

# Rapport de stage

Paul Patault, Gaëtan Serré  
{paul.patault, gaetan.serre}@universite-paris-saclay.fr

Encadrants  
Andrei Paskevich, Jean-Christophe Filliâtre  
{andrei.paskevich, jean-christophe.filliatre}@inria.fr

Laboratoire Méthodes Formelles, Université Paris-Saclay, CNRS, ENS Paris-Saclay  
4, avenue des Sciences, 91190 Gif-sur-Yvette, France

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Présentation Générale</b>	<b>2</b>
1.1	Structure d'accueil . . . . .	2
1.2	Contexte scientifique . . . . .	2
1.3	Enjeux . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Travaux effectués</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Retour d'expérience — Gaëtan Serré</b>	<b>4</b>
3.1	Liens avec des UE . . . . .	4
3.2	Découvertes & Difficultés . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Retour d'expérience — Paul Patault</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Remerciements</b>	<b>6</b>

# 1 Présentation Générale

## 1.1 Structure d'accueil

Le stage dont ce rapport est l'objet est intitulé *Amélioration des versions en ligne de l'outil Why3*. Il se passe dans le bâtiment 650 de l'Université Paris-Saclay. Plus précisément nous travaillons au sein de l'équipe Toccata [10], sous la tutelle du centre de recherche INRIA Saclay - Île-de-France [2], dont les membres relèvent aussi du nouveau Laboratoire de Méthodes Formelles (LMF) [3]. Cette équipe est composée de sept membres permanents Sylvie Boldo, Sylvain Conchon, Jean-Christophe Filliâtre, Claude Marché, Guillaume Melquiond, Andrei Paskevich et Christine Paulin-Mohring, parmi eux se trouvent nos deux encadrant A. Paskevich et J.-C. Filliâtre. Leur objectif général est de promouvoir la spécification formelle ainsi que la preuve assistée par ordinateur.

## 1.2 Contexte scientifique

Un sous-groupe de l'équipe Toccata développe activement **Why3** [9], un outil de vérification déductive consistant à vérifier certaines propriétés d'un programme, exprimées dans un langage mathématique rigoureux. Ainsi, ce logiciel propose un langage logique, un langage de programmation nommé **WhyML** et une interface interactive avec des démonstrateurs automatiques. Plus concrètement, **Why3** analyse le programme fourni et sa spécification afin de produire une liste d'énoncés mathématiques à démontrer. Ces derniers sont ensuite envoyés à des *solveurs SMT* (satisfiable-modulo-théorie) qui s'emploient à tenter de les prouver. **Why3** est aussi bien utilisé dans des milieux académiques qu'industriels. En effet, on retrouve d'une part différentes entreprises partenaires comme Adacore [1], TrustInSoft [7] et Mitsubishi [5]; d'autre part, des chercheurs l'utilisent et enseignent la preuve de programme grâce à **TryWhy3** [8], un fragment en ligne de ce logiciel fonctionnant dans un navigateur.

## 1.3 Enjeux

**WhyML** étant fortement inspiré du langage **OCaml**, son apprentissage peut être difficile sans connaissances préalables de ce dernier. Ainsi, les développeurs de **Why3** ont intégré la possibilité d'avoir un programme écrit avec un fragment du langage **Python** [6] ou du langage **C** [4] en entrée. Celui-ci est automatiquement traduit vers **WhyML**, afin de le transformer en formules logiques. Tout l'enjeu de ce stage est de faciliter l'enseignement de la vérification déductive de programme, à travers l'amélioration de **TryWhy3** et l'extension des fragments de langages reconnus.

## 2 Travaux effectués

Ce stage ayant pour objet l'amélioration de la version en ligne de l'outil `Why3`, nous avons reçu plusieurs pistes dont notamment : l'amélioration de l'ergonomie de l'interface graphique actuellement proposée, tout en y ajoutant de nouvelles fonctionnalités et l'élargissement des fragments de `Python` et de `C` avec de nouvelles constructions, de nouvelles primitives et fonctions de bibliothèques, ainsi que de nouveaux éléments de spécification. Par ailleurs, il nous a été proposé de compléter et améliorer la documentation existante, et enfin la conception de nouveaux exercices, afin de faciliter l'enseignement de `Why3` mais aussi son apprentissage en autonomie.

Vous retrouverez une présentation vidéo du travail que nous avons jusqu'ici réalisé. Afin de vous la partager simplement, nous l'avons téléversée sur `YouTube` et vous pourrez cliquer [ici](#) pour la visionner. De plus, nous avons tout au long du stage utilisé un répertoire `GitHub` que vous pourrez retrouver à ce [lien](#).

## 3 Retour d'expérience — Gaëtan Serré

### 3.1 Liens avec des UE

Beaucoup d'UE du premier semestre de cette année m'ont été utiles. Par exemple, le cours de programmation fonctionnelle avancée, étant donné que `Why3` et `TryWhy3` sont écrits en `OCaml`. Aussi, le cours de Logique m'a permis de comprendre les formules mathématiques nécessaires à la preuve de programme. Enfin, l'UE Compilation était particulièrement liée avec l'amélioration du fragment `Python` car les outils utilisés pour le lexer et le parser étaient abordés dans ce cours.

