



Université Lille Nord de France
Pôle de Recherche
et d'Enseignement Supérieur

Ecole doctorale régionale Sciences Pour l'Ingénieur Lille Nord-de-France - 072



Titre : Parallélisation massive de modèles de simulation à structures dynamiques

Financement prévu : MESR

Cofinancement éventuel :

(Co)-Directeur de thèse : Pr. E. Ramat

E-mail : ramat@lisic.univ-littoral.fr

Co-directeur de thèse : Dr. Gauthier Quesnel (BIA/MIA/INRA - Toulouse)

E-mail : gauthier.quesnel@toulouse.inra.fr

Laboratoire : Laboratoire d'Informatique Signal et Image de la Côte d'Opale EA 4491

Equipe : M2SiD (Multi-Modélisation, Simulation et Décision)

Descriptif :

Le sujet de thèse proposé aborde la question de la parallélisation de modèle de simulation à grandes échelles de systèmes dynamiques modélisés dans un environnement PDEVS et DS-DEVS.

Mot clés : modélisation, simulation, parallélisation, exploitation agricole, processus agro-hydrologique

Les enjeux scientifiques et socio-économiques

Le sujet de thèse proposé relève du domaine de l'informatique appliquée et plus particulièrement de la modélisation et de la simulation de systèmes dynamiques dans un cadre appelé DEVS [zeigler00] (*Discrete Event System Specification*). Ce cadre est devenu une référence pour la question de couplage de modèles hétérogènes. L'enjeu méthodologique principal de la thèse concerne la parallélisation des modèles de simulation DEVS sur plusieurs unités de calculs afin de permettre :

- L'augmentation de la vitesse de simulation : le temps requis pour exécuter une simulation peut être réduite en proportion du nombre de processeurs alloués à la simulation.
- L'augmentation de la taille des modèles : la combinaison de capacité de mémoire de plusieurs processeurs peut être employée.
- L'utilisation de noeuds spécialisés : meilleure prise en charge des données et fournis par des noeuds spécialisés.
-

Cette question est particulièrement cruciale aujourd'hui où l'emploi de la simulation devient de plus en plus prépondérant dans l'étude des systèmes complexes. De plus, le LISIC de l'ULCO et l'INRA, à l'initiative des départements EA et MIA, a engagé depuis 2003 (et 2007 pour l'INRA) une plate-forme de multimodélisation et de simulation des systèmes de culture appelé VLE (*Virtual Laboratory Environment*). Ce projet, conduit au sein de l'équipe M2SiD (Multi-modélisation, simulation et décision) du LISIC/ULCO et MAD (Modélisation des Agroécosystèmes et Décision) de l'unité INRA BIA Toulouse, a fait le choix du formalisme DEVS pour la modélisation et la simulation de ces systèmes. Il sera le principal contexte applicatif de la thèse.

À travers ce projet, nous visons donc à étendre les travaux de la communauté DEVS à la problématique de parallélisation de modèles à structures dynamiques et également à fournir aux agronomes modélisateurs, utilisateurs de la plate-forme RECORD, une implémentation informatique de ces travaux dans l'environnement informatique VLE.

D'autre part, de nombreux projets de modélisation abordés par RECORD et par conséquent VLE, se posent la question du passage à l'échelle. Nous pouvons citer par exemple le projet ANR Acassya où les modèles TNT2 et Mélodie, qui sont



aujourd'hui disponibles RECORD, sont couplés sur l'étude de bassins versants de très grande taille. Ce passage à l'échelle engendre à la fois des problèmes de représentation des entités (sols, exploitations agricoles, flux d'eau et d'azote, troupeaux, cultures, ...) mais aussi des problèmes de temps de simulation. De part la nature des modèles, la question de recherche de cette thèse trouve un terrain d'expérimentation idéal. Prenons l'exemple de TNT2, les scientifiques aimeraient intégrer l'aspect reconfiguration dynamique du graphe des flux d'eau et d'azote en fonction des hauteurs d'eau dans les nappes. Aujourd'hui cette question n'est pas abordée. Dans ce nouveau contexte, la question de la parallélisation l'est encore moins.

