



**HAL**  
open science

## Contribution à la représentation multi-échelle des écosystèmes aquatiques

Pierrick Tranouez, Sylvain Lerebourg, Cyrille Bertelle, Damien Olivier

### ► To cite this version:

Pierrick Tranouez, Sylvain Lerebourg, Cyrille Bertelle, Damien Olivier. Contribution à la représentation multi-échelle des écosystèmes aquatiques. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information - Série TSI: Technique et Science Informatiques*, 2003, 22 (4), pp.255-259. hal-00436699

**HAL Id: hal-00436699**

**<https://hal.science/hal-00436699v1>**

Submitted on 9 Dec 2009

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

# Contribution à la représentation multi-échelle des écosystèmes aquatiques

**Pierrick Tranouez — Sylvain Lerebourg — Cyrille Bertelle  
Damien Olivier**

*LIH – Laboratoire d’Informatique du Havre  
25 rue Ph. Lebon – B.P. 540  
F-76058 Le Havre Cedex  
Pierrick.Tranouez@univ-lehavre.fr*

---

*RÉSUMÉ. Les écosystèmes aquatiques sont par nature des systèmes hiérarchiques ouverts, traversés par des flux énergétiques qui les structurent. L’un de ces flux est le transport de masse porté par l’écoulement du fluide. Celui-ci est le vecteur essentiel des systèmes d’interaction et en conséquence des formations émergentes qui structurent ces écosystèmes. Pour suivre l’évolution de ces derniers, il est nécessaire d’observer et de représenter les organisations se développant sur plusieurs niveaux d’échelles. Nous présentons une simulation de l’écoulement du fluide détectant dynamiquement des formations émergentes puis les gérant avec des procédés d’interaction entre les différents niveaux d’échelles.*

*ABSTRACT. Aquatic ecosystems are naturally open hierarchical systems. They are crossed by energetic fluxes that structure them. One of these fluxes is mass transport that is carried by fluid flow. This flow is the essential vector for interaction inside the system and thus one of the main contributor to emergent formations structuring these ecosystems. Furthermore, to follow ecosystem evolution, we have to observe and represent organizations that span over different scales. We present a fluid flow simulation which dynamically detect emergent formations, then manage them on different scales.*

*MOTS-CLÉS : écosystèmes aquatiques, multi-échelles, simulation, détection d’organisations*

*KEYWORDS: aquatic ecosystems, multiscale, simulation, organizations detection*

---

## 1. Introduction

Nous nous intéressons dans ce papier au problème des méthodes de représentation multi-échelles dans les écosystèmes aquatiques et en particulier dans les écoulements fluides. Nous tentons de répondre à différentes questions. Pourquoi et comment doit-on s'y intéresser ? Quelles approches peut-on rencontrer dans différentes études scientifiques ? Quels sont alors les concepts recouverts par la notion d'échelles multiples ? A quel type de constructions scientifiques aboutissent-ils et comment certains sont implémentés dans des simulations informatiques ? Nous proposons ensuite une approche de modélisation qui, en cours de simulation, détecte dynamiquement des organisations qui sont des prémisses d'une échelle supérieure émergente. Ces organisations évoluent, soit en se renforçant ou en se déstabilisant, et éventuellement se dissipent et disparaissent. Nous illustrons notre propos avec une simulation de l'écoulement d'un fluide incorporant des transferts dynamiques d'échelles.

## 2. Pourquoi changer d'échelles de représentation dans les écosystèmes ?

La notion d'écosystème a été définie par Tansley : " [la] conception la plus fondamentale est, selon moi, l'ensemble du système (...), comprenant non seulement le complexe des organismes, mais également le complexe tout entier des facteurs physiques formant ce que nous nommons l'environnement du biome (...). Ces écosystèmes, comme nous pouvons les nommer, présentent la plus grande variété de types et de tailles ".

Une approche plus récente, basée sur la systémique [FRO 98], décrit un écosystème comme un ensemble d'éléments interactifs répondant à trois principes : le principe de dépendance interactive des structures et des dynamiques des éléments constitutifs, le principe d'émergence d'une entité globale interagissant avec son environnement et le principe d'un effet de retour de cette entité sur ses composants.

Les écosystèmes sont par conséquent ce que Koestler appelle SOHO, Self- Organising Holarchic Open (systems) [KOE 69]. Une holarchie est une notion étendant celle de hiérarchie en cela qu'elle ne privilégie pas un sens de propagation de la communication. Les holons composent l'holarchie, ils sont capables d'autonomie et susceptibles de coopérer [JOR 00].

