

---

# Présentation analytique

---

ABADI AMINE

Docteur en sciences et technologie industrielles

Attaché temporaire d'enseignement et de recherche, ISAT -  
Nevers

émail : [Amine.Abadi@u-bourgogne.fr](mailto:Amine.Abadi@u-bourgogne.fr)

Site personnel : [amine-abadi.com](http://amine-abadi.com)

Tél : 0755626382

Adresse : 10 Rue Ferdinand Gambon, 58000, Nevers

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Curriculum Vitae</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Activité d'enseignement</b>	<b>2</b>
2.1	Etablissements et formations . . . . .	2
2.2	Matières enseignées . . . . .	2
2.3	Productions pédagogiques . . . . .	4
2.4	Encadrement de projets . . . . .	5
2.5	Responsabilités liées à l'enseignement . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Activité de recherche</b>	<b>5</b>
3.1	Travail de thèse . . . . .	6
3.1.1	Génération de trajectoires optimales par platitude . . . . .	6
3.1.2	Régulateur robuste par platitude basée sur la commande par mode glissant et la commande par rejet actif des perturbations . . . . .	8
3.1.3	Commande par platitude basée sur l'observateur par intervalle . . . . .	9

3.2	Autres travaux durant la période de thèse . . . . .	11
3.3	Poursuite de travail de thèse . . . . .	12
3.4	Travail de recherche dans le cadre de mon poste ATER à l'ISAT de Nevers . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Publications</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Lettre de recommandation</b>	<b>17</b>

# 1 Curriculum Vitae

## Formation universitaire

2016 - 2021 : **Double diplôme de doctorat en génie électrique et en sciences et technologie industrielles**, Université d'Orléans, PRISME, France, Université de Sousse, NOCCS, Tunisie.

2011 - 2014 : **Diplôme de master de recherche en systèmes intelligents et communicants**, École Nationale d'Ingénieurs de Sousse, Université de Sousse, Tunisie.

2008 - 2011 : **Diplôme d'ingénieur en génie électronique industrielle**, École Nationale d'Ingénieurs de Sousse, Université de Sousse, Tunisie.

## Compétence technique :

- Développer, intégrer et tester des algorithmes de perception intelligente, de génération de trajectoires optimales et de commande robuste afin d'obtenir une navigation autonome, sûre et précise pour des systèmes robotiques (robot mobile, quadrirotor, voiture,..).
- Développement des algorithmes de Deep Learning/Machine Learning adaptés à différents domaines (robotique, logistique, médical, bancaire).
- Connaissance scientifique approfondie et développée en matière d'électronique, informatique, robotique et automatique.
- Expérience avec les robots et ROS.
- Maîtrise des interfaces et différents outils numériques permettant d'implémenter des commandes telles que : microcontrôleur, arduino, raspberry Pi.
- Maîtrise des langages de programmation Matlab/Simulink, Python, C ++.

## Expérience Professionnelle :

**Ingénieur de recherche et développement robotique**, 2014 - 2017, au sein de la société Intelligent robots à Sousse, parmi les missions suivies :

- Participer à la conception et la programmation des robots.
- Encadrer les étudiants lors des projets fin d'études.

**Ingénieur électronique**, 2011-2012, au sein de la société Tunisie Led, parmi les missions suivies :

- Pilotage d'équipe de fabrication et production des cartes électroniques.
- Traitement des réclamations des clients et élaboration des plans d'action.

## Domaine de recherche :

Commande par platitude robuste, génération des trajectoires optimales, perception intelligente, navigation autonome, apprentissage automatique et profond, méthode par intervalle, systèmes robotiques, commande par vision, vision par ordinateur.

## Expérience d'enseignement :

**Attaché temporaire d'enseignement et de recherche (ATER) 100 %** , 2021-2022, Institut Supérieur de l'Automobile et des Transports de Nevers.

**Enseignant vacataire**, 2014-2020, École Nationale d'Ingénieurs de Sousse.

**Enseignant vacataire**, 2020-2021, Université Privée de Sousse.

**Assistant technologue**, 2012-2016, Institut Supérieur des Études Technologiques de Sousse.

## 2 Activité d'enseignement

Depuis 2012, mes activités d'enseignement (Cours, Travaux dirigés et Travaux Pratiques) concernent essentiellement les domaines de l'automatique, la robotique, l'électronique, l'informatique industrielle et l'intelligence artificielle.

### 2.1 Etablissements et formations

Au cours de ces 10 dernières années, j'ai eu l'opportunité d'assurer une charge de 800h d'enseignement dans 4 établissements, ISET (Institut Supérieur des Études Technologiques) de Sousse, ENISO (École Nationale d'Ingénieurs de Sousse), UPS (Université Privée de Sousse) et ISAT (Institut Supérieur de l'Automobile et des Transports) de Nevers. Le tableau suivant résume mes activités d'enseignement dans ces 4 établissements.

Intitulé	Nature/cycle	V.H	Établissement	Année universitaire
Système robotisé	Cours intégré/3A-Lis	85h	ISET Sousse	2012/2013 2013/2014 2015/2016
Systèmes automatisés	TP/3A-Lis	42h	ISET Sousse	2015/2016
Analyse et commande des systèmes	Cours intégré/1A-Ing	24h	ENISO	2014/2015
Automatique linéaire	TP/1A-Ing	180h	ENISO	2015/2016 2016/2017
Commande numérique des systèmes mécatroniques	Cours intégré/2A-Ing TP/2A-Ing	84h 96h	ENISO	2015/2016 2016/2017
Automatique avancée	TD/3A-Ing	18h	ENISO	2018/2019
Commande robuste	Cours intégré/2A-Mas	21h	ENISO	2019/2020
Intelligence artificielle I	Cours intégré/2A-Ing	30h	UPS	2020/2021
Intelligence artificielle II	Cours intégré/3A-Ing	30h	UPS	2020/2021
Électronique numérique et analogique	TD/2A-Prépa TP/2A-Prépa	54h 24h	ISAT Nevers	2021/2022
Projets électroniques	TP/2A-Prépa	16h	ISAT Nevers	2021/2022
Analyse fonctionnelle, Algorithmie et Programmation	TD/1A-Prépa	14h	ISAT Nevers	2021/2022
Électricité/électrotechnique	TD/1A-Prépa	21h	ISAT Nevers	2021/2022
Contrôle des systèmes	TP/3A-Ing	60h	ISAT Nevers	2021/2022

Le cours intégré est un cours dans lequel on intègre à la suite les exercices de travaux dirigés à titre d'explication.

### 2.2 Matières enseignées

#### **Systeme robotisé :**

Durant trois ans, en tant que responsable de ce module, j'ai assuré une charge de 85h dont 27h de TP et 58h de cours intégré(Cours+TD). Le premier chapitre de cours portait sur des généralités telles que les constitutions, la classification, la morphologie des robots. Les autres chapitres portent sur la modélisation géométrique et cinématique direct et inverse

des robots. Les TPs consistent à développer des fonctions sous MATLAB qui permettent de calculer le modèle géométrique et cinématique direct et inverse d'un bras manipulateur.

### **Systemes Automatisés :**

J'ai assuré une charge de 42h pour ce module qui propose des applications de commande de systèmes automatisés par automates programmables industriels en utilisant les différents langages de programmation à savoir le langage liste, ladder et grafcet.

### **Analyse et commande des systèmes :**

En tant que responsable de ce module, j'ai assuré 24h de cours intégré. Ce cours porte sur la représentation d'état des systèmes linéaires continus, la représentation d'état des systèmes échantillonnés, la commandabilité et l'observabilité des systèmes linéaires, la commande dans l'espace d'état et la synthèse des observateurs. Pour plus de détails sur le support de cours, vous pouvez consulter le lien suivant ([Analyse et commande des systèmes](#)).

### **Automatique linéaire :**

Ce module traite les concepts fondamentaux des systèmes asservis (opérateur de transfert, transformée de Laplace, passage transfert-état, équation d'état, stabilité, schéma fonctionnel, ...). Pour ce module, j'ai enseigné une charge de 180h de TPs pendant deux ans. Ces TPs se focalisent sur la modélisation, l'asservissement et la régulation d'un procédé thermique en utilisant la carte Arduino et le logiciel Matlab/simulink. Pour plus de détails sur les TPs réalisés, vous pouvez consulter le lien suivant ([TP/Automatique linéaire](#)).