La question de recherche

Les travaux sur la parallélisation de simulation ont été initiés depuis l'existence même de la simulation informatique. De ces travaux sont nés des méthodes, des algorithmes et des outils pour permettre la parallélisation de simulations suivant des approches pessimistes [Chandy79, Chandy81] ou optimistes [Steinman1993] c'est-à-dire, autorisant ou non la violation du principe de causalité issu de la simulation de systèmes dynamiques. Depuis plusieurs années, la communauté DEVS a adopté et adapté ces travaux pour le formalisme DEVS [zeigler00] afin de développer des simulateurs permettant la parallélisation de simulation. Cependant, le formalisme DEVS ne propose des simulations que pour les modèles ayant une structure statique. Or, aujourd'hui, l'évolution de la manière de modéliser avec DEVS nous oblige à prendre en considération les graphes dynamiques de modèles.

La thèse vise alors à répondre à la question de recherche suivante : «comment optimiser l'équilibre de charge d'une simulation parallélisée entre plusieurs noeuds de calculs d'un système à structures dynamiques modélisé et simulé avec le formalisme DEVS et avec l'environnement informatique VLE». Plus précisément, il s'agira de réaliser un état de l'art complet sur :

- le formalisme DSDE [barros97] et ses simulateurs abstraits qui permettent de modéliser des systèmes à structures dynamiques, c'est-à-dire, où le nombre de modèles et leurs interactions évoluent en cours de simulation ;
- les travaux récents réalisés par la communauté DEVS dans le cadre de la parallélisation avec, par exemple, les thèses de Qi Liu et d'Ernesto Posse [liu2010, Posse2008] ;
- les environnements informatiques DEVS existants qui proposent la parallélisation de simulation comme CD++ [WLJ10] ou James II [Himmelpach2007] et leurs travaux sur l'équilibre de charge des simulations.
-

De cette étude, il sera demandé de proposer à la communauté DEVS de nouveaux algorithmes pour les simulateurs abstraits du formalisme DSDE mais adaptés à la parallélisation tout en suivant les approches pessimiste et optimiste de la parallélisation. Par la suite, il s'agira de proposer des algorithmes de partitionnement de graphes et des méta-heuristiques, issus des communautés telle que la recherche opérationnelle ou de la simulation, pour réaliser un équilibre de charge en se basant sur des métriques statiques telle que la représentation structurelle du modèle (par exemple, le parcellaire d'une exploitation agricole) ou des métriques dynamiques comme le nombre d'échanges entre les modèles ou l'évolution de la structure du modèle.

Le contexte méthodologique choisi et les développements envisagés

Le formalisme DEVS fournit une méthodologie pour la construction de modèles de simulations modulaires, hiérarchiques et réutilisables dans le but de simuler des systèmes dynamiques complexes. Ce formalisme de modélisation et de simulation, issu des mathématiques discrètes, permet de modéliser des systèmes compliqués dans une très large variété de domaine. Il est basé sur les événements discrets pour la modélisation de systèmes discrets et continus. Le modèle est vu comme un réseau d'interconnexions entre des modèles atomiques et couplé formant une hiérarchie de modèles. Les modèles sont en interaction via l'échange d'événements estampillés. À partir de ce formalisme, B. P. Zeigler a proposé une représentation informatique de ce formalisme qu'il appelle les simulateurs abstraits. Ainsi, depuis l'année 2003, nous développons un environnement de modélisation et de simulation libre dont le cœur de simulation se base sur le formalisme DEVS : VLE [quesnel09]. Cet environnement est aujourd'hui utilisé dans des domaines très différents allant des travaux scientifiques sur le formalisme DEVS ou en intelligence artificielle mais aussi dans les domaines d'applications comme les systèmes industriels, la biologie, l'épidémiologie ou l'agronomie. Pour ce dernier domaine d'applications une plate-forme d'aide aux



développements et à l'étude de modèles de simulations a été montée par les départements MIA (Mathématiques et Informatique appliquée) et EA (Environnement et Agronomie) : le projet RECORD.

