

## Indy Autonomous Challenge

**Etudiants :**

Tabrich Ayoub  
Douagi Selma  
Khatori Anas  
Mekni Molka  
Ao liu  
Le Tuan Anh

**Enseignant-responsable du projet :**

Abdelaziz Bensrhair



Date de remise du rapport : **16/06/2024**

Référence du projet : **STPI/P6/2024 – 03**

Intitulé du projet : **Indy Autonomous Challenge**

Type de projet : **Biblio / État de l'art**

Objectifs du projet: **L'objectif principal de notre projet scientifique était de présenter la course Indy Autonomous Challenge, une compétition innovante visant à repousser les limites de la technologie des véhicules autonomes. Nous avons étudié les avancées en matière de conduite autonome, les algorithmes de contrôle, ainsi que les capteurs et systèmes de navigation utilisés. En mettant en lumière les défis techniques et les solutions développées, notre projet visait à démontrer l'importance de cette compétition pour l'évolution de la mobilité autonome. Nous avons également cherché à inspirer l'intérêt et la compréhension du public quant aux possibilités et aux impacts futurs des véhicules autonomes dans divers domaines.**

Mots-clefs du projet : **Course, voiture, autonome**

## TABLE DES MATIERES

1. Introduction .....	5
2. Méthodologie / Organisation du travail .....	5
3. Indy challenge : .....	6
3.1. Un peu d'histoire : .....	6
3.2. La course de simulation : .....	6
4. Présentation de la technologie autonome sur INDY : .....	9
4.1. Introduction à la technologie autonome : .....	9
4.1.1. L'histoire de la technologie autonome : .....	9
4.1.2. Fonctionnement général : .....	10
4.2. Composants de la technologie autonome : .....	11
4.3. Application sur Indy .....	12
5. Normes et sécurité : .....	14
5.1. Tests évaluant la sécurité et réaction aux situations d'urgence : .....	15
5.2. Tests évaluant la Gestion de la vitesse et des dépassements : .....	15
5.3. Tests évaluant la Communication entre les véhicules et la fiabilité : .....	16
6. mpact sur le développement .....	16
6.1. Impact sur le domaine de l'automobile .....	16
6.1.1. Systèmes de propulsion haute performance .....	16
6.1.2. Technologie des pneus et châssis .....	16
6.1.3. Technologie de la conduite automatisée .....	17
6.2. Répercussion socio économique et écologique .....	17
6.2.1. Impact sur l'économie .....	17
6.2.2. Impact sur la société .....	18
6.2.3. Impact sur l'écologie .....	18
6.3. Comment la société reçoit le projet ? .....	18
7. Conclusions et perspectives .....	19
8. Bibliographie .....	20

## 1. INTRODUCTION

L'Indy Autonomous Challenge (IAC) n'est pas une course de voiture quelconque, elle combine une course traditionnelle de voiture et l'innovation technologique. Organisée sur le célèbre Indianapolis Motor Speedway, l'IAC met une lumière sur l'histoire de l'IndyCar et également la révolution de la conduite autonome en explorant ses possibilités infinies. L'IndyCar et son circuit ont toujours été des grands participants dans le monde de l'innovation du sport automobile et il continue à l'être grâce à cette course.

Cependant ce n'est pas une course simple à organiser, puisque derrière les virages serrés et les vitesses vertigineuses se cachent de nombreuses précautions de sécurité ainsi que plusieurs questions sur la réglementation et l'impact socio-économique de cette technologie révolutionnaire.

Dans le cadre de l'Indy Autonomous Challenge, l'autonomie est poussée à ses limites, avec pour objectif ultime de permettre à des voitures autonomes de rivaliser à des vitesses extrêmement élevées sur un circuit de course emblématique. Les équipes participantes doivent non seulement développer des systèmes autonomes capables de naviguer en toute sécurité sur la piste, mais aussi de prendre des décisions stratégiques en temps réel pour optimiser leur performance et battre leurs concurrents.

Cette exploration de la conduite autonome dans le cadre de l'IAC ouvre la voie à de nombreuses questions fascinantes sur l'avenir de la mobilité. Comment ces avancées technologiques se traduisent-elles dans nos vies quotidiennes ? Quels seront les impacts sur la sécurité routière, l'urbanisme et l'environnement ?

Dans ce projet nous allons nous intéresser dans un premier temps aux points historiques essentiels à la conception de ce challenge et aux équipes qui y participent, puis nous tâcherons d'explorer de façon générale un élément phare des voitures du futur, qui est l'autonomie complète de ces derniers et de voir son application dans le cadre de l'IAC. Ensuite, nous aborderons les questions de normes, sécurité et réglementations qui garantissent le bon déroulement des courses et la sécurité de tous et enfin nous traiterons l'impact que ce challenge peut avoir sur le contexte socio-économique, écologique, sur le domaine de l'automobile et de ce qu'il peut apporter à notre société.

## 2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Pour réaliser ce rapport bibliographique sur l'Indy Autonomous Challenge, nous avons adopté une méthodologie de travail collaborative. Chaque membre de l'équipe a été assigné à un thème spécifique, tel que l'histoire de la compétition, les technologies autonomes, les composants technologiques, les normes de sécurité, et les impacts du projet. Dans un premiers temps, des recherches dans différentes sources (articles, sites web...) ont été nécessaires à chacun d'entre nous afin de découvrir le sujet et bien comprendre.... On se réunissait régulièrement pour faire le point sur l'avancement du projet et améliorer nos

contributions, assurant ainsi une couverture complète du sujet et la fiabilité des informations. Une fois les révisions terminées, nous avons consolidé le rapport en un seul document, effectué une dernière relecture collective pour vérifier la clarté, la cohérence, et la complétude de la bibliographie, aboutissant à une présentation finale professionnelle et bien structurée.