### **Commande numérique des systèmes mécatroniques :**

En tant que responsable de ce module, j'ai assuré une charge de 84h de cours intégré et 96h de TP. Les chapitres de ce cours portent sur les généralités des systèmes échantillonnés, la transformée en Z des signaux et les commandes numériques. J'ai enseigné aussi les TPs de ce module. Ces derniers portent sur la régulation de la vitesse d'un moteur à courant continu à base de correcteurs numériques. Pour plus de détails sur le cours, vous pouvez consulter le lien suivant ([Cours/Commande numérique des systèmes mécatroniques](#)).

### **Automatique avancée :**

Ma tâche pour ce module est d'enseigner une charge de 18h de TD sur les commandes par retour d'état, la commande basée sur la linéarisation entrée/sortie et la commande optimale.

### **Commande robuste :**

L'objectif de ce cours est d'étudier les commandes robustes telles que : commande H-infini, commande adaptative, commande par mode glissant, commande non linéaire robuste. J'ai assuré une partie de ce cours en anglais. Cette partie concerne les commandes par platitude robuste. Ce sont les commandes que j'ai développées au cours de ma recherche doctorale.

### **Intelligence artificielle I :**

J'ai assuré une charge de 30h de cours intégré de module intelligence artificielle I. Le premier chapitre de ce cours porte sur des généralités où l'étudiant sera capable de savoir les bases, les algorithmes et le domaine d'application de l'intelligence artificielle. Pour le deuxième chapitre, j'ai fait un rappel sur la programmation avec Python qui sera utile pour nos futurs projets et j'ai fini par réaliser un projet à base l'apprentissage automatique (machine learning). Ce projet consiste à prédire les vagues de coronavirus en Tunisie.

### **Intelligence artificielle II :**

J'ai assuré une charge de 30h de cours intégré de module Intelligence artificielle II qui représente une continuation de cours intelligence artificielle I. Dans ce cours, l'étudiant sera capable de résoudre des problèmes à partir d'une base de données en utilisant l'apprentissage profond (deep learning).

### **Électronique numérique et analogique :**

Pour ce cours destiné aux élèves de deuxième année préparatoire de l'ISAT de Nevers, j'ai assuré une charge de 54h de TD ainsi que 24h de TP. Les TDs portent sur les filtres passifs et actifs, les amplificateurs opérationnels, le transistor bipolaire, la logique combinatoire et séquentielle et les compteurs synchrones et asynchrones. Pour plus de détails sur les TDs et les TPs, vous pouvez consulter le lien suivant ([TP+TD/électronique analogique et numérique](#)).

### **Projet semestriel électronique :**

L'objectif de ce module (Projet semestriel électronique) est de réaliser des projets électroniques à base de carte Arduino. J'ai assuré une charge de 16h pour ce module. Pour plus de détails sur quelques projets réalisés, vous pouvez consulter le lien suivant ([projet électronique](#)).

### **Analyse fonctionnelle, Algorithmie et Programmation :**

Ce cours est destiné aux élèves de première année préparatoire de l'ISAT de Nevers. J'ai assuré pour ce cours des TDs sur le codage des informations, l'analyse des problèmes, les schémas logiques et les organigrammes.

### **Électricité/électrotechnique :**

J'ai assuré pour ce module une charge de 21h de TD sur l'électricité et l'électrotechnique. Ces TDs portent sur quelques théorèmes généraux de l'électricité en régime continu (théorème de Millman, principe de superposition et théorèmes de Thévenin et de Norton).

### **Contrôle des systèmes :**

J'ai assuré pour ce module une charge de 60h de TP. Les TPs portent sur le traitement de signal, la manipulation d'une image numérique, l'étude des systèmes d'ordre 1, 2 et 3, l'étude d'un régime transitoire d'un circuit RC, la modélisation de la commande du cap d'un avion et la correction des systèmes asservis.

## **2.3 Productions pédagogiques**

Depuis 2012, j'ai participé avec mes collègues à la rédaction de nombreux documents pédagogiques destinés aux étudiants : photocopiés de cours, recueils d'exercices et sujets de travaux pratiques. Ces documents, et en particulier les textes de travaux pratiques, ont évolué d'une manière continue afin de s'adapter aux différentes approches pédagogiques expérimentées. La liste suivante, non exhaustive, comporte la grande partie des supports que j'ai produits :

- Photocopié de cours et de travaux pratiques pour le module système robotisé au département génie électrique de l'ISAT de Sousse.
- Photocopié de cours et de travaux pratiques pour le module commande numérique des systèmes mécatroniques au département génie informatique industrielle de l'École Nationale d'Ingénieurs de Sousse.
- Photocopié de cours pour le module analyse et commande des systèmes au département génie informatique industrielle de l'École Nationale d'Ingénieurs de Sousse.
- Sujets des travaux pratiques et des travaux dirigés dans différentes disciplines : automatique, électronique, robotique et informatique.

## 2.4 Encadrement de projets

j'ai encadré les projets fin d'études suivants :

**Sujet 1 :** Suivi de trajectoire à partir d'une liste de point.

**Description de sujet :** L'implémentation d'une plateforme de manipulation d'un bras robotisé est basée sur trois phases principales : la définition d'un modèle de design, la définition d'une trajectoire de manipulation à partir de ce modèle et la manipulation d'un bras afin de tracer ce design. Dans ce cadre, le candidat est amené à implémenter une bibliothèque open source afin de manipuler un bras robotisé et d'assurer le bon traçage du design proposé par le client.

**Sujet 2 :** Module de navigation autonome AGV.

**Description de sujet :** Un AGV est un robot qui se déplace de façon autonome sans l'intervention humaine. Les AGV sont le plus souvent utilisés dans des applications industrielles pour déplacer de manière autonome des marchandises dans une usine, un entrepôt ou un atelier. Dans ce cadre, le candidat est amené à étudier toutes les solutions de navigation autonome qui existent, et d'en implémenter une.

**Sujet 3 :** Robot de sécurité pour la reconnaissance faciale dans la rue.

**Description de sujet :** La reconnaissance de visages est une fonction importante des systèmes de vidéo surveillance pour permettre la vérification et l'identification d'individus d'intérêt qui apparaissent dans une scène capturée par un réseau distribué de caméras. Dans ce cadre, le candidat est amené à étudier toutes les solutions d'intelligence artificielle existant pour la reconnaissance faciale, et d'en implémenter une.

## 2.5 Responsabilités liées à l'enseignement

Durant mes études doctorales et durant cette année en tant que ATER, je n'étais pas impliqué dans les activités pédagogiques au-delà des enseignements. Néanmoins, j'ai pu m'investir sur les points suivants :

- Préparation des sujets d'examen.
- Surveillance et correction des examens.
- Participation à la conception des nouvelles maquettes pour les travaux pratiques.
- Participation à des jurys de soutenance de stage.
- Participation à des jurys de délibération.

## 3 Activité de recherche

La thématique de recherche que j'ai réalisée au sein des laboratoires NOCCS en Tunisie et PRISME en France depuis 2015 se focalise sur l'exploitation du concept de platitude pour la commande et la génération de trajectoires, avec un champ d'application appartenant au domaine robotique.

L'association des techniques de robustesse et du concept de platitude représente un croisement fertile permettant de profiter des avantages des méthodes de commande linéaire et de l'étendue de performance des systèmes non linéaires. Dans ce contexte, les méthodologies que j'ai développées au sein de laboratoires NOCCS et PRISME consistent à définir une

approche générale pour la régulation robuste des systèmes plats incertains. Plus clairement, après avoir défini les systèmes considérés, nous générerons des trajectoires et des commandes optimales en boucle ouverte pour un modèle certain. Lorsque la dynamique du système est parfaitement établie et si les perturbations externes n'ont pas un grand effet sur le système, la commande en boucle ouverte, va nous permettre d'atteindre l'objectif désiré. Par contre, si la modélisation n'est pas assez précise ou trop perturbée, la commande en boucle ouverte doit être complétée par un bouclage robuste pour fermer la boucle et atteindre plus précisément la valeur de consigne donnée et la maintenir. Les applications associées se focalisent d'une manière générale sur le système de Guidage, Navigation et Commande (GNC) des robots. Dans les paragraphes suivants seront présentés les travaux de recherche que j'ai successivement effectués dans le cadre de ma thèse de doctorat, complétés par une brève présentation de mes autres activités de recherche.

