

DOSSIER DE CANDIDATURE À LA FONCTION D'ATER

27ème section

Quentin Rouxel

Avril 2016

Thème de recherche : Apprentissage et locomotion des robots humanoïdes

Équipe de Robotique Rhoban
LaBRI, Université de Bordeaux
351, cours de la Libération
33405 Talence

Email : 1eph.quentinrouxel@gmail.com
Téléphone : 06.99.60.28.40

Table des matières

1 Curriculum vitae	2
1.1 Identité	2
1.2 Formations	2
1.3 Expériences professionnelles	2
1.4 Compétences techniques	3
2 Activités d'enseignement	3
3 Activités de recherche	4
3.1 Thème de recherche	4
3.2 Publications	5
3.3 Autre participation	5
4 Activités au sein de l'équipe Rhoban	6
4.1 RoboCup	6
4.2 Développements logiciels	6
4.3 Démonstrations et présentations publiques	7
4.4 Projet Metabot	7

1 Curriculum vitae

1.1 Identité

Nom	Rouxel
Prénom	Quentin
Nationalité	Française
Date de naissance	09 mai 1989
Lieu de naissance	Rochefort (17)
Adresse personnel	Appt 387, Résidence Hameau de Noailles, Rue du Haut Carré, 33400 Talence
Téléphone personnel	06.99.60.28.40
Courriel personnel	leph.quentinrouxel@labri.fr
Courriel professionnel	quentin.rouxel@labri.fr
Page web	http://www.labri.fr/perso/qrouxel/

1.2 Formations

- **Depuis 2013 :** Thèse de doctorat en informatique à l'Université de Bordeaux sur les thématiques de l'apprentissage et de la génération de mouvements appliquées à la robotique humanoïde sous la direction d'Olivier Ly et d'Hugo Gimbert au sein de l'équipe Rhoban du LaBRI.
- **2013 :** Master recherche en informatique à l'Université de Bordeaux (Ex Bordeaux 1).
- **2010 - 2013 :** École d'ingénieur ENSEIRB-MATMECA (École Nationale Supérieure d'Électronique, Informatique, Télécommunications, Mathématique et Mécanique de Bordeaux) à Talence 33400. Filière informatique et option robotique de troisième année. Classé deuxième de promotion.
- **2008 - 2010 :** Classe préparatoire aux grandes écoles MPSI/MP au lycée Saint-Louis à Paris 75006.
- **2008 :** Baccalauréat série S spécialité mathématique mention bien au lycée Jules Ferry à Conflans Sainte Honorine 78700.

1.3 Expériences professionnelles

- **Juillet - Aout 2013 :** Stage de deux mois dans l'équipe de recherche en robotique de l'International Institute of Information Technology à Hyderabad en Inde sous la direction de Suril Vijaykumar Shah. Modélisation mécanique et cinématique du robot humanoïde Acroban avec Matlab.
- **Février - Juin 2013 :** Stage recherche de cinq mois dans l'équipe de recherche Rhoban du LaBRI rattaché à l'Université de Bordeaux sous la direction d'Olivier Ly. Adaptation de la méthode d'optimisation de réseaux de neurones NEAT pour synthétiser un générateur de marche sur le simulateur V-REP pour un robot quadrupède. Découverte des méthodes de régressions polynomiales locales à base de noyaux utilisées pour le filtrage de séries temporelles bruitées. Amélioration des algorithmes de vision pour la détection de la balle à bord du robot Sigmaban en vue de la participation à la RoboCup 2013.
- **Juin - Septembre 2012 :** Stage de quatre mois dans la startup Theodo de développement web à Paris. Refonte d'un site web existant avec le framework PHP Symfony 2 et la méthode managériale agile Scrum.
- **Juillet - Aout 2011 :** Stage de deux mois pour l'équipe de recherche Rhoban du LaBRI rattaché à l'Université de Bordeaux sous la direction d'Olivier Ly. Développement d'une bibliothèque d'algèbre linéaire pour une utilisation interne (décomposition de matrices, calcul du déterminant et valeurs propres, ...) et modélisation puis simulation d'un marcheur passif simple 2D par la méthode

d'Euler-Lagrange.

