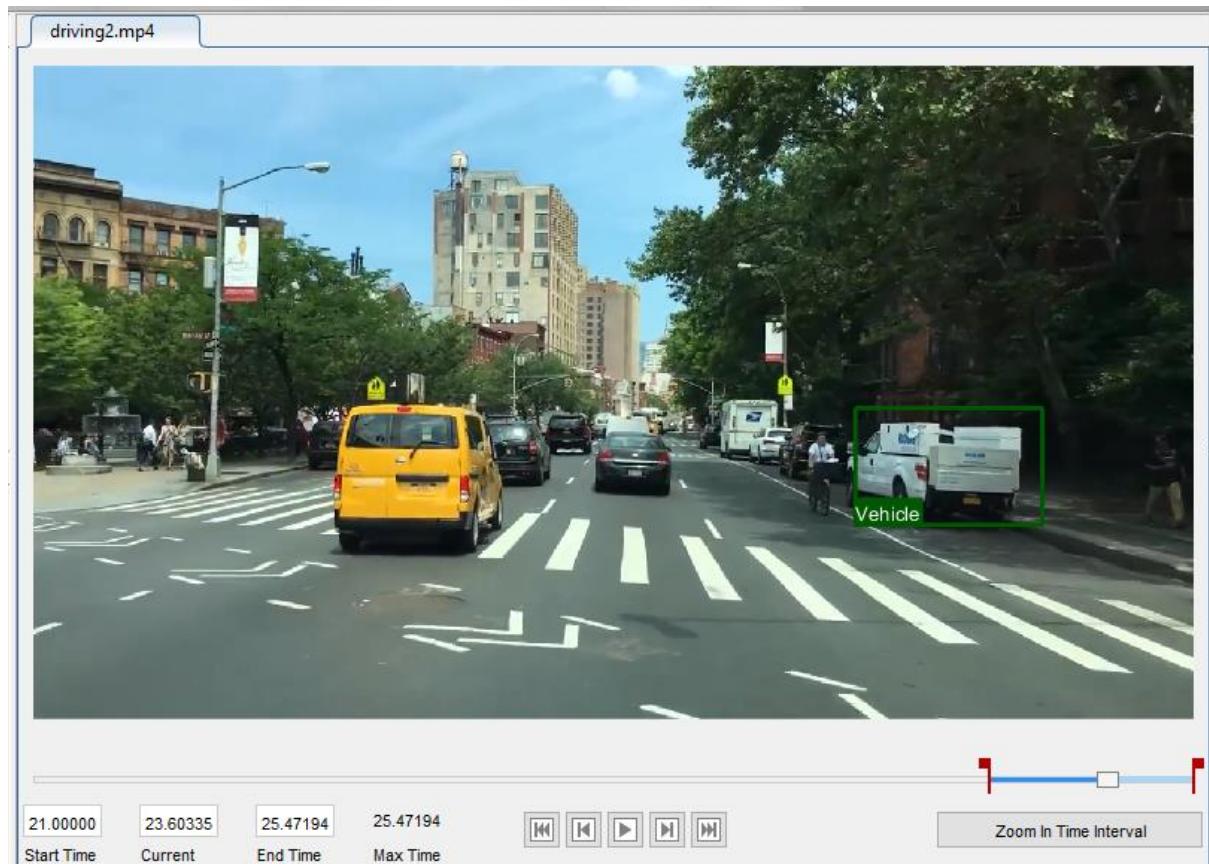
Conclusion :

Cette méthode permet de connaître la location du véhicule sélectionné pour chaque intervalle de temps donc elle est mieux que la précédente.

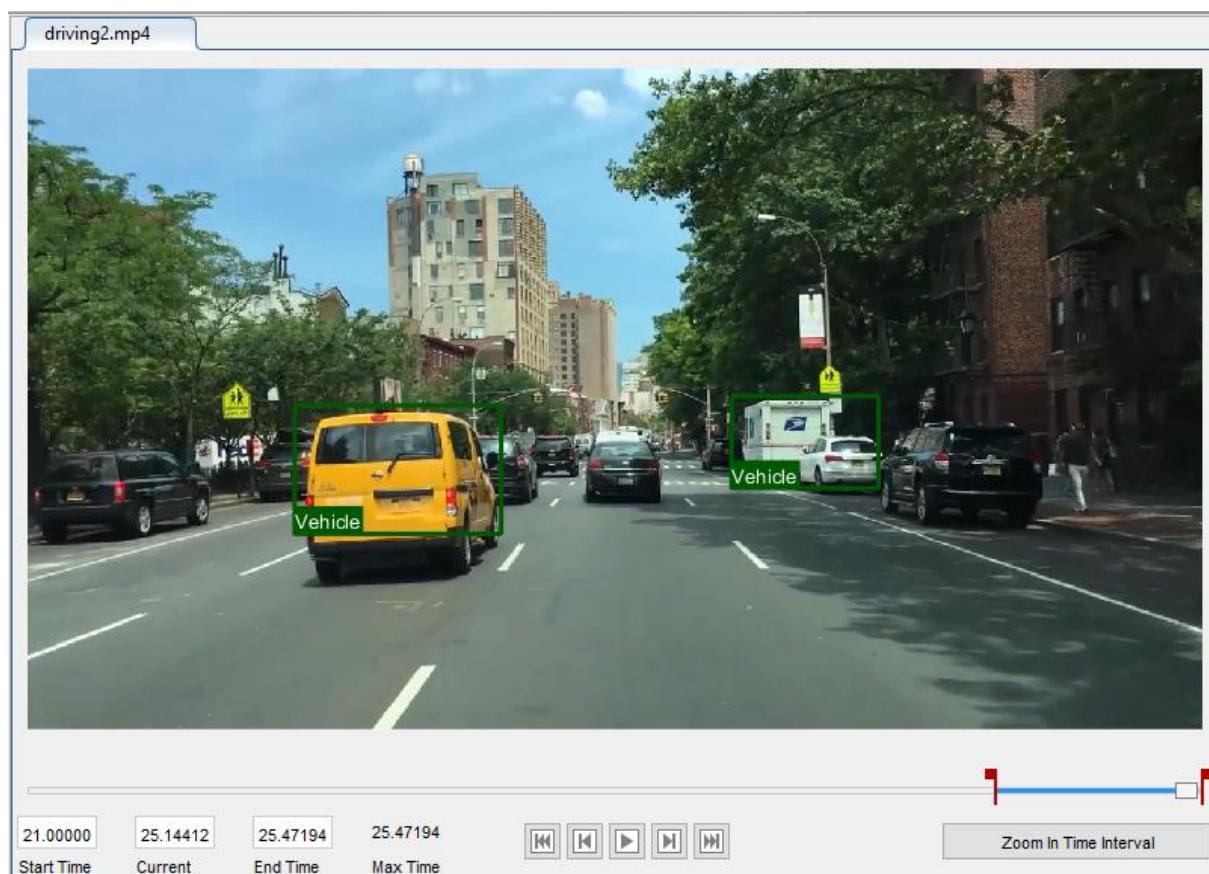
3/ Méthode 'ACF Vehicle Detector':

On sélectionne maintenant la méthode détectrice de véhicule qui se base sur les fonctionnalités de chaîne agrégées (ACF) et on automatise la scène pour environ 4 secondes :

ENSEM Casablanca



On obtient vers la fin de la simulation :

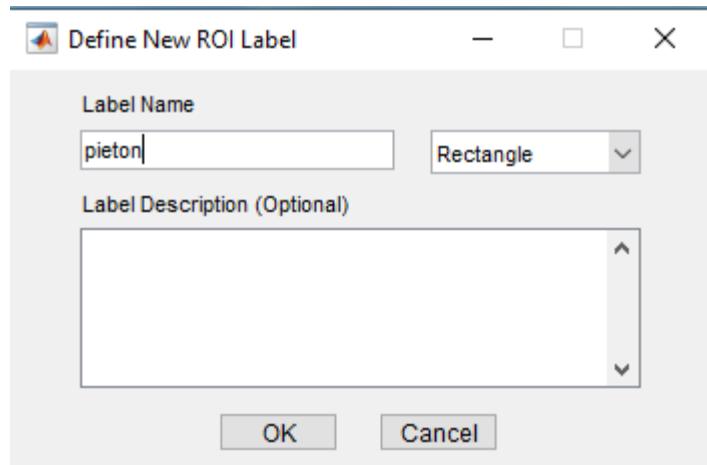


Conclusion :