## 3. Comment changer d'échelles de représentation ?

Deux catégories de modèles se dégagent : les modèles à base de lois et les modèles à base de règles.

Les modèles à base de loi s'appuient généralement sur des formulations équationnelles différentielles. Le changement d'échelle dans cette catégorie se passe souvent par intégration/dérivation. On construit ou évalue de nouvelles fonctions d'état, éventuellement dans un autre domaine et avec des équations phénoménologiques diffé-

rentes [BOU 97]. Ces changements de description équationnelle d'un niveau d'échelle à l'autre modifie parfois de manière fondamentale les propriétés de linéarité des modèles et on peut être amené à introduire des *termes sources* "gardant la mémoire" de la petite échelle dans le modèle global. Le changement d'échelle dans ces modèles se produit alors au moment de la création du modèle et non lors de la simulation. Les fonctions d'état décrivant les différents niveaux sont calculées *a priori*.

Dans les modèles à base de règles, le domaine étudié est discrétisé en un certain nombre d'entités dont les variations sont commandées par des règles. On n'a plus là de description globale du domaine, ni de continuité *a priori*.

- Les automates cellulaires font partie de cette catégorie de modèle. Ils se prêtent bien à l'automatisation de la détection de structures [CRU 92]. Dans ces travaux, si on va jusqu'à la détection de structures, leur implémentation ou au moins une action directe de ces structures sur les éléments qui la compose, n'existe pas.

- Les simulations à base d'agents utilisés par exemple chez Marcenac [MAR 97] introduisent des niveaux micro et macro. On passe alors séquentiellement d'une résolution globale à des résolutions locales détaillées sans pour autant que ces dernières interagissent, dans leur propre processus de calcul, avec la résolution globale. D. Servat, dans son travail de thèse [SER 00] propose un modèle hydrodynamique pour le ruissellement notamment. Des individus *boules d'eau* sont capables de s'aggréger en mares ou ravines émergentes dans la simulation.

Nous proposons dans le paragraphe suivant, un modèle basé sur :

- Une décomposition du domaine par des entités virtuelles, porteuses d'informations (qu'elles contribuent à construire) ;
- Une détection *in media res* d'organisations par une approche morphologique, contrainte par des rapports de formes imposées ;
- Une réification des organisations détectées sur une base analogue à celles des entités de base. Ces nouvelles entités sont des agents capables de gérer l'interaction micro-macro ;
- Le principe de similarité comportementale entre les organisations et les entités permet une reconduction du processus d'agrégation sur les organisations elles-mêmes. On pourra ainsi envisager la gestion de nombreux niveaux d'échelles simultanées avec une approche fractale.

#### 4. Une simulation multi-échelle de l'écoulement dans les écosystèmes aquatiques

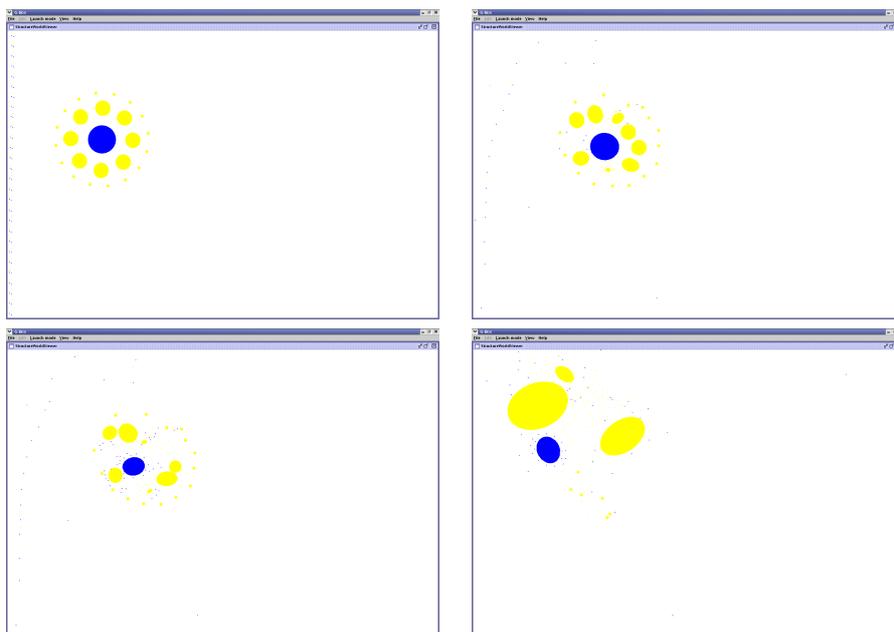
Les écoulements fluides qui régissent les courants océaniques sur l'ensemble de la planète sont la résultante d'une multitude de formations de vortex sur une large gamme d'échelles. Dans l'objectif de simuler ces formations, nous avons choisi d'utiliser un modèle particulaire, appelé encore *vortex*, dans lequel le fluide est décomposé en  $N$  particules virtuelles tourbillonnaires de position  $(\vec{X}_i)_{1 \leq i \leq N}$  chargées chacune d'un tourbillon  $\vec{\Omega}_i$  qui traduit l'aptitude des particules à tourner sur elles-mêmes. Les

