

# Outil d'aide à la décision pour les pilotes dans l'analyse de la sécurité du comportement dynamique d'un véhicule

## Objet de la thèse

Le centre DGA Techniques Terrestres du site d'Angers réalise, entre autres, des essais sur piste pour analyser la sécurité du comportement dynamique des véhicules afin de valider leur utilisation en opération. Ces essais sont réalisés par plusieurs pilotes qui reportent une notation globale à partir de l'évaluation de multiples critères. L'objectif de la thèse est d'intégrer à ces essais une intelligence artificielle en tant qu'outil d'aide à la décision pour la notation.

## 1 Contexte

La Direction Générale de l'Armement a pour missions de :

- équiper les forces armées ;
- préparer le futur des systèmes de défense ;
- promouvoir les exportations ;
- développer la coopération européenne.

Le centre DGA TT (Techniques Terrestres) garantit les équipements de tous les systèmes terrestres. Les équipes travaillent sur les systèmes de combat terrestre, leur ergonomie, les armes, les munitions, le tir, la protection, la robotique, les véhicules. La DGA peut demander à ce centre un avis ou une évaluation de la sécurité du comportement dynamique d'un matériel, par exemple un véhicule de l'armée. Deux sites servent cet intérêt : Bourges et Angers. Une des principales missions de ce deuxième site consiste à caractériser et tester des véhicules dans le but d'observer leur comportement en situation réelle. Plus de 100 hectares de pistes d'essais permettent le test de nombreux scénarii. Les analyses des essais permettent de tester un prototype, de valider un produit final acheté à un industriel, ou d'aider les architectes de produit à spécifier les besoins.

La vérification de la sécurité des véhicules nécessite la réalisation d'essais. Dans un des essais possibles au sein du centre DGA TT d'Angers, une analyse s'appuyant sur plusieurs critères du comportement routier peut alors être demandée. Les critères à analyser concernent : la tenue de cap, l'équilibre sous différentes sollicitations aux volants, le centrage de direction face à des sollicitations extérieures, la réponse de direction, la sensation de couple au volant pour commander le véhicule, le passage de courbe, l'impression du potentiel d'accélération transversale exploitable, la sensation liée au levé de pied en courbe, la fermeté dans la conduite, l'aptitude du véhicule à absorber les obstacles de faible taille.

La gamme de véhicules est très hétérogène dans le parc de l'armée de terre. À titre d'exemple, le centre teste aussi bien des véhicules légers de reconnaissance, que des camions de logistique avec une remorque, ou que des chars blindés. Pour un véhicule, différentes configurations sont à tester, par exemple, une répartition de charge différente.

Aujourd'hui, au moins 3 pilotes automobiles de la DGA testent successivement le spécimen à étudier. Ils remplissent, à la main et de manière indépendante, une grille de notation afin d'évaluer différents critères. Suivant leurs longues expériences métier, le résultat de l'évaluation se doit d'être homogène pour valider les résultats de l'essai. Régulièrement ces personnes se forment afin de garantir leurs capacités à évaluer ces critères. Le mode opératoire détaillé des essais est considéré comme sensible et non diffusable aux industriels. En effet, il faut pouvoir garantir la neutralité de l'essai et éviter de biaiser le comportement du véhicule à l'étude. Ce fut le cas, par exemple, pour les tests visant à valider le respect des normes anti-pollution avant la mise en circulation dans les années 2010. Plusieurs entreprises productrices de véhicules diesels ont réussi à tromper les tests. Volkswagen a été fortement impacté par ce scandale (AFP 2020).

Un outil d'aide à la décision permettrait d'aider les pilotes à renseigner leur ressenti pendant l'essai. L'instrumentation de cet essai repose aujourd'hui uniquement sur le conducteur. L'apport de capteurs et d'algorithmes répond aux recommandations d'un conseil d'industriels sur la méthodologie actuelle de cet essai, fournit des données terrains de ces essais pour des outils de simulation, conforte les exigences décrites dans la norme 17 025, et augmente la crédibilité dans les résultats produits. En complément, l'outil peut être utilisé à des fins de formation pour les nouveaux pilotes de ce type d'essais.

L'augmentation de la puissance de calcul des ordinateurs, l'évolution des méthodes d'apprentissage, et la miniaturisation des centrales inertielles rendent ce projet réalisable aujourd'hui. Cependant, beaucoup de questionnements sont encore à répondre avant d'arriver à développer un tel outil. Son développement suppose la création d'une méthodologie spécifique, le recueil de données via une instrumentation qualifiée, et des traitements automatiques de données hétérogènes s'appuyant notamment sur des techniques d'intelligence artificielle.

Aujourd'hui, la littérature ne présente aucun jeu de données sur le sujet. La définition, l'acquisition, et l'annotation des données sont donc à mener. Les algorithmes à utiliser doivent s'exécuter dans un équipement nomade pour produire l'aide en lien avec le déroulement de l'essai. Sur le terrain, l'ensemble des procédures s'exécute sans accès à un réseau. Même si l'outil d'aide à la décision, ne donne qu'une indication, en cas de litige à la réception d'un prototype provenant d'un industriel, un algorithme explicable procure à la DGA un argument efficace dans la justification de son avis. La source des données est très hétérogène.

En effet, le système à l'étude est représenté sur la Figure 1. Les forces se mesure via des centrales inertielles. Des capteurs d'angle aux volants, des efforts pédales, de récepteurs GNSS, de caméras, etc. viendront enrichir ces données.

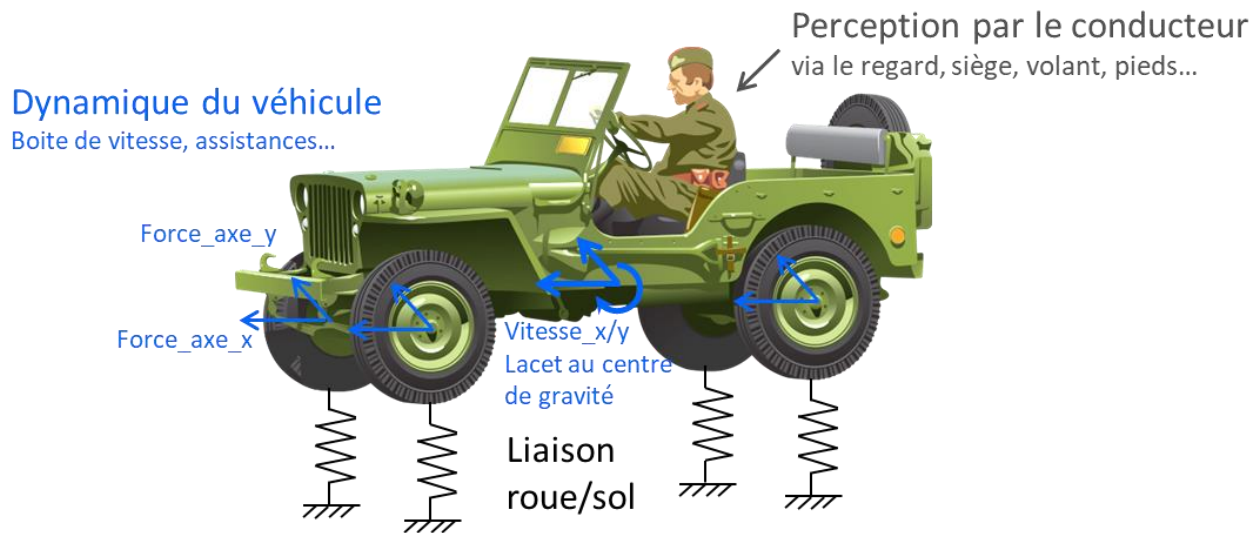


Figure 1-Présentation du système à l'étude.

