

Sujet de thèse

Simulations multi-modèles de phénomènes complexes. Application au calcul de comportement de structures offshore

Mots clés : simulation, multi-agents, réalité virtuelle, énaction, interaction, équations non linéaires, Vortex Induced Vibrations, grands corps flottants

Le sujet que nous nous proposons d'étudier concerne la simulation, par systèmes multi-agents d'environnements naturels multi-échelles et multi-phénomènes. Par multi-phénomènes et multi-échelles on entend d'une part que plusieurs phénomènes de natures différentes sont en jeu, et d'autre part que ces phénomènes ont des dimensions spatiales et des temps caractéristiques très différents. La thèse proposée s'appuiera sur les travaux déjà effectués au CERV dans ce domaine, et en particulier sur :

- La simulation par agents **chaotique asynchrone**. Dans ce type de simulation, chaque agent contribue, à son propre rythme, au calcul de la situation globale, sans se préoccuper des actions des autres agents. Aucune synchronisation, aucun pas de temps commun, n'existe entre les agents. Ceci implique que l'action d'un agent sur le monde a un impact sur tous les agents agissant après lui. Cette méthode rompt avec l'hypothèse synchrone des méthodes d'intégration classiques, pour lesquelles l'ordre de calcul des termes d'une équation à l'intérieur d'un pas de temps n'importe pas. Sa validité mathématique a été démontrée par des travaux antérieurs menés au CERV [1].
- Les agents **réaction et interaction**, développés par le CERV dans le cadre d'applications dans le domaine de la biologie. Ces types d'agent ont la particularité de ne pas décomposer le monde en petits atomes actifs (par exemple 1 agent=1 particule d'eau, 1 personnage, 1 molécule, ...) mais en petits phénomènes élémentaires (1 agent=1 poussée d'Archimède, 1 règle de comportement, 1 réaction chimique, ...). Les agents interaction et réaction décrivent ces phénomènes par des interactions entre deux variables de l'état du monde (ces variables étant géographiquement situées dans le cas des agents interaction) [2] [3].
- Les agents **énaction** décomposent également le monde en petits phénomènes. Ces phénomènes ne sont pas représentés par des interactions entre des points prédéfinis du monde, mais par des interactions entre le monde dans son ensemble et l'agent. Les variables décrivant l'état du monde ne sont alors pas prédéfinies par le concepteur de l'application mais sont créées par les agents eux mêmes en fonction de leurs besoins [4].

Chacun de ces modèles a ses applications de prédilection. Les agents réactions, comme le laisse entendre leur nom, conviennent ainsi bien au calcul de systèmes chimiques. Les agents interactions ont eux fait leurs preuves dans le cadre d'applications en biologie [3] ou en mécanique. Enfin les agents énaction, du fait de leur mode de fonctionnement conviennent bien à la simulation de milieux homogènes peuplés de différents phénomènes connus de façon descriptive. Ils ont par exemple été utilisés avec succès pour réaliser une modélisation d'état de mer plus précise que les modèles classiquement utilisés [5].

Certaines applications toutefois ne peuvent choisir aisément entre un seul de ces modèles. La simulation de comportement de structure offshore en est un exemple :

- Du fait de la grande hétérogénéité des vitesses caractéristiques des phénomènes en jeu, un modèle chaotique asynchrone est un atout. La simulation de la mer peut se faire à une vitesse de 1 Hz. Les pas de calculs des simulations mécaniques sont eux typiquement de l'ordre de la μ s. Simuler chacun à sa fréquence de calcul permet de gagner beaucoup de temps.
- De plus des phénomènes de natures très diverses interviennent dans ce type de simulation (mécanique, hydrodynamique, thermodynamique, ...). Le fait de pouvoir programmer ces phénomènes indépendamment les uns des autres est souhaitable du point de vue « génie logiciel ».
- Les structures mécaniques, on l'a vu, se modélisent bien par agents interaction. La preuve en est que les règles de mécanique élémentaire (celles apprises au lycée) sont quasiment toujours la description de l'interaction entre deux éléments.

A contrario, l'état de la mer est bien plus efficacement représenté par un ensemble d'agents éaction. Le candidat à ce sujet de thèse est d'ailleurs le principal contributeur à l'effort du CERV et de CERVVAL pour rendre valide selon les critères océanographiques un modèle de mer par agents éaction [5].

Une simulation de comportement d'une structure offshore en interaction avec la mer nécessite donc d'intégrer à la fois ces trois modèles (réaction, interaction, éaction) au sein d'une même simulation. Cela n'est pas sans poser quelques difficultés :

- Ces modèles ne décrivent pas le monde de la même façon. Il convient pourtant de réussir à les faire travailler sur le même monde.
- Ces modèles ne fonctionnent pas aux mêmes niveaux; certains sont descriptifs, d'autres explicatifs. La mécanique donne un exemple concret : les modèles éactifs imposent directement une valeur à x , alors que les modèles interactifs agissent sur \dot{x} , dont x est l'intégrale.
- Si l'utilisation d'agents asynchrones pour la simulation de phénomènes linéaires (ie qui se traduisent par des équations différentielles du 1er ordre) a été formellement validée, il n'en est pas de même pour des équations plus complexes, tels que les oscillateurs de Van der Pol classiquement utilisés en mécanique des fluides.

L'objectif de cette thèse est de franchir ces difficultés pour proposer une architecture de simulateur permettant d'utiliser au sein d'une même simulation ces différents modèles. Plutôt que de tenter, comme cela a déjà été fait dans le passé, de trouver un modèle d'agent universel, capable de représenter tous types de phénomènes, on s'attachera ici à faire cohabiter les modèles existants.

D'un point de vu applicatif, on l'a vu, cette thèse sera appliquée dans le domaine de la simulation de comportement de structures offshore. Plus précisément à la simulation des Vortex Induced Vibrations, ou Vibrations Induites par Vortex (VIV). Les VIV sont des phénomènes qui se produisent lorsqu'une structure longiligne (câble, tuyau, corde de guitare, ...) est soumise à un courant (d'air ou de liquide). En plus de la traînée exercée par le fluide, qui amène normalement la structure à trouver un point d'équilibre en forme de chaînette, la structure subit alors une oscillation perpendiculaire à la fois à la structure et au courant. Ce phénomène est par exemple à l'origine des harpes éoliennes. Il s'agit d'un phénomène complexe à étudier, et aucun modèle ne permet actuellement sa simulation. Des études préliminaires conduites par le candidat, dans le cadre de son travail de chercheur chez CERVVAL, ont montré qu'une approche par agents éaction pourrait aboutir à un premier simulateur.

Bibliographie

- [1] Redou P., Kerdelo S., Le Gal C., Querrec G., Abgrall J.-F., Tisseau J., *Reactions agents: First mathematical validation of a Multi-agent system for dynamical biochemical kinetics*. Lecture Notes in Computer Science, volume 3808, 2005.
- [2] Kerdelo S., *Méthodes informatiques pour l'expérimentation in virtuo de la cinétique biochimique. Application à la coagulation du sang*, thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 20 janvier 2006.
- [3] Desmeulles G., *Réification des interactions pour l'expérience in virtuo de systèmes biologiques multi-modèles*, thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 11 décembre 2006
- [4] Parenthoen M., *Animation phénoménologique de la mer : une approche éactive*, thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 6 décembre 2004.
- [5] Le Gal C., Olgagnon M., Parenthoen M., Béal P.-A., Tisseau J., *Comparison of sea state statistics between a phenomenological model and field data*. Proc. Of Oceans, Aberdeen, Scotland, 2007