Cependant, aujourd'hui nous sommes confrontés à un problème de temps de simulation. En effet, la croissance de la taille et de la complexité des modèles en terme de formalismes ou de couplage de formalismes que nous concevons ou que nous étudions avec la simulation, l'estimation de paramètres, l'exploration de modèles ou l'optimisation par simulations nous imposent des temps de calculs de plus en plus importants. Le principal moyen que nous avons pour diminuer les temps de calculs est soit d'attendre de nouveaux processeurs plus puissants soit d'exploiter les architectures à plusieurs processeurs repartis sur une même machine, sur un réseau local ou depuis internet. De plus, récemment, l'industrie des microprocesseurs a pris la voie du développement d'architectures à plusieurs unités de calculs par processeur. En effet, pendant très longtemps cette industrie a travaillé à l'augmentation des fréquences pour augmenter la rapidité d'exécution des instructions sur ses microprocesseurs. Aujourd'hui, avec les problèmes de températures engendrés par des fréquences très élevées, ces industries se sont orientées vers de nouvelles architectures des microprocesseurs dites multi-cœurs dans lesquelles plusieurs processeurs, appelés cœurs, communiquent directement via un système de cache au sein d'un même processeur. Cet état de fait nous pousse d'avantage encore vers le développement et vers la transition de nos algorithmes et méthodes vers la parallélisation. Ainsi, pour répondre à notre problème de temps de simulation, nous avons commencé des travaux de réécriture du noyau de simulation de VLE. Ces travaux se basent sur des travaux réalisés par la communauté DEVS [liu2010, Posse2008] avec des approches optimistes et pessimistes de la parallélisation de simulations.

Par ailleurs, les systèmes que nous modélisons avec nos partenaires des différents domaines d'applications et principalement avec le monde agronomique de l'INRA montre que la modélisation des systèmes étudiés évolue vers des systèmes où la structure elle-même des modèles change au cours du temps simulé avec principalement l'apparition ou la suppression de modèles. Le formalisme DEVS, dans sa définition initiale ne permet pas de représenter de tels systèmes. Des chercheurs de cette communauté ont travaillé à fournir une telle extension à DEVS. Ainsi, F.~J.~Barros [barros98] a publié à la fin des années 90, une extension à DEVS sous les noms DSDEVS puis DSDE pour *Dynamic Structure Discrete Event System*. Ce formalisme, associé lui aussi à des simulateurs abstraits, prend en charge la manipulation de la structure du modèle en cours de simulation ce que le formalisme DEVS ne permet pas. Les changements possibles sont l'ajout ou la suppression de modèles atomiques, couplés, de ports ou de connexions. La prise en compte de ces changements est primordiale dans les domaines d'études que nous étudions avec VLE, par exemple en agronomie. Nous pouvons citer les exemples de modélisation de la croissance d'une plante organe par organe (avec des approches structure/fonction) ou la modification d'un parcellaire par un agriculteur. La parallélisation de ce type de modèle impose la gestion de l'équilibrage de charge pendant la simulation afin de limiter l'engorgement de modèles de simulations sur un même nœud. À notre connaissance, très peu de travaux dans la communauté DEVS prennent en charge la parallélisation de tels systèmes.

Ainsi, les travaux que nous proposons de mener ici se situent dans la parallélisation massive de ces modèles de simulations sur les systèmes de *clusters* multiprocesseurs et multi-cœurs et GP-GPU (utilisation de la machine GP-GPU du CGR de Calais). Nous souhaitons étudier et développer dans le cadre théorique DEVS et dans l'environnement informatique VLE, une solution pour développer des modèles à structures dynamiques et équilibres de charges.

Publications des laboratoires d'accueil sur le thème

- Bruno Bonté, Raphaël Duboz, Gauthier Quesnel et Jean-Pierre Müller, Recursive simulation and experimental frame for multiscale simulation, SCSC'09: Summer Computer Simulation Conference, Istanbul, Turkey, July 13-16, 2009.
- Gauthier Quesnel, Raphaël Duboz et Éric Ramat, The Virtual Laboratory Environment - An Operational Framework for Multi-Modelling, Simulation and Analysis of Complex Systems, Simulation Modelling Practice and Theory, (17), 641-653, April 2009.
- Éric Ramat, Introduction to discrete event modeling and simulation, In Agent-based Modelling and Simulation in the Social and Human Sciences, Oxford, The Bardwell Press, ISBN-13:978-1-905622-01-6, september 2007.