## 2 Descriptif de thèse

Dans le cadre de cette thèse, l'intégration de l'intelligence artificielle, ou apprentissage automatique, s'inscrit dans la thématique de développement prioritaire « intelligence artificielle » du ministère des armées, sous plusieurs sous-thèmes visés par l'AID. Nous relèverons principalement du sous-thème 2 dans sa globalité : « Traitements de données massives issues de capteurs hétérogènes ». Néanmoins, au vue des enjeux inhérents au sous-thème 2, le sujet de thèse vise également plusieurs éléments du sous-thème 1 : « IA de Défense » : confiance, explicabilité, qualification & méthode d'annotations.

(Denoual 2012) a contribué à l'objectivation des prestations dynamiques sur simulateur de conduite. Une méthodologie a permis d'identifier une grille de lecture pour aider des non-experts à évaluer différentes situations dynamiques simples.

L'opérateur humain peut être représenté par un modèle quasi-linéaire détaillé dans (McRuer et al. 1965) ou par un modèle à contrôle optimal (Thomas 1962). (Legouis 1989) a fusionné ces modèles pour permettre d'étudier la stabilité dynamique du système véhicule/pilote. Il a alors pu caractériser la stabilité de ce système en fonction de la vitesse du véhicule, de l'angle au volant et suivant le comportement sur-vireur ou sous-vireur.

Le travail effectué dans (Lechner 2002) a permis la conception des modèles dynamiques de véhicules routiers légers validée par des essais notamment au sein de la DGA. La modélisation mécanique du système complet reste une grande problématique. (Meissonier 2006) a contribué à améliorer les modèles via une identification plus fine des mécanismes de liaison au sol. Même en utilisant des outils de simulation complexe, la réalisation d'essais sur piste réelle est confirmée par la littérature. (Qi et al. 2018) ont montré que les comportements de conduite entre des conducteurs conduisant un véhicule instrumenté et un simulateur ne sont pas complètement identiques. Les vitesses sont globalement identiques mais les accélérations sont différentes.

Différentes approches sont donc envisageables. La première est orientée sur l'analyse des actions et réactions du conducteur. La deuxième porte sur une modélisation complète de la dynamique du véhicule et de ses interactions. Une troisième possible s'appuie sur l'exploitation des données de la trace du véhicule et de sa dynamique via des capteurs embarqués. 10 notes sont

attribuées lors de l'essai par critère. Chaque critère évalué pour la conception de cet outil repose sur une ou plusieurs de ces approches.

Dans notre cas, l'un des principaux verrous scientifiques de la thèse consiste en la prédiction de variable quantitative représentée dans notre cas par une évaluation sous forme d'un score entier allant de 0 à 10. Ce score correspond habituellement à une évaluation du véhicule automobile testée par plusieurs pilotes évaluateurs. L'objectif est donc de prédire, à terme, le score qui aurait été donné par ses pilotes via les données capturées par les différents instruments.

Les systèmes basés sur l'apprentissage profond sont de plus en plus répandus dans le domaine des véhicules automobiles. Par exemple, dans le domaine des logiciels embarqués, elle a été utilisée par (Falcini, Lami, et Costanza 2017). Du côté du Machine Learning, la reconnaissance du style de conduite a été étudié par (Xue et al. 2019).

Plusieurs études ont montré l'adéquation entre instrumentation et algorithme d'intelligence artificielle pour aider à la compréhension de situations complexes, évaluées jusqu'à présent par l'homme sous la forme d'un ressenti objectif. Ainsi, dans le cadre de l'évaluation du confort des personnes à bord des véhicules automobiles, (Warey, Kaushik, et Khalighi 2020) a couplé des simulations CFD (Computational Fluid Dynamics) et des algorithmes d'apprentissage automatique. Ils prédisent le confort thermique des occupants d'un véhicule pour différentes situations. Les variables étudiées sont les propriétés du vitrage, surfaces de fenêtre, les conditions environnementales, et les paramètres HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) incluant le débit et la température de l'air.

Une autre étude a été conduite par (Arvin, Khattak, et Qi 2021) dans un objectif d'amélioration de la sécurité routière. L'inattention du conducteur engendre des situations de conduite à risque. En intégrant et en fusionnant plusieurs flux de données en temps réel, comme l'observation du conducteur en vue d'en définir sa distraction, les mouvements et la cinématique du véhicule, ou encore l'instabilité de la conduite, l'étude a permis de prédire l'occurrence d'événements critiques pour la sécurité. En situation décidée comme problématique, des informations appropriées sont communiquées aux conducteurs et aux véhicules environnants. Pour ce faire des méthodes d'apprentissage en profondeur ont dû être employées (LSTM, CNN).

Enfin, si nous étendons l'évaluation de véhicule sur la thématique de la reconnaissance de style de conduite, plusieurs études montrent des outils de reconnaissance du style de conduite. (Romera, Bergasa, et Arroyo 2016) de l'université d'Alcala en Espagne classe les conducteurs dans différentes situations comme les phases d'accélération, de freinage, ou de dépassement. Les conducteurs sont répartis en trois catégories : normal, assoupi, agressif. Il s'appuie sur un smartphone pour effectuer l'enregistrement des mesures de l'environnement routier via sa caméra, et de la dynamique du véhicule via son accéléromètre et son gyroscope 3 axes. Un jeu de données public de 500 min d'enregistrement de différents conducteurs est disponible. L'apprentissage automatisé est privilégié pour effectuer la classification. (Xue et al. 2019) développe une méthode de reconnaissance du style de conduite basée sur les données de trajectoire du véhicule extraites de données de vidéo-surveillance. Via un ensemble de méthodes ayant permis le pré-traitement des données (Transformées de Fourier discrète, Transformée en ondelettes discrète, etc.), le style de conduite a pu être mis en évidence via des méthodes telles que le SVM, le Random Forest, les K-NN, les réseaux de neurones profonds (Perceptron multi-couches). Dans la même lignée, (Kuderer, Gulati, et Burgard 2015) applique une méthode d'apprentissage par renforcement inverse (IRL - Inverse Reinforcement Learning) permettant à un conducteur de démontrer simplement le style souhaité en conduisant un véhicule manuellement. Il existe également des travaux où on estime le comportement d'un conducteur de véhicules environnants à des fins de prises de décisions pour par

exemple changer de voie ou se maintenir sur la voie (Sierra González, Dibangoye, et Laugier 2016) (González et al. 2018).