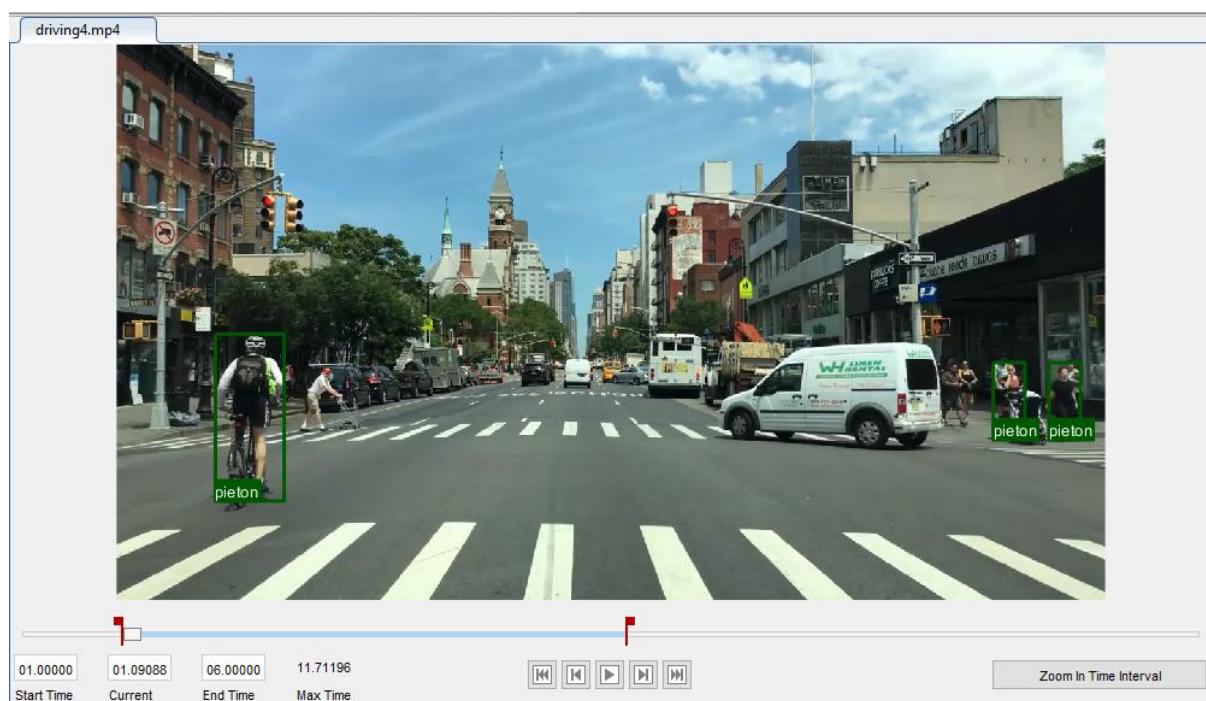
- ❖ Cet algorithme nous permet de détecter quelques véhicules.

Détection des personnes :

On construit maintenant une étiquette qui représente les piétons :

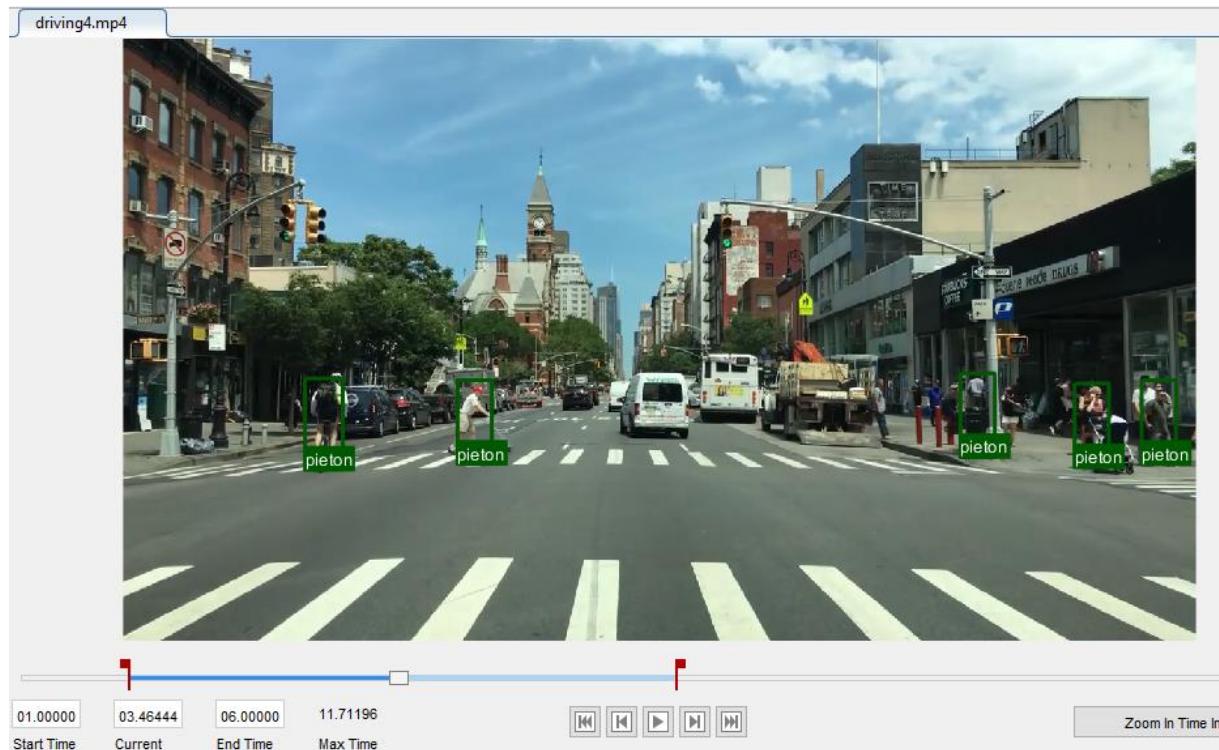


On choisit maintenant la méthode de détection des personnes (ACF people detector) pour un intervalle de 6 secondes :

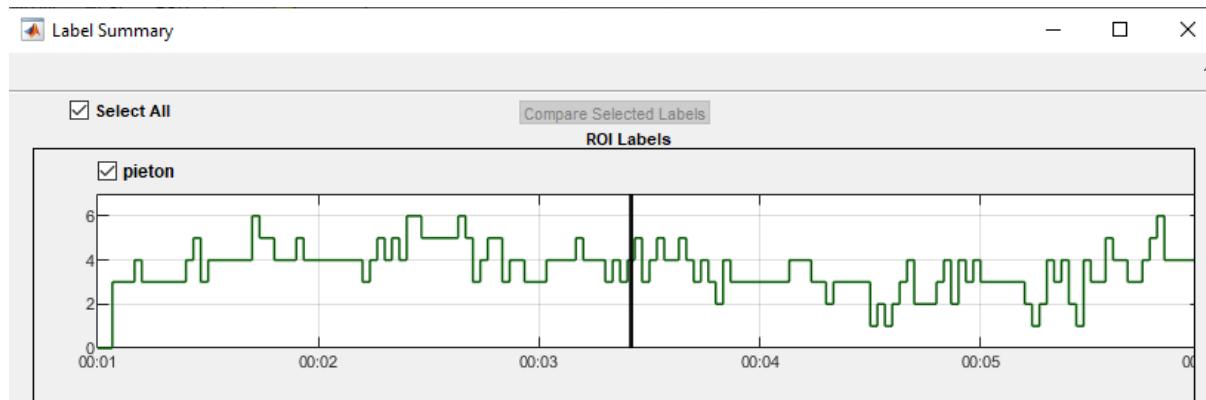


On obtient :

ENSEM Casablanca



Sommaire des étiquettes:



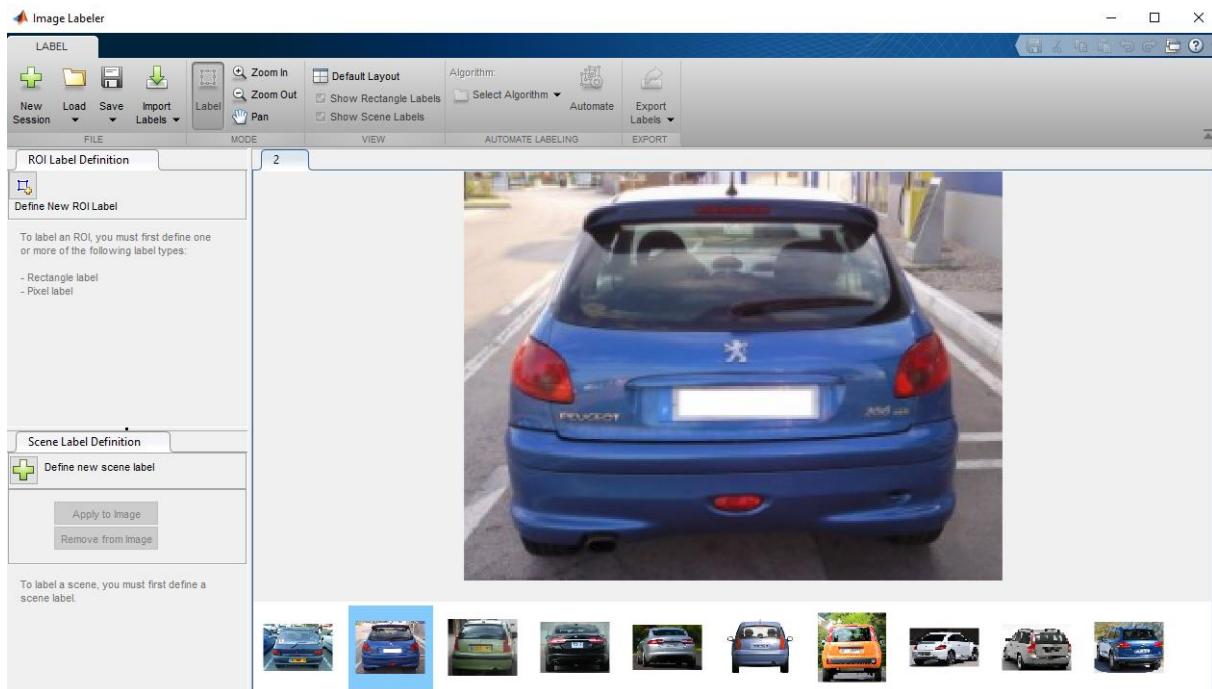
Conclusion :

- ❖ On constate que cette méthode nous permet de détecter les piétons dont le nombre varie en fonction du temps.