- **Juillet 2009** : Agent Administratif dans l'association Promévil de médiation sociale à Cergy 95800. Accueil, secrétariat, mise en place d'une étude sur les coûts en téléphonie.

1.4 Compétences techniques

- Environnement Linux/Unix.
- Langages de programmation maîtrisés : C et C++. Norme C++11 moderne, métaprogrammation.
- Administration de systèmes Linux.
- Développement web, HTML, CSS, PHP, Javascript. Framework Silex, Doctrine, Symfony 2, JQuery.
- Bases de données MySQL, PostgreSQL.
- Traitement d'image avec OpenCV.
- Bibliothèque graphique SDL, SFML, OpenGL.
- Dessin 3d sous SolidWorks et OpenSCAD.
- Programmation de microcontrôleurs architecture AVR8 et AVR32.

2 Activités d'enseignement

J'ai enseigné au cours de ma deuxième année de thèse en 2014-2015 un quota de 64 heures dans l'école d'ingénieur ENSEIRB-MATMECA en filière informatique. Il s'agit d'heures de travaux dirigés (TDs) et de travaux pratiques (TPs) répartis comme suit :

- TDs de compilation (14h) :
Travaux Dirigés de compilation en deuxième année de filière informatique. Travail sur des exercices abordant les expressions régulières, les grammaires algébriques, l'analyse syntaxique, grammaticale et sémantique. Ces TDs sont associés au cours de compilation donné par Denis Barthou à l'ENSEIRB-MATMECA.
- Semaine d'initiation à la robotique (18h) :
Il s'agit d'initier en tout début d'année les élèves ingénieurs en troisième année option robotique à différents aspects de ce domaine au cours d'une semaine d'introduction à plein temps. Les étudiants doivent monter et programmer un petit robot à roues afin de lui faire suivre une ligne sur le sol à l'aide d'une caméra. Ils découvrent le fonctionnement général d'un système robotique, la programmation de microcontrôleurs, le traitement d'image avec OpenCV et les difficultés liées au contrôle des moteurs. Cet enseignement est organisé par Grégoire Passault.
- Encadrement d'un projet de fin d'étude robotique (10h) :
Encadrement d'un groupe de trois étudiants sur leur projet de fin d'étude dans l'option robotique de troisième année. Modélisation et mise en place d'un environnement de simulation sous V-REP pour le robot Sigmaban.
- TPs projet de programmation C (28h) :
Projet de programmation en C associé au cours de programmation organisé par David Renault en première année de la filière informatique. Il s'agit du développement en C du moteur de jeu et d'une IA simple jouant au jeu *Penguin* introduisant des problématiques de graphes.

Durant ces trois dernières années (2013-2015), j'ai également joué le rôle du client dans le projet associé au cours de traitement d'image encadré par Vinh-Thong Ta dans l'option robotique en troisième année à l'ENSEIRB-MATMECA. Ce projet porte sur l'analyse des images capturées par un robot autonome de l'équipe Rhoban sur un terrain de foot de la RoboCup Kid-Size afin d'y détecter les limites du terrain, les lignes, la balle, les poteaux de but. Il s'agit de fournir la base d'images de travail pour le projet, les objectifs et les contraintes du traitement à effectuer, ainsi que de participer à la soutenance du projet.

J'ai mis en place un environnement de simulation sous V-REP pour les enseignements d'Olivier Ly à l'IUT et à l'ENSEIRB-MATMECA d'initiation à la robotique.

J'ai enfin participé en 2014 et 2015 aux jurys de soutenance des stages de deuxième et troisième années à l'ENSEIRB-MATMECA en filière informatique.

