

Résumé

John von Neumann, un mathématicien exceptionnel et l'un des pères de l'ordinateur, a consacré les dernières années de son existence à la théorie des automates. Ses recherches, malheureusement interrompues par son décès en 1957, ont été inspirées par l'analogie existant entre les automates artificiels, dont l'exemple principal est l'ordinateur, et les automates naturels, tels que le système nerveux, les organismes évolutifs, etc.

Grâce à la théorie des automates, von Neumann a conçu un ensemble de machines munies de caractéristiques semblables à celles des systèmes biologiques : évolution, apprentissage, auto-réplication, auto-réparation, etc. Le développement de machines auto-répliquatives, c'est-à-dire capables de produire des copies d'elles-mêmes, est au cœur de son approche.

Cette thèse fait partie d'un projet de recherche plus général appelé Embryonique (une contraction des mots *embryologie électronique*) qui vise à jeter un pont entre le monde de la biologie et celui de l'électronique, et en particulier entre la biologie moléculaire et les systèmes digitaux. Un des buts principaux du projet Embryonique est de déterminer si, avec la technologie moderne, le rêve de von Neumann, —la construction d'une machine auto-répliquative— peut être réalisé à l'aide du matériel actuel.

Sur la base des idées de von Neumann, le but principal de cette thèse est de réaliser, grâce à l'architecture embryonique, la première implémentation matérielle d'une machine capable d'auto-réplication et de calcul universelle, c'est-à-dire une machine de Turing universelle. L'architecture matérielle se compose d'un réseau bidimensionnel multicellulaire artificiel (cellules MICTREE) développé dans notre laboratoire.

Les cellules MICTREE, un nouveau type de FPGA (*Field-Programmable Gate Array*) à *grain grossier*, sont utilisées pour la mise en œuvre d'organismes multicellulaires artificiels ayant des propriétés inspirées par la Nature, c'est-à-dire capables d'auto-réparation et d'auto-réplication. Mais la conception des programmes définissant le comportement de ces cellules est difficile et a dû être réalisée, jusqu'ici, à la main. Cette approche conduit souvent à des erreurs dans l'écriture du logiciel. Ces erreurs sont très difficiles à corriger, ce qui augmente le temps de conception.

Le deuxième but de cette thèse est le développement d'une méthodologie de programmation apte à maîtriser des applications complexes du projet Embryonique. Pour démontrer cette méthodologie, nous présentons la description détaillée de plusieurs ex-

emples, du plus simple au plus compliqué; tous ces exemples sont calculés à l'aide d'une méthode descendante (top-down) caractérisée par une décomposition du microprogramme complet (notre génome artificiel) en un ensemble de sous-microprogrammes, par la construction et l'optimisation systématiques d'arbres ou de diagrammes de décision binaire, et par une organisation rigoureuse des sous-microprogrammes particulièrement adaptée à l'architecture Embryonique. Nous présentons enfin les différents outils logiciels (MIC Editor, MIC Compiler, Visual BDD, MIC Sim et un chargeur série) qui ont été intégrés dans un environnement graphique afin d'obtenir souplesse et convivialité.