Ces dernières considérations nous amènent à réfléchir sur les mesures qui seront faites sur les véhicules et qui pourraient être dépendantes du pilote. Il sera donc important de prendre en considération le conducteur lui-même dans l'ensemble des paramètres de prédiction. Le travail, à adapter, de (Lechner 2002) et (Meissonier 2006) est aussi une piste pour générer des données simulées dans le but d'éviter de longues heures de collecte et d'annotation de données.

## 3 Objectifs de la thèse

Aujourd'hui, les essais sur piste sont réalisés par plusieurs pilotes dont le travail est d'attribuer une note de 0 à 10 à plusieurs critères d'évaluation. Ainsi, l'un des objectifs de la thèse est d'employer une approche d'apprentissage automatique capable de prédire quelle note aurait été attribuée manuellement par les pilotes, et ce à partir de données mesurées par de multiples capteurs intégrés au véhicule.

La phase d'apprentissage pourra se faire à l'aide des scores attribués par les pilotes (données étiquetées). Ceci amènera les travaux de cette thèse à reposer principalement sur des méthodes du domaine de l'apprentissage supervisé ou de l'apprentissage profond.

### 3.1 Modélisation des effets dynamiques en jeu

En informatique dite ubiquitaire, le contexte correspond à « toute information pouvant être utilisée pour caractériser la situation d'une entité (personne, objet physique ou informatique) » (Dey 2001) incluant l'utilisateur lui-même. Tenant compte de cette première définition, la modélisation du contexte reste un enjeu majeur pour tout projet nécessitant la mise en œuvre d'analyse de données ou d'un processus d'apprentissage automatique. En effet, dans le domaine de l'apprentissage automatique, le contexte est considéré comme étant ce qui n'intervient pas directement dans la résolution d'un problème mais contraint sa résolution (Brézillon 1999). De ce fait, une mauvaise modélisation peut amener à une mauvaise capture du « contexte » induisant un apprentissage moins performant voire contre-performant.

Ces différentes définitions s'appliquent à notre cas. Il sera incontournable de modéliser, par une approche systémique, l'ensemble des entités du « contexte » incluant le conducteur lui-même. Ainsi, nous pourrons ensuite déterminer quelles informations pertinentes doivent être capturées pour garantir une meilleure analyse ou un meilleur apprentissage. Cette phase ne pourra se faire qu'en collaboration avec des experts du domaine métier cible.

Par conséquent, comme évoqué dans la Figure 1, l'un des premiers travaux sera de définir la modélisation macroscopique des éléments de chaque sous-système en précisant les interactions : « roues/sol », « châssis véhicule », « conducteur », ces 3 liaisons permettant de décrire complètement les effets dynamiques mis en jeu.

Pour comprendre ces phénomènes dynamiques, une instrumentation répartie sur le véhicule est à définir dans le cadre de ce travail méthodologique. Les interrogations portent aussi bien sur le type de mesure que sur la position des capteurs. En cas de doute dans l'adéquation instrumentation/modèle, nous avons la possibilité de sur-instrumenter le véhicule pour analyser, à posteriori, les données afin de définir les modèles adéquats.

## 3.2 Processus d'apprentissage

La définition du processus d'apprentissage est une étape primordiale dans tout projet faisant appel à l'apprentissage automatique. Celui-ci détermine les étapes clés à réaliser afin de mener le projet à bien (voir Figure 2).

Dans notre cas nous avons identifié 4 grandes étapes importantes sur lesquelles reposent notre approche :

- l'acquisition des données brutes qui constituent les entrées c'est-à-dire, les paramètres d'apprentissage de notre modèle ;
- le pré-traitement de ces données brutes afin de les transmettre sous une représentation structurée et exploitable par un algorithme d'apprentissage ;
- la phase d'apprentissage en elle-même qui sera algorithmique dépendante et qui constitue la phase d'entraînement du modèle avec les paramètres d'entrées structurés et les données étiquetées (scores/notes) permettant d'affiner les prédictions ;
- l'évaluation du modèle (phase de validation) qui nous permet d'évaluer l'approche employée dans le cas de nouvelles observations jamais rencontrées par l'algorithme.

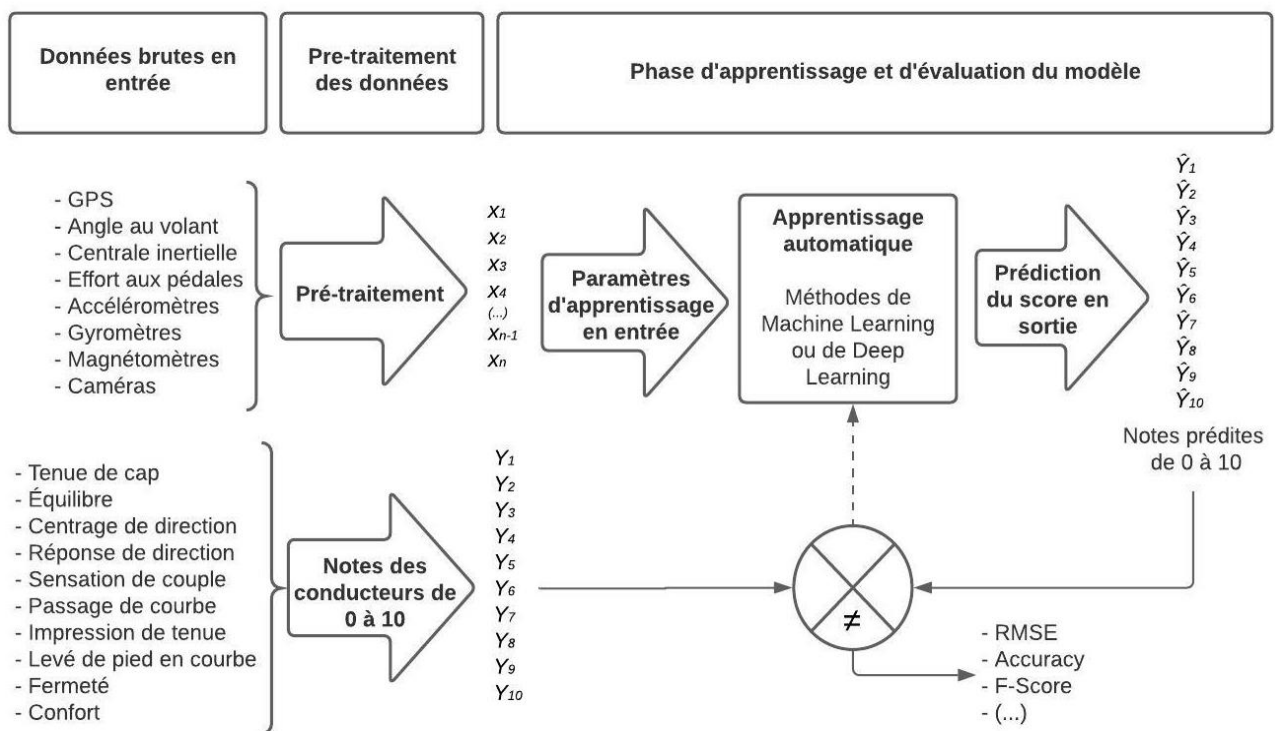


Figure 2-Processus d'apprentissage supervisé pour la prédiction du score.