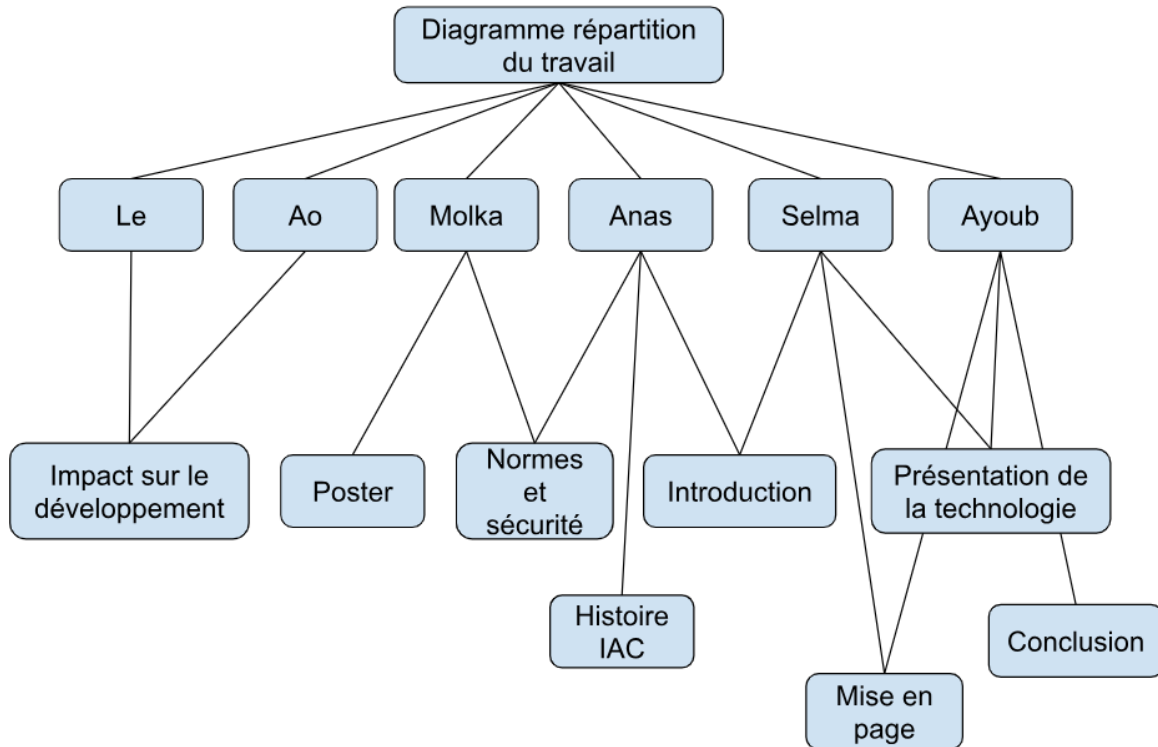


figure 1 : Diagramme de répartition du travail

### 3. INDY CHALLENGE :

#### 3.1. Un peu d'histoire :

L'Indy Autonomous Challenge (IAC) émerge comme un jalon révolutionnaire dans le monde de la course automobile, fusionnant la tradition épique de l'IndyCar avec les percées technologiques de l'intelligence artificielle. Cette compétition pionnière a été conçue pour stimuler l'innovation et accélérer le développement de véhicules autonomes à haute vitesse. Le projet a été initié par Energy Systems Network (ESN), une entreprise axée sur les technologies avancées, en partenariat avec la prestigieuse Indianapolis Motor Speedway (IMS), l'une des icônes du sport automobile mondial.

L'aventure a commencé à prendre forme en 2019 lorsque ESN a envisagé l'idée de créer une compétition qui allierait la renommée de l'IndyCar à l'innovation technologique des véhicules autonomes. Forte de cette vision, l'ESN a sollicité la collaboration de différentes entités, dont la IMS, la société de gestion des courses IndyCar, la Fondation Indiana Donnelly, la Dallara Automobili, NVIDIA, et la société de simulation Ansys.<sup>[1]</sup>

La première étape cruciale a été l'annonce officielle de l'Indy Autonomous Challenge en janvier 2020, attirant immédiatement l'attention mondiale et suscitant l'enthousiasme des universités et institutions de recherche du monde entier. Les équipes participantes, composées d'étudiants et de chercheurs des meilleures universités du monde, y compris le Massachusetts institute of technology, l'Université de Pittsburgh, KAIST, le Politecnico di Milano, la TUM et l'ETH Zurich qui sont spécialisées dans des domaines allant de l'ingénierie électrique à l'intelligence artificielle, ont été invitées à relever le défi de concevoir des systèmes autonomes capables de piloter une voiture de course à des vitesses dépassant les 300 km/h. La France fera son entrée en lice dans la compétition dans les années à venir, avec une équipe formée par des chercheurs d'universités françaises, dont l'INSA de Rouen.

Chaque équipe participant à la compétition utilise le même véhicule, un Dallara AV21 monoplace sur mesure dérivé de son modèle IL-15 avec l'ajout de tous les capteurs, actionneurs et matériel informatique nécessaires à une conduite entièrement autonome.

Au cours des mois qui ont suivi, les équipes ont travaillé ardemment pour développer des algorithmes et des logiciels de pointe, en utilisant des plateformes de simulation avancées fournies par Ansys et NVIDIA. Ces outils ont permis aux équipes de tester et de perfectionner leurs modèles dans des environnements virtuels, simulant des conditions de course réalistes.

### 3.2. La course de simulation :

Pour se qualifier pour le véritable championnat, les équipes participantes devaient d'abord démontrer leurs capacités de conduite autonome sur un simulateur en relevant une série de défis de hackathon de difficulté croissante. Cela allait d'un tour en solo et d'un simple évitement des obstacles à des courses complètes en 1 contre 1. L'environnement de simulation offrait aux équipes une réplique parfaite de l'Indianapolis Motor Speedway et de la Dallara AV-21 Racecar.

La compétition de simulation a culminé avec la course de simulation IAC, qui s'est déroulée le 30 juin 2021. Lors de ce tour de qualification, les équipes devaient réaliser leur tour en solo le plus rapide, avec des pénalités de temps pour les infractions aux limites de la piste. Ensuite, les équipes ont été divisées en deux demi-finales de 8 véhicules pour se qualifier pour la finale.

Pendant les demi-finales et la finale, de nombreux véhicules ont été disqualifiés pour avoir causé des collisions, ce qui entraînait l'arrêt et le redémarrage de la course à chaque incident. Les temps des demi-finales ont déterminé l'ordre de départ de la course finale, qui a vu la victoire de l'équipe PoliMOVE. Parti de la pole position, PoliMOVE a défendu sa place tout au long des 10 tours.

L'équipe gagnante a reçu 100 000 USD, tandis que la deuxième équipe, TUM Autonomous Motorsport, a reçu 50 000 USD.

