

# Two-Way Extensions of Finite Automata

## PhD Thesis

Bruno Guillon

30 Mai 2016

### Jury

- Alessandra CHERUBINI, Professeur, Politecnico di Milano *examinatrice*
- Christian CHOFFRUT, Professeur émérite, Université Paris-Diderot *directeur*
- Martin KUTRIB, Professeur, Universität Gießen *relecteur*
- Sylvain LOMBARDY, Professeur, Institut polytechnique de Bordeaux *relecteur*
- Giovanni PIGHIZZINI, Professeur, Università degli studi di Milano *directeur*
- Jean-Marc TALBOT, Professeur, Université Aix-Marseille *relecteur*

### Remerciements – Ringraziamenti

*Il est clair qu'arriver au bout d'une thèse de plus de trois ans ne peut se faire sans un soutien appréciable quotidiennement. Cette période touchant à sa fin, je prends ici quelques lignes pour évoquer ce soutien et remercier ses différents acteurs.*

**Supervision.** Tout d'abord je tiens à remercier mes directeurs de thèse. Je remercie Christian pour sa patience et sa disponibilité pendant ces années, et spécialement au moment difficile de la rédaction de ma thèse. À ses côtés, j'ai beaucoup appris en terme de méthodologie tout en enrichissant considérablement mes connaissances scientifiques en théorie des langages et des automates. Les nombreuses discussions scientifiques que nous avons eues ensemble ont débouché sur des résultats intéressants recueillis dans cette thèse. Quelques questions que Christian m'a proposées demeurent ouvertes et je compte bien les garder en tête pour mon travail futur.

Ringrazio Giovanni per avermi accompagnato attraverso questi anni di ricerca. Anche se ho passato solo un anno all'Università degli studi di Milano, è sempre stato disponibile e attento alle mie domande. È lui che per primo mi ha introdotto allo studio degli automi bidirezionali e alla teoria della complessità descrittoriale. Con lui e Viliam Geffert abbiamo ottenuto risultati che fanno parte della mia tesi. Devo a loro la scelta della mia area di ricerca che continua sempre ad interessarmi. Spero veramente che la nostra collaborazione continuerà in futuro. Lo ringrazio particolarmente per ogni volta che ha dovuto ottemperare alle mie omissioni amministrative nel lato italiano.

**Jury.** Je remercie chaleureusement Martin Kutrib, Syvain Lombardy et Jean-Marc Talbot d'avoir accepté de relire mon mémoire. Je les remercie pour les différentes remarques, toutes bien pensées, qu'ils m'ont transmises et pour leur application dans le travail de relecture. Je leur suis également reconnaissant d'être présents aujourd'hui pour ma soutenance. Merci aussi plus spécifiquement à Sylvain, croisé l'été dernier en conférence à Porto, qui m'a fait prendre du recul sur mon travail et m'a permis de l'étendre à des contextes plus généraux. Je remercie également Alessandra Cherubini, que je ne connais pas encore, d'avoir accepté de faire partie de mon jury et donc pour sa présence aujourd'hui.

**Aide.** Je voudrais aussi remercier l'équipe administrative du LIAFA, Houy, Laifa, Nadia, Nathalie, Noëlle, sans qui le labo aurait du mal à tourner. J'amplifie ces remerciements en reconnaissant la patience qu'il faut m'accorder lorsqu'il s'agit de remplir des documents administratifs, tels les retours de missions. Pour des raisons similaires et pour sa disponibilité, je tiens également à remercier Élise Delos. Ringrazio anche Lorena Sala e Matilde Gallea per la pazienza e l'aiuto che mi hanno dato.

*Un bon environnement est la source d'un bon travail. Mes trois années et demi de thèse ont été mouvementées, mais elles ont toujours trouvé des collègues et des amis sur qui s'appuyer.*