## 3.3 Rappels sur le Machine Learning

Il existe pléthore de méthodes d'apprentissage automatique, chacune plus ou moins adaptée ou performante à un problème donné. Dans notre cas d'étude, nous devons prédire une variable quantitative de type score voire déduire à la marge une classification. De ce fait, selon la revue de la littérature que nous avons rappelée en section 2, et l'état de nos connaissances, nous envisageons d'employer des méthodes d'apprentissage supervisé. Ce choix est principalement motivé par le fait que nous possédons des données étiquetées (note des conducteurs) sur lesquelles

entraîner nos algorithmes. Dans la Figure 2 nous rappelons certaines méthodes des plus populaires en Machine Learning et relevons en rouge celles que nous prévoyons principalement d'employer et de comparer.

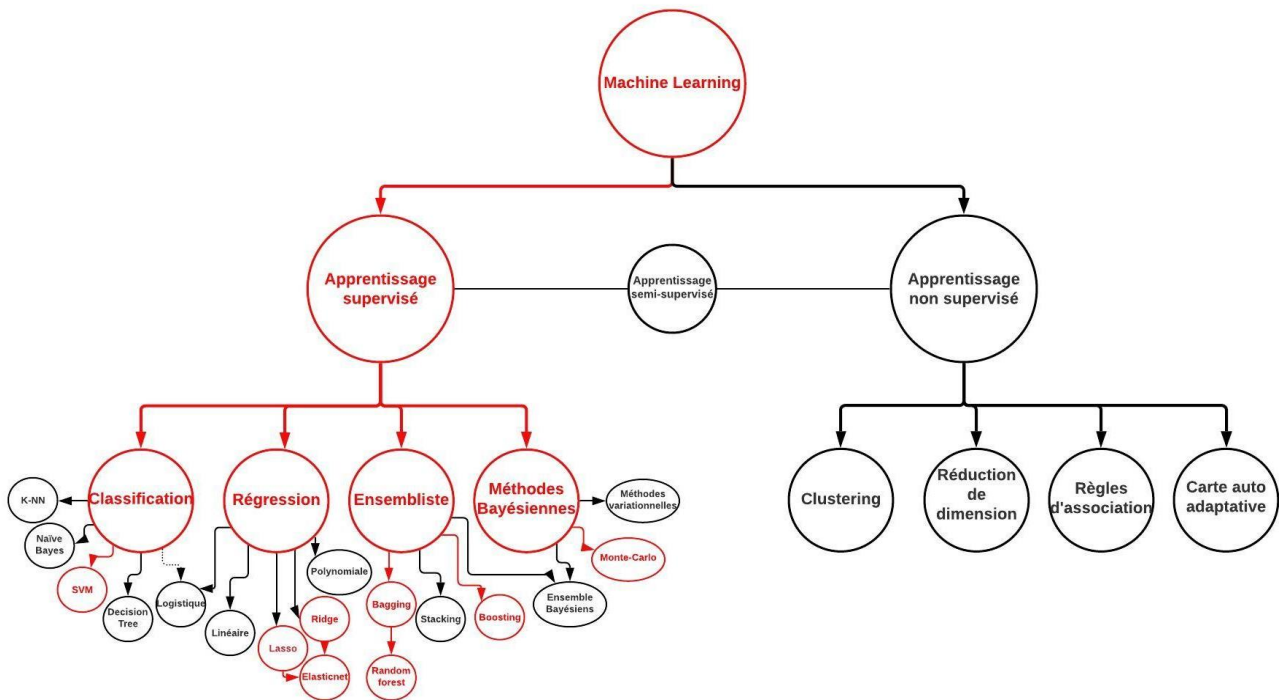


Figure 3-Principales méthodes de Machine Learning (Source : <https://knowmap.org/>).

### 3.4 Rappels sur le Deep Learning

Depuis l'introduction du neurone artificiel par Mac Culloch et Walter Pitts en 1943, l'apprentissage profond n'a cessé d'évoluer jusqu'à réellement prendre son essor à partir de 2012 lorsque Geoffrey Hinton (Krizhevsky, Sutskever, et Hinton 2012) obtint des performances significativement supérieures à tout autre méthode sur le jeu de données ImageNet. De plus, l'importante amélioration des performances de calcul CPU et surtout GPU des ordinateurs ces 10 dernières années, a rendu possible l'utilisation de réseaux pouvant comporter un très grand nombre de neurones et pouvant traiter un très grand nombre de paramètres.

Dans notre cas, nous envisageons d'employer des réseaux de neurones de type perceptron multicouche mais également des réseaux de neurones convolutifs plus particulièrement pour le traitement d'images. Dans la Figure 4 nous rappelons certaines méthodes des plus populaires en Deep Learning et relevons en rouge celles que nous prévoyons principalement d'employer et de comparer (entre elles mais aussi avec les méthodes de Machine Learning retenue en section 4.2).

En revanche, l'une des limites non négligeables d'employer de telles approches reste l'explicabilité. En effet, dans le cadre d'évaluation pour des essais, il reste important de pouvoir expliquer une décision par une méthode d'Intelligence Artificielle.

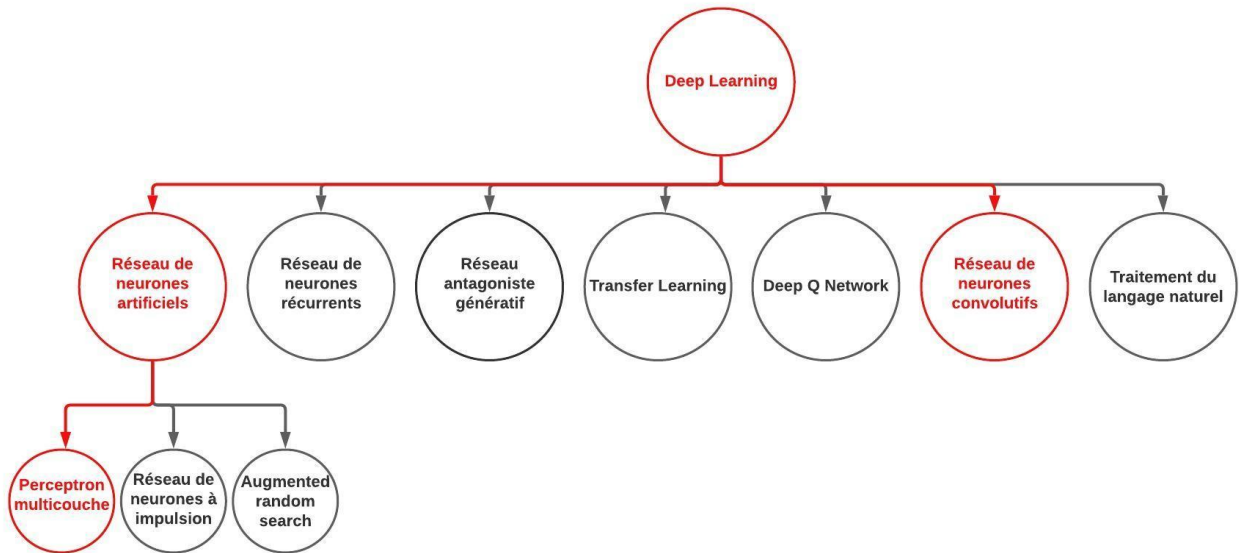


Figure 4-Principales méthodes de Deep Learning (Source : <https://knowmap.org/>).