### 3.2 Découvertes & Difficultés

La principale difficulté de ce stage était de pouvoir comprendre l'architecture de `Why3`. En effet, j'ai passé plus d'un quart du stage à chercher les liens entre les différents fichiers du programme. De plus, `Why3` étant un logiciel de preuve déductive, le code doit absolument être juste afin de ne pas pouvoir prouver de contradictions. Ainsi, cela m'a permis d'acquérir des nouvelles habitudes de programmation notamment être persuadé de son implémentation et être sûr qu'il n'existe pas de meilleure solution (ce qui implique beaucoup de réflexion), mais aussi une meilleure maîtrise de `git` ainsi que des outils de recherche dans du code.

Par ailleurs, travailler sous les demandes des encadrants était quelque chose de nouveau. J'ai tout de même pu prendre des initiatives et proposer des idées qui ont parfois été retenues par ces derniers. Aussi, travailler en binôme était une vraie chance : confronter nos idées et se servir des forces et des faiblesses de chacun a fortement augmenté notre productivité.

Durant ce stage, j'ai pu approfondir mes connaissances en informatique, particulièrement en preuve de programme mais aussi dans beaucoup d'autres domaines que Jean-Christophe Filliâtre et Andrei Paskevich ont abordés (langage, typage, garbage collector, ...) que je ne manquerai pas de mettre en application durant mes études ou bien dans mes prochains projets personnels.

Pour finir, travailler dans un laboratoire en informatique et donc d'apprendre de nouvelles choses chaque jour m'a beaucoup plu et consolide mon envie de faire de la recherche après mon master.

## 4 Retour d'expérience — Paul Patault

Ce stage a été pour moi une belle opportunité d'apprentissage et de mise en pratique de mes connaissances. Je pense avoir été capable de bien cerner les enjeux grâce à de nombreux cours que j'ai pu suivre en licence dont notamment ceux de logique, de programmation fonctionnelle et de compilation. En effet, j'ai su tirer parti de ces enseignements pour investir rapidement mon affectation. Mêlant le langage `OCaml`, la théorie de la démonstration et une grande partie de traduction de langage vers un autre (notamment `Python` vers `WhyML`), `Why3` est un logiciel qui combine fortement ces trois différents sous-champs de l'informatique théorique. J'ai ainsi été mené à découvrir des applications concrètes de ce domaine de recherche, et je suis d'autant plus enthousiaste à l'idée de poursuivre mon parcours universitaire dans cette branche au sein du Master Parisien de Recherche en Informatique.

Je pense par ailleurs avoir fortement développé mes capacités à rentrer dans un grand projet ; comprendre l'agencement de ce logiciel a été une partie non négligeable du temps passé durant au moins la première semaine de ce stage. C'est avec beaucoup de temps, de questions et de lecture que j'ai réussi à me construire une représentation mentale de l'architecture de ce logiciel complexe. D'autre part, je suis convaincu que les nombreuses discussions que nous avons pu avoir avec nos maîtres de stage m'ont apporté une certaine densité dans ma vision de la science informatique. Ces derniers, en plus de nous avoir suivis et portés tout au long de ce stage, ont su en effet éveiller ma curiosité pour de nombreux sujets ; qu'ils m'ont suggéré d'assouvir au travers d'ouvrages généreusement prêtés. Pour ce qui est de mes compétences plus concrètes, j'ai découvert et appris à utiliser beaucoup plus en profondeur les outils de la famille `git`, mais aussi une toute nouvelle approche de la programmation, bien plus centrée sur la conception, la justesse, et l'intégration des modifications apportées au logiciel que sur le code en lui-même. Travailler à deux sur un seul clavier, pendant la grande majorité du stage, nous a étonnamment beaucoup apporté, en nous permettant de nous compléter l'un et l'autre. Nous avons très souvent débattu de la meilleure solution à prendre, ce qui nous a obligé à être à l'écoute, mais aussi savoir s'imposer lorsque l'on pense que l'autre fait fausse route. Connaissant Gaëtan depuis la première année, nous avons souvent eu l'occasion de travailler sur des devoirs ensemble, mais rien de comparable avec cette expérience passée au LMF. Ce binôme nous a encouragé, et permis de développer nos capacités de travail en équipe.

## 5 Remerciements

Nous tenions à remercier toutes les personnes qui ont contribuées au bon déroulement de notre stage. Nos remerciements s'adressent tout d'abord à M. Paskevich et M. Filiâtre qui nous ont accueillis et accompagnés tout au long de ces deux mois passés auprès d'eux ; mais aussi pour tous leurs enseignements très enrichissants. Nous remercions aussi toute l'équipe du LMF, enseignants-chercheurs et doctorants, pour leur accueil chaleureux. Enfin, nous souhaitons remercier vivement Mme Cohen, pour nous avoir guidés et beaucoup aidés durant la recherche de notre stage.

## Références

- [1] Adacore. <https://www.adacore.com>.
- [2] Inria. <https://www.inria.fr/fr/centre-inria-saclay-ile-de-france>.
- [3] Laboratoire méthodes formelles. <https://lmf.cnrs.fr>.
- [4] Micro-c. <http://why3.lri.fr/micro-C>.
- [5] Mitsubishi. <https://www.mitsubishi-motors.fr>.
- [6] Python. <http://why3.lri.fr/python>.
- [7] Trustinsoft. <https://trust-in-soft.com>.
- [8] Trywhy3. <http://why3.lri.fr/try>.
- [9] Why3. <http://why3.lri.fr>.
- [10] Équipe toccata. <https://toccata.gitlabpages.inria.fr/toccata/index.fr.html>.