Classement final de la course de simulation IAC:[\[2\]](#) [\[3\]](#)

Equipe	Université	Qualification	Demi-finale	Finale
PoliMove	Politecnico di Milano	1	1	1
TUM Autonome Motorsport	Technical university of Munich	5	2	2

Reveille Racing	Texas A&M University	13	4	3
MIT-PITT autonome	Massachusetts institute of technology- University of Pittsburgh	10	5	4
WUT	Warsaw University of Technology	3	1	DNF
Ariel	Ariel University	7	3	DNF
AI Racing Tech	University of Hawaii-University of California	6	2	DNF
KAIST	Korea Advanced Institute of Science and Technology	9	DNF	DNQ
Autonomous tiger racing	Auburn University	2	DSQ	DNQ
Black & Gold Autonomous racing	Purdue University -United States Military Academy (West Point)	4	DSQ	DNQ
Waterace	University of Waterloo	8	DSQ	DNQ
Cavalier autonomous Racing	University of Virginia	11	DSQ	DNQ
Crismon Autonomous Racing	University of Alabama	12	DSQ	DNQ
Pegasus-RIT Autonomous Racing	Colorado State University- Rochester Institute of Technology- Western Michigan University	14	DSQ	DNQ
Euroracing	University of Modena and Reggio Emilia - University of Pisa - Polish Academy of Sciences - ETH Zurich	15	DSQ	DNQ
IUPUI-IITKGP-USB	Indiana University-Purdue University Indianapolis - Indian Institute of Technology Kharagpur - Universidad De San Buenaventura	16	DSQ	DNQ

DSQ= disqualified, DNQ= Did Not Qualify, DNF= Did Not Finish



## 4. PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE AUTONOME SUR INDY :

### 4.1. Introduction à la technologie autonome :

L'automatisation consiste à utiliser la technologie pour surveiller, contrôler et/ou opérer tout processus ou fonction avec précision et efficacité sans intervention humaine. La technologie autonome vise à enrichir les systèmes automatisés avec des capteurs, de l'intelligence artificielle (IA) et des capacités analytiques afin qu'ils puissent prendre des décisions indépendantes basées sur les données qu'ils collectent.

#### 4.1.1. *L'histoire de la technologie autonome :*

Les premières tentatives de voitures autonomes remontent aux années 1920. Ces véhicules primitifs, bien qu'innovants pour l'époque, dépendaient fortement d'entrées spécialisées externes pour fonctionner. Un premier modèle a été créé en 1925 par Houdina Radio Control, qui était contrôlé par une deuxième voiture le suivant de près. C'est pendant les années 50 que les impulsions électriques sont devenues le moyen primaire du pilotage à distance avec le développement de détecteurs par les laboratoires RCA. C'est en 1977, au Laboratoire de robotique de Tsukuba au Japon que des avancées conséquentes se font avec le fonctionnement d'une voiture pouvant suivre une voie routière sur un circuit dédié. La voiture réalise cet exploit grâce à des capteurs optiques par reconnaissance du marquage du sol, elle atteint une vitesse de 10km/h.

Après cela, les exploits se suivent, dans les années 1980 aux Etats-Unis, l'attention sur la sécurité routière et l'environnement a poussé à l'émergence de plusieurs programmes de recherche comme PATH, qui se concentre sur le développement des transports et des systèmes de transports intelligents. C'est ensuite Mercedes-Benz qui teste en 1986, une camionnette automatique qui atteint 63 km/h sur un réseau routier sans trafic. Durant la même année, l'équipe d'Ernst Dickmanns conçoit le premier véhicule se déplaçant sans presque aucune intervention humaine grâce à des caméras, capteurs et un ordinateur afin de contrôler le volant et la vitesse. En 1994, Daimler-Benz réussit à faire rouler deux véhicules (VaMP et Vita-2) autonomes sur l'autoroute A1 de Paris qui étaient capables de réaliser des changements de file en atteignant une vitesse de 130 km/h. En 2004, la DARPA a organisé un concours de voitures autonomes dont le but était de parcourir un circuit de 240 km dans le désert en moins de 10 heures, le véhicule le plus performant s'était arrêté après 12 km.

Pour résumer, les premiers programmes informatiques de STI (Système de Transport Intelligent) datent des années 1960. Les avancées technologiques dans le domaine informatique ont permis l'écriture des programmes qui avaient pour but principal d'améliorer la conduite. Mais les infrastructures informatiques n'étaient cependant pas assez développées jusqu'en 1980. Les premiers systèmes d'assistance à la conduite sont apparus pendant les années 1980 et 1990, mais ont été limités par la technologie disponible. On a enfin l'arrivée des capteurs plus avancés dans les années 2000, tels que les lidars et les

caméras qui combinés à des algorithmes de traitement de données ont amélioré la perception des véhicules autonomes. [4]

#### **4.1.2. Fonctionnement général :**

Concentrons nous maintenant sur comment cette technologie est utilisée sur des voitures. Une voiture autonome est un véhicule capable de percevoir son environnement et de fonctionner sans intervention humaine. Ainsi, la présence d'un passager humain n'est pas requise pour prendre le contrôle du véhicule à tout moment, ni même pour être présent à bord. Une voiture autonome peut circuler là où une voiture traditionnelle peut aller et accomplir toutes les tâches qu'un conducteur humain expérimenté est capable d'effectuer.

La SAE (Société d'Ingénierie Automobile américain / Society of Automotive Engineers) définit 6 niveaux de conduite autonome. Le département de transport des États-Unis a adopté ces niveaux:

Niveau 0: Aucune autonomie n'est disponible à ce niveau. Les fonctions ADAS ( la détection, évitement des piétons/ Avertissement, correction de déviation de trajectoire/Reconnaissance des panneaux de signalisation/ le freinage d'urgence automatique/ Détection de l'angle mort) peuvent être disponibles mais le conducteur a le contrôle sur les déplacements de la voiture.

Niveau 1 : L'automobile peut contrôler soit la vitesse, soit la direction, mais généralement pas les deux simultanément. Par exemple, il peut être équipé soit d'un régulateur de vitesse adaptatif, soit d'un système d'assistance au maintien de la voie. Cependant, dans tous les cas, le conducteur conserve un contrôle total sur le véhicule.

Niveau 2 : L'automobile ici contrôle la vitesse et la direction. Le conducteur doit quand même agir face à la signalisation routière, au trafic, aux changements de voie et surveiller les autres dangers.

Niveau 3 : Ici le véhicule est capable d'accomplir la plupart des tâches de conduite comme l'assistance à la conduite durant le trafic. Cependant dès que le système n'est plus capable d'assurer la conduite, il avertit le conducteur qui doit reprendre le contrôle.

Niveau 4 : Le véhicule est autonome, il ne requiert l'aide du conducteur que dans certaines conditions comme lors de conditions climatiques difficiles.Ce niveau pourrait être utilisé pour des taxis sans conducteurs, par exemple.