### 3.1 Travail de thèse

Mon travail de recherche doctorale a été fait dans le cadre d'une convention entre le laboratoire Networked Objects, Control, and Communication Systems (NOCCS) de l'École Nationale d'Ingénieurs de Sousse et le laboratoire PRISME de l'université d'Orléans. L'objectif de ma thèse intitulée (Contribution à la génération de trajectoires optimales pour les systèmes différentiellement plats applications au cas d'un Quadrirotor) est la conception d'un module de navigation autonome performant pour les systèmes robotiques et particulièrement les systèmes UAV. Ainsi, pour réaliser cet objectif, j'ai traité les problèmes liés à la génération des trajectoires optimales et la conception des commandes robustes assurant la poursuite de ces derniers. Pour plus de détails, prière de se référer vers le lien suivant ([rapport de thèse](#)). Les contributions de cette thèse sont les suivantes :

- Développement d'une approche de planification de trajectoires optimales afin de résoudre des problèmes complexes de guidage des systèmes robotiques d'une manière rapide, simple et efficace.
- Développement d'une commande par platitude robuste basée sur le mode glissant et le contrôle actif par rejet de perturbations pour les systèmes non linéaires plats soumis à des incertitudes paramétriques et des perturbations externes. La commande robuste développée a pour avantage d'optimiser le nombre de capteurs nécessaires pour mesurer l'état du système, d'éliminer les effets des perturbations totales sur le système et d'atténuer le phénomène de broutement par la méthode de couche limite sans perdre la robustesse obtenue grâce à la discontinuité de la commande par mode glissant.
- Développement d'une nouvelle commande de suivi des trajectoires basées sur la platitude et l'observateur par intervalle qui permet de garantir la stabilité du système non linéaire plat dans un intervalle bien précis lorsque ce dernier est affecté par des perturbations inconnues et des valeurs importantes de bornes.

Dans les paragraphes suivants, je présenterai des informations générales sur les trois contributions citées précédemment.

#### 3.1.1 Génération de trajectoires optimales par platitude

Fondamentalement, un problème de génération des trajectoires optimales peut être formulé comme un problème de commande optimale qui ne possède pas de solution analytique connue, bien que sa formulation soit relativement facile. Dans la littérature, il existe principalement deux grands courants méthodologiques de résolution du problème de commande

optimale. Les méthodes dites indirectes qui se basent sur l'utilisation du principe du maximum de Pontryagin [1] et les méthodes directes [2] qui formulent le problème en termes de programmation paramétrique non linéaire. Malgré l'efficacité de ces méthodes, la dimension du problème d'optimisation reste grande et peut poser certains problèmes aux algorithmes de résolution. Réduire la dimension de problème d'optimisation par élimination de quelques contraintes ne peut pas être une bonne idée car les systèmes robotiques imposent beaucoup de contraintes nécessaires pour l'efficacité de leur tâche industrielle. Donc la question qui se pose c'est comment développer un algorithme qui génère des trajectoires optimales pour les systèmes robotiques d'une manière rapide et sans négliger aucune contrainte imposée par le cahier de charge.

Pour résoudre rapidement le problème de génération des trajectoires optimales pour les systèmes non linéaires plats, je propose une approche basée sur la technique de collocation directe, la platitude différentielle et les courbes de Bézier. La platitude différentielle a été utilisée pour réduire le nombre de paramètres du problème d'optimisation. Les courbes de Bézier sont utilisées pour approximer les sorties plates. La méthode de collocation directe permet de transformer le problème d'optimisation infinie en un problème de programmation non linéaire de dimension finie.

Comme exemple d'application de la méthodologie proposée, on considère le problème de navigation d'un robot mobile défini dans la figure 1. Le problème consiste à chercher la trajectoire et la commande optimale correspondante qui permettent d'amener le robot mobile d'une position initiale à une position finale définie pour une période de 5 s. Pendant la navigation, le robot mobile doit éviter les obstacles et respecter l'espace de la salle. D'autre part, selon l'utilisation de robot mobile, un critère de performance est choisi pour répondre à des besoins industriels tels que l'énergie, le temps... etc. Pour le problème de navigation (figure 1), j'ai choisi comme critère de performance le jerk. Le jerk traduit le taux de variation de l'accélération par unité de temps. Ce terme est utilisé comme critère caractérisant la douceur d'une trajectoire (smoothness). Plus sa valeur maximale est faible, plus la trajectoire sera considérée comme douce et par conséquent peu contraignante pour le système dynamique.

La figure 2 résume les étapes de résolution de problème de commande optimale de robot mobile. Ainsi la première étape consiste à utiliser la propriété de platitude de robot mobile afin de transformer le problème de commande optimale dans l'espace sortie plate et à optimiser non plus les profils des états et des commandes, mais uniquement les profils des sorties plates. La deuxième étape consiste à approximer les sorties plates par des courbes de Bézier. L'intérêt de la courbe de Bézier pour la paramétrisation des sorties plates est multiple. Elle permet d'établir simplement la classe de continuité sur la trajectoire avec un nombre raisonnable de variables et sans contrainte supplémentaire. La dernière étape consiste à utiliser les méthodes de collocation pour obtenir un problème de programmation non linéaire qui dépend de paramètre de contrôle des courbes de Bézier. Le problème obtenu peut alors être résolu avec des solveurs classiques pour les problèmes d'optimisation non linéaires avec contraintes telles que SNOPT (Sparse Nonlinear OPTimizer). J'ai appliqué aussi la méthode de génération de trajectoires optimales proposée pour résoudre des problèmes de navigation autonome d'un quadrirotor [3]