### 3.5 Récapitulatif des méthodes envisageables

De nos jours, les méthodes d'apprentissage automatique de type Machine Learning ou Deep Learning sont largement étudiées et employées pour la prédiction de variable quantitative ou pour la classification. Dans le cadre de cette thèse et à la vue de l'état de l'art rappelé précédemment, nous avons sélectionné parmi les plus populaires et les plus pertinentes. Ces différentes méthodes devront être adaptées à notre cas d'étude voire améliorées puis comparées afin de déterminer la plus performante. L'un des critères importants reste néanmoins dans l'explicabilité du résultat. De ce fait, même si nous projetons d'employer des méthodes du domaine de l'apprentissage profond, celles du Machine Learning semblent mieux répondre à cette exigence.

Des chercheurs commencent à s'appuyer sur des langages de description de formules en logique booléenne qui supportent la vérification formelle. Sur ce principe, des initiatives sont apparues comme les projets ISAIEH (Inter-Standard AI Encoding Hub), dédiés pour la vérification formelle des réseaux de neurones (Girard-Satabin et al. 2019). En s'appuyant sur un réseau de neurones enregistré dans un format de type ONNX (Open Neural Network eXchange), cette passerelle transforme le réseau en une suite d'équations logiques écrites dans un autre langage formel dédié. Ce passage permet de transformer le réseau de neurones en un problème de décision SMT (Satisfiabilité Modulo des Théories ou *Satisfiability Modulo Theories*). Le formalisme choisi ici est une formule logique. Un outil comme SMT-LIB permet cette transformation. Ensuite, l'utilisation d'un solveur SMT va chercher à valider une formule pour toutes les interprétations possibles de la formule. Cette stratégie s'appuie sur une méthode formelle plus mature. Pour le moment, cette initiative constitue un début dans les possibilités de validation formelle d'un réseau de neurones.

- Machine Learning
  - SVM
  - Regression Ridge / Lasso / Elasticnet
  - Random Forest
  - Boosting
  - Monte-Carlo Markov Chain (MCMC)



- Deep Learning
  - Perceptron multicouches
  - Réseau de neurones convolutifs (en cas de prise en compte d'images ou vidéos capturées en intérieur ou en extérieur).

### 3.1 Autres méthodes possibles

Ces dernières années l'apprentissage par renforcement (ou RL – « Reinforcement Learning ») s'est imposé comme une approche importante dans le domaine de la recherche en intelligence artificielle. Cette approche a été rendue populaire notamment par les équipes de Google Deep Mind. Ceux-ci proposent une combinaison d'algorithmes de Q-Learning avec de l'apprentissage profond qui ont su relever des challenges inédits dans les domaines du jeu vidéo (p.ex., jeux Atari, jeu de stratégie comme Sarcraft II) ou du jeu de société (p.ex., Jeu de Go).

Dans notre cas d'étude, l'application de l'apprentissage par renforcement et plus particulièrement l'IRL (Inverse Reinforcement Learning - IRL) pourrait s'avérer intéressant.

L'objectif d'utiliser une telle méthode serait d'avoir un agent qui apprendrait la politique d'attribution de récompenses (les notes dans notre cas) par évaluateur, simplement en l'observant évaluer les critères (en référence aux capteurs des véhicules).

De plus, il serait tout aussi intéressant d'instrumenter le conducteur afin de créer un modèle, l'initialiser avec un comportement nominal, puis utiliser l'apprentissage par renforcement pour raffiner les paramètres.

## 3.6 Réduction de dimensions

Outre la phase d'entraînement de nos modèles, d'autres méthodes complémentaires pourront être utilisées pour améliorer l'exploitabilité des paramètres d'apprentissage en entrée. Nous pensons plus particulièrement à la réduction de dimensions qui, dans le domaine de l'apprentissage, reste un enjeu majeur. Ainsi, nous envisageons d'employer des méthodes de réduction de dimensions, par exemple PCA, ou les Auto-Encoders, selon les problématiques que nous rencontrerons.

# 4 Encadrement

Cette partie présente les laboratoires ou équipes entrant dans l'encadrement du doctorant. Ces 3 structures offrent une complémentarité de compétences. Le doctorant évoluera dans une équipe mêlant de fondations méthodologiques, scientifiques, et pratiques.

## 4.1 INRIA, équipe ACENTAURI

Directeur de thèse : Philippe Martinet

ACENTAURI, Inria Sophia-Antipolis (<https://team.inria.fr/acentauri/>)

[Philippe.Martinet@inria.fr](mailto:Philippe.Martinet@inria.fr)

<http://www-sop.inria.fr/members/Philippe.Martinet/>

<https://cv.archives-ouvertes.fr/philippe-martinet?langChosen=fr>

Le centre de recherche Inria Sophia Antipolis - Méditerranée a été créé en 1983. Sa dynamique s'inscrit dans le développement du site de Sophia Antipolis à Nice, avec Université Côte d'Azur. Il est également implanté à Montpellier, où il accompagne le développement de l'Université de Montpellier. Inria est présent sur Sophia Antipolis et Nice avec 35 équipes-projets dont la moitié sont communes, et depuis 2003 sur le site de Montpellier avec, en 2019, 5 équipes-projets communes. Le centre a également une équipe à Bologne en Italie et une autre avec l'Université d'Athènes. Son action mobilise 500 personnes, scientifiques et personnels d'appui à la recherche et à l'innovation, issues de 55 nationalités. Il y a 10 lauréats d'ERC et 15 Startups issues des équipes projets. Sa directrice est Maureen Clerc.

Ses axes scientifiques prioritaires sont :

- Développer la thématique de l'intelligence artificielle en lien avec le projet structurant du 3IA Côte d'Azur, notamment sur les sujets (i) biologie-santé incluant médecine, neurosciences et biologie computationnelles, (ii) les liens entre IA, géométrie, données hétérogènes et modélisation et (iii) robotique collaborative pour les environnements ouverts et dynamiques ;
- Développer les activités de recherche dans le domaine de l'informatique ubiquitaire, en particulier dans les thématiques du génie logiciel, de la sécurité, fiabilité et certification des logiciels ;

Ses axes de développement stratégique concernent:

- La participation à la réussite de l'IDEX d'Université Côte d'Azur (UCAJEDI) et à sa pérennisation ;
- Le renforcement des partenariats avec les acteurs économiques du territoire à travers la réussite du 3IA Côte d'Azur ou le portage par Inria de la dimension numérique dans la mise en place d'un Institut Innovation et Partenariats de l'Université Côte d'Azur ;
- Le passage à l'échelle pour la création de startups DeepTech ;

Le centre est membre fondateur de l'IDEX d'UCA Jedi et membre de l'I-SITE MUSE. Le projet « Montpellier University of Excellence » (MUSE) porté par l'Université de Montpellier et ses partenaires dont Inria, a été labellisé Initiatives–Science–Innovation–Territoires–Economie (I-SITE) avec pour objectif de relever trois défis majeurs pour le 21ème siècle : nourrir, protéger et soigner grâce à son expertise dans le domaine des sciences du vivant, de l'environnement et de l'agriculture.