- Gauthier Quesnel, Raphaël Duboz, Éric Ramat et Mamadou Traoré. VLE: A Multimodeling and Simulation Environment, Proceedings of the Summer Simulation Multiconference (SummerSim'07), San Diego, California, USA, July 15-18, 2007, pp. 367-374.
- Raphaël Duboz, David Versmisse, Gauthier Quesnel, Alexandre Muzzy et Éric Ramat, Specification of Dynamic Structure Discrete event Multiagent Systems, conference proceedings of Agent Directed Simulation (Spring Simulation Multiconference) April 2-6, 2006, Huntsville, Alabama, USA.
- Gauthier Quesnel, Raphaël Duboz, David Versmisse et Éric Ramat, DEVS Coupling of Spatial and Ordinary Differential Equations: VLE framework, proceedings of the Open International Conference on Modeling and Simulation - OICMS 2005, Clermont-Ferrand, France, 281-294.
- David Versmisse et Éric Ramat, Management of perturbations within a spatialized differential equations system, in the DEVS framework, European Simulation and Modeling Conference (ESM 2005), Porto (Portugal), october 24-26, 2005.
- Gauthier Quesnel, Raphaël Duboz et Éric Ramat, DEVS wrapping: A study case, In proceedings of Conceptual Modeling and Simulation CMS 2004 conference, october 28-30, 2004, Genoa, Italy, pp 374-382.

Références

- [1] F. J. Barros. Modeling Formalisms for Dynamic Structure Systems. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS)*, 7 :501 – 515, october 1997.
- [2] F. J. Barros. Abstract simulators for the DSDE formalism. In *Winter Simulation Conference Proceedings*, volume 1, pages 407–412, Washington, DC, USA, december 1998.
- [3] K. Mani Chandy and Jayadev Misra. Distributed simulation : A case study in design and verification of distributed programs. *IEEE Trans. Software Eng.*, 5(5) :440–452, 1979.
- [4] K. Mani Chandy and Jayadev Misra. Asynchronous distributed simulation via a sequence of parallel computations. *Commun. ACM*, 24(4) :198–206, 1981.
- [5] Jan Himmelspach, Roland Ewald, Stefan Leye, and Adelinde M. Uhrmacher. Parallel and distributed simulation of parallel devs models. In *Proceedings of the 2007 spring simulation multiconference - Volume 2, SpringSim '07*, pages 249–256, San Diego, CA, USA, 2007. Society for Computer Simulation International.
- [6] Qi Liu. Algorithms for Parallel Simulation of Large-Scale DEVS and Cell-DEVS Models. PhD thesis, Ottawa-Carleton Institute for Electrical and Computer Engineering, Department of Systems and Computer Engineering Carleton University Ottawa, Ontario, Canada, 2010.
- [7] Ernesto Posse. Modelling and simulation of dynamic structure discrete-event systems. PhD thesis, School of Computer Science, McGill University, 2008.
- [8] Gauthier Quesnel, Raphael Duboz, and Eric Ramat. The Virtual Laboratory Environment – An operational framework for multi-modelling, simulation and analysis of complex dynamical systems. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 17 :641–653, April 2009.
- [9] Jeff S. Steinman. Breathing time warp. *SIGSIM Simul. Dig.*, 23(1) :109–118, 1993.
- [10] Gabriel A. Wainer, Qi Liu, and Shafagh Jafer. Advanced parallel simulation of DEVS models in CD++, chapter 9, page TBD. Taylor and Francis, 2010. Authors : G. Wainer, P. Mosterman Eds, Book : *Discrete-Event Modeling and Simulation : Theory and Applications*.
- [11] B. P. Zeigler, D. Kim, and H. Praehofer. *Theory of modeling and simulation : Integrating Discrete Event and Continuous Complex Dynamic Systems*. Academic Press, 2000.