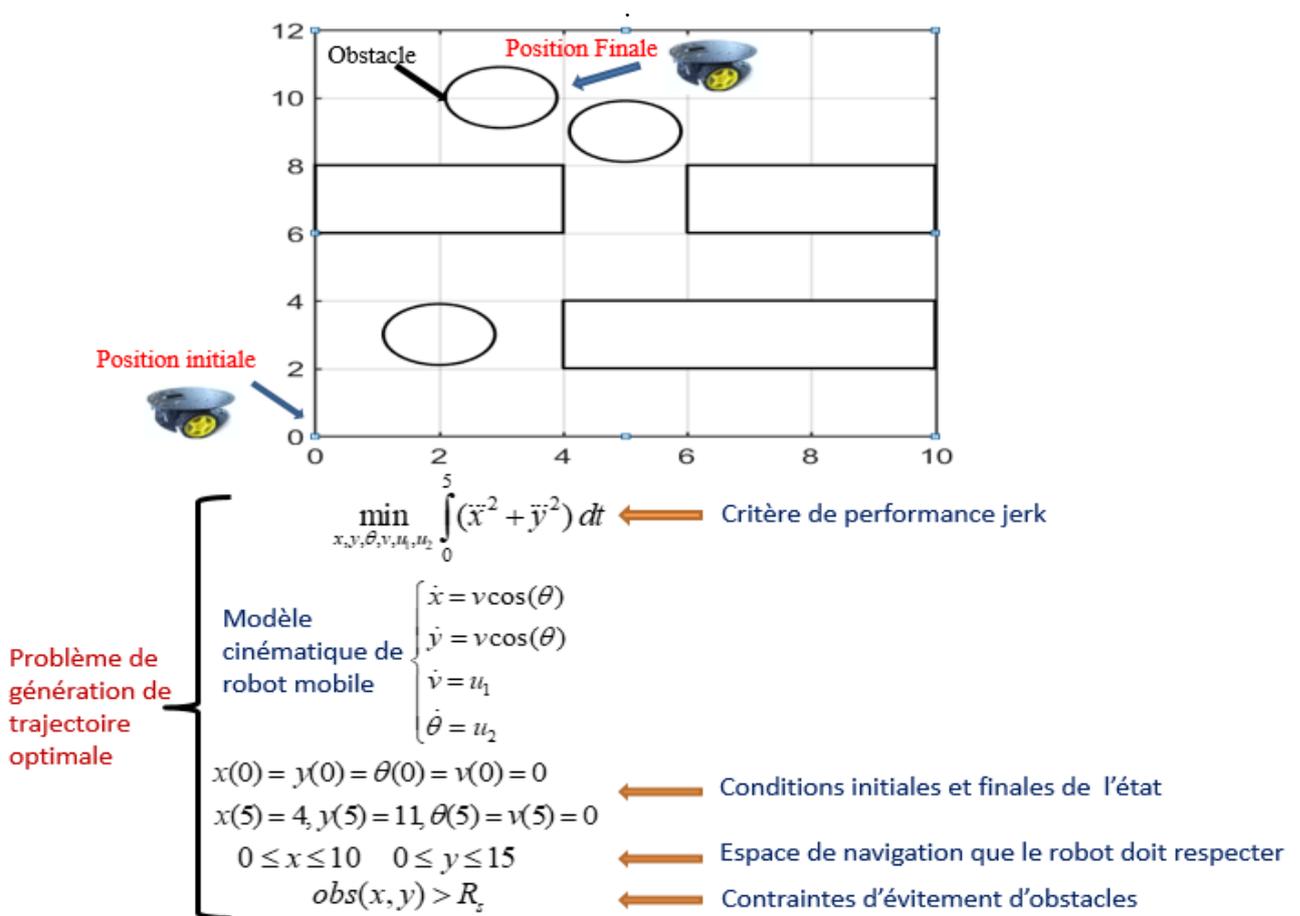


FIGURE 1 – Problème de navigation de robot mobile.

### 3.1.2 Régulateur robuste par platitude basée sur la commande par mode glissant et la commande par rejet actif des perturbations

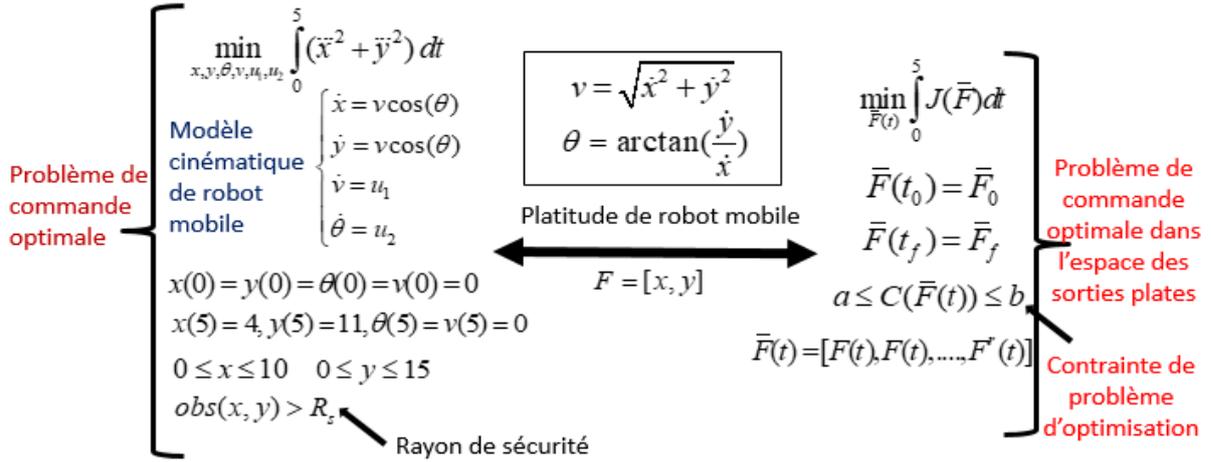
La commande par platitude optimale obtenue pour générer des trajectoires révèle ses limites lors de présences des incertitudes paramétriques et des perturbations externes affectant le système. Pour résoudre ce problème, plusieurs types de commandes robustes ont été associées à la commande par platitude, telle que la commande par mode glissant.

La combinaison de la propriété de platitude et de techniques basées sur les modes glissants implique des propriétés de découplage entrées/sorties et une linéarisation dynamique et robuste. Cependant, ces performances sont obtenues au prix de certains inconvénients.

La commande par mode glissant contient un terme discontinu qui peut entraîner un phénomène de broutement ou chattering en anglais. Les principales raisons à l'origine de ce phénomène sont les limitations des actionneurs ou les retards de commutation au niveau de la commande. Cet inconvénient n'altère théoriquement en rien les performances mais il peut se révéler dommageable pour certains composants du système (actionneur, éléments mécaniques,...). Ainsi, les principales contributions sur les commandes par modes glissants au cours de ces dernières années concernent la diminution du chattering.

Pour remédier au problème du broutement, plusieurs méthodes ont été proposées comme la méthode de couche limite qui consiste à remplacer la fonction de commutation par une approximation continue. Néanmoins, l'atténuation de phénomènes de broutement par la méthode de couche limite, bien que très efficace, est obtenue aux dépens de la robustesse qui se trouve ainsi réduite, ceci élimine l'avantage essentiel de l'utilisation de la commande par mode glissant. En plus du problème du broutement, la mise en oeuvre de la commande par platitude en boucle fermée a besoin de capteurs permettant de donner à chaque instant

**1ère étape: Transcrire le problème de commande optimale dans l'espace des sorties plates**



**2ème étape: Approximation des sorties plates**

$$x_{opt}(t) = \sum_{j=1}^d B_j^d(t) a_j \quad y_{opt}(t) = \sum_{j=1}^d B_j^d(t) b_j, \quad t \in [t_0 = 0, t_f = 5] \quad \text{Avec} \quad B_j^d(t) = \frac{d!}{j!(d-j)!} \left(\frac{t_f-t}{t_f-t_0}\right)^{d-j} \left(\frac{t-t_0}{t_f-t_0}\right)^j$$

**3ème étape: Transformation en un problème de programmation non linéaire**

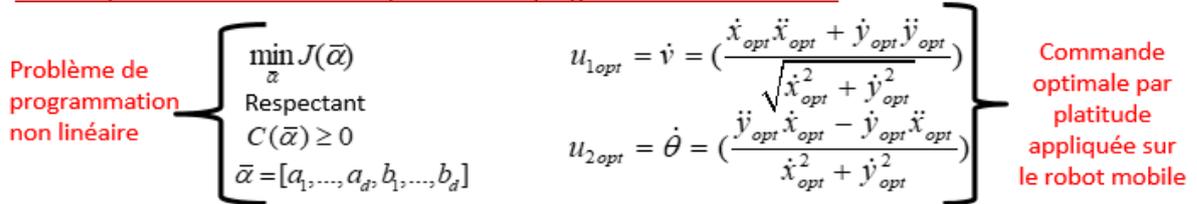


FIGURE 2 – Méthodologie de résolution de problème de commande optimale pour un robot mobile

les valeurs des sorties plates et ses dérivés. À cause d'absence de capteurs adéquats, il arrive souvent que certaines variables d'état d'un système ne soient pas accessibles à la mesure. Pour cela, nous proposons de combiner la méthode par platitude basée sur le mode glissant avec la méthode de contrôle actif par rejet des perturbations (ADRC) fondée par [4]. La méthode ADRC repose sur le bon fonctionnement de l'observateur à état étendu (ESO) qui estime l'état complet du système et un état supplémentaire représentant la somme des incertitudes paramétriques et les perturbations externes connues par la perturbation totale. En effet, cet état étendu estimé en ligne avec l'ESO est utilisé dans le signal de commande afin d'éliminer les perturbations totales agissant sur le système.

La figure 3 montre un schéma fonctionnel de commande robuste proposée. La commande robuste par platitude basée sur l'ADRC est publiée dans [5]. La commande robuste par platitude basée sur le mode glissant est publiée dans [6]. La méthodologie proposée représente une combinaison des commandes publiées dans ces deux articles.

### 3.1.3 Commande par platitude basée sur l'observateur par intervalle

La commande par platitude basée sur le mode glissant et le contrôle actif par rejet des perturbations (ADRC) se base sur le bon fonctionnement de l'observateur à état étendu. Ce dernier est incapable d'estimer les perturbations inconnues à variations significatives affectant le système et les mesures. Dans ces conditions, la commande robuste proposée ne peut pas assurer le suivi de trajectoire de référence.