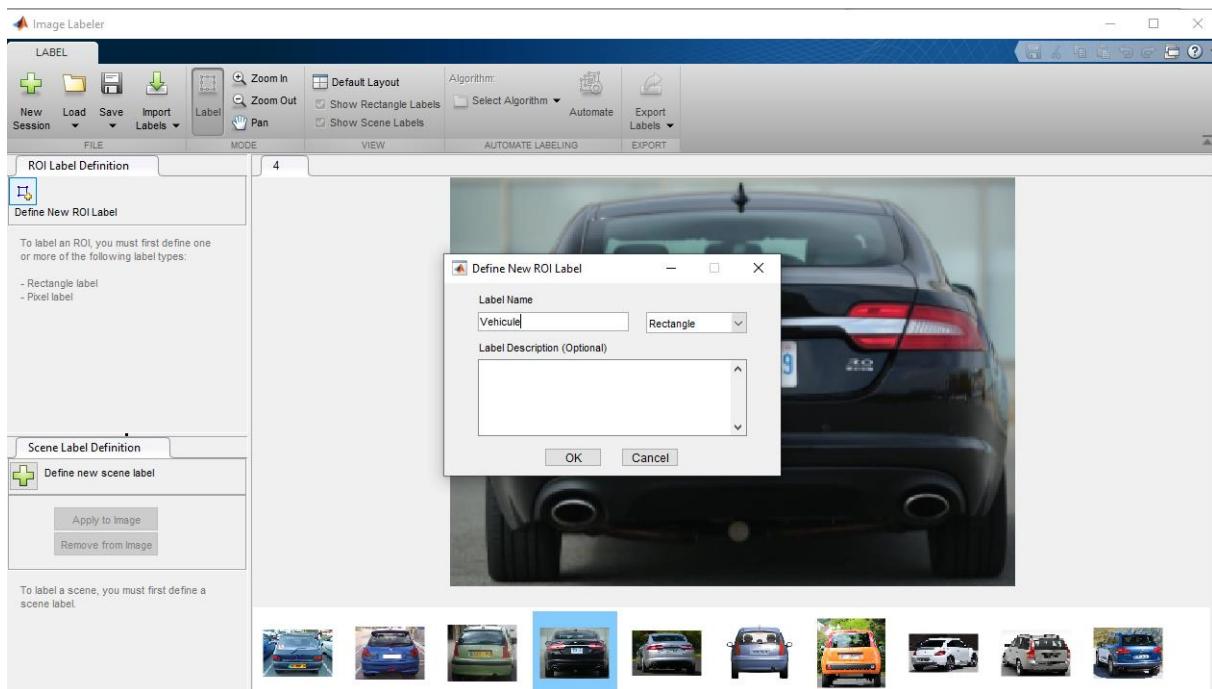
❖ Image Labeler :

Pour exploiter le Deep Learning, on peut utiliser aussi l'étiqueteuse d'images (Image Labeler) qui appartient à la boîte à outils (**Image Processing and computer vision**), en labélisant des images simples qu'on veut que le véhicule reconnaît (pour des milliers d'images) :
On ouvre donc les images qu'on veut labéliser :

ENSEM Casablanca



On ajoute une étiquette qui représente les véhicules :



- ❖ On labélise 2 ou 3 images et on laisse 'ACF Vehicle Detector' de terminer ce travail en simulant ces photos, cela nous aide et économise le temps et l'effort de travail.

Conclusion :

- ❖ On constate que cette méthode de l'apprentissage profond nous permet de créer une base de données pour que la voiture puisse reconnaître des milliers d'images labélisées en utilisant l'apprentissage automatique.

Comparaison des trois méthodes :

Méthode de suivi de points (Point Tracker)	Méthode d'interpolateur temporel	Méthode 'ACF Vehicle Detector'
<ul style="list-style-type: none"> -Méthode utilisée : 'Point Tracker' (suivi de points) qui utilise l'algorithme 'Kanade-Lucas-Tomasi' qui permet de suivre un ensemble de points -Se base sur le suivi des objets -Obtention des rectangles des véhicules inchangables au cours du temps. -le suivi doit être périodique 	<ul style="list-style-type: none"> -Utilise l'interpolateur temporel -Permet le suivi des véhicules sélectionnés pendant des intervalles de temps -Suivi plus précis et résultats corrects. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se base sur les fonctionnalités de chaîne agrégées -Des résultats corrects et précis -Pas une détection totale des véhicules.

❖ L'apprentissage profond en traitement des images et des vidéos :

Matlab possède des outils et algorithmes pour procéder, analyser et interagir avec les images et les vidéos.

L'apprentissage profond nous permet d'entrainer la machine pour classifier et reconnaître les objets dans les images et les vidéos en utilisant différentes méthodes :

Détection de visage :

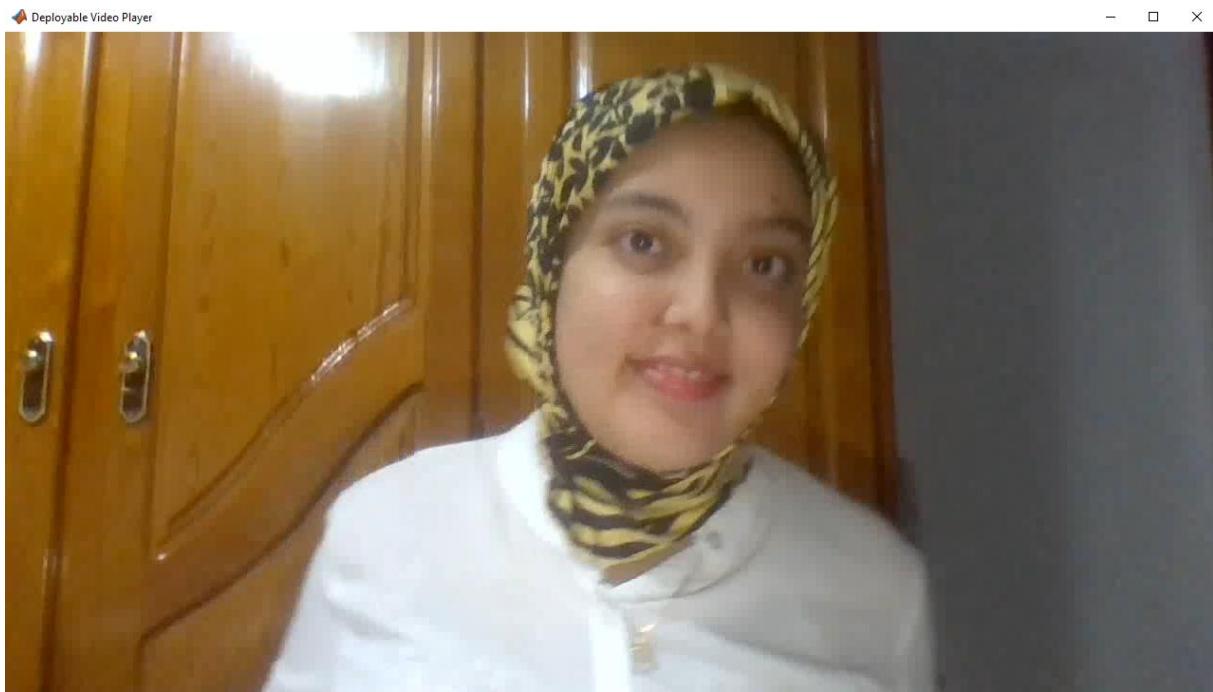
On utilise donc comme algorithme :

```

%% Face Detection in a Video
%% Read a video into MATLAB
videoFileReader = VideoReader('ibtihalabir.avi');

depVideoPlayer = vision.DeployableVideoPlayer;
%% Read frame by frame
while hasFrame(videoFileReader)
    videoFrame = readFrame(videoFileReader);
    % Display video
    depVideoPlayer(videoFrame);
    pause(1/videoFileReader.FrameRate);
end

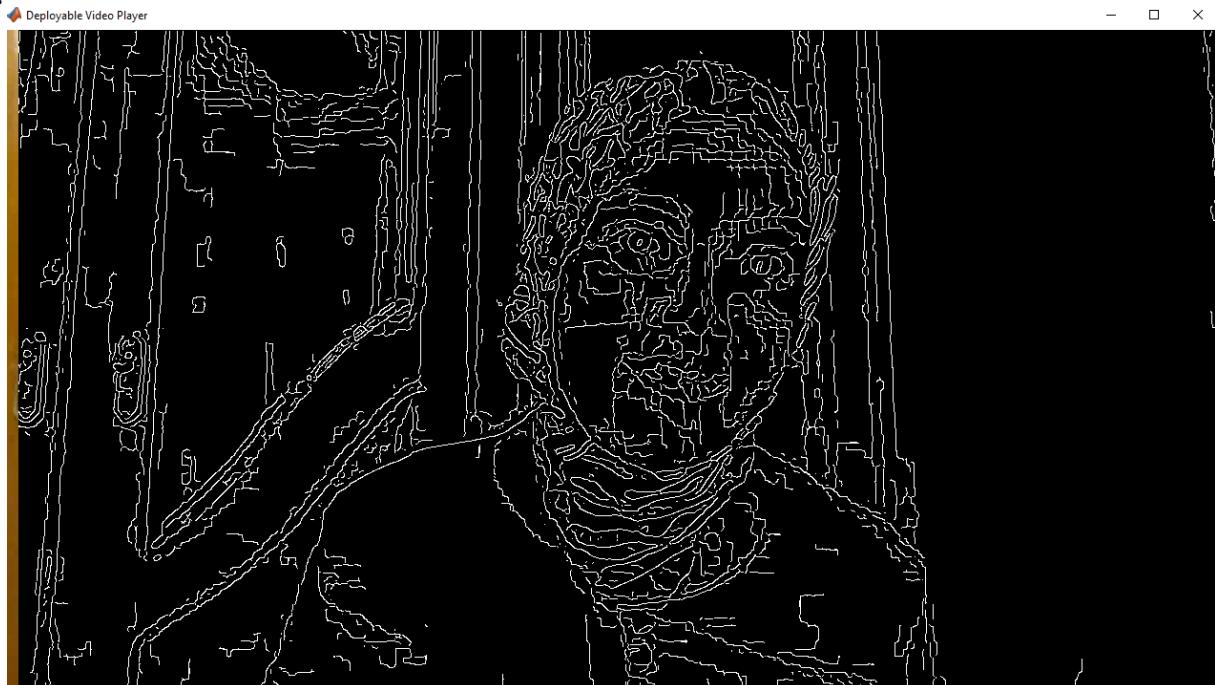
```



```
% Read the video into MATLAB
videoFileReader = VideoReader('ibtihalabir.avi');
% This value determine the speed of the sliding effect
speed = 10;
col = videoFileReader.width;
% Display video
depVideoPlayer = vision.DeployableVideoPlayer;
%% Process each frame
while hasFrame(videoFileReader)
    % Left to Right
    for idx = 1:speed:col
        videoFrame = readFrame(videoFileReader);
        % Detect edges in the grayscale image
        edgeFrame = edge(rgb2gray(videoFrame), 'canny');
        edgeFrame = edgeFrame * 255;
        % Part of the Input Frame
        n1 = videoFrame(:, 1 : idx,:);
        % Part of the Edge Detected Frame
        n2 = edgeFrame(:, idx+1 : col );
        % Concatenating them together
        finalFrame = [n1 cat(3,n2,n2,n2)];
        depVideoPlayer(finalFrame);
    end
    % Right to Left
    for idx = col:-speed:1
        videoFrame = readFrame(videoFileReader);
        % Detect edges in the grayscale image
        edgeFrame = edge(rgb2gray(videoFrame), 'canny');
        edgeFrame = edgeFrame * 255;
        % Part of the Input Frame
```

```
% Part of the Input Frame  
n1 = videoFrame(:, 1 : idx,:);  
% Part of the Edge Detected Frame  
n2 = edgeFrame(:, idx+1 : col );  
% Concatenating them together  
finalFrame = [n1 cat(3,n2,n2,n2)];  
depVideoPlayer(finalFrame);  
end  
  
end  
  
% for idx=1:e  
%     n1 = i(:, 1 : idx);  
%     n2 = i2(:, idx+1 : e );  
%     imshow([n1 im2uint8(n2)])  
%  
% end  
% for idx=e:-10:1  
%     n1 = i(:, 1 : idx);  
%     n2 = i2(:, idx+1 : e );  
%     imshow([n1 im2uint8(n2)])  
%  
% end
```