3 Activités de recherche

3.1 Thème de recherche

Mon thème de recherche est très largement guidé par la ligne directrice de la participation de l'équipe Rhoban à la RoboCup. Il s'agit d'une compétition internationale de robotique d'environ 3000 participants comprenant plusieurs ligues. La ligue dans laquelle participe l'équipe fait s'affronter des équipes de petits robots humanoïdes entièrement autonomes dans un match de football robotique, avec pour objectif déclaré de se rapprocher du niveau des joueurs de football humains professionnels.

Derrière cet objectif ambitieux se cache de nombreux problèmes matériels, logiciels et théoriques encore ouverts. Cette compétition a la particularité de mettre l'accent non seulement sur l'efficacité des solutions apportées mais également sur leurs robustesse et de leurs opérationnalité technique.

À l'heure actuelle, les deux grands problèmes logiciels limitant les performances de ces robots sont leur capacité cognitive de perception de l'état du jeu : vision du terrain, détection de la balle, des buts, des robots adverses ; ainsi que leur intelligence motrice : la locomotion, l'équilibrage, le mouvement de tir, la réactivité et l'improvisation moteur face à l'évolution du jeu.

Mon travail de thèse s'articule autours de ces deux problèmes et notamment autour du second. La génération du mouvement en temps réel à bord du robot, la gestion de l'équilibre bipède et le contrôle de mouvements complexes et dynamiques tels que la marche sont des problèmes très étudiés mais non encore résolus en comparaison à l'intelligence motrice animale et humaine.

Plus précisément, mes travaux passés et en cours dans ce domaine sont les suivants :

— Apprentissage de l'odométrie :

Une capacité importante entre perception et motricité lors d'un match de football robotique est la faculté du robot à se localiser sur le terrain. Or un élément essentiel des méthodes de localisation est l'estimation de l'odométrie du robot, c'est à dire l'estimation du déplacement relatif du robot par intégration des mouvements connus au cours du temps. Malheureusement, les déplacements mesurés au travers des capteurs ne permettent pas de capturer le déplacement réel des robots soumis à de nombreuses imperfections et affecté par l'environnement. Une méthode possible est alors de construire par apprentissage sur des données réelles une fonction de correction modélisant la différence de comportement du robot entre déplacement théorique et déplacement réel. Ces travaux ont donné lieu à une publication dans la conférence ICRA 2016.

— Génération de mouvements dynamiques par optimisation offline :

Certains mouvements très dynamiques tel que le mouvement de tir (le robot se met sur un pied pour tirer dans la balle) sont très difficiles à programmer manuellement. Un mouvement est défini en boucle ouverte par des trajectoires (position et orientation) du tronc et des pieds du robot. Ces trajectoires sont représentées par un ensemble de splines polynomiales et générées à partir de nombreux paramètres tels que position, vitesse et accélération d'un point du robot à un instant de la trajectoire. Grâce à l'implémentation d'un modèle dynamique complet du robot, il est possible de trouver automatiquement des paramètres valides par une méthode optimisation en boîte noire (CMA-ES) en minimisant une fonction de récompense faisant intervenir différentes grandeurs dynamiques telles que les couples théoriques s'appliquant sur les articulations du robot au cours du mouvement ou encore le critère de stabilité du ZMP. Un mouvement de tir puissant peut ainsi être généré.

— Apprentissage du modèle du robot :

Malheureusement, dans le cas de certains mouvements très dynamiques et cycliques tel que le mouvement de marche bipède, le comportement du robot réel s'éloigne suffisamment du modèle théorique (jeux mécaniques, erreurs d'asservissements, ...) pour que les mouvements générés déstabilisent le robot. Une approche possible est alors de tenter de capturer par des techniques d'apprentissage le comportement réel du robot afin d'en prendre compte dans le processus d'optimisation. Néanmoins, bien que déterministe, ce comportement est fortement dépendant de l'environnement et des conditions initiales. Plusieurs méthodes d'apprentissage sont actuellement testées afin de parvenir à capturer cette dynamique complexe (régression linéaire auto régressive, LWPR, processus gaussiens, paramétrisation experte du modèle).