Ces dernières années, les méthodes ensemblistes basées sur l'analyse par intervalle ont significativement progressé d'un point de vue fondamental. Elles ont également montré leur intérêt

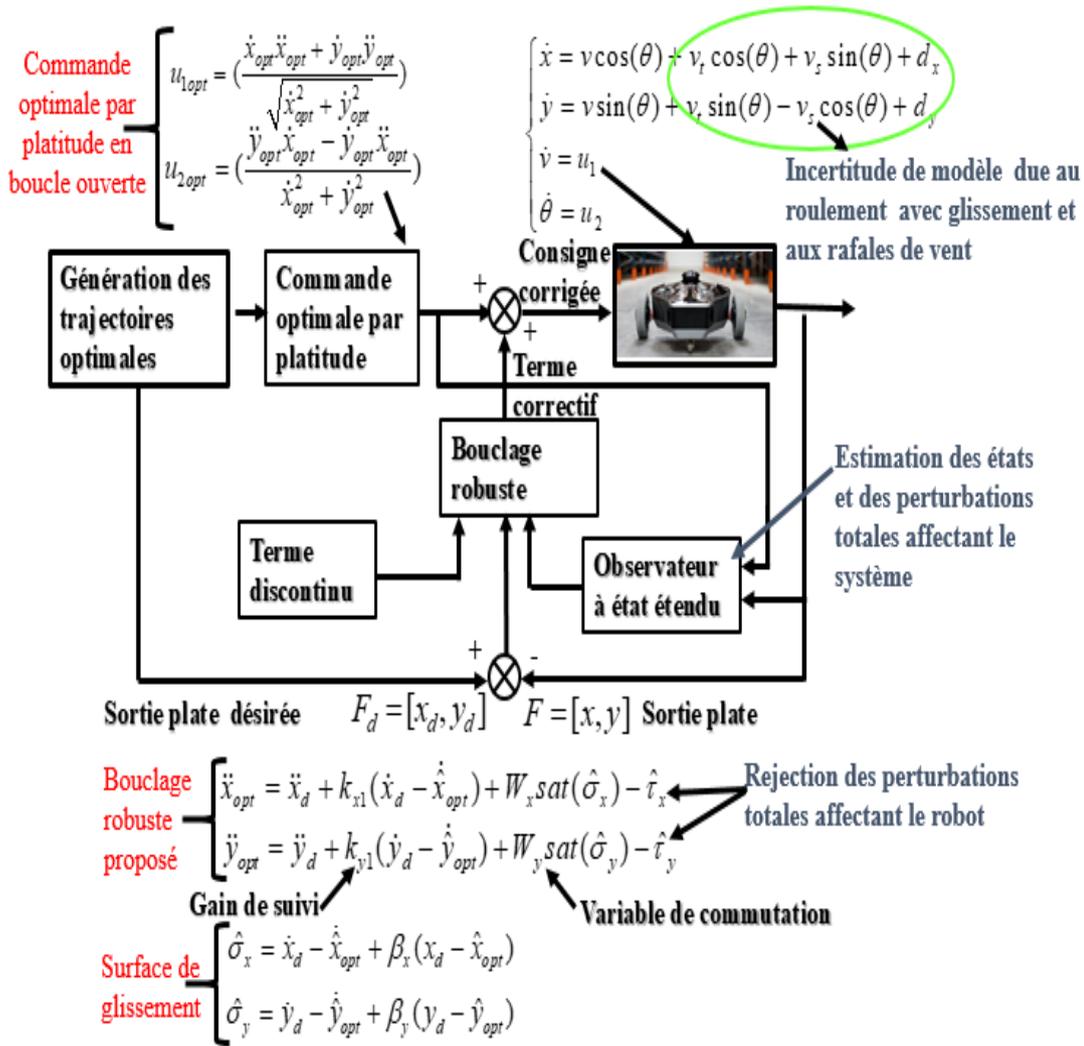


FIGURE 3 – Schéma fonctionnel de régulateur robuste par platitude basé sur la commande par mode glissant et la commande par rejet actif des perturbations

dans de nombreux domaines, à savoir : synthèse des lois de commande [7], système tolérant aux défauts [8], estimation [9], etc. L'introduction de la théorie ensembliste par intervalles, pour la résolution de ces problèmes, est particulièrement intéressante puisqu'elle fournit des résultats garantis sous réserve de validité des hypothèses sur les bornes et sur le modèle utilisé. Dans ce contexte, ma contribution consiste à développer une nouvelle commande pour les systèmes non linéaires plats soumis à des perturbations inconnues mais bornées de bornes connues. L'approche proposée utilise la propriété de la platitude pour transformer le système non linéaire soumis à des perturbations inconnues mais bornées à des systèmes linéaires incertains. L'observateur par intervalle est appliqué au système linéarisé incertain afin de générer un intervalle contenant tous les états possibles du système en présence des incertitudes. Le centre de l'intervalle obtenu est choisi comme estimation ponctuelle robuste pour le système incertain. Ainsi, un nouveau terme de bouclage basé sur les estimations robustes est conçu. Ce terme de réaction est intégré dans la commande par platitude donnant naissance à la nouvelle commande de suivi garantie.

La figure 4 montre un schéma fonctionnel de la commande par platitude basée sur l'observateur par intervalle pour un robot mobile soumis à des perturbations inconnues affectant le système et les mesures. Cette commande a été testée aussi pour résoudre le problème du suivi de trajectoire d'un quadrirotor soumis à des perturbations inconnues à variation significative. Les résultats de simulation montrent que la commande par platitude basée sur

l'observateur par intervalle garantit le suivi de trajectoire de référence malgré l'existence des incertitudes inconnues de valeurs importantes affectant le quadrirotor [10].