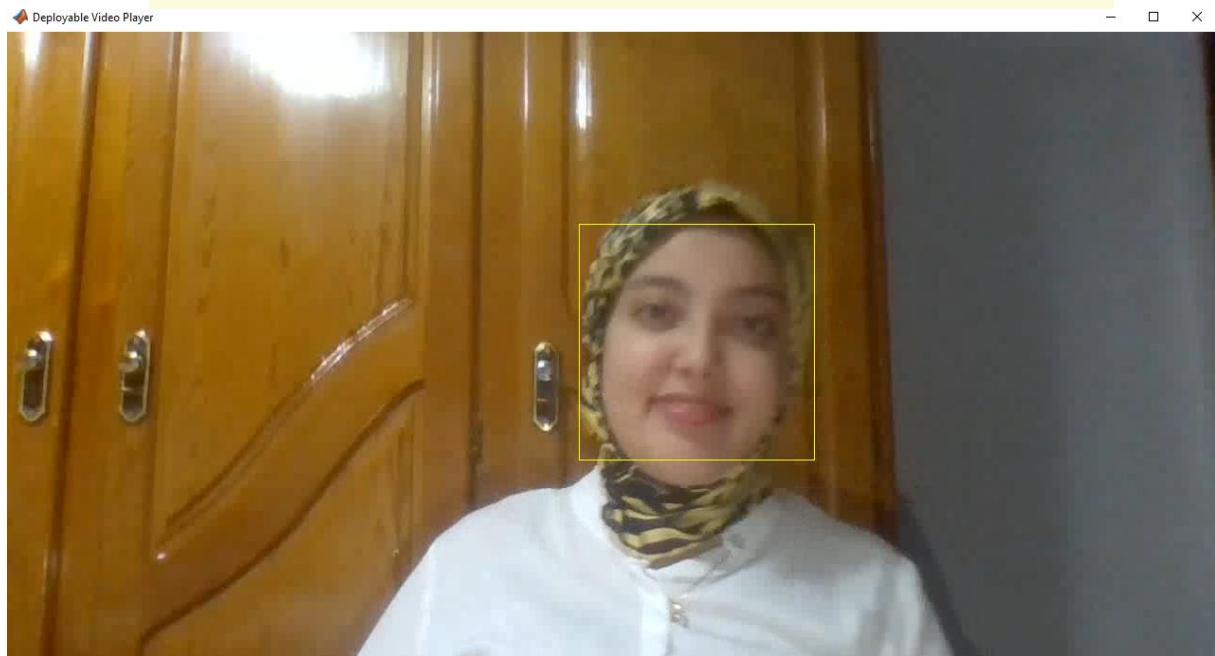
Ça nous donne comme résultat :



```
%% Face Detection in a Video

%% Read a video into MATLAB
videoFileReader = VideoReader('ibtihalabir.avi');
myVideo = VideoWriter('myFile.avi');
depVideoPlayer = vision.DeployableVideoPlayer;
% Initialize the Detector
faceDetector = vision.CascadeObjectDetector();
open(myVideo);

%% Detect faces in each frame
while hasFrame(videoFileReader)
    videoFrame = readFrame(videoFileReader);
    % Detect the face
    bbox = faceDetector(videoFrame);
    % Insert a box around the detected face
    videoFrame = insertShape(videoFrame, 'Rectangle', bbox);
    % Display video
    depVideoPlayer(videoFrame);
    % Write frame to a video
    writeVideo(myVideo, videoFrame);
    %pause(1/videoFileReader.FrameRate);
end
close(myVideo)
```

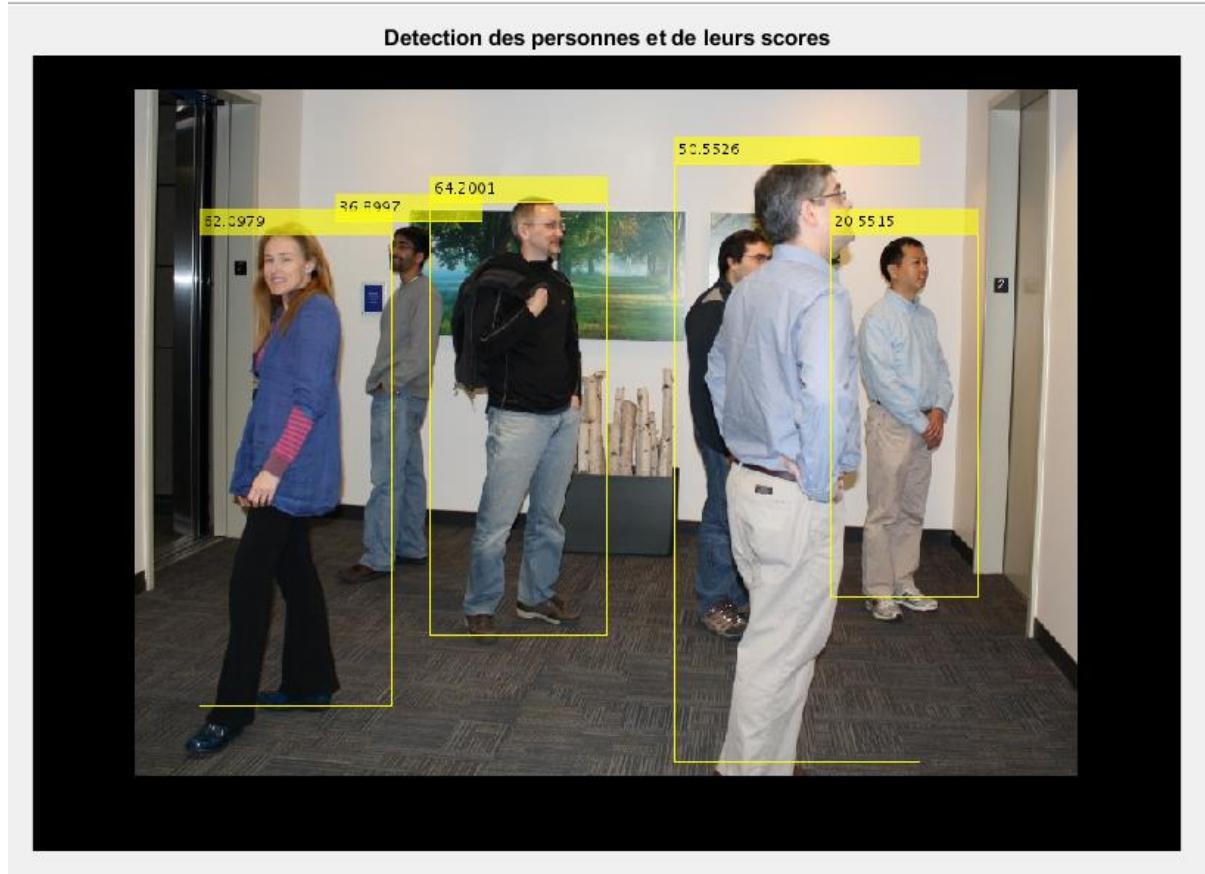


Conclusion :

Cette méthode basée sur la méthode de Viola-Jones nous a permis de détecter notre visage ce qui nous aide aussi de créer d'autres algorithmes de la détection des objets.

