

ECOLE DOCTORALE  
SCIENCES POUR L'INGENIEUR  
DE NANTES

THESE DE DOCTORAT

*Discipline* : SCIENCES DE L'INGENIEUR  
*Spécialité* : AUTOMATIQUE ET INFORMATIQUE APPLIQUEE

*présentée et soutenue publiquement par*

Salim ZIANI-CHERIF

*le 25 mai 1998*  
*à l'Ecole Centrale de Nantes*

CONTRIBUTION A LA MODELISATION  
L'ESTIMATION DES PARAMETRES DYNAMIQUES  
ET LA COMMANDE D'UN ENGIN SOUS MARIN

*devant le jury composé de MM. :*

<i>Président</i>	PH. DE LARMINAT	<i>Professeur, Ecole Centrale de Nantes</i>
<i>Rapporteurs</i>	C. CANUDAS DE WIT P. DAUCHEZ	<i>Directeur de Recherches CNRS, L.A.G, Grenoble</i> <i>Chargé de Recherches CNRS, LIRMM,</i>
<i>Montpellier</i>		
<i>Examineurs</i>	M. PERRIER D. MARICHAL G. LEBRET	<i>Ingénieur d'Etude IFREMER, La Seyne sur Mer</i> <i>Professeur, Ecole Centrale de Nantes</i> <i>Maître de Conférences, Ecole Centrale de Nantes</i>

*Directeur de thèse : Guy Lebret*

N° ED 82-309

*Institut de Recherche en Cybernétique de Nantes*  
*Ecole Centrale de Nantes - 1, rue de la Noë - BP 92101 - 44321 Nantes Cedex 3*

# Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction Générale</b>	<b>5</b>
1.1	Préambule - Motivations . . . . .	5
1.2	Développement et évolution des engins sous-marins . . . . .	7
1.3	Classification des engins sous-marins . . . . .	8
1.3.1	Classification selon l'usage . . . . .	8
1.3.2	Classification selon les fonctionnalités . . . . .	9
1.4	Les sous-marins au carrefour de diverses disciplines et sciences . . . . .	11
1.5	Actualités et perspectives . . . . .	12
1.6	Synthèse et plan de l'étude . . . . .	13
<b>2</b>	<b>Modélisation des sous-marins</b>	<b>17</b>
2.1	Introduction . . . . .	17
2.2	Modèle de la structure mécanique . . . . .	18
2.2.1	Conventions et hypothèses de base . . . . .	19
2.2.2	Description de la situation (position, orientation) de l'engin . . . . .	20
2.2.3	Description cinématique de l'engin . . . . .	25
2.2.4	Modèle dynamique . . . . .	28
2.3	Modélisation des actionneurs - Propulsion . . . . .	44
2.3.1	Introduction . . . . .	44
2.3.2	Modélisation des actionneurs . . . . .	45
2.3.3	Torseur de propulsion . . . . .	48
2.4	Possibilités de représentations . . . . .	49
2.4.1	Représentation d'Åström et al. . . . .	49
2.4.2	Représentation de Perrier et Canudas . . . . .	51
2.4.3	Représentation de Goheen . . . . .	51
2.4.4	Synthèse . . . . .	52
2.5	Choix d'une représentation . . . . .	52
2.6	Synthèse . . . . .	58
<b>3</b>	<b>Identification et Commande des sous-marins</b>	<b>61</b>
3.1	Introduction . . . . .	61
3.2	Différentes approches d'identification des engins marins . . . . .	63
3.2.1	Approche 'hydrodynamicienne' pour l'identification . . . . .	63
3.2.2	Approche 'automaticienne' pour l'identification . . . . .	64

3.3	Identification de la structure mécanique . . . . .	66
3.3.1	Estimation paramétrique par les moindres carrés . . . . .	66
3.3.2	Identifiabilité . . . . .	68
3.3.3	Considérations pratiques pour l'identification . . . . .	70
3.3.4	Entrées excitantes - Trajectoires excitantes . . . . .	73
3.3.5	Perturbations et bruits stochastiques . . . . .	79
3.4	Identification des actionneurs . . . . .	82
3.4.1	Introduction . . . . .	82
3.4.2	Identification de la géométrie des actionneurs . . . . .	82
3.4.3	Identification des dynamiques des actionneurs . . . . .	83
3.5	Identification globale du sous-marin . . . . .	85
3.5.1	Introduction . . . . .	85
3.5.2	Identification de l'engin avec propulseurs intégrés . . . . .	86
3.5.3	Synthèse des parties §3.3 à §3.5 . . . . .	87
3.6	Commande Dynamique des engins sous-marins . . . . .	88
3.6.1	Introduction . . . . .	88
3.6.2	Revue des commandes d'engins (sous-)marins . . . . .	88
3.6.3	Stabilité des engins sous-marins . . . . .	96
3.6.4	Commandes Dynamique et Pseudo-Dynamique . . . . .	98
3.6.5	Robustesse de la commande pseudo-dynamique . . . . .	101
3.7	Synthèse . . . . .	103
<b>4</b>	<b>Application pratique au modèle en CAP du VORTEX</b>	<b>105</b>
4.1	Introduction . . . . .	105
4.2	Présentation du sous-marin VORTEX . . . . .	106
4.2.1	Structure générale du VORTEX . . . . .	106
4.2.2	Présentation des actionneurs . . . . .	108
4.3	Essais sur les performances du VORTEX en BO . . . . .	110
4.3.1	Essais en cap ( $\psi$ ) positif . . . . .	111
4.3.2	Essais en cap ( $\psi$ ) négatif . . . . .	114
4.3.3	Synthèse et commentaires . . . . .	114
4.4	Modèle à un degré de liberté : modèle en cap . . . . .	116
4.5	Identification et commande du modèle en cap . . . . .	118
4.5.1	Génération de trajectoires excitantes . . . . .	118
4.5.2	Commande intermédiaire pour l'identification . . . . .	123
4.5.3	Filtrage parallèle . . . . .	126
4.5.4	Estimation paramétrique - Essais en simulation . . . . .	129
4.5.5	Estimation paramétrique - Essais expérimentaux . . . . .	130
4.5.6	Validation expérimentale . . . . .	131
4.6	Synthèse . . . . .	136