Niveau 5 : La voiture est complètement autonome. Le conducteur n'est plus nécessaire peu importe la situation, plus besoin d'un volant.[5]

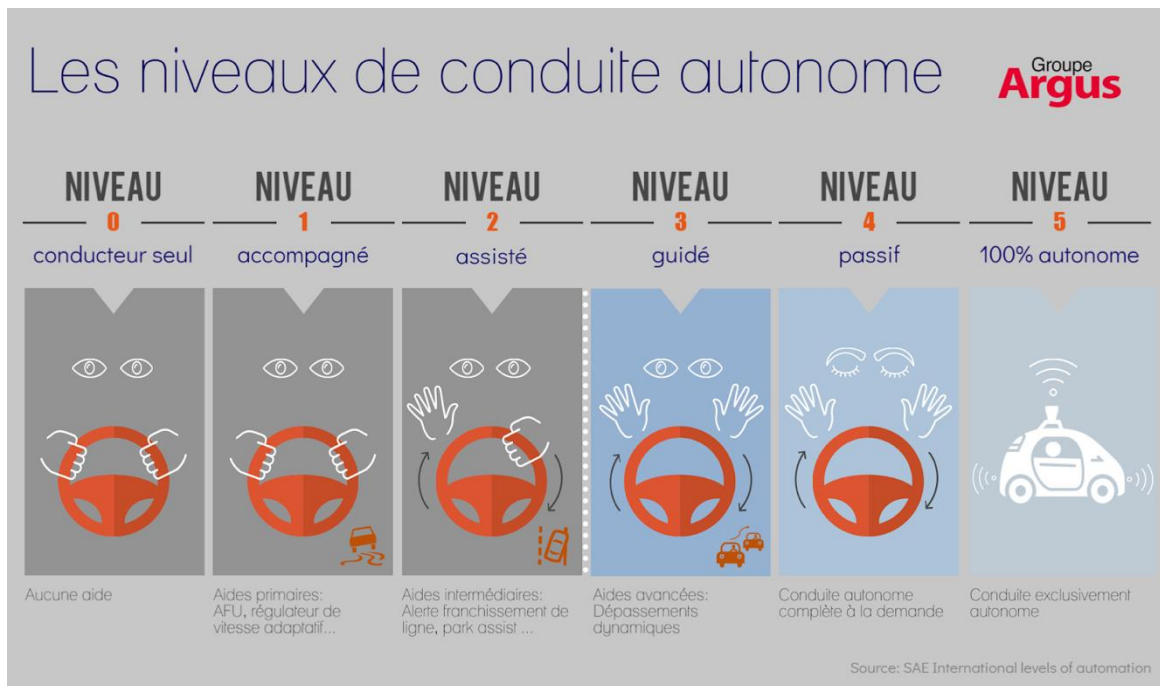


figure 2 : Les différents niveaux de conduite autonome, tiré du site auto-net [6]

#### 4.2. Composants de la technologie autonome :

Les voitures autonomes peuvent voir ce qui se passe autour d'eux grâce à trois principaux radars, caméras et Lidars (« Light Detection And Ranging » signifiant en français « détection et estimation de la distance par la lumière»). Ces capteurs sont liés à des logiciels qui coopèrent grâce à l'intelligence artificielle. Le fonctionnement est fait en 4 étapes : la perception des informations, la fusion et analyse des informations récoltés, la prise de décision et l'activation.

La première étape est réalisée grâce aux capteurs qui permettent de détecter des obstacles de natures différentes tels que les piétons, les véhicules et les motos.. Chaque capteur fonctionne indépendamment des autres afin de fournir des informations spécifiques sur l'environnement. Ils peuvent détecter les spécificités de la route ainsi que les obstacles tels que les marquages de voie, trottoirs, piétons, cyclistes ou autres véhicules. Ils réalisent cela soit visuellement, grâce à des caméras, soit en renvoyant des impulsions lumineuses ou des signaux radar sur les objets environnants.

Lors de la deuxième étape la fusion et analyse des informations récoltés, les informations brutes récupérées par les capteurs sont transmises à la partie principale du fonctionnement d'une voiture autonome, son "cerveau", le logiciel informatique . Il va alors analyser les données reçues grâce à une intelligence artificielle. Ce logiciel a été initié en préalable à l'environnement autour de lui, c'est-à-dire il a été programmé de façon à ce qu'il puisse par exemple comprendre les panneaux de signalisation, reconnaître les visages, connaître le code de la route...Le cerveau de la voiture est redondé, Il a été muni de système de sauvegarde qui ont été remplie de différents scénarios comme par exemple une voiture qui tourne sans avoir mis de clignotant , il a essentiellement appris à mémoriser toutes situations pour être prêt à réagir en conséquence. Cette redondance est essentielle pour garantir que le véhicule peut continuer à fonctionner de manière sûre et efficace même en cas de défaillance ou de dysfonctionnement d'un composant ou d'un système.

La troisième étape, la prise de décision, dépend de l'analyse des données faites par l'intelligence artificielle, ces données vont être combinées avec des algorithmes qui vont

évaluer la situation et prendre des décisions. Les logiciels de prise de décision sont programmés avec des règles, des instructions et des scénarios préétablis pour guider le comportement du véhicule en fonction de la situation détectée. Le système peut par exemple choisir de ralentir ou d'accélérer selon les mouvements de la voiture en face, la prise de décision est faite en temps réel grâce aux informations recueillies en tout temps.

La dernière étape est l'activation qui consiste simplement à réaliser la décision prise, comme par exemple; freiner, accélérer, tourner...[7]

### 4.3. Application sur Indy

Grâce aux différents grands partenaires industriels tels que Bridgestone, Cisco, Continental, ou encore dSPACE, les voitures de l'IAC sont équipées des meilleurs composants et détecteurs du marché des voitures autonomes. Toutes ces pièces sont montées sur un châssis spécialement modifié de l'Indy Lights. Mais ce qui fait de ces véhicules les meilleures voitures autonomes actuelles sont les différents radars, capteurs ou encore technologies de simulation.



figure 3 : Voiture de l'Indy Autonomous Challenge et de ses composants.[8]