Détection des personnes :

```
I = imread('teampeople.png');
[bboxes,scores] = detectPeopleACF(I);
I = insertObjectAnnotation(I,'rectangle',bboxes,scores);
figure
imshow(I)
title('Detection des personnes et de leurs scores')
```



Conclusion :

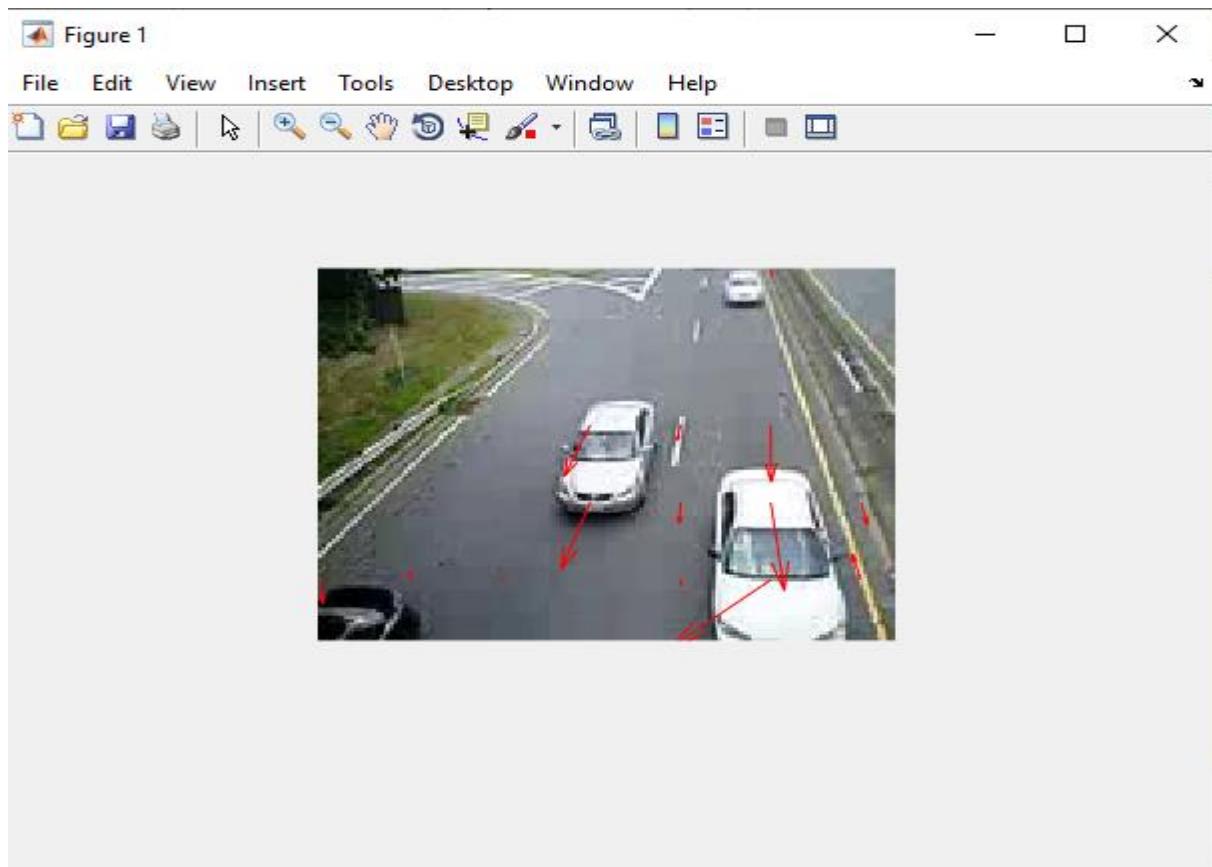
- ❖ Cet algorithme nous a permis de détecter les personnes et de leurs donner un score précis.

⊕ Détection des véhicules:

```
optical_flow.m  detectionibtiabi.m  vehiculesmatlab.m  +
```

```
1 % Estimating Optical Flow
2 % This example uses the Farneback Method to estimate the direction and speed of moving
3 % cars in the video
4 % Copyright 2010 The MathWorks, Inc.
5 % Read the video into MATLAB
6 vidReader = VideoReader('visiontraffic.avi');
7 opticFlow = opticalFlowFarneback;
8 % Estimate Optical Flow of each frame
9 while hasFrame(vidReader)
10 frameRGB = readFrame(vidReader);
11 frameGray = rgb2gray(frameRGB);
12 flow = estimateFlow(opticFlow,frameGray);
13 imshow(frameRGB)
14 hold on
15 % Plot the flow vectors
16 plot(flow,'DecimationFactor',[25 25],'ScaleFactor', 2)
17 % Find the handle to the quiver object
18 q = findobj(gca,'type','Quiver');
19 % Change the color of the arrows to red
20 q.Color = 'r';
21 drawnow
22 hold off
23 end|
```

On obtient :



Conclusion :

Cet algorithme nous a permis d'utiliser l'une des méthodes d'estimation de mouvement (le flux optique) ce qui est aussi utile dans la détection des voitures.

Conclusion générale :

Matlab avec sa diversité et ses outils différents nous permet d'entrainer notre machine à la reconnaissance et la classification des objets rencontrés, il nous permet en outre de réaliser nos propres programmes et les simuler où il s'agit bien d'une détection et classification.

b. Python / OpenCV/ Tensorflow

3. Choix de l'algorithme de reconnaissance et de classification

Pour commencer on va apporter notre Dataset qui contient principalement les véhicules et les piétons, à ce stade on va prendre des données qui sont pré-entraînées due aux performances faibles de notre machine et l'environnement au Cloud n'est pas accessible gratuitement.

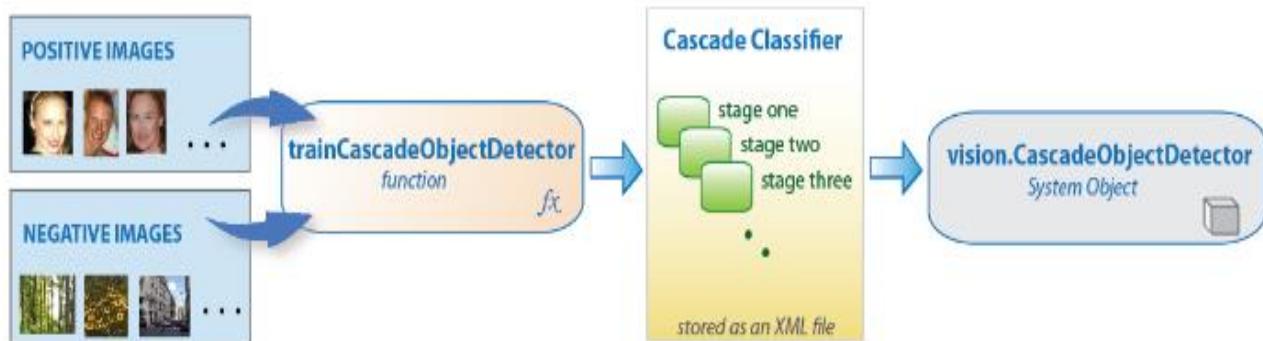
• *Détection des obstacles*

L'algorithme de Haar Cascades

Haar Cascade est un algorithme de détection d'objets d'apprentissage automatique utilisé pour identifier des objets dans une image ou une vidéo et basé sur le concept de fonctionnalités proposée par Paul Viola et Michael Jones dans leur article "Détection rapide d'objets à l'aide d'une cascade accélérée de fonctionnalités simples" en 2001.

Il s'agit d'une approche basée sur l'apprentissage automatique dans laquelle une fonction en cascade est formée à partir d'un grand nombre d'images positives et négatives. Il est ensuite utilisé pour détecter des objets dans d'autres images.

Cascade Classifier



L'algorithme comporte quatre étapes:

1. Sélection des fonctionnalités Haar
2. Création d'images intégrales
3. Formation Adaboost
4. Classificateurs en cascade

Maintenant on écrit le code python et on importe le fichier Haar cascades qui contient les données pré-entraînées des véhicules et les piétons (personnes).