---

<b>5</b>	<b>Application en simulation au modèle 6DDLs du VORTEX</b>	<b>139</b>
5.1	Introduction . . . . .	139
5.2	Modèle de simulation du VORTEX . . . . .	140
5.3	Approches envisageables pour l'identification du modèle à 6DDLs . .	142
5.3.1	Identifications successives sur les modèles à 1DDL . . . . .	143
5.3.2	Double identification sur modèles à 3DDLs . . . . .	143
5.3.3	Identification du modèle à 6DDLs . . . . .	146
5.4	Identification et Commande du modèle de simulation du VORTEX .	148
5.4.1	Génération de trajectoires excitantes . . . . .	148
5.4.2	Commande intermédiaire du modèle à 6DDLs . . . . .	150
5.4.3	Identification du modèle à 6DDLs . . . . .	152
5.5	Performances de la commande dynamique - Robustesse . . . . .	154
5.6	Synthèse . . . . .	156
<b>6</b>	<b>Conclusions générales et perspectives</b>	<b>157</b>
<b>7</b>	<b>Annexes</b>	<b>167</b>
7.1	Essais en BO sur VORTEX . . . . .	167
7.1.1	Essais en cavement (x) positif . . . . .	167
7.1.2	Essais en cavement (x) négatif . . . . .	168
7.1.3	Essais en embardée (y) positive . . . . .	170
7.1.4	Essais en embardée (y) négative . . . . .	171
7.1.5	Essais en pilonnement (z) - Immersion et remontée . . . . .	172
7.2	Simulateur du VORTEX . . . . .	175

**Résumé:** La maîtrise du monde marin repose sur la mise en œuvre parallèle de deux stratégies distinctes: "la connaissance de ses lois" et "le développement d'outils pour son investigation"; les véhicules sous-marins sont des moyens qui répondent à cette double problématique.

Le présent travail s'adresse à une classe de ces véhicules. Dans un but de simulation et de commande, nous proposons une méthodologie visant à identifier le comportement dynamique des engins télé-opérés (ROV) à six degrés de liberté (DDLs).

Notre contribution se concrétise d'abord dans une revue des méthodes existantes, puis dans l'application d'une méthodologie bien connue (pour les robots manipulateurs) mais jamais expérimentée pour les engins sous-marins, et enfin dans sa mise en œuvre expérimentale sur un ROV d'essai. L'approche adoptée peut être caractérisée comme suit: nous cherchons à établir d'abord un modèle du comportement dynamique de l'engin. Celui-ci doit avoir un caractère de généralité sans pour autant être complexe. Les paramètres de ce modèle sont ensuite estimés par l'algorithme des moindres carrés ordinaires. En particulier, nous montrons quelles peuvent être les contraintes pratiques de sa mise œuvre ainsi que les solutions que nous préconisons. En dernier, nous utilisons les paramètres estimés pour la mise au point d'une commande dynamique "modifiée".

Afin d'évaluer cette méthodologie d'identification et de commande, une mise en œuvre expérimentale est effectuée pour le mouvement en cap (1DDL) du ROV "VORTEX" de l'IFREMER. Cette même démarche est ensuite testée en simulation sur les six DDLs du VORTEX.

**Mots-Clés:** Commande dynamique - Identification - Modélisation - Modèle dynamique - Robotique sous-marine - ROV.

**Abstract:** The control of the ocean world is often built on two strategies: "the knowledge of its physical laws" and "the design of tools for its investigation".

Underwater vehicles are considered to reach both previous goals.

This thesis concerns a class of these last devices. We propose a methodology to identify the dynamic behaviour of a six degrees of freedom (DOF) Remotely Operated Vehicles (ROVs). This may be useful both for simulation and control purposes.

Our contribution is first a review of different existing methods, then in the application of our methodology, already applied to robot manipulators but unexperimented on underwater vehicles, and finally in its experimentation on a real ROV.

Our approach is built as follows: we first try to model the dynamic behaviour of the vehicle. The derived model should be quite elaborated, but not complex. Its parameters are then estimated using a basic tool: the ordinary least square (OLS) algorithm. We emphasize especially on practical difficulties which appear, and propose some adapted solutions to get up these difficulties. At last, we use the estimated parameters in a modified scheme of computed-torque control.

Performances of this identification and control methodology are evaluated experimentally on one of the six DOFs of a real ROV: the "VORTEX" of IFREMER. It is next evaluated by simulation on its six DOFs model.

**Keywords:** Computed torque control - Identification - Modelling - Dynamic model - Submarine robotic - ROV.

**Discipline:** Sciences De l'Ingénieur.