Les équipes-projets sont communes avec les partenaires académiques suivants : UPMC, Université de Bologne, Université d'Athènes (NKUA), Université de Montpellier, IMAG, LIRMM, INRAE, CNRS.

Le centre a également de nombreux autres partenariats :

- Acteurs de la recherche publique : CNRS, INRAE
- Écosystème d'innovation : pôle SCS Eubiomed, Cluster SAFE, OPtitec Telecom Valley Incubateur PACA Est, SATT Sud Est, Sophia Club Entreprises, Educazor, CCI Côte d'Azur, French Tech Côte d'Azur ;
- Collectivités territoriales : Région Sud-Provence-Alpes-Côte d'Azur, département des Alpes Maritimes, CASA (communauté d'agglomération de Sophia Antipolis), Métropole Nice Côte d'Azur, Région Occitanie
- Entreprises : Grands groupes : Total, EDF, Alstom, Orange, Facebook, Microsoft Research, Samsung, Qwant, Google, Nokia, PSA, Safran, TDF, Fujitsu, Ariane Group, Naval Group

- Partenaires académiques internationaux : Université d'Athènes (NKUA), ERCIM (European Consortium for Informatics and Mathematics).
- Autres partenaires hébergés : Ercim, EIT ICT LABS, W3C

ACENTAURI est une équipe projet commune avec I3S créée début 2021. L'objectif d'ACENTAURI est d'étudier et de développer des robots intelligents, autonomes et mobiles collaborant entre eux pour accomplir des tâches difficiles dans des environnements dynamiques. L'équipe se concentrera sur les problèmes de perception, de décision et de contrôle pour une collaboration multi-robot en proposant une approche hybride originale de l'intelligence artificielle basée sur les modèles et les données et par l'étude d'algorithmes efficaces. L'équipe se concentre sur les applications robotiques comme la surveillance de l'environnement et le transport de personnes et des biens. Dans ces applications, plusieurs robots partagent des informations multi-capteurs provenant éventuellement de l'infrastructure. L'équipe démontre l'efficacité des approches proposées sur de vrais robots des systèmes comme les voitures, les AGVs et UAVs avec des partenaires industriels. L'innovation et le transfert des travaux de recherche vers les partenaires industriels sont une préoccupation d'ACENTAURI.

Philippe Martinet est diplômé du CUST, Clermont-Ferrand, France, en 1985 et a reçu le doctorat diplôme en Sciences Electroniques de l'Université Blaise Pascal, France, en 1987. De 1990 à 2000, il a été Maître de Conférences au CUST. De 2000 à 2011, il a été professeur à l'Institut Français de Mécanique Avancée (IFMA), Clermont-Ferrand. En 2006, il a passé un an en tant que professeur invité à l'ISRC de l'université Sungkyunkwan à Suwon, Corée du Sud. En septembre 2011, il mute à l'Ecole Centrale de Nantes et fait sa recherche au LS2N dans l'équipe robotique. Jusqu'en 2015, il est resté chercheur associé à l'Institut Pascal de Clermont-Ferrand. Depuis novembre 2017, il effectue un détachement longue durée à l'Inria Sophia Antipolis en tant que directeur de recherche. Ses intérêts de recherche incluent l'asservissement visuel des robots, la commande référencée multi-capteurs, le couplage vision/force, les véhicules autonomes, la robotique mobile, la modélisation, l'identification et le contrôle de machines complexes, et la robotique dans son ensemble. Depuis 1990, il est auteur et coauteur de plus de trois cent soixante références. En voici quelques-unes dans le domaine de la modélisation/observation/commande de robot (Bouton et al. 2008), (Lenain et al. 2010), (Fang et al. 2011), (Guillet et al. 2014), et une autre sur l'observation platoon (Khalifa et al. 2020).

Dans la thèse, Philippe Martinet amènera ses compétences en robotique mobile et en compréhension des phénomènes physiques (modélisation, observation, commande). Depuis une année, il s'intéresse de très près aux approches hybrides (« Data and Model driven ») pour la construction de représentation de l'environnement (une thèse est en cours), pour la navigation autonome E2E (un postdoc est en cours), pour la commande et la décision (travaux en cours).

## 4.2 LERIA : Laboratoire d'Étude et de Recherche en Informatique d'Angers

Co-encadrant : Nicolas GUTOWSKI

Université d'Angers

LERIA, EA 2645

[nicolas.gutowski@univ-angers.fr](mailto:nicolas.gutowski@univ-angers.fr)

Le LERIA – Laboratoire d’Étude et de Recherche en Informatique d’Angers – est une structure de recherche de l’Université d’Angers ayant le statut d’équipe d’accueil (UPRES EA 2645). Implanté au sein du département informatique de l’UFR Sciences, il réunit une quarantaine de membres dont 21 enseignants-chercheurs, 19 doctorants, post-doctorants et ATER, 3 membres associés et 2 IATOSS.

Les travaux du LERIA (Laboratoire d’Études et de Recherche en Informatique d’Angers) couvrent deux domaines importants de l’informatique : l’intelligence artificielle et l’optimisation. Les recherches qui y sont menées consistent d’une part, à développer des modèles et formalismes pour l’accès, la représentation et le traitement des connaissances, et d’autre part, à concevoir et mettre en œuvre des algorithmes d’optimisation adaptés à la résolution de problèmes combinatoires. Les travaux du LERIA s’intéressent aussi bien aux aspects fondamentaux qu’aux aspects pratiques et aux développements industriels des recherches.

Nicolas Gutowski, Maître de conférences en informatique à l’Université d’Angers, est rattaché au Laboratoire d’Étude et de Recherche en Informatique d’Angers qui est spécialisé sur : la représentation des connaissances et le raisonnement; les méta-heuristiques et l’optimisation combinatoire. Dans le cadre de ses travaux de recherche, Nicolas Gutowski s’intéresse plus particulièrement à : 1) l’apprentissage par renforcement et ses applications dont plus particulièrement les algorithmes de bandits-manchots ; 3) l’apprentissage non supervisé pour le géo-clustering. Dans le cadre de cette thèse, nous serons amenés à enrichir ou repenser les méthodes traditionnelles en nous appuyant, entre autres, sur de l’apprentissage automatique. Une connaissance de différentes méthodes serait donc un plus pour le co-encadrement de cette thèse.

Ainsi, outre la qualité scientifique des publications de Nicolas Gutowski ces dernières années ([https://www.researchgate.net/profile/Nicolas\\_Gutowski](https://www.researchgate.net/profile/Nicolas_Gutowski)), ses connaissances sur l’apprentissage automatique seront un atout important dans l’encadrement de cette thèse.