Les véhicules



Les piétons



L'algorithme de YOLO V3 (Real Time Object Detection)

You Only Look Once est un algorithme qui utilise des réseaux neuronaux convolutifs (CNN) pour la détection d'objets. Vous ne regardez qu'une seule fois, ou YOLO, est l'un des algorithmes de détection d'objet les **plus rapides**. Bien que ce ne soit pas l'algorithme de détection d'objets le plus précis, c'est un très bon choix lorsque nous avons besoin d'une détection en temps réel, sans perte de précision excessive.

- Cet algorithme applique un seul réseau neuronal à l'image complète. Cela signifie que ce réseau divise l'image en régions et prédit des cadres de délimitation et des probabilités pour chaque région. Ces boîtes englobantes (bounding boxes) sont pondérées par les probabilités prédites.
- **Que peut-il détecter ?**

Yolo peut être appliquée sur :

- Fichier image
- Webcam
- Fichier Vidéo

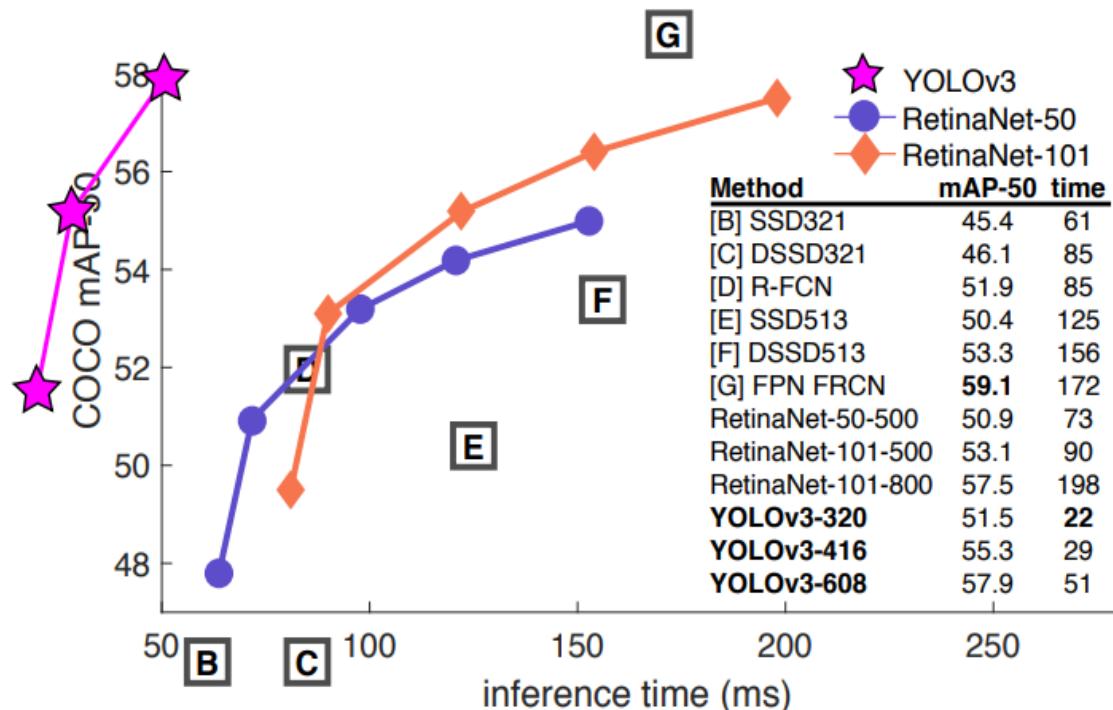


Figure : Comparaison d'algorithme YOLO V3 avec d'autres algorithmes de classifications avec mAP (mean Average Precision) en fonction de temps

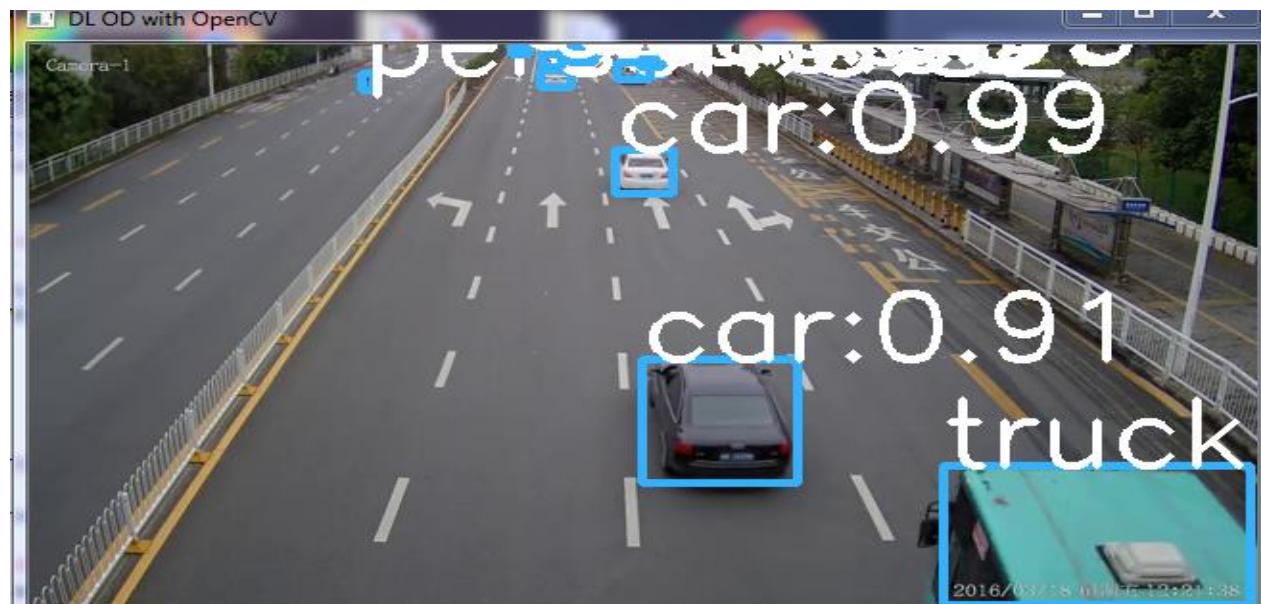
➤ Résultats

Les véhicules



ENSEM Casablanca

Les voitures ici sont détectées avec des rectangles, étiquettes qui porte leur classe et leur probabilité d'y être. Ci-dessous on a appliqué le même code sur une autre vidéo pour s'assurer de sa précision.