— Génération de contre-réactions :

Enfin, l'objectif final est l'ajout d'une contre réaction en boucle fermée afin de prendre en compte les perturbations extérieures et les erreurs de modélisation affectant le mouvement. La très grande majorité des travaux de la littérature se basent sur l'approximation classique du modèle du pendule

inversé linéaire pour décrire la dynamique des robots bipèdes. Ce modèle linéaire analytique est alors utilisé pour la génération de contrôleurs assurant la stabilité des robots humanoïdes. J'explore actuellement dans le cas d'une perturbation contrôlée et répétable à partir d'une position statique la génération à l'aide du modèle du robot d'un mouvement de contre réaction tirant parti de toute la dynamique du système. Cette génération est complexe car elle nécessite la prise en compte des imperfections du modèle théorique exposées ci-dessus.

3.2 Publications

1. R. Fabre, H. Gimbert, L. Gondry, L. Hofer, O. Ly, S. N'Guyen, G. Passault, and Q. Rouxel. Rhoban football club team - description paper, 2015

Document de qualification de l'équipe Rhoban pour la participation à la RoboCup 2015 à Hefei. Description générale de la plateforme robotique et de l'architecture logiciel.

2. Gregoire Passault, Quentin Rouxel, Ludovic Hofer, Steve N'Guyen, and Olivier Ly. Low-cost force sensors for small size humanoid robot. In *Humanoid Robots (Humanoids), 2015 IEEE-RAS 15th International Conference on (Video Contribution)*, pages 1148–1148. IEEE, 2015

Contribution vidéo à la conférence internationale *Humanoids*. Présentation d'une nouvelle intégration mécanique de capteurs de pression à base de jauge de contraintes dans les pieds du robot humanoïde Sigmaban. Ces capteurs permettent de mesurer une estimation du centre de pression apportant une information précieuse sur la stabilité du robot. Application à l'estimation de l'état du robot et au calcul de l'odométrie.

3. Quentin Rouxel, Grégoire Passault, Ludovic Hofer, Steve N'Guyen, and Olivier Ly. Rhoban hardware and software open source contributions for robocup humanoids. In *Proceedings of 10th Workshop on Humanoid Soccer Robots, IEEE-RAS Int. Conference on Humanoid Robots, Seoul, Korea*, 2015

Article dans le workshop *Humanoid Soccer Robots* associé à la conférence *Humanoids*. Présentation de trois projets open source publiés par l'équipe Rhoban dans le cadre de la compétition RoboCup. Le premier projet aborde plus précisément les capteurs de pressions intégrés dans les pieds du robot Sigmaban. Le deuxième présente un projet logiciel d'interface utilisateur (RhIO) adapté à un contexte d'expérimentation robotique et le dernier décrit une implémentation simple open source d'un générateur de marche en boucle ouverte pour un robot humanoïde.

4. Quentin Rouxel, Gregoire Passault, Ludovic Hofer, Steve N'Guyen, and Olivier Ly. Learning the odometry on a small humanoid robot. In *Robotics and Automation (ICRA), 2016 IEEE International Conference on*. IEEE, Accepted

Article dans la conférence internationale *ICRA*. Présentation d'une méthode d'apprentissage sur le robot humanoïde Sigmaban permettant d'améliorer la précision de l'estimation de l'odométrie. À partir de séquences expérimentales où le déplacement du robot est enregistré à l'aide d'un système de motion capture, la méthode de régression non linéaire, non paramétrique LWPR est utilisée pour apprendre une fonction correctrice modélisant le déplacement réel du robot à partir du déplacement théorique fourni par le modèle cinématique.

5. Rémi Fabre, Quentin Rouxel, Grégoire Passault, Steve N'Guyen, and Olivier Ly. Dynaban, an open-source alternative firmware for dynamixel servo-motors. Submitted

Soumission d'un article dans le *Symposium RoboCup 2016* décrivant la publication par l'équipe Rhoban d'un firmware alternatif open source pour les servos-moteurs commerciaux majoritairement utilisés dans la communauté RoboCup. Ce nouveau firmware implémente une méthode de contrôle prédictif améliorant l'asservissement en position du moteur en prenant en compte les couples s'appliquant sur le moteur au travers du calcul de la dynamique complète du robot.