**LIAFA devenu IRIF.** J'ai eu deux périodes au LIAFA, de 2012 à 2013 et de 2015 à 2016. J'ai ainsi commencé mon doctorat dans les locaux de la rue du Chevaleret, où j'ai été accueilli par les doctorants plus anciens. Ils m'ont appris le fonctionnement du laboratoire et, par le partage de repas, de café voire de jeux de cartes (le Poulpe, qui sera plus tard remplacé par le Pigeon), ils m'ont proposé une sympathie édifiante. Je les nomme et les remercie : Adeline, Antoine, Antoine, Charles, Denis, Élie, Irène, Jad, Jehanne, Jérémie, Laure, Luc, Nathanaël, Nathanaël, Pierre, Sandrine, Timo, Tomasz, Vincent, Virginie, Xavier et probablement d'autres. Non loin, d'autres amis qu'également je remercie : Florent et Ioana, dont on reparlera, mais aussi Jakub, Lourdes, Shahin. À mon retour de Milan, début 2015, j'ai retrouvé avec joie quelques amis sus-cités et j'en ai découvert d'autres. Ainsi j'ai rencontré et me suis rapproché d'Alex, Alexandre, Bruno, Fabian, François, Guillaume, Laurent, Raphaël, Simon, Thibault, Victor, que rejoindront par la suite une bande d'italiens : Alkida, Dennis, Lorenzo, Luca, Maria Rita sans oublier Anna Carla sans trait d'union, que je remercie tout spécifiquement pour son soutien moral, son attention particulière et sa proximité. Au-dessus il y a toujours Florent, en dessous revient Étienne d'Uruguay. Je remercie aussi les membres du laboratoire et plus spécifiquement les membres de l'équipe *Automates et Applications* pour les divers rencontres et échanges avec eux. Merci en particulier à Olivier pour avoir soutenu mes demandes tardives de missions et aussi à Olivier pour les conseils très bien sentis sur les présentations orales et son soutien malgré lui dans les enseignements.

**Dipartimento di Informatica a l'Università degli studi di Milano.** A Milano, l'anno 2014, ho ritrovato persone che conoscevo dal mio stage precedente e ho incontrato anche nuovi colleghi e amici. Tutti hanno contribuito alla simpatia generale dell'ufficio. Li ringrazio qui: Aktar, Andrea, Angelo, Antonio, Giovanna, Luca, Marco, Marco, Maryam, Matteo, Paola, Pietro,

Pierlauro. Mi ricorderò sempre dei pranzi insieme alle discussioni di musica, di lingua francese e di automi. Li ringrazio anche perché è con loro che ho imparato l'italiano. Ringrazio anche i ricercatori del laboratorio che ho incontrato, particolarmente Carlo e Beatrice per l'interesse che hanno mostrato per il mio lavoro.

*En dehors du laboratoire, ma vie a été soutenue et enrichie pendant ces années par de grandes amitiés et par de multiples rencontres enrichissantes.*

**Racines.** Je remercie ma famille toujours présente malgré mes longues absences. Ce contact rare mais sûr a été un véritable appui pour me construire pendant les dernières années. Je remercie en particulier ma famille parisienne, qui est si proche mais si loin en même temps et que j'aurais aimé voir plus. Je remercie spécialement François et Katarzyna et je leur dis à très bientôt. Je remercie Grand-Mère, Grand-Père, Mamylène, Maman, Papa, quelques oncles, tantes et cousins d'être aujourd'hui présents pour me soutenir dans ma soutenance et fêter mon probable doctorat. Merci à la famille Bondaz de m'avoir accueilli à mon arrivée à Paris, et de me prêter encore aujourd'hui la table de ma salle à manger. Enfin, merci à mon frère Pierre, qui est toujours attentif à mes questionnements et qui par sa propre expérience, me guide et me conseille dans ma carrière naissante.

**Humain.** Je remercie spécialement la communauté Sant'Egidio que j'ai découverte à Paris puis retrouvée à Milan. Elle propose une approche très humaine des problèmes actuels de société, basée sur la rencontre avec des personnes laissées en marge de nos vies, pour leur origine, leur pauvreté, leur âge... Ces rencontres hebdomadaires sont une bouffée d'air, me faisant ré-atterrir, de la théorie à l'Humain. Je remercie donc : Anna Carla, Danuts et sa famille, David, Denis, Didier, Elena, Ivan, Jérémie, Jérôme, Karine, Lionella (avec Alex et Armando), Marie-Luce, Mickaël, Mireille, Paul-Shérif, Philippe, Sara, sœur Stéphanie, Valentine, Valérie, Vincent, Zvetan et j'oublie sûrement beaucoup de personnes. Les rencontres avec vous ont élargi mes pensées et ouvert mon esprit. Ringrazio anche gli amici del gruppo di Sant'Egidio di Milano: Andrea, Claudio, Francesca, Francone, Giovanni, Liliana, Luca, Marco, Mohammed, Teresa, Ulderico, Yassine e altri (dimentico i nomi, ma non dimentico i visi). Sono stato fortunato ad incontrarvi e spero davvero di rivedervi presto.