Les piétons

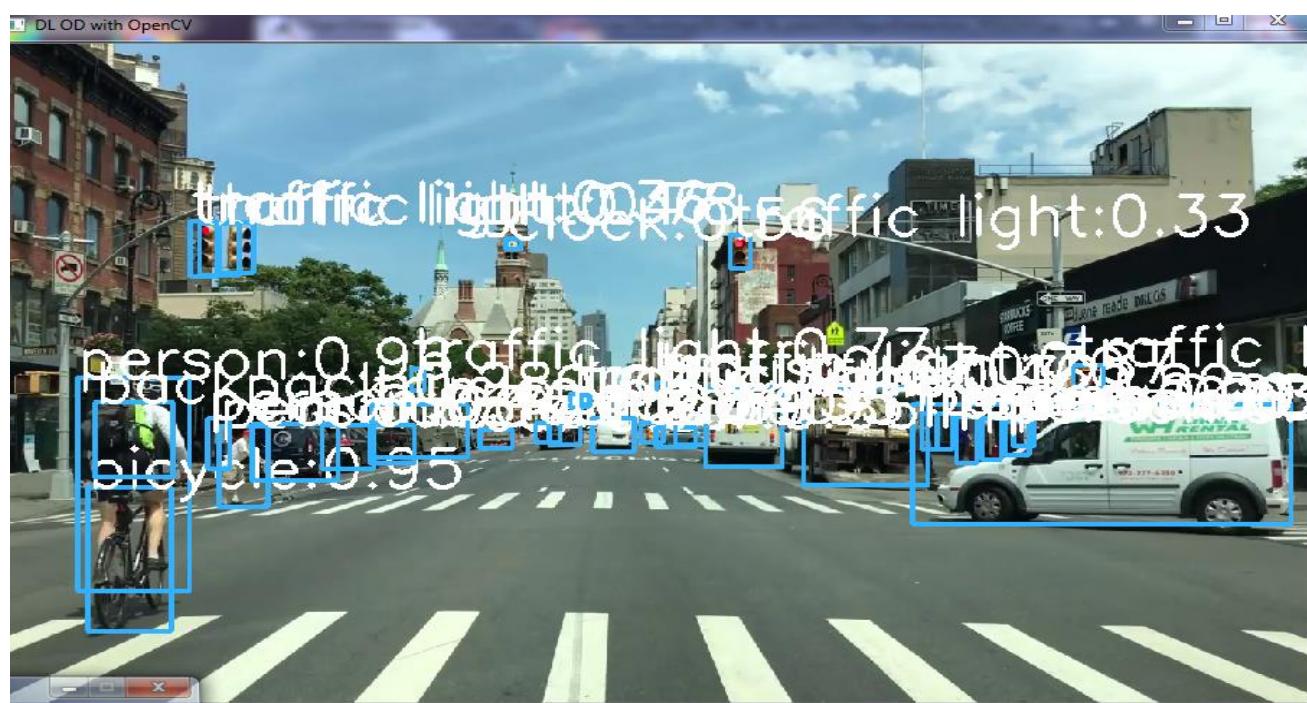


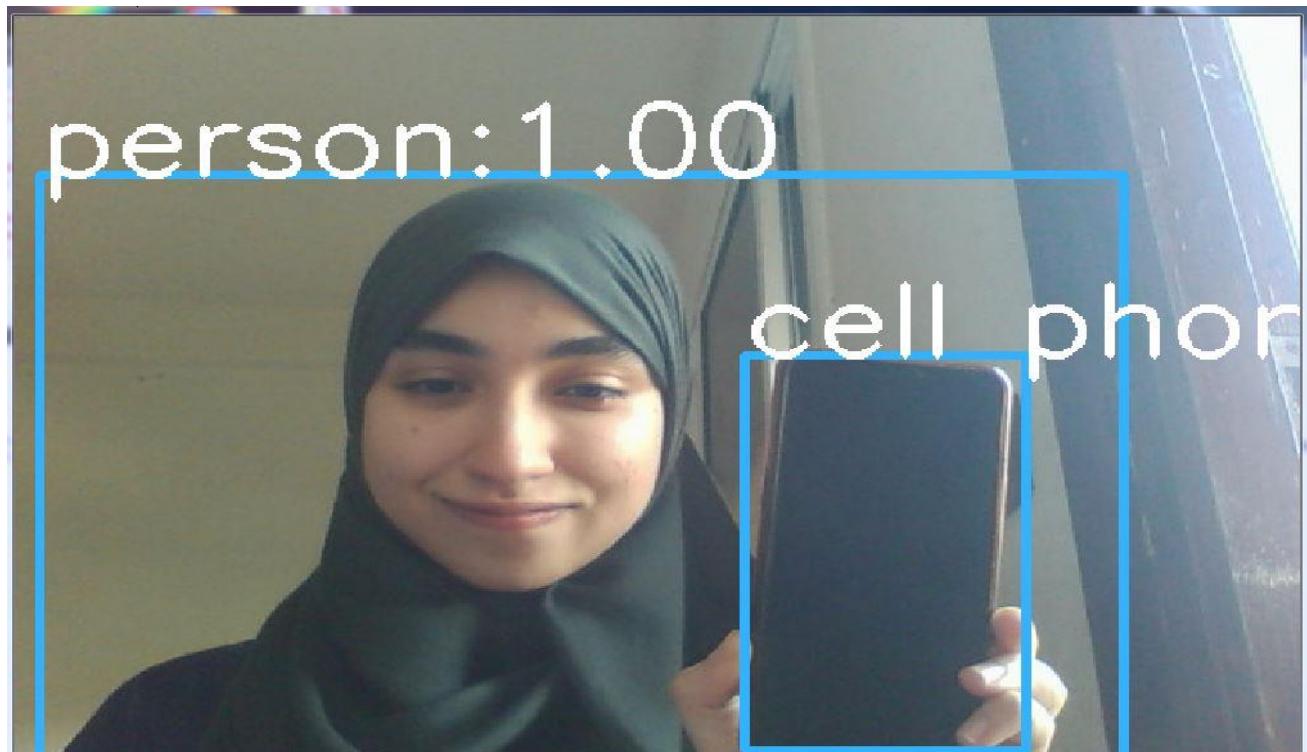
Même principe pour la détection des piétons ou personnes en

- **Classification**

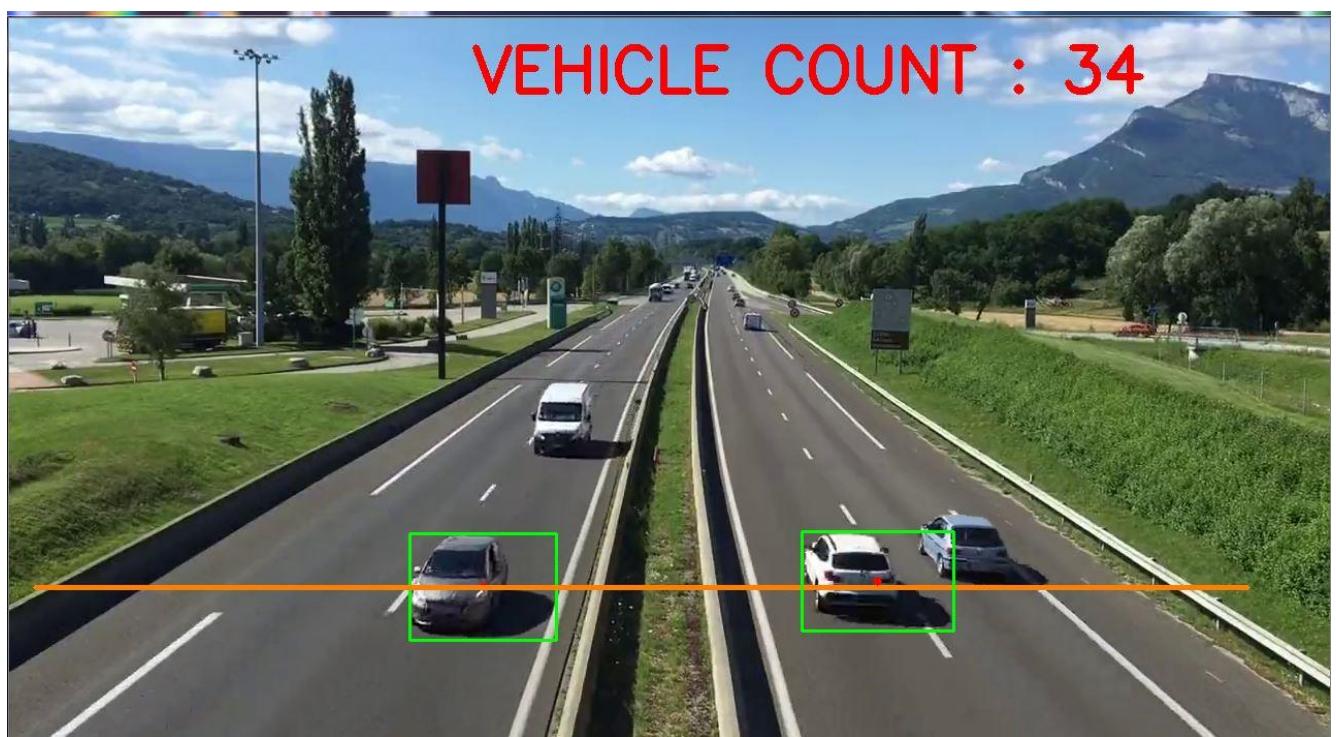
Par rapport aux algorithmes de reconnaissance, un algorithme de détection ne prédit pas seulement les étiquettes de classe, mais détecte également les emplacements des objets. Ainsi, non seulement il classe l'image dans une catégorie, mais il peut également détecter plusieurs objets dans une image.

- L'entrée est un lot d'images de forme ($m, 416, 416, 3$)
- La sortie est une liste de boîtes englobantes avec les classes reconnues. Chaque boîte englobante est représentée par 6 nombres (pc, bx, by, bh, bw, c). Si nous développons cc dans un vecteur de 80 dimensions, chaque boîte englobante est alors représentée par 85 nombres.
- De la même manière que dans tous les détecteurs d'objets, les caractéristiques apprises par les couches convolutives sont transmises à un classificateur / régresseur qui effectue la prédiction de détection (coordonnées des boîtes englobantes, étiquette de classe, etc.).
- Dans YOLO, la prédiction se fait en utilisant une couche convulsive qui utilise des convolutions 1×1 . Donc, la première chose à remarquer est que notre sortie est une carte des caractéristiques. Puisque nous avons utilisé des convolutions 1×1 , la taille de la carte de prédiction est exactement la taille de la carte d'entités avant elle. Dans YOLO v3, la façon dont vous interprétez cette carte de prédiction est que chaque cellule peut prédire un nombre fixe de cadres de délimitation.