Nous retrouvons par exemple la Vision LiDAR à longue portée à 360 degrés utilisant 4 capteurs Luminar Iris[9]. Lidar pour "Light Detection and Ranging" est une technologie de mesure et de modélisation 3D utilisée dans de nombreux domaines notamment les véhicules autonomes. Ce laser fonctionne en émettant une impulsion lumineuse et mesure le temps nécessaire à la lumière pour rebondir vers le capteur. En mesurant ses aller-retour des ondes lumineuses, le capteur permet une représentation précise en 3D de l'environnement de la voiture avec une exactitude inférieure au centimètre. L'efficacité de ce composant est telle que des obstacles tels que le brouillard, la pluie ou l'obscurité n'affectent pas ses capacités, ce qui le rend des plus fiables par rapport aux autres composants. Néanmoins cette innovation n'est pas sans failles. En effet, le capteur est très consommateur d'énergie et est particulièrement sensible à la lumière et au soleil qui peuvent affecter son fonctionnement. De plus, cette technologie est actuellement très coûteuse. En outre du fonctionnement de ce

capteur, il faut prendre en compte que pour qu'il soit efficace et très rapide à l'exécution, d'autres programmes et composants sont utilisés afin de filtrer les informations dites "parasites", comme nous l'explique parfaitement les membres de l'université technologique

de Munich : " Pour LiDAR, un algorithme de clustering a été utilisé . Afin d'assurer un temps de calcul inférieur, il est nécessaire de réduire les données d'entrée à l'aide d'un mécanisme de prétraitement. La première étape est un filtre géométrique qui supprime les points inutiles en dehors de la piste de course, suivi d'une étape de voxélisation. Enfin, un filtre de sol élimine tous les points qui appartiennent à la surface du sol"

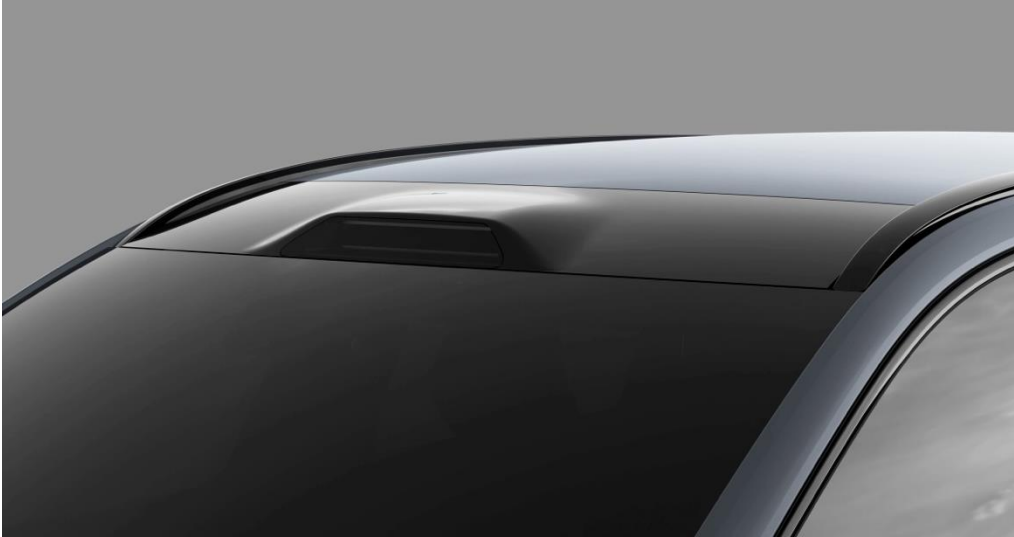


figure 4 : Image d'un capteur liDAR[10]

Une autre technologie que l'on retrouve sur ce véhicule est aussi la Perception radar 4D avancée avec les capteurs Continental ARS540 :

Les capteurs radar ARS540 de Continental fournissent une perception avancée en mesurant la distance, la vitesse, l'angle d'azimut et l'élévation des objets, ce qui permet une réactivité accrue et une meilleure adaptation aux conditions de conduite changeantes. L'ARS540 représente un capteur radar de pointe, hautement performant et de qualité supérieure, conçu pour une portée étendue. En combinaison avec d'autres technologies, il permet une conduite hautement automatisée. Ce capteur offre une performance radar optimale dans un format compact et innovant. Avec une portée de 300 mètres, le radar offre une mesure précise et ultra-réaliste de l'environnement du véhicule.

De plus sur les véhicules ultra rapides de la compétition on retrouve aussi des logiciels de simulation "Digital Twin" qui offrent une réplique virtuelle précise du véhicule et de son environnement, permettant aux ingénieurs de tester et de valider les algorithmes de conduite autonome dans des scénarios réalistes, sans risquer la sécurité du véhicule réel. La simulation de "Digital Twin" de haute fidélité est appareillée au logiciel-in-the-loop (SIL) développé par dSPACE SIMPHERA.

Une des autres technologies embarquées est l'AutoBox d'AUTERA qui est une plateforme informatique embarquée conçue spécifiquement pour les applications automobiles, offrant une puissance de calcul élevée et une fiabilité robuste pour le traitement des données en temps réel et la prise de décision autonome.

En outre, nous ne pouvons parler de composant de ses bolides sans mentionner le moteur qui les compose. Le site de la compétition nous indique que les voitures possèdent un moteur de 488 chevaux. Ce qui est assez puissant étant donné que le 0 à 100km/h peut s'effectuer en 3 à 4 secondes. Le tout raccordé à une transmission à 6 rapports donne une voiture surpuissante pouvant atteindre jusqu'à 300 km/h.

Du fait de la puissance développée par ce type de machine, les ingénieurs ont aussi équipé ces véhicules avec la technologie "Drive-by-wire" qui consiste à contrôler les fonctions du véhicule, comme l'accélération, le freinage appelé "IAC Custom Brake-by-Wire" et la direction "IAC Custom Steer-by-Wire", de manière électronique plutôt que mécanique. Contrairement aux systèmes mécaniques que l'on trouve habituellement dans les voitures courantes, ce système permet d'avoir un temps de réaction très court ainsi qu'un freinage et une direction extrêmement précis.

Enfin, les autres technologies que l'on identifie sur le véhicule sont des outils utiles à l'équipe opératrice du véhicules. Entre autre, on retrouve le contrôle de course automatisé avec communication sans fil bidirectionnelle et interface logicielle en temps réel qui assure une coordination efficace entre la voiture autonome, les autres véhicules et les opérateurs de la course, garantissant des courses fluides et sécurisées grâce à une communication sans fil bidirectionnelle et une interface logicielle en temps réel. Les capteurs GPS/GNSS de VectorNav offrent une précision élevée pour la localisation et la navigation du véhicule autonome sur la piste, assurant ainsi des performances optimales même dans des environnements exigeants.