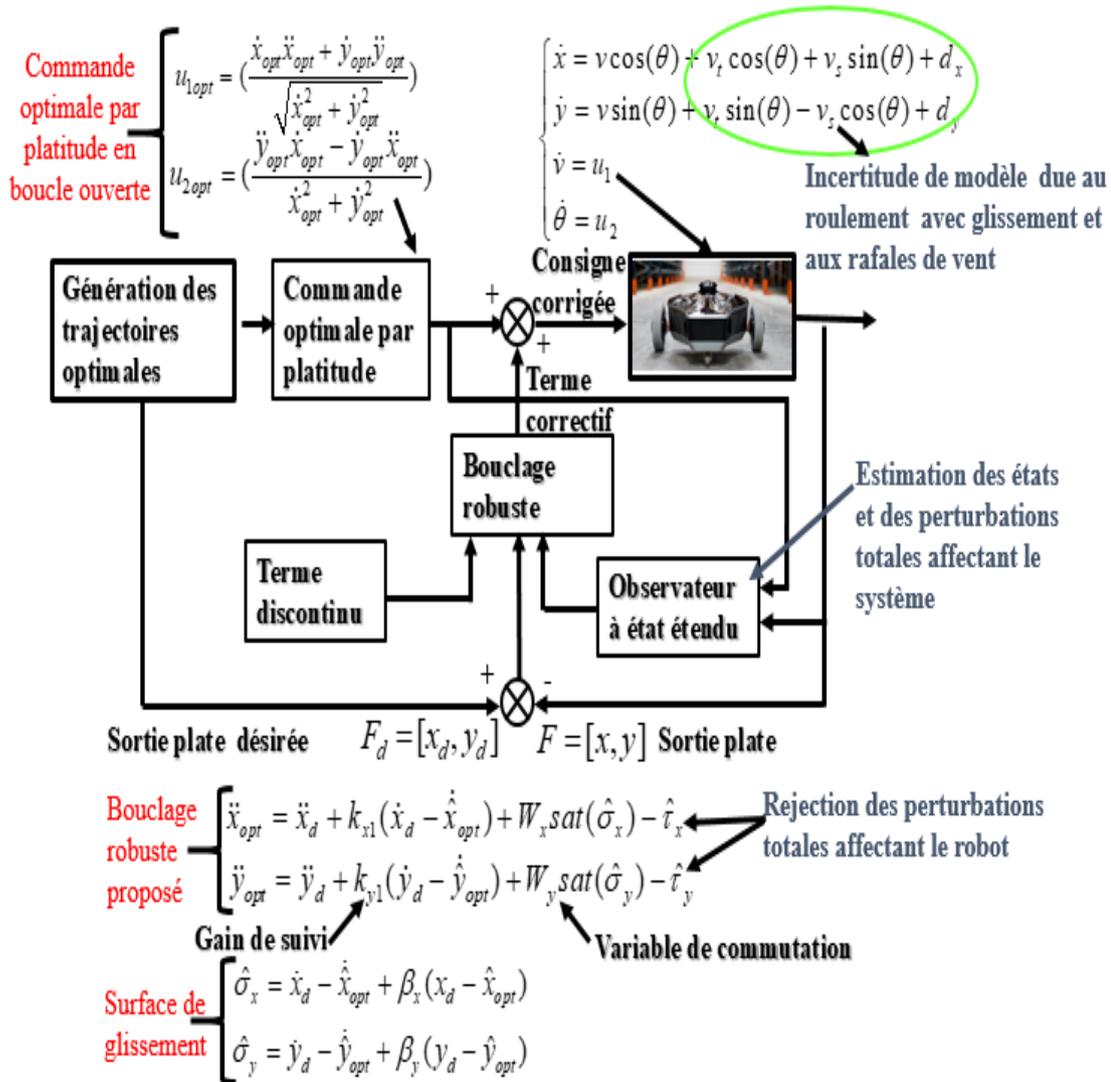


FIGURE 4 – Schéma fonctionnel de la commande par platitude basée sur l'observateur par intervalle appliqué sur un robot mobile soumis à des perturbations inconnues à variation significative.

### 3.2 Autres travaux durant la période de thèse

Durant la période de thèse je me suis intégré dans la société Enova robotic dans le cadre d'une convention de recherche industrielle. Ma mission consiste à appliquer les contributions théoriques développées durant la période de thèse sur des plates-formes robotiques réelles telle que le robot Mini-Lab. Cette occasion m'a permis d'approfondir mes compétences pratiques en robotique en apprenant Ros(Robotic Operating System). Dans le même contexte, j'ai eu la chance de tester quelques algorithmes de navigation autonome sur le robot(Robotnik) dans le cadre de projet (endorse). L'objectif de ce projet est la conception et la programmation des robots mobiles pour une navigation sûre, efficace afin de réaliser des applications logistiques dans des espaces de santé et de commerce. Parmi les travaux développés pendant les années de doctorat et qui ne sont pas inclus dans le manuscrit de thèse, je cite :

- Application d'une loi de commande basée sur le concept de platitude pour la poursuite des trajectoires chaotiques d'un robot mobile [11–13].
- Conception d'une commande de suivi de trajectoire à base d'un observateur à grand gain pour un quadrirotor [14].

### 3.3 Poursuite de travail de thèse

Après la thèse, j'ai continué à travailler avec Mr Nacim Meslem maîtres de conférence à l'institut polytechnique de Grenoble pour étendre les résultats obtenus pour la commande par platitude basée sur les observateurs par intervalle. La nouvelle technique proposée est basée sur l'observateur par intervalle H-infini [15] développée par Mr Nacim Meslem. Les gains optimaux de l'observateur par intervalle H-infini permettent de réduire l'effet des perturbations inconnues à variations significatives affectant le système et les mesures. Par conséquent, la taille de l'intervalle d'estimation obtenue sera réduite et nous pourrions obtenir un meilleur suivi des trajectoires de référence pour les systèmes robotiques. Les résultats de ce travail seront soumis bientôt dans le journal (International Journal of Robust and Nonlinear Control, Impact factor : 4.4).

### 3.4 Travail de recherche dans le cadre de mon poste ATER à l'ISAT de Nevers

Après mon recrutement en tant que ATER à l'ISAT de Nevers depuis septembre 2021, j'exerce mes activités de recherche au sein de l'équipe système intelligent et communicant du laboratoire Drive. En se basant sur les thématiques de recherche du labo Drive, j'ai proposé un projet qui tombe dans le domaine de recherche des systèmes intelligents de transport. Plus précisément, il se concentrera sur le développement des algorithmes de navigation avancée pour perfectionner la sécurité et la robustesse des véhicules automatisés. Généralement, le module de navigation des systèmes autonomes est décomposé en trois fonctions principales, à savoir :

- Perception : Elle permet au système de connaître en temps réel son état ainsi que l'environnement dans lequel il évolue. Elle traite également les données pour les rendre utilisables plus directement par les deux autres fonctions.
- Génération de trajectoires (Path planning) : cette fonction génère des trajectoires de références faisables et sûres pour le véhicule.
- Commande : cette fonction permet d'assurer le suivi de trajectoire. Cela intègre aussi la commande des actionneurs des différents sous-systèmes.

Afin de rendre la navigation plus performante, je propose une perception intelligente, une génération de trajectoires optimales et une commande robuste pour les voitures automatisées. Ces trois fonctions font l'objet d'un effort de recherche important dans la communauté scientifique depuis plusieurs décennies.

Pour la partie perception, notre application se veut intelligente dans le sens où nous n'avons pas besoin de tout percevoir. Par exemple il n'est pas nécessaire de percevoir sur une grande largeur si nous n'avons pas l'intention de beaucoup nous écarter de la trajectoire. Pour mon algorithme de perception, j'ai besoin de détecter les lignes de voies et les panneaux de signalisation et d'estimer la distance entre la position actuelle de la voiture et n'importe quel

objet qui peut anticiper sa route. Afin de résoudre ces problèmes, j'ai utilisé des techniques à base d'apprentissage profond tel que l'architecture YOLO(You only look once).

La deuxième partie de notre module de navigation est la génération de trajectoires optimales. Afin de répondre à des besoins économiques et industriels, les trajectoires générées pour les voitures seront optimales en énergie et en temps. Après avoir détecté les lignes de voies, j'ai choisi le milieu entre ces dernières comme des points de passage. En effet, les informations de module de perception telles que la position des points de passage, les panneaux de signalisation et la distance qui sépare la voiture et n'importe quel l'objet détecté seront exploités pour formuler un problème de génération de trajectoires optimales. Le problème d'optimisation est résolu à chaque horizon de temps selon la mise à jour des informations obtenues de la perception intelligente. En exploitant la propriété de platitude de modèle de voiture [16], j'ai utilisé la méthode développée dans la section (4.1.1) afin de résoudre le problème de génération des trajectoires optimales pour les voitures.

La dernière partie de module de navigation consiste à développer une commande robuste vis-à-vis des incertitudes paramétriques et des perturbations (comme par exemple le dévers de la route et le vent). Pour résoudre ce problème, j'ai utilisé un régulateur robuste par platitude basée sur la commande par mode glissant et la commande par rejet actif des perturbations.

Finalement, la combinaison entre la perception intelligente, la génération de trajectoires optimales et la commande robuste donne naissance à un algorithme de navigation autonome sure et performante pour les voitures. Les résultats de ce travail sont soumis dans le journal (Robotics and Autonomous Systems, Impact factor : 3.12). La figure 5 résume le nouvel algorithme de navigation développé pour les voitures automatisées.

Je suis impliqué aussi dans le projet ([le bateau autonome du futur](#)) visant le développement des bateaux autonomes qui s'intégreront dans une chaîne logistique moderne, rendue plus fluide et plus économique par son suivi en temps réel et son utilisation régulière, cela afin d'optimiser le flux logistique tout en diminuant les interventions à terre. Ma tâche dans ce projet consiste à développer une commande prédictive à base d'apprentissage par renforcement qui permet de suivre la trajectoire de référence malgré l'existence des rafales de vent. Les résultats de ce travail sont en cours de validation.

## 4 Publications

Les divers résultats obtenus au cours de mes travaux de recherches ont fait l'objet de 13 publications dans des revues et des communications de renommées internationales. Par catégories, ces différentes contributions sont :

### Liste des Journaux

1. **A. Abadi**, B. Brik. Deep learning intelligent perception, Optimal trajectory generation and Robust tracking control for Self-Driving System Based on On-board Sensors, Soumis au Journal Robotics and Autonomous Systems, 2022, IF=3.12.