3.3 Autre participation

J'ai pu participer aux Journées Nationales de la Recherche en Robotique (JNRR) en octobre 2015 et présenter un poster sur les travaux d'apprentissage de l'odométrie décrit dans l'article ICRA 2016.

4 Activités au sein de l'équipe Rhoban

4.1 RoboCup

L'équipe Rhoban participe chaque année depuis 2011 à la coupe du monde de Robotique, la RoboCup, dans la ligue humanoïdes *Kid-Size*. Il s'agit de faire s'affronter lors d'un tournois de football robotique des équipes de robots de petites tailles (40-90cm) entièrement autonomes.

Cette compétition est un vrai défi technique faisant intervenir de nombreux problèmes encore ouverts dont notamment la perception de l'état du jeu sur le terrain au travers de l'analyse d'image de la caméra du robot ou encore toute l'intelligence motrice du robot, la locomotion omnidirectionnel, l'équilibrage, le tir de la balle sur une plateforme mécanique considérée comme *low-cost* dont le comportement réel reste assez différent du comportement idéal d'un robot parfaitement rigide.

J'ai participé activement à la préparation et à la compétition au sein de l'équipe aux RoboCup 2013 (Eindhoven, Pays-Bas), 2014 (João Pessoa, Brésil), 2015 (Hefei, Chine) et je prépare actuellement la RoboCup 2016 (Leipzig, Allemagne).

Lors des dernières participations, l'équipe n'a fait que progresser et s'est classée en quart de final en 2014 et troisième (première équipe européenne) en 2015.

4.2 Développements logiciels

La Robotique a ceci de spécifique qu'elle demande un effort très important d'ingénierie, tant mécanique, électronique qu'informatique indispensable à la réalisation d'expérimentations sur des robots réels. De plus, l'équipe Rhoban conçoit et construit ces propres plateformes robotiques qu'elle maîtrise donc totalement. Ma participation à la vie de l'équipe a entraîné un important effort d'ingénierie principalement logiciel de ma part. Le code est écrit en totalité en C++ (norme C++11).

- **Simulateur physique 2d Euler-Lagrange :** J'ai développé un petit simulateur physique 2d pour l'équipe afin d'étudier en simulation la stabilité d'un marcheur passif bipède. Le simulateur se base sur l'équation d'Euler-Lagrange ainsi que sur un processus de dérivation syntaxique d'expressions analytiques pour obtenir les équations différentielles du système mécanique et enfin les intégrer.
<https://github.com/RhobanProject/SimLagrange>
- **Framework interne de traitement d'image pour la RoboCup :** Dans le cadre de la RoboCup, j'ai au cours de la première année de thèse écrit un petit framework afin de structurer le développement interne de notre traitement d'image avec OpenCV embarqué sur les robots Sigmaban. L'analyse d'image est modularisé en plusieurs filtres paramétrés et connectés les uns aux autres en un graphe de dépendance. L'intérêt est par exemple de pouvoir facilement reconfigurer les filtres et modifier la topologie du pipeline de traitement sans nécessiter de recompilation à bord du robot.
- **Générateur de marche IKWalk :** Implémentation du générateur de marche en boucle ouverte pour les robots Sigmaban et Grosban pour les participations aux RoboCup 2015 et 2016.
<https://github.com/Rhoban/IKWalk>
- **Rhoban Input Output Library (RhIO) Open-Source :** J'ai également développé toute la partie serveur de la bibliothèque open source RhIO. La bibliothèque permet d'inspecter et de configurer en temps réel un programme au travers d'une interface en ligne de commande par le réseau (ZeroMQ). RhIO est utilisé pour contrôler les robots de l'équipe.
<https://github.com/Rhoban/RhIO>
- **Modèle cinématique et Dynamique :** Il manquait à l'équipe cette brique essentielle qu'est le modèle. J'ai développé un petit framework interne basé sur la bibliothèque RBDL permettant la manipulation d'un modèle complet cinématique et dynamique des robots humanoïdes Sigmaban et Grosban. Ce modèle nous permet d'effectuer des calculs géométriques, d'estimer le déplacement du robot dans le monde (odométrie), de calculer les forces s'appliquant sur les articulations ou encore d'estimer le critère de stabilité dynamique du ZMP (Zero Moment Point).
<https://github.com/RhobanProject/Model>
- **Rhoban Abstraction Layer (RhAL) Open-Source :** Enfin, j'ai développé la bibliothèque de gestion bas niveau RhAL. Cette bibliothèque gère la communication bas niveau avec les différents types d'éléments présent sur le bus de communication (moteurs, centrale inertuelle, capteur de pression, ...) ainsi que le problème de synchronisation des threads du contrôle moteur et du rafraîchissement des données.