Afin de synthétiser la présence de tous les composants de détection, de calcul, de prévision du véhicule ... sur les voitures de l'IAC, l'université de Munich (TUM) nous propose le schéma fonctionnel suivant :

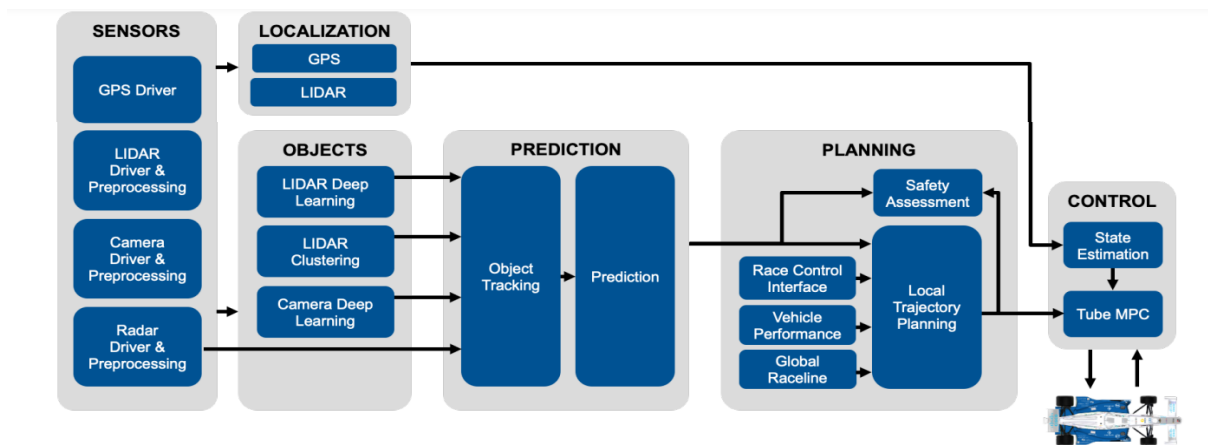


figure 5 : Schéma fonctionnel des composants du véhicule type réalisé par l'université TUM

## 5. NORMES ET SECURITE :

Dans le cadre de l'Indy Autonomous Challenge (IAC), une série de tests est mise en place pour évaluer les performances des véhicules autonomes. Ces tests visent à simuler des conditions de conduite dynamiques en reproduisant les situations que les véhicules peuvent rencontrer lors de la compétition réelle et tout en assurant la sécurité globale de l'événement.

On trouve différentes catégories de tests:

### **5.1. Tests évaluant la sécurité et la réaction aux situations d'urgence :**

Ces tests simulent des scénarios d'urgence où des obstacles imprévus peuvent apparaître sur la trajectoire du véhicule. Les véhicules doivent être capables de détecter les obstacles sur la piste et de réagir rapidement en ajustant leur trajectoire, en ralentissant ou en prenant d'autres mesures pour éviter une collision. Cela met en évidence la réactivité des systèmes de contrôle et la capacité des algorithmes de planification de trajectoire à prendre des décisions rapides et efficaces.

L'utilisation des capteurs joue un rôle important dans la planification des trajectoires d'évitement. Les données collectées par les capteurs tels que des lidars, des caméras, des radars et des systèmes de détection d'objets sont utilisées pour analyser l'environnement de la piste et identifier les trajectoires sûres pour le véhicule.[\[11\]](#)

### **5.2. Tests évaluant la gestion de la vitesse et des dépassements :**

Bien que les courses puissent être extrêmement rapides, il est essentiel que les véhicules respectent les limites de vitesse établies et soient capables de moduler leur vitesse en fonction des conditions de la piste, telles que la courbure, le revêtement, les variations d'adhérence; particulièrement dans les virages serrés ou sur des surfaces irrégulières.

Pour cela, il y a des tests qui incluent des scénarios de dépassement où les véhicules doivent anticiper les mouvements des autres véhicules sur la piste. Cela met en évidence la capacité des systèmes de contrôle à lire et à réagir face aux comportements des autres voitures concurrentes, en choisissant des trajectoires de dépassement sûres et efficaces. Ce qui implique une planification minutieuse des trajectoires, en tenant compte des vitesses relatives, des angles d'approche, des zones de dépassement autorisées, etc.

De plus, il existe des mesures de sécurité qui peuvent être mises en place instantanément. Par exemple, si l'équipe constate que le comportement de la voiture à grande vitesse n'est pas bon, elle peut demander un "drapeau de boule de viande" de Scoring, ce qui réduirait la vitesse de pointe de la voiture d'au moins 15% (à vérifier par Scoring). Elles sont même autorisées à mettre en œuvre un "commutateur de mise à mort" via le clavier ou le joystick qu'elles pourraient s'activer à partir de leurs fosses pour arrêter le véhicule si elles observent un problème qui doit être manipulé immédiatement : La manipulation du clavier/joystick et/ou le déclenchement de l'interrupteur permet d'interrompre la course et récupérer le véhicule, si possible, via sa station de base. [\[9\]](#)

Il faut noter aussi que ces mécanismes de redondance, de coupe d'alimentation et de freinage sont souvent intégrés pour garantir la sécurité des opérateurs, des spectateurs et des autres participants à la course.

### 5.3. Tests évaluant la communication entre les véhicules et la fiabilité :

Certains tests peuvent se concentrer sur la capacité des véhicules autonomes à communiquer entre eux. Cela se fait essentiellement grâce à l'ordinateur de bord qui saisit et analyse en une fraction de seconde toutes les informations fournies par les caméras, les capteurs lidar et radar ainsi que les récepteurs GPS. [12] Ces données permettent d'établir des prévisions sur la direction que prennent les autres véhicules, afin de prendre des décisions qui seront données comme ordres de conduite à la direction ou aux freins.

On peut noter aussi les tests de fiabilité et de sécurité qui permettent d'évaluer la capacité des véhicules autonomes à fonctionner de manière fiable pendant toute la durée de la compétition. Cela peut inclure des tests de durabilité des composants et des systèmes embarqués pour s'assurer qu'ils peuvent résister aux rigueurs de la course.

Ces tests, qu'ils soient réalisés lors de séances d'entraînement sur piste, de simulations informatiques ou d'événements spéciaux, sont essentiels pour évaluer les performances des véhicules autonomes et identifier les domaines nécessitant des améliorations avant la compétition réelle.