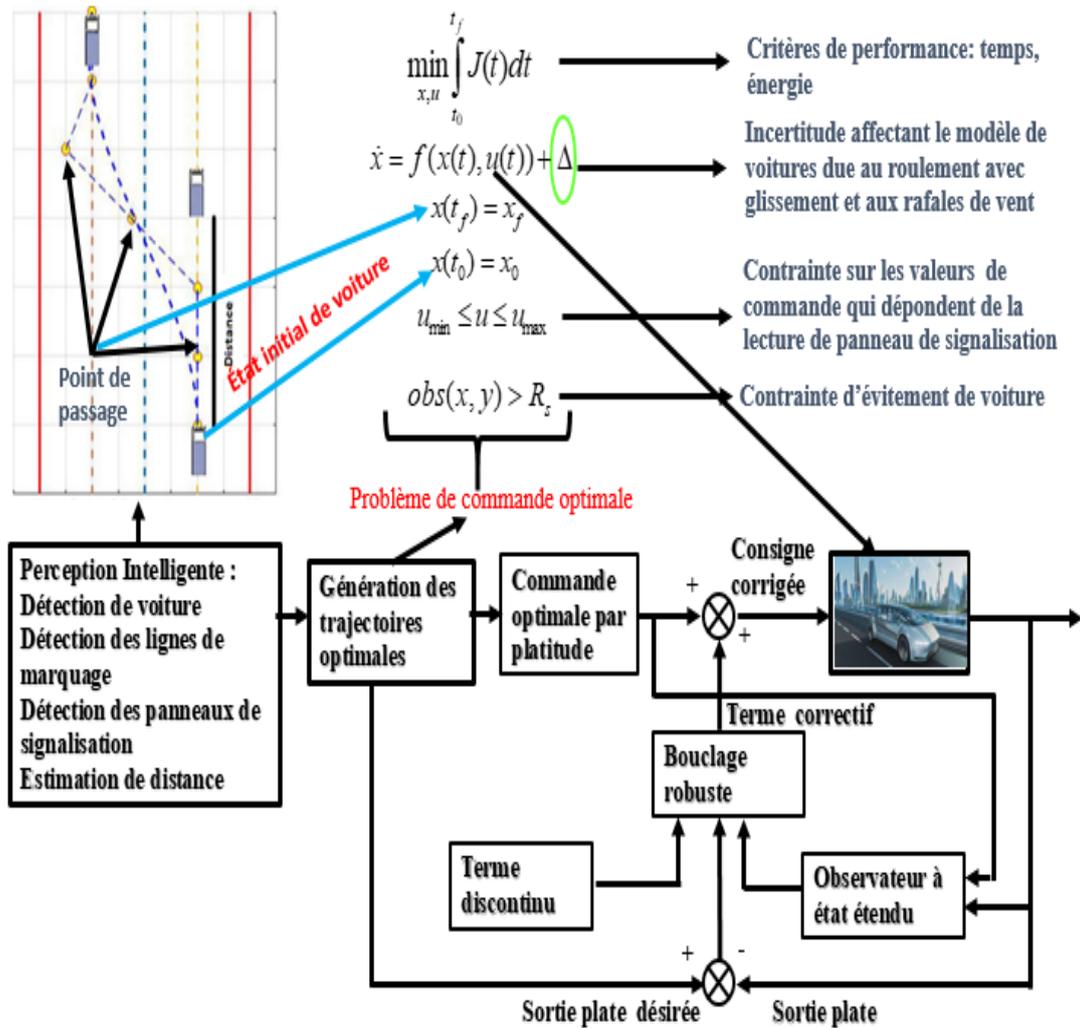


FIGURE 5 – Schéma fonctionnel de l’algorithme de navigation autonome développé pour les voitures automatisées

2. **A. Abadi**, N. Meslem., N. Ramdani. Guaranteed autonomous navigation for Wheeled Mobile Robot Based on Flatness and Interval Observer, Soumis à International Journal of Robust and Nonlinear Control, 2021, IF=4.4.
3. **A. Abadi**, A. El Amraoui, H. Mekki, N. Ramdani. Robust Tracking Control of Quadrotor Based on Flatness and Active Disturbance Rejection Control, 2020, IET Control Theory and Application. IF=3.526, Doi :10.1049/iet-cta.2019.1363, [PDF](#).
4. **A. Abadi**, A. El Amraoui, H. Mekki, N. Ramdani. Guaranteed Trajectory Tracking Control Based on Interval Observer for Quadrotors, International Journal of Control, 2019, 1-17, IF=2.93, Doi :10.1080/00207179.2019.1610903, [PDF](#).
5. **A. Abadi**, A. El Amraoui, H. Mekki, N. Ramdani, Optimal Trajectory Generation and Robust Flatness-Based Tracking Control of Quadrotors. Optimal Control Applications and Methods, 2019, 40(4), 728-749, IF=2.53, Doi :10.1002/oca.2508, [PDF](#).
6. Salah Nasr, **A. Abadi**, Kais Bouallegue and Hassen Mekki, A Flatness Controller for a Mobile Robot in Presence of the Chaotic Phenomena, Wsas Transaction on information and Application, 14 2224-3402, 2017, IF=0.33, [PDF](#).

## Liste des conférences

1. **A. Abadi**, A. El Amraoui , H. Mekki, N. Ramdani., Flatness-Based Active Disturbance Rejection Control For a Wheeled Mobile Robot Subject To Slips and External Environmental Disturbances.The 21 IFAC World Congress, Berlin, Germany, July 2020, DOI : 10.1016/j.ifacol.2020.12.2443, [PDF](#).
2. **A. Abadi**, A. El Amraoui, H. Mekki, N. Ramdani., Guaranteed Tracking Controller for Wheeled Mobile Robot Based on Flatness and Interval Observer. 58th IEEE Conference on Decision and Control, Dec 2019, Nice, France, DOI : 10.1109/CDC40024.2019.9029479, [PDF](#).
3. **A. Abadi**, A. El Amraoui, H. Mekki, N. Ramdani., Robust Tracking Controller for Quadrotor Based on Flatness and High Gain Observer. 19th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA). IEEE, March 2019, Doi : 10.1109/STA.2019.8717216, [PDF](#).
4. Salah Nasr, **A. Abadi**, Kais Bouallegue and Hassen Mekki, Control of the Chaotic Phenomenon in Robot Path using Differential Flatness, 15th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, July 29-31, 2018, Porto, Portugal, Doi : 10.5220/0006828302470253, [PDF](#).
5. Salah Nasr, **A. Abadi**, Kais Bouallegue and Hassen Mekki, Chaos Engineering and Control in Mobile Robotics Applications, 15th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, July 29-31, 2018, Porto, Portugal, Doi : 10.5220/0006867103740381, [PDF](#) .
6. **A. Abadi**, A. Ben Hadj Brahim, A. El Amraoui, H. Mekki, N. Ramdani. Sliding Mode Control of Quadrotor Based on Differential Flatness. The International Conference on Control Automation and Diagnosis (ICCAD'18), March 19-21, 2018, Marrakech-Morocco, Doi : 10.1109/CA-DIAG.2018.8751334, [PDF](#) .
7. **A. Abadi**, A. Ben Hadj Brahim, A. El Amraoui, H. Mekki, N. Ramdani. Optimal Trajectory Generation and Flatness Tracking Control for a Mobile Robot, 18th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA). IEEE, March 2017, p. 223-228, Doi :10.1109/STA.2017.8314880. [PDF](#)

Béthune, le 04 mars 2022

Monsieur Adnen EL AMRAOUI  
Maître de Conférences (61<sup>e</sup>)  
Laboratoire LGI2A  
E-mail: adnen.elamraoui@univ-artois.fr  
Tel. + 33 (0)3 21 63 71 71

Lettre de Recommandation pour Monsieur Amine ABADI

C'est avec un grand plaisir que je rédige cette lettre de recommandation pour soutenir la candidature de Monsieur Amine ABADI pour le poste de maître de conférences ouvert au recrutement dans votre université.

J'ai connu Amine comme co-encadrant de ses travaux de recherches portant sur la génération de trajectoires optimales pour les systèmes différentiellement plats appliqué au cas du quadrirotor.

La qualité de ses travaux a été démontrée par de nombreuses publications acceptées dans de journaux impactés et de renommée internationale.

Le travail de Amine m'a permis de juger de ses qualités, aussi bien professionnelles qu'humaines au sein d'un environnement de travail en évolution permanente et nécessitant des compétences très poussées. Amine s'est approprié son sujet et a su s'adapter rapidement à notre environnement de travail. Il a fait et continu de faire preuve d'autonomie, d'initiative et d'un bon savoir-faire. Par ailleurs, il sait à la fois mettre au profit les conseils de ses encadrants, et défendre ses points de vue et ses idées.