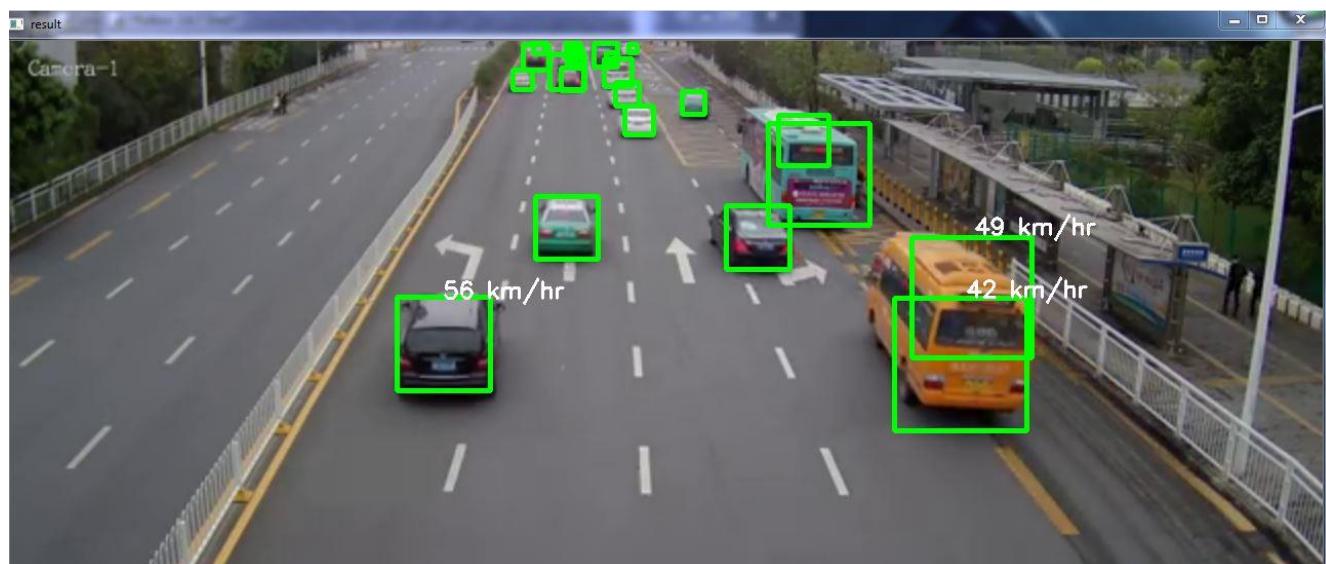
- *Comptage /énumération des véhicules*



Le système de comptage de véhicules qu'on a construit est composé de trois composants principaux: un détecteur, un tracker et un compteur. Le détecteur identifie les véhicules dans une image vidéo donnée et renvoie une liste de boîtes de délimitation autour des véhicules au Tracker. Le Tracker utilise les cadres de délimitation pour suivre les véhicules dans les images suivantes. Le détecteur est également utilisé pour mettre à jour périodiquement les trackers pour s'assurer qu'ils suivent

toujours correctement les véhicules. Le compteur compte les véhicules lorsqu'ils quittent le cadre ou utilise une **ligne de comptage tracée à travers une route**.

- **Estimation de vitesse des véhicules détectés**



Pour trouver la vitesse d'une voiture, nous devons savoir comment elle se déplace d'une image à l'autre. Nous pouvons déjà détecter les voitures sur n'importe quelle image, mais nous avons besoin d'une sorte de permanence pour détecter le mouvement dans la vidéo. C'est un processus assez long, mais en général, nous comparons les detections actuelles aux detections précédentes, et en fonction de paramètres définis manuellement, nous déterminons si les nouvelles detections sont des mouvements valides ou non.

Ce programme dispose de deux méthodes de détection de la vitesse: **le mode distance** et **le mode moyen**.

Le mode Distance prend une valeur de «distance» prédéfinie (la longueur de la route dans la vidéo). Le programme utilise cette valeur et l'heure du véhicule à l'écran pour calculer sa vitesse.

Le mode Moyen échantillonne un certain nombre de véhicules pour y trouver la vitesse moyenne à l'écran (en pixels). Les voitures suivantes sont comparées à la moyenne et leurs vitesses sont indiquées en pourcentage de différences par rapport à la moyenne. Ce mode est utile lorsque vous ne connaissez pas la distance de la route dans la vidéo, il peut donc être appliqué à presque toutes les routes.

4. Comparaison des performances entre les algorithmes de ML

Le tableau 1 présente les résultats des détecteurs d'objets les plus utilisés et célèbres (y compris YOLOV3 et Haar Cascade), et sur l'ensemble de données GRAM (Road-Traffic Monitoring) de surveillance du trafic routier.

		M-30	M-30-HD	Urban1
Haar Cascade	Time [s]	0.08–0.13	0.3–0.44	0.02–0.06
	Accuracy	43%	75%	40%
SSD	Time [s]	4–7	11–14	2.6–5.6
	Accuracy	22%	70%	69%
YOLO v3	Time [s]	1.0–1.8	1.0–1.8	1.0–1.8
	Accuracy	82%	86%	91%
Mask R-CNN	Time [s]	2.4–3.0	2.4–3.0	2.4–3.0
	Accuracy	89%	91%	46%

Table 1. Performance comparison according to the processing time and vehicle detection accuracy of the four object detectors on the three videos in the GRAM dataset.

GRAM se compose de 3 séquences de vidéo stimulantes, enregistrées dans des conditions différentes et avec différentes plates-formes. Il s'agit de :

- **1^{er} vidéo « M-30 (7520 frames) »** : a été enregistré par temps ensoleillé avec un appareil photo Nikon Coolpix L20, avec une résolution de 800x480 à 30 fps
- **2^{ème} vidéo « M-30-HD (9390 frames) »** : a été enregistré dans un endroit similaire mais pendant une journée nuageuse, et avec un appareil photo haute résolution: un Nikon DX 3100 à 1200x720 @ 30 fps.
- **3^{ème} vidéo « Urban1 (23435 frames) »** : a été enregistré dans une intersection achalandée avec une caméra de surveillance de la circulation avec une résolution de 600x360 @ 25fps.

Effectivement, la phase expérimentale nous a prouvé que le détecteur Haar Cascade est le plus rapide de chaque jeu de données.

On remarque ainsi que le détecteur YOLO offre le meilleur compromis avec des temps d'exécution acceptables et de très bonnes performances sur tous les jeux de données et ce qu'on a éprouvé exactement lors de nos simulations.

5. Conclusion

Lors de la préparation de notre dataset , l'implémentation de ces algorithmes, et l'écriture de code en python on a trouvé beaucoup de difficultés surtout avec les bibliothèques de python et la configuration du Opencv et Tensorflow. Ainsi nous avons ajouté le code qui nous permet d'enémurer les véhicules dans un enregistrement des CCTV et on a allé plus loin pour estimer la vitesse de ces véhicules chose qui permet aux voitures autonomes d'éviter la collision et avoir des avertissements , et les caméras d'autoroutes de detecter les infractions de circulation et la violation du code de la route. Finalement nos résultats a dévoilé que le détecteur le plus performant, compte tenu du temps de traitement, est Haar Cascade, tandis que YOLO représente le compromis entre les ressources en temps et la précision de détection.

IV- Conclusion & perspectives

Un pipeline pour développer des systèmes de classification de l'état de la circulation à partir de vidéos a été présenté dans notre projet. Le pipeline se compose de trois étapes principales: détection de véhicule, fonction extraction et classification. Plusieurs approches de pointe ont été envisagées et comparées.

Une comparaison préliminaire entre les détecteurs d'objets, réalisée sur le GRAM Road Traffic Monitoring jeu de données vidéo, a souligné que YOLO v3 peut être utilisé pour un détecteur de véhicule en temps réel présentant un précision de détection supérieure à 80%.

Le problème ici considéré est évidemment complexe et les résultats fournis doivent amélioration comme par exemple: raffinements des algorithmes de détection d'objets, validation sur plus de trafic ensembles de données. Le dernier aspect n'est pas anodin car différents paramètres de route (route de campagne, route de ville, route jonction et carrefour, routes à double voie, etc.) et les conditions météorologiques (nuits pluvieuses, brouillard, neige, rafales du vent, etc.) pourraient avoir un impact significatif sur les systèmes.

Finalement, ce projet nous a permis de mieux connaître le domaine de l'intelligence artificielle notamment le Machine Learning et le Deep Learning et savoir les futures opportunités qu'apporte ce domaine concernant l'amélioration de trafic urbaine et le futur des voitures autonomes en particulier et la vie des hommes en général. Ainsi ce projet nous a permis de mettre nos mains sur le code et les bases de programmation soit en python soit en matlab , sans oublier les conditions difficiles qu'on a pu surmonter à cause du confinement et malgré les distances et les problèmes techniques qu'on a éprouvé, il reste un travail dont on est très fier qui va nous donner beaucoup d'opportunités concernant nos carrières.

Nous remercions chaleureusement notre encadrant Mr. Essaid SABIR pour ces efforts et pour son encadrement , son guide et sa disponibilité.

Références

<http://www.willberger.org/cascade-haar-explained/>

<https://medium.com/analytics-vidhya/yolo-v3-theory-explained-33100f6d193>

<https://pjreddie.com/darknet/yolo/>

<https://pjreddie.com/media/files/papers/YOLOv3.pdf>

<https://stackoverflow.com/questions/36254452/counting-cars-opencv-python-issue>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6929094/pdf/sensors-19-05213.pdf>

<http://agamenon.tsc.uah.es/Personales/rlopez/data/rtm/>

<https://dl3.pushbulletusercontent.com/NLaMEThz4XsZ9wZh5cpa8NuUXSzRZSe/DeepCounter.pdf>

https://fr.mathworks.com/videos/what-is-object-detection-1564383482370.html?s_tid=srchtile

https://fr.mathworks.com/support/search.html/videos/ground-truth-labeler-app-1529300803691.html?fq=asset_type%3Dvideo&category%3Ddriving/index&page=1

<https://www.youtube.com/watch?v=xMsX5cdqbKU>

https://fr.mathworks.com/videos/adas-algorithm-design-and-verification-with-matlab-1493668147343.html?elqsid=1599305451640&potential_use=Student

<https://fr.mathworks.com/videos/face-recognition-with-matlab-99456.html>

<https://www.youtube.com/watch?v=uiE56h5LyXc&t=354s>

<https://fr.mathworks.com/videos/matlab-and-simulink-robotics-arena-using-ground-truth-for-object-detection-part-1-1539772871504.html>

<https://www.mathworks.com/help/vision/ug/train-a-cascade-object-detector.html>

<https://www.hindawi.com/journals/mse/2015/948960/>

<https://github.com/Sentdex/pygtar/blob/master/grabscreen.py>