## 6. MPACT SUR LE DEVELOPPEMENT

### 6.1. Impact sur le domaine de l'automobile

L'objectif premier de l'IAC est de favoriser les avancées technologiques qui amélioreront la commercialisation de véhicules entièrement autonomes et le déploiement de systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS). Ces améliorations auront un grand impact sur le domaine de l'automobile. Voici quelques domaines spécifiques dans lesquels ces activités favorisent l'innovation. [13]

#### 6.1.1. *Systèmes de propulsion haute performance*

Technologie de moteur : Le moteur utilisé dans la voiture de course Indy Autonomous Challenge est le Honda K20C, qui est un moteur quatre cylindres en ligne turbocompressé d'une cylindrée de 2,0 litres et d'une puissance maximale de 488 chevaux. D'autres versions de ce moteur sont également utilisées dans la Honda Accord 2017, bien que la version utilisée dans l'Accord ait une puissance et une configuration différentes. [14] Ce partage de technologie démontre la relation inextricable entre la technologie des courses et l'industrie automobile traditionnelle.

#### 6.1.2. *Technologie des pneus et châssis*

Non seulement la technologie du moteur pour soutenir la voiture à 300 km/h, mais aussi la transmission, les pneus et le châssis ont atteint le sommet de l'industrie automobile. L'équipe de lac s'est engagée à réaliser des percées dans ces technologies.

Technologie des pneus : Développée en étroite collaboration avec les fabricants, elle a un impact profond sur l'industrie automobile traditionnelle. Ces pneus offrent une excellente adhérence et une grande durabilité dans des conditions extrêmes, contribuant ainsi à améliorer les performances et la sécurité des véhicules commerciaux.



Technologie des châssis: En tant que fournisseur exclusif de châssis pour IAC, Dallara détient un quasi-monopole sur l'ensemble du secteur de la fabrication de châssis pour voitures de performance, grâce à son expertise en matière de design, d'aérodynamique et de dynamique des véhicules. La production de châssis, tant pour les voitures de course que pour les voitures de route à haute performance, a considérablement augmenté ces dernières années (elle représente aujourd'hui 40 % des ventes totales). Il a été le promoteur de l'innovation technologique dans l'industrie automobile et a facilité le transfert de la technologie de la course automobile aux véhicules routiers à haute performance.

### **6.1.3. Technologie de la conduite automatisée**

En tant que partenaire d'IAC, Magneti Marelli a réalisé une avancée technologique dans la technologie de connexion autonome. Il a fourni le système Smart Antenna LTE pour l'IAC assurant une communication fiable entre la voiture de course autonome et le système de contrôle. Cette technologie est applicable aux automobiles traditionnelles, en particulier dans le domaine du véhicule connecté (V2X). Cela stimule le développement de la conduite autonome et des systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS).

De plus, L'IAC AV-24 est équipé des fonctions Steer-by-wire et Brake-by-wire dans la systèmes "drive-by-wire". On peut dire que les systèmes "drive-by-wire" sont déjà la tendance de l'avenir en matière d'automobile, permettant de contrôler la voiture avec plus de précision et d'augmenter l'espace à l'intérieur du véhicule. Dans l'industrie automobile traditionnelle un nouveau modèle de la Lotus Eletre équipé d'un système Steer-by-wire et Brake-by-wire par commande électrique fourni par le groupe ZF est prévu pour 2025. Il ne fait aucun doute que la série d'événements Indy Autonomous Challenge a permis de réaliser de nombreuses avancées technologiques et d'accumuler un grand nombre de données expérimentales pour l'industrie de la voiture autonome à l'avenir.[\[15\]](#)

## **6.2. Répercussion socio économique et écologique**

Avec le développement du secteur automobile, en particulier dans le domaine des voitures automatiques, comme mentionné précédemment, l'Indy Autonomous Challenge a apporté de nombreuses et grandes contributions à l'économie, à l'environnement et à la société mondiale. Ci-dessous, on vous présente les contributions non seulement du tournoi Indy autonome Challenge, mais aussi du domaine automobile au monde entier.

### **6.2.1. Impact sur l'économie**

En termes d'impact économique, l'Indy Autonomous Challenge est une compétition qui a un grand impact sur la stimulation de l'industrie automobile. En effet, ce concours constitue un moyen très efficace de promouvoir le secteur automobile automatisé et de stimuler des avancées technologiques majeures. Par conséquent, l'Indy Autonomous Challenge a attiré de nombreuses sources d'investissement importantes.

Actuellement, l'industrie automobile automatique est considérée comme une industrie à fort potentiel[\[16\]](#). Le développement des technologies de conduite autonome est très rapide et ce secteur a réalisé de nombreuses réalisations. Avec l'aide de l'IAC, où les universités et les instituts de recherche peuvent concrétiser leurs idées, l'industrie automobile autonome pourrait devenir une industrie technologique très rentable.

Les concours comme l'IAC favorisent non seulement la recherche, mais créent également une collaboration entre les universités, les entreprises et les agences gouvernementales. Cette

coopération favorise non seulement la recherche sur les nouvelles technologies, mais contribue également à une diffusion et un transfert plus rapides des technologies

### **6.2.2. Impact sur la société**

En termes d'impact social, l'IAC joue de multiples rôles en favorisant l'adoption de l'industrie des véhicules automatisés. Actuellement, la majorité des moyens de transport dans le monde sont encore principalement des véhicules à conduite humaine, et la transition vers des systèmes autonomes est inévitable dans un avenir proche.[\[17\]](#)

La transition vers la conduite autonome apportera de nombreux avantages à la société. Les transports autonomes peuvent améliorer la sécurité routière et réduire le risque d'accidents pour les conducteurs. La technologie de l'intelligence artificielle peut détecter et réagir rapidement aux situations dangereuses, minimisant ainsi le danger pour les conducteurs.

L'utilisation de systèmes automatisés crée également la possibilité pour les personnes ayant perdu leur mobilité d'utiliser des moyens de transport. Cette technologie ouvrira de nouvelles étapes dans la fourniture de transports aux personnes handicapées

### **6.2.3. Impact sur l'écologie**

Actuellement, l'impact des véhicules automatisés sur l'environnement est controversé, car la plupart des véhicules automatisés utilisent actuellement de l'électricité, mais la plupart des pays n'utilisent pas d'électricité recyclée, de sorte que les effets néfastes de l'automatisation des véhicules sur l'environnement sont encore considérables. Toutefois, à l'avenir, comme les pays utilisent de plus en plus d'électricité recyclée, les véhicules électriques seront plus respectueux de l'environnement. Un autre grand avantage des voitures électriques pour la protection de l'environnement est la réduction des embouteillages, car les voitures sont contrôlées par des technologies de programmation très sophistiquées.[\[18\]](#)

## **6.3. Comment la société reçoit le projet ?**

Même s'il a un impact énorme sur de nombreuses régions du monde, il sera inutile si ce projet n'est pas largement popularisé par la société.