Je garderai donc de notre collaboration le souvenir d'un chercheur sérieux, consciencieux et capable.

C'est pourquoi, je soutiens vivement et sans aucune réserve la candidature de Monsieur Amine ABADI pour le poste de maître de conférences. Je suis entièrement convaincu qu'il est capable d'exceller dans ces travaux futurs et de s'intégrer facilement, non seulement au sein d'équipes de travail, mais aussi au sein de la vie d'un groupe de chercheurs curieux et motivés.

Monsieur Adnen EL AMRAOUI  
Maître de Conférences (61<sup>e</sup>)  
Laboratoire LGI2A  
Université d'Artois



*Ad. El Amraoui*



Bourges, 29 Mars 2022.

Nacim RAMDANI  
[Nacim.Ramdani@univ-orleans.fr](mailto:Nacim.Ramdani@univ-orleans.fr)  
06 17 83 35 42

À qui de droit,

***Objet : Recommandation de M. Amine ABADI  
au recrutement sur un poste de Maître de Conférence.***

Cher collègue,

C'est avec un très grand plaisir que je vous écris pour recommander M. Amine ABADI au recrutement sur un poste de Maître de Conférences.

Je connais M. Amine ABADI depuis octobre 2017, puisque je l'ai recruté pour effectuer une thèse de Doctorat en cotutelle avec l'Université de Sousse en Tunisie, au laboratoire PRISME Université d'Orléans, sur la problématique de la navigation autonome de systèmes différentiellement plats. Il a réalisé sa thèse en alternance entre les deux établissements. Ses séjours en France ont bénéficié du soutien financier de bourses d'excellences, soulignant ainsi la qualité de son dossier académique.

Dans sa thèse, il a apporté des contributions méthodologiques tout à fait originales aux problématiques de la génération de trajectoires optimales et la conception de commandes robustes pour assurer la poursuite. Il a notamment développé une commande originale combinant platitude et observateur intervalle. Ses travaux de thèses ont fait l'objet de trois articles dans les meilleures revues du domaine (IET CTA, OCAM et Int Jour Control).

M. Amine ABADI est un jeune docteur tout-à-fait remarquable. Il est très rigoureux, il est force d'initiative et travaille extrêmement bien, que ce soit en groupe ou en autonomie. Il est très enthousiaste dans son travail et possède toutes les qualités humaines qui font de lui un collaborateur très agréable.

Il a une forte expérience d'enseignement en Tunisie, et exerce en tant qu'ATER depuis septembre 2021. Pour toutes ces raisons, je recommande vivement son recrutement sur un poste de Maître de Conférence.

Je vous prie de croire, Cher Collègue, en l'expression de ma sincère considération.

Nacim RAMDANI  
Professeur à l'Université d'Orléans.

## 5 Lettre de recommandation

Pr. El-Hassane AGLZIM  
Directeur du département « Énergétique, Propulsion, Électronique et Environnement »  
Responsable de la compétence recherche « Systèmes Intelligents et Connectés »

Université de Bourgogne – UB  
Institut Supérieur de l'Automobile et des Transports  
49 rue Mademoiselle Bourgeois – BP 31  
58027 NEVERS – France

Tél : +33 (0)3 86 71 50 09  
Fax : +33 (0)3 86 71 50 01  
Email : el-hassane.aglzim@u-bourgogne.fr

### LETTRÉ DE RECOMMANDATION POUR MR AMINE ABADI

Madame, Monsieur,

Monsieur Amine ABADI a été recruté en qualité d'ATER 100% au cours de l'année universitaire 2021-2022, dans le département énergétique et véhicule autonome (EPEE) de l'Institut Supérieur de l'Automobile et des Transports (ISAT).

Il a dispensé des enseignements sous forme de Travaux Dirigés et Travaux Pratiques en Analyse fonctionnelle et Algorithme, Electricité et Electrotechnique, Electronique analogique et contrôle des systèmes pour des étudiants de 1<sup>er</sup> cycle (cycle préparatoire) et 2<sup>nd</sup> cycle (cycle Ingénieur) de l'ISAT. Mr ABADI a également assuré des enseignements d'encadrement de projets en IEAA pour un public de 2<sup>ème</sup> année en cycle préparatoire.

Le professionnalisme dont Mr ABADI a fait part dans l'enseignement de ces modules, ainsi que les différents retours des étudiants et de ses collègues sur les enseignements dispensés de manière générale m'amène à appuyer sa demande de candidature aux fonctions de Maître de Conférences.

Mr ABADI a également, durant son année d'ATER à l'ISAT, contribué à l'encadrement de stagiaires (lecture de rapports, soutenances) et a participé aux jurys de fin de semestre. Lors de sa période d'enseignement au sein de l'Institut, il a fait preuve de souplesse et de sens de l'intérêt commun acceptant de répondre positivement à tous les besoins de la maquette. En plus d'avoir fait preuve de professionnalisme, Mr ABADI a su s'intégrer dans les équipes pédagogiques, mais aussi recherche, liées au département Énergétique et être appréciée de ses collègues qui ont vu en lui des qualités humaines.

Pour toutes ces raisons, je me permets de vous recommander très fortement et sans la moindre réserve Mr ABADI et appuyer sa candidature aux fonctions de Maître de Conférences.



Nevers, le 24 mars 2022  
Pr. El-Hassane AGLZIM

1985.

- [2] O. Von Stryk and R. Bulirsch, "Direct and indirect methods for trajectory optimization," *Annals of operations research*, vol. 37, no. 1, pp. 357–373, 1992.
- [3] A. Abadi, A. El Amraoui, H. Mekki, and N. Ramdani, "Optimal trajectory generation and robust flatness-based tracking control of quadrotors," *Optimal Control Applications and Methods*, 2019.
- [4] J. Han, "A class of extended state observers for uncertain systems," *Control and decision*, vol. 10, no. 1, pp. 85–88, 1995.
- [5] A. Abadi, A. El Amraoui, H. Mekki, and N. Ramdani, "Robust tracking control of quadrotor based on flatness and active disturbance rejection control," *IET Control Theory & Applications*, 2020.
- [6] A. Abadi, A. B. H. Brahim, H. Mekki, A. El Amraoui, and N. Ramdani, "Sliding mode control of quadrotor based on differential flatness," in *2018 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD)*, pp. 1–6, IEEE, 2018.
- [7] A. d. R. de Souza, D. Efimov, and T. Raïssi, "Robust output feedback mpc for lpv systems using interval observers," 2021.
- [8] X. Wang, "Active fault tolerant control for unmanned underwater vehicle with actuator fault and guaranteed transient performance," *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 2020.
- [9] W. Han, Z. Wang, Y. Shen, and B. Xu, "Interval estimation for uncertain systems via polynomial chaos expansions," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 66, no. 1, pp. 468–475, 2020.
- [10] A. Abadi, A. El Amraoui, H. Mekki, and N. Ramdani, "Guaranteed trajectory tracking control based on interval observer for quadrotors," *International Journal of Control*, pp. 1–17, 2019.
- [11] S. N. NASR, A. A. ABADI, K. B. BOUALLEGUE, and H. M. MEKKI, "A flatness controller for a mobile robot in presence of the chaotic phenomena,"
- [12] S. Nasr, A. Abadi, K. Bouallegue, and H. Mekki, "Chaos engineering and control in mobile robotics applications," in *ICINCO (2)*, pp. 374–381, 2018.
- [13] S. Nasr, A. Abadi, K. Bouallegue, and H. Mekki, "Control of the chaotic phenomenon in robot path using differential flatness," in *ICINCO (2)*, pp. 247–253, 2018.
- [14] A. Abadi, A. El Amraoui, H. Mekki, and N. Ramdani, "Robust tracking controller for quadrotor based on flatness and high gain observer," in *2019 19th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)*, pp. 461–466, IEEE, 2019.
- [15] N. Meslem, J. Martinez, N. Ramdani, and G. Besançon, "An h-infinity interval observer for uncertain continuous-time linear systems," *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, vol. 30, no. 5, pp. 1886–1902, 2020.
- [16] Z. Wang, J. Zha, and J. Wang, "Autonomous vehicle trajectory following : A flatness model predictive control approach with hardware-in-the-loop verification," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2020.