

# Résumé

L'étude des systèmes complexes est en passe de devenir une science en elle-même, avec l'informatique comme l'un des supports (théoriques et opérationnels) possibles pour son développement. La modélisation et la simulation des systèmes dynamiques s'inscrit dans ce mouvement actuel, en offrant de nombreux paradigmes et de nombreuses techniques pour appréhender la complexité des systèmes artificiels et naturels. Le travail présenté ici participe à ce courant en exposant une recherche sur le couplage et l'interopérabilité des modèles de simulation. Nous proposons d'aborder cette question en trois points :

- l'intégration formelle,
- l'intégration opérationnelle,
- l'intégration pour la simulation multi-échelles.

Pour illustrer notre réflexion, nous avons choisi un système proies-prédateurs emprunté à l'écologie marine (des copépodes se nourrissant de phytoplancton). Cette réflexion nous amène, concernant le premier point, à effectuer un rapprochement entre le paradigme d'agents réactifs situés, intéressant pour la simulation des comportements des prédateurs, et le formalisme DEVS, issu de la théorie des systèmes. Ce dernier permet une formalisation de l'ensemble du modèle couplé, constitué d'un système Multi-Agents (SMA) et d'un système d'équations différentielles. Pour le deuxième point, nous proposons un *framework* d'intégration de modèles hétérogènes qui se démarque principalement par la notion de connecteur (ou *wrapper*), basé sur l'algorithmique des simulateurs abstraits de DEVS et la description des modèles et de leur couplage *via* une application XML particulière. Pour traiter le troisième point, nous développons d'abord une méthode de couplage pour le transfert de propriétés entre niveaux d'organisation (ou transfert d'échelles). En nous basant sur cette méthode, nous construisons un modèle mathématique à partir de simulations du SMA qui nous permet de le coupler avec un modèle « classique » d'interaction proies-prédateurs. Cette application illustre l'importance de la prise en compte du niveau micro (les individus) sur le niveau macro (les populations) d'un système dynamique particulier.

**Mots-clés:** intégration, multi-modélisation, multi-formalisme, multi-échelles, DEVS, systèmes Multi-Agents (SMA), couplage, copépode *Acartia Tonsa*.

# Abstract

Complex systems studies are becoming a science on its own. Computer science can be one of the theoretical and operational basis towards this evolution. Modelling and simulation (M& S) of dynamical systems is currently a central activity in a lot of sciences. M& S brings numerous paradigms and methods for the specification and the simulation of complex artificial or natural systems. This work aims at tackling the issue of interoperability between heterogeneous models following three directions :

- formal integration,
- operational integration,
- multi-scales integration.

In order to illustrate our investigation, we have chosen a marine prey-predator systems (copepods grazing on phytoplankton). First, we bring together the reactive agent paradigm with the DEVS formal specification language, coming from systems theory. DEVS enables the complete formal description of a multi-agents system (MAS), well suited for individual modelling, coupled with a differential equations system (well suited for population modelling). Secondly, we propose a framework for the integration of heterogeneous models. Our framework is mainly based on the concept of “wrapper”. It provides us a way to interoperate different models based on DEVS abstract simulators. In this context, we develop a particular XML application for the description of models and models coupling. The last point of our work concerns scale transfers modelling in natural systems. We develop a method to achieve it and illustrate this method with our prey-predator model. The construction of a mathematical model based on simulations from our MAS leads to the coupling of our MAS with a differential equations system. Then, we show that micro-level activity (individuals) has a potentially strong effect on macro-level dynamics (populations).

**Keywords:** integration, multimodelling, multiformalism, multiscale, multi-agent systems (MAS), coupling, copepod *Acartia Tonsa*.