interactions des particules entre elles sont définies par la formule de Biot-Savart régularisée (avec le paramètre  $\epsilon$ ) qui, dans un domaine bidimensionnel, permet d'obtenir la vitesse de la particule  $p$  [LEO 80] :

$$\vec{U}_p(\vec{X}_i, t) = \frac{1}{2\pi} \sum_{j \neq i} \vec{\Omega}_j \wedge \frac{(\vec{X}_i - \vec{X}_j)}{(\|\vec{X}_i - \vec{X}_j\|^4 + \epsilon^4)^{1/2}} \quad [1]$$

Les structures cohérentes que nous recherchons sont des clusters de particules voisines possédant des propriétés similaires : même signe de rotationnel par exemple. Ils sont alors détectés à l'aide de l'arbre de recouvrement de poids minimal d'une triangulation de Delaunay.

Les structures détectées sont ensuite réintroduites dans la simulation sous forme d'agents, en lieu et place des particules qu'elles représentent. Nous gérons alors leurs évolutions dues aux interactions qu'elles ont à la fois avec les autres structures mais aussi avec les particules. Ainsi par exemple, des structures voisines de même rotation se renforcent et de rotation opposée se déstabilisent. Nous utilisons pour cela un modèle d'éco-résolution représenté par un automate à multiplicités [BER 01].



**Figure 1.** Evolution d'un anneau de structures

Une implémentation d'une simulation basée sur les principes présentés précédemment a été effectuée en Java par S. Lerebourg [BER 02]. La figure 1 montre l'évolution

d'un anneau de structures fluides de rotationnels positifs autour d'une structure de rotationnel négatif.

## 5. Conclusion et perspectives

Nous proposons une méthodologie multi-échelle de gestion de structures auto-organisées dans un écoulement fluide. Les modèles d'interactions mis en œuvre sont suffisamment génériques pour pouvoir être réutilisés lorsque ces organisations sont d'une autre nature dans des écosystèmes aquatiques (obstacles, sédiments, bactéries, ...). Nous disposons ainsi de modèles capables de gérer l'interaction complète entre le fluide et ces organisations (action du fluide sur l'organisation et réciproquement).

## 6. Bibliographie

- [BER 01] BERTELLE C., FLOURET M., JAY V., OLIVIER D., PONTY J.-L., « Automata with multiplicities as behaviour model in multi-agent simulations », *SCI'2001*, Orlando (USA), 22-25th July 2001.
- [BER 02] BERTELLE C., JAY V., LEREBOURG S., OLIVIER D., TRANOUEZ P., « Dynamic clustering for auto-organized structures in complex fluid flows », *ESS 2002 Conf.*, Dresden (Germany), October 2002.
- [BOU 97] BOURGEAT A., « Quelques problèmes de changement d'échelle pour la modélisation des écoulements souterrains complexes », BLASCO F., Ed., *Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement*, Elsevier, 1997, p. 207-213.
- [CRU 92] CRUTCHFIELD J., « Discovering Coherent Structures in Nonlinear Spatial Systems », BRANDT A., RAMBERG S., SHLESINGER M., Eds., *Nonlinear Dynamics of Ocean Waves*, Singapore, 1992, World Scientific, p. 190-216.
- [FRO 98] FRONTIER S., PICHET-VIALE D., *Ecosystèmes*, Dunod, 1998.
- [JOR 00] JORGENSEN S., MÜLLER F., *Handbook of Ecosystems Theories and Management*, Lewis Publishers, 2000.
- [KOE 69] KOESTLER A., SMYTHIES J., *Beyond Reductionism*, Hutchinson, 1969.
- [LEO 80] LEONARD A., « Vortex methods for flow simulation », *Journal of Computational Physics*, vol. 37, 1980, p. 289-335.
- [MAR 97] MARCENAC P., « Modélisation de Systèmes Complexes par Agents », *Techniques et Sciences Informatiques*, , 1997.
- [SER 00] SERVAT D., « Modélisation de dynamique de flux par agents », Thèse d'université, Paris 6, 2000.