Enfin, nous pourrions plus particulièrement relever son travail récent sur la mobilité et la prédiction de trajectoire urbaine (Gutowski et al. 2018) via l’emploi de Chaînes de Markov Cachées ou encore ses travaux sur le géo-clustering dans la ville intelligente (Gutowski et al. 2019) via l’application de partitionnement spectral sur les données de mobilité urbaine. Les méthodes qu’il a utilisées pourraient se révéler intéressantes dans le cadre de l’évaluation dynamique de la mobilité du véhicule et plus globalement sur les réflexions à mener sur les méthodes d’apprentissage automatique à utiliser. Plus récemment, Nicolas Gutowski s’est intéressé à l’intégration d’IA en environnement marin dans un bateau connecté (Letard et al. 2020) dans le cadre d’une thèse CIFRE qu’il co-supervise à hauteur de 30%. Cette dernière expérience peut être également intéressante dans notre cas d’utilisation de méthodes d’IA pour le véhicule.

### 4.3 DGA TT, site d’Angers

Co-encadrant : Sébastien AUBIN

[sebastien.aubin@intradef.gouv.fr](mailto:sebastien.aubin@intradef.gouv.fr)

L’équipe traitement est sous le pilotage de Sébastien AUBIN, expert IA et Big Data. Il est rattaché à la sous-direction technique de DGA TT, division Maîtrise des Mesures Physiques (MMP), département Mesures Informatique Angers (MIA). Cette équipe développe et automatise des processus de traitement pour optimiser les phases d’essais.

En tant que centre d’essai accrédité COFRAC pour plusieurs de ses essais, la DGA TT, site d’Angers, dispose déjà des moyens de mesure adaptés. L’ensemble de cette instrumentation est

étalonné. Le centre dispose de véhicules de gamme civile et militaire pour effectuer les essais. Du personnel qualifié est apte à aider au bon déroulement des essais et des expérimentations dans le cadre de cette étude.

Sébastien Aubin est arrivé il y a 1 an au sein de la DGA après une expérience de plus de 10 ans dans une école d'ingénieur comme enseignant-chercheur dans les Sciences et Technologies de l'Information et des Communications (STIC). Il est titulaire d'un doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, d'un master recherche de l'école centrale de Nantes et d'un diplôme d'ingénieur ESEO. Dans sa carrière, il a abordé, en tant qu'enseignant et/ou chercheur, et/ou ingénieur de recherche pour de la prestation privée, des problématiques gravitant autour des capteurs, de l'instrumentation et la métrologie, de l'électronique analogique et numérique (de la simulation à la conception de prototype industrialisable), des systèmes embarqués, du génie logiciel, des télécommunications, du traitement du signal et des données, de l'intelligence artificielle.

La première thèse qu'il a encadrée contient des similitudes vis-à-vis de ce sujet de thèse (Riaboff 2020). Des données provenant de capteurs GPS et accéléromètres, définis suivant le contexte d'étude spécifique (l'élevage de précision), sont traitées via des algorithmes statistiques et d'intelligence artificielle. Ses compétences en intelligences artificielles dans le domaine de l'analyse d'images ont également été utilisées dans le pilotage d'une autre thèse.

## 5 Organisation

Cette section présente l'organisation de ce projet en y détaillant les étapes prévues par année. La thèse étant une collaboration entre différents laboratoires, le doctorant sera bi-localisé entre l'INRIA de Sophia-Antipolis et la DGA site d'Angers. La première partie s'effectuera à l'INRIA pour 18 mois puis sur Angers pendant le reste du déroulement de ses travaux.

### 5.1 Première année

Cette première année sera l'occasion, pour le doctorant, de découvrir l'univers des différents laboratoires de recherche ainsi que de la DGA. Il sera localisé à Sophia-Antipolis avec quelques missions sur Angers. Il réfléchira à la méthodologie à développer pour mesurer les caractéristiques évaluées lors de l'essai portant sur la sécurité du comportement dynamique des véhicules. Il effectuera un travail bibliographique sur les éléments nécessaires à son travail de thèse. Il pourra s'appuyer sur les articles déjà identifiés dans cette présentation du sujet de thèse. Ce travail le guidera dans le choix des approches à privilégier.

Le doctorant en déduira une méthodologie et un plan d'expérimentation permettant le recueil de données sur les véhicules de référence comme une 208 sport de chez Peugeot, un Navara de chez Toyota ou encore un Jumper de chez Citroën. Ces véhicules sont disponibles au sein du centre d'essai de la DGA. La méthodologie contiendra la vision macroscopique des modèles à développer ou exploiter de la bibliographie. Elle contiendra également l'instrumentation retenue en lien avec la qualité métrologique attendue et la position dans le véhicule ou le pilote.

Il effectuera quelques recueils de données afin de valider la pertinence de sa méthodologie et de confronter ses premières réflexions à l'expérimentation de terrain. Il développera les algorithmes de traitement en s'appuyant notamment sur des techniques de l'intelligence artificielle. Un point particulier sera apporté à l'explicabilité des modèles développés. Ce travail s'effectuera sur

un premier critère d'évaluation à définir. Enfin, il validera la généralité de son ou ses modèles dans les programmes d'essais des véhicules militaires. Ce travail fera l'objet d'une première publication.

## 5.2 Deuxième année

Le déménagement du doctorant est prévu en cours d'année. Il complètera son travail d'expérimentation et de collecte des données. Il complètera progressivement ses algorithmes pour les 10 caractéristiques à analyser. Il travaillera à valider le fonctionnement de ses algorithmes qu'il publiera.

## 5.3 Troisième année

Il validera la généralité de ses algorithmes suivant 2 axes : l'hétérogénéité des pilotes et l'hétérogénéité du parc de véhicules. L'accent sera prioritairement mis sur l'hétérogénéité du parc de véhicule. Il continuera à publier sur les algorithmes développés. Il rédigera sa thèse.

# 6 Environnement matériel

La DGA mettra à disposition les pistes, les véhicules d'entraînements, l'instrumentation, les centrales d'acquisition de données et son serveur de calcul HPC. Différentes suites logicielles viennent compléter les possibilités d'utilisation des logiciels libres. Le site d'Angers dispose de licences de Matlab et de GlyphWorks-ncode pouvant être utiles pour prétraiter les données facilement. Les principales bibliothèques en intelligence artificielle s'appuient sur Scikit-Learn pour les algorithmes d'apprentissage automatique (Machine Learning), et Tensorflow/Keras pour l'apprentissage profond (Deep Learning). L'INRIA possède également un serveur de calcul (NEF) qui sera mis à disposition pour la thèse notamment pour l'apprentissage.

# 7 Profil du candidat

Le candidat doit aimer le travail en équipe pluridisciplinaire et le goût pour l'expérimentation terrain. Il possède des connaissances en instrumentation, en capteur, en algorithmique, en intelligence artificielle.

Le candidat sera disponible pour commencer sa thèse au 01/10/2021. Un report d'un mois est envisageable suivant le besoin du candidat.

# 8 Candidature

Le candidat doit envoyer un CV, une lettre de motivation, son bulletin de note de l'année en cours et de l'année précédente, avant le 5/04/2021 en mettant dans l'objet de son mail « [INRIA/LERIA/DGA] Candidature » aux trois encadrants. Il doit préciser le nom et les coordonnées de 2 personnes qui sont en mesure de le recommander.