chissement du bas niveau.

<https://github.com/Rhoban/RhAL>

4.3 Démonstrations et présentations publiques

Au cours de la thèse, j'ai réalisé avec l'équipe Rhoban de nombreuses manifestations et démonstrations publiques de nos robots humanoïdes dans un objectif de vulgarisation scientifique à destination grand public afin d'accroître la visibilité de l'équipe.

Voici la liste des événements majeurs :

- **Innorobo** mars 2013 à Lyon. Présentation du robot humanoïde Acroban pendant 3 jours.
- **Nuit du web** à Bordeaux en octobre 2014. Présentation d'une soirée de Sigmaban et Metabot.
- **Boussoles du numérique** à Bordeaux en décembre 2014. Présentation du robot Sigmaban et du projet Metabot lors d'une journée sur un salon dédié à l'éducation et au numérique.
- **Open Bidouille Camp** à Bordeaux en mai 2015. Présentation pendant deux jours du robot humanoïde Sigmaban au public ainsi que des robots quadrupèdes Metabot.
- **Bordeaux Geek Festival** en mai 2015. Présentation de Sigmaban et Metabot pendant 4 jours.
- **Japan Expo** juillet 2015 à Paris. Présentation au grand public sur le stand de l'association de robotique Calliban pendant deux jours du robot humanoïde Sigmaban et des robots quadrupèdes Metabot.
- Démonstration technique des robots footballeurs lors de la **rentrée solennelle de l'Université de Bordeaux** en octobre 2015.
- Participation au **Robot Maker's Day** organisé sur une journée à Bordeaux en janvier 2015, juin 2015, janvier 2016.
- **Nuit de l'innovation** en avril 2016 à Bordeaux. Présentation d'une soirée des robots quadrupèdes et holonomes Metabot.
- Participation au **RoHOW** à Hambourg (Allemagne) en novembre 2014. Il s'agit un petit workshop RoboCup et matchs amicaux entre équipes européennes (France, Royaume-Uni et Allemagne) auquel l'équipe a été invitée.
- **RoboCup** 2013, 2014 et 2015.

4.4 Projet Metabot

Je me suis impliqué dans le projet Metabot initié et mené par Grégoire Passault, également doctorant dans l'équipe. Durant deux ans, j'ai participé et animé les séances de l'association RobotCampus qui proposait aux étudiants du campus bordelais de concevoir, fabriquer puis programmer un petit robot imprimé en 3d. Depuis deux ans, le projet s'est transformé toujours sous l'impulsion de Grégoire Passault vers un projet commercial et vers le développement d'une plateforme robotique quadrupède dédié à l'enseignement de la programmation et l'initiation à la robotique.

J'ai participé à plusieurs TP d'initiations à la programmation en classe de troisième au collège ainsi qu'à une présentation des activités de l'équipe et du projet Metabot au LaBRI lors de la formation ISN d'enseignements de collèges et lycées.