**Maison sucrée maison.** Mon chez moi est un lieu vivant peuplé de chouettes et sympathiques personnes, éventuellement nomades, qui le transforment ainsi en un chez nous. La présence de cette population accueillante a été une vraie source de bonheur mais aussi un réconfort réel et un conseil attentif tout au long de ces années. Ainsi je remercie profondément Gibet, coloc primitif, pour le temps qu'on a passé ensemble, les vacances extérieures, les crozifettes délectables, etc. . . À Ioana, coloc primitive, je dis mulțumesc pour les discussions passionnantes, pour les questionnements éthiques, pour la țuică, pour les vacances en Roumanie (mulțumesc itou, en passant, à ses parents et ses amis pour leur joyeux accueil), pour ses énervements à Catane pour les rudiments de langue roumaine qu'elle m'a enseignés et, plus généralement, pour son amitié. Je remercie maintenant Aline, notre dictatrice éclairée, pour sa patience, pour les kilos de riz, pour les discussions spirituelles sur nos futurs respectifs, pour les sorties culturelles

ou sportives. Merci Hugo, pour son calme et ses réflexions politiques, pour les foots et verres de diabolo devant le tour de France, pour sa cuisine efficace et bonne (dont les kilos de riz nourrissant des régiments biélorusses). Merci et bravo à tous les deux, Aline & Hugo, pour vos engagements, pour les parties de cash & guns et de mölkky et pour avoir supporté mes absences et m'avoir soutenu lorsque les temps étaient plus difficiles. Merci à tous les squatteurs d'une nuit ou de plus, qui ont pimenté la vie de la maisonnée : Alice & Camille, Anna Carla, Charlotte & Gibet, Éloïse & Robin, Lola, Pierre, Simon, Sorana, et j'en oublie des tonnes ! Je remercie aussi les amis de la coloc pour leur présence et les moments partagés : Clémence, Clotilde, Emmanuel, Vianney. Ringrazio anche i coinquilini di Milano: Alessandro, Chiara & Luigi, e Marco, per l'accoglienza e l'aiuto. Grazie anche alle persone encontrate il primo mese nel ostello Burigozzo: Atila, Marko, Michel. . .

**Accordéon & Matofono.** J'ajoute une note musicale en remerciant ceux qui l'ont partagée : Chico, Laurent, Pierre, Fabian, François. Merci à mon fournisseur de matofonos uruguayens, j'ai nommé Étienne, qui sera peut-être un des déclencheurs de la fondation du futur fameux *Orchestra de matofono número zéro*.

La vita a Milano sarebbe stata molto piu triste senza la presenza del coro alpino della Bicocca! Ringrazio Alberto per avermi portato lì e ringrazio tutto il coro per l'accoglienza: Alberto (di nuovo), Alexis, Allesandro, Andrea, Andrea, Davide, Davide, Gabriele, Giacomo, Luca, Lorenzo, Mario, Michele, Nicola, Ottavio, Paolo, Pietro, Pietro, Simone, Stefano, Vittorio e anche Francesco, Letizia, Maria, Rabah e altri amici del coro.

**Ballon rond et grand guidon.** Je remercie les coéquipiers de la porte d'Orléans, qui le samedi bravaient la pluie et le vent pour venir jouer au football. Merci donc Ahmed-Amine, Bruno, Camille, Étienne (dans tous les bons coups celui-là), Helmy, Pavel, Pierre, Simon et les autres. Dal lato italiano ringrazio tutta la banda peruviana con cui ho giocato a calcio il sabato. Merci à Vianney pour les cours d'escalade. Merci à Florent, Paul, Una et toute la cyclofficine d'Ivry-sur-Seine pour leur patience face à mon vélo malmené, également remercié.

*Merci à toi lecteur, qui arrive au bout de ces longs remerciements, pour ton courage et ton abnégation. J'oublie probablement plein de monde, comme par exemple les amis rencontrés aux EJCIM (que je n'oublie ainsi pas complètement), et je pourrais continuer longtemps mais il faut bien s'arrêter. Merci.*