## 9 Références

- AFP. 2020. « Dieselgate: un dirigeant de Volkswagen doit payer 1,5 million d'euros ». 20 août 2020. [https://www.challenges.fr/economie/dieselgate-un-dirigeant-de-volkswagen-doit-payer-1-5-million-d-euros\\_723748](https://www.challenges.fr/economie/dieselgate-un-dirigeant-de-volkswagen-doit-payer-1-5-million-d-euros_723748).
- Arvin, Ramin, Asad J. Khattak, et Hairong Qi. 2021. « Safety critical event prediction through unified analysis of driver and vehicle volatilities: Application of deep learning methods ». *Accident Analysis & Prevention* 151 (mars): 105949. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105949>.
- Bouton, Nicolas, Roland Lenain, Benoit Thuilot, et Philippe Martinet. 2008. « A tire stiffness backstepping observer dedicated to all-terrain vehicle rollover prevention ». *Advanced Robotics* 22 (12): 1267-85.
- Brézillon, Patrick. 1999. « Context in Artificial Intelligence: I. A survey of the literature ». *Computers and artificial intelligence* 18: 321-40.
- Denoual, Thomas. 2012. « Contribution à l'objectivation des prestations dynamiques sur simulateur de conduite ». Génie mécanique [physics.class-ph], Ecole Centrale de Nantes (ECN). tel-00756682.
- Dey, Anind K. 2001. « Understanding and using context ». *Personal and ubiquitous computing* 5 (1): 4-7.
- Falcini, F., G. Lami, et A. M. Costanza. 2017. « Deep Learning in Automotive Software ». *IEEE Software* 34 (3): 56-63.
- Fang, Hao, Lihua Dou, Jie Chen, Roland Lenain, Benoit Thuilot, et Philippe Martinet. 2011. « Robust anti-sliding control of autonomous vehicles in presence of lateral disturbances ». *Control Engineering Practice* 19 (5): 468-78.
- Girard-Satabin, Julien, Guillaume Charpiat, Zakaria Chihani, et Marc Schoenauer. 2019. « CAMUS: A Framework to Build Formal Specifications for Deep Perception Systems Using Simulators ». *arXiv:1911.10735 [cs]*, novembre. <http://arxiv.org/abs/1911.10735>.
- González, David Sierra, Ozgur Erkent, Víctor Romero-Cano, Jilles Dibangoye, et Christian Laugier. 2018. « Modeling driver behavior from demonstrations in dynamic environments using spatiotemporal lattices ». In , 3384-90. IEEE.
- Guillet, Audrey, Roland Lenain, Benoit Thuilot, et Philippe Martinet. 2014. « Adaptable robot formation control: adaptive and predictive formation control of autonomous vehicles ». *IEEE Robotics & Automation Magazine* 21 (1): 28-39.
- Gutowski, Nicolas, Tassadit Amghar, Olivier Camp, et Slimane Hammoudi. 2018. « 2 - Mobility and Prediction: an Asset for Crisis Management ». In *How Information Systems Can Help in Alarm/Alert Detection*, édité par Florence Sèdes, 33-53. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-302-8.50002-2>.
- Gutowski, Nicolas, Olivier Camp, Fabien Chhel, Tassadit Amghar, et Patrick Albers. 2019. « Improving Bandit-Based Recommendations with Spatial Context Reasoning: An Online Evaluation ». In , 1366-73. IEEE.
- Khalifa, Ahmed, Olivier Kermorgant, Salvador Dominguez, et Philippe Martinet. 2020. « Platooning of car-like vehicles in urban environments: An observer-based approach considering actuator dynamics and time delays ». *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*.
- Krizhevsky, A., I. Sutskever, et G. E. Hinton. 2012. « Imagenet classification with deep convolutional neural networks ». *Advances in neural information processing systems*, n° 25: 1097-1105.
- Kuderer, M., S. Gulati, et W. Burgard. 2015. « Learning driving styles for autonomous vehicles from demonstration ». *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2641-46.
- Lechner, Daniel. 2002. « Analyse du comportement dynamique des véhicules routiers légers: développement d'une méthodologie appliquée à la sécurité primaire ».
- Legouis, Thierry. 1989. « Analyse de la dynamique du système véhicule/pilote ». Centre libre d'études supérieures d'industrie automobile. Société des ingénieurs de l'automobile (SIA).
- Lenain, Roland, Benoit Thuilot, Christophe Cariou, et Philippe Martinet. 2010. « Mixed kinematic and dynamic sideslip angle observer for accurate control of fast off-road mobile robots ». *Journal of Field Robotics* 27 (2): 181-96.

- Letard, Alexandre, Tassadit Amghar, Olivier Camp, et Nicolas Gutowski. 2020. « Partial Bandit and Semi-Bandit: Making the Most Out of Scarce Users' Feedback ». In , 1073-78. IEEE.
- McRuer, Duane, Dunstan Graham, Ezra Krendel, et William Reisener. 1965. « Human pilot dynamics in compensatory systems ». AFFSDL-TR-65-15. SYSTEMS TECHNOLOGY INC HAWTHORNE CA.
- Meissonier, Julien. 2006. « Identification des paramètres géométriques et élastocinématiques de mécanismes de liaison au sol automobile ».
- Qi, Geqi, Guan Wei, Xucheng Li, Nick Hounsell, et Neville Stanton. 2018. « Vehicle Sensor Data-Based Analysis on the Driving Style Differences between Operating Indoor Simulator and on-Road Instrumented Vehicle | Request PDF ». ResearchGate. 2018. <https://doi.org/10.1080/15472450.2018.1525534>.
- Riaboff, Lucile. 2020. « Mise en place d'une méthodologie pour l'analyse de données GPS et accéléromètres afin d'améliorer la gestion du pâturage en élevage de bovins laitiers ». Zootechnie, LAUM.
- Romera, Eduardo, Luis Miguel Bergasa, et Roberto Arroyo. 2016. « Need Data for Driver Behaviour Analysis? Presenting the Public UAH-DriveSet ». In *IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*, 1:387-92. Rio de Janeiro. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2016.7795584>.
- Sierra González, D., J. Dibangoye, et C. Laugier. 2016. « High-speed highway scene prediction based on driver models learned from demonstrations ». *IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, novembre 2016.
- Thomas, Ralph E. 1962. *Development of new techniques for analysis of human controller dynamics*. Behavioral Sciences Laboratory, 6570th Aerospace Medical Research ....
- Warey, Alok, Shailendra Kaushik, et Bahram Khalighi. 2020. « Data-driven prediction of vehicle cabin thermal comfort: using machine learning and high-fidelity simulation results. » *International Journal of Heat and Mass Transfer* 148. <https://doi.org/119083>.
- Xue, Qingwen, Ke Wang, Jian John Lu, et Yujie Liu. 2019. « Rapid Driving Style Recognition in Car-Following Using Machine Learning and Vehicle Trajectory Data ». Édité par Mohammad H. Y. Moghaddam. *Journal of Advanced Transportation* 2019 (janvier): 9085238. <https://doi.org/10.1155/2019/9085238>.