De nombreuses universités ont participé à l'Indy Autonomous Challenge, parmi lesquelles de célèbres écoles de sciences et d'ingénierie telles que le MIT, ainsi que des écoles émergentes. La diversité des universités démontre l'attrait de ce concours.[\[19\]](#)

La participation diversifiée des universités à l'Indy Autonomous Challenge est la preuve la plus évidente de la popularité de ce projet. Avec la présence de grandes écoles comme le MIT, une école réputée dans le domaine des sciences et technologies, cette compétition est encore plus importante dans le partage des connaissances dans le domaine de la conduite autonome. Dans le même temps, l'ajout de nouvelles écoles rend ce concours plus diversifié et les connaissances seront plus nouvelles.

De plus, les interactions sur les plateformes de réseaux sociaux de ce tournoi sont également très bonnes. Au moment de la rédaction de cet article, la page Instagram du tournoi enregistrait 3 402 abonnés, X en comptait 2 457, YouTube en comptait 1 390. De plus, le tournoi était également publié dans un nombre de journaux comme Inside business ou CENT.

## 7. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

En conclusion, l'Indy Autonomous Challenge (IAC) représente bien plus qu'une simple compétition de voitures autonomes. C'est une fusion remarquable entre l'héritage riche de l'IndyCar et les percées technologiques de l'intelligence artificielle. À travers ce défi, des équipes du monde entier se sont engagées à repousser les limites de la conduite autonome, en développant des systèmes capables de rivaliser à des vitesses extrêmement élevées sur le célèbre circuit d'Indianapolis.

L'histoire de la technologie autonome, depuis ses débuts modestes dans les années 1920 jusqu'à aujourd'hui, est marquée par un progrès continu et des innovations majeures. Les voitures autonomes ont évolué grâce à l'intégration de capteurs sophistiqués, d'algorithmes d'intelligence artificielle et de logiciels de prise de décision avancés. Ces progrès ont ouvert la voie à des niveaux de conduite autonome de plus en plus avancés, culminant avec la vision d'une conduite entièrement autonome, sans intervention humaine.

Dans le cadre de l'IAC, ces avancées technologiques prennent vie à travers des véhicules sur mesure équipés des meilleurs composants du marché. Des capteurs lidars aux logiciels de simulation en passant par les systèmes de communication sans fil, chaque élément contribue à la réalisation de voitures autonomes capables de rivaliser à des vitesses supérieures à 300 km/h.

Enfin, l'impact de l'IAC va au-delà de la course elle-même. Cette compétition pionnière soulève des questions fondamentales sur l'avenir de la mobilité, de la sécurité routière, de l'urbanisme et de l'environnement. En repoussant les limites de la technologie autonome, l'IAC ouvre la voie à un avenir où les véhicules autonomes pourraient transformer radicalement nos vies quotidiennes.

Sur le plan personnel, ce projet nous a permis de développer des compétences en recherche, en analyse critique et en présentation de données complexes.

En somme, l'Indy Autonomous Challenge incarne l'esprit de l'innovation et de la collaboration, tout en offrant un aperçu fascinant de ce que l'avenir de la conduite autonome pourrait réserver. Que ce soit sur la piste d'Indianapolis ou dans nos villes et nos routes, les implications de cette compétition seront ressenties bien au-delà des limites du circuit.

## 8. BIBLIOGRAPHIE

- [1]<https://www.indyautonomouschallenge.com/sponsors> (valide à la date du 14/06/2024).
- [2][https://en.wikipedia.org/wiki/Indy\\_Autonomous\\_Challenge](https://en.wikipedia.org/wiki/Indy_Autonomous_Challenge) (valide à la date du 14/06/2024).
- [3]<https://www.indyautonomouschallenge.com/teams> (valide à la date du 14/06/2024).
- [4] <https://www.engineering.com/story/the-road-to-driverless-cars-1925---2025> (valide à la date du 14/06/2024).
- [5] <https://www.voiture-autonome.net/6-niveaux-conduite-voitures-autonomes.html> (valide à la date du 14/06/2024).
- [6] <https://auto-net.fr/largus-conseil-revisite-6-niveaux-conduite-autonome/> (valide à la date du 14/06/2024).
- [7]<https://www.cea.fr/comprendre/Pages/nouvelles-technologies/essentiel-sur-voiture-autonome.aspx#:~:text=Ces%20objets%20hautement%20technologiques%20int%C3%A8grent,conduite%20%C3%A0%20la%20place%20de> (valide à la date du 14/06/2024).
- [8]<https://www.therobotreport.com/wp-content/uploads/2023/11/iac-techstack-featured.jpg> (valide à la date du 14/06/2024).
- [9] <https://www.indyautonomouschallenge.com/racecar> (valide à la date du 14/06/2024).
- [10]<https://images.caradisiac.com/images/3/8/6/8/183868/S0-pourquoi-volvo-integrera-un-lidar-a-ses-voitures-des-2022-633630.jpg> (valide à la date du 14/06/2024).
- [11]<http://autonome.aspx#:~:text=Ces%20objets%20hautement%20technologiques%20int%C3%A8grent,conduite%20%C3%A0%20la%20place%20de> (valide à la date du 14/06/2024).
- [12]<https://www.autosprint.ch/fr/motorsport/indy-autonomous-challenge-rennen-ohne-piloten/> (valide à la date du 14/06/2024).
- [13]<https://www.indyautonomouschallenge.com/racecar> (valide à la date du 14/06/2024).
- [14][https://en.wikipedia.org/wiki/Honda\\_K\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Honda_K_engine) (valide à la date du 14/06/2024).
- [15][https://en.wikipedia.org/wiki/Drive\\_by\\_wire#cite\\_note-SpeedEpapers-1](https://en.wikipedia.org/wiki/Drive_by_wire#cite_note-SpeedEpapers-1) (valide à la date du 14/06/2024).
- [16]<https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/autonomous-drivings-future-convenient-and-connected> (valide à la date du 14/06/2024).
- [17]<https://newsroom.cisco.com/c/r/newsroom/en/us/a/y2013/m05/consumers-desire-more-automated-automobiles-according-to-cisco-study.html> (valide à la date du 14/06/2024).
- [18]<https://earth.org/pros-and-cons-of-self-driving-cars/> (valide à la date du 14/06/2024).
- [19]<https://www.indyautonomouschallenge.com/teams> (valide à la date du 14/06/2024)