



## Plateforme DEVS multicomposant dédiée à la gestion des pêcheries

Eric Innocenti, Paul-Antoine Bisgambiglia, Dominique Urbani

► **To cite this version:**

Eric Innocenti, Paul-Antoine Bisgambiglia, Dominique Urbani. Plateforme DEVS multicomposant dédiée à la gestion des pêcheries. Paul-Antoine Bisgambiglia; Gauthier Quesnel; Raphaël Duboz. Les journées DEVS francophones : Théorie et Applications / Workshop RED 2016, Apr 2016, Cargèse, France. Cépadués, 2016, Les journées DEVS francophones : Théorie et Applications <<http://www.reseau-devs.org/jdf-2016>>. <hal-01322636>

**HAL Id: hal-01322636**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01322636>**

Submitted on 27 May 2016

**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.

# DEVS multicomponent framework for fisheries management

## Plateforme DEVS multicomposant dédiée à la gestion des pêcheries

Eric INNOCENTI<sup>1</sup>

Paul-Antoine BISGAMBIGLIA<sup>2</sup>

Dominique URBANI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> eric.inocenti@univ-corse.fr

<sup>2</sup> pa.bisgambiglia@univ-corse.fr

<sup>2</sup> durbani@laposte.net

Université de Corse Pasquale Paoli, UMR CNRS 6134, France

### Résumé :

Les modèles de pêcheries sont des outils informatiques qui permettent de modéliser et de simuler efficacement la dynamique de la biomasse d'un stock de poissons. Nous proposons dans ce papier un modèle de pêcherie, capable d'intégrer les problématiques économiques des pêcheries. Nous définissons pour cela une structure multicomposant et son simulateur. Notre travail est fondé sur le formalisme DEVS/DTSS multicomposant pour les modèles à temps discret. L'approche multicomposant permet de simuler la dynamique spatiale d'une pêcherie. De part l'emploi des paradigmes multi-agents et DEVS/DTSS notre modèle constitue indéniablement un outil novateur et efficace que nous implémenterons ultérieurement dans un progiciel dédié à l'expérimentation des politiques de pêche.

### Mots-clés :

Modèle de pêcherie, DEVS/DTSS, multicomposant.

### Abstract:

Fisheries models are computer tools that are used to efficiently describe and simulate the biomass dynamics of fish stock. We propose in this paper a fishery model. We define a multicomponent structure and its simulation algorithm. Our work is based on the DEVS/DTSS multicomponent formalism for discrete event systems. The multicomponent object model implemented allows to simulate the spatial behavior of a fishery. This model is undeniably an innovative and effective tool that we will integrate in a software dedicated to the experimentation of fisheries policies.

### Keywords:

Fishery model, DEVS/DTSS, multicomponent.

## 1 Introduction

En Corse, comme dans le monde, à cause de la surexploitation des ressources naturelles de poissons, l'industrie de la pêche est menacée par l'extinction de la ressource. Pour apporter des solutions à cette problématique, la recherche développe des outils logiciels dédiés à la simulation des politiques de pêche

intégrant les caractéristiques économiques et géographiques propres aux lieux considérées. Les difficultés rencontrées proviennent en partie du fait que ces travaux impliquent des compétences interdisciplinaires (économie, biologie, informatique) et leur intégration à des modèles à temps discret. La méthode de conceptualisation DEVS/DTSS employée ici, est donc d'autant plus importante, que ce travail constitue la première étape d'une collaboration scientifique entre économistes, écologues et informaticiens. Elle aboutit à une plateforme DEVS logicielle intégrant les concepts, les méthodes et les outils nécessaires à cette démarche interdisciplinaire.

Nous présentons dans ce papier, les fondements conceptuels de cet outil de simulation en cours de développement. Celui-ci permettra d'intégrer les interdépendances complexes qui existent entre les nombreux composants des modèles de pêcherie.

Nous abordons l'approche biologique depuis les modèles de pêche globaux proposés initialement par Gordon et Schaefer (modèles de stock) [17, 12]. En effet, en accord avec la littérature, nous considérons que ces derniers sont suffisamment fiables pour être intégrés à notre outil informatique. Praehofer et Zeigler ont proposé une méthode de modélisation et de simulation qui permet de gérer des modèles de simulation à événements discrets et à temps discret [14, 20]. Cette méthode reposant sur le formalisme DEVS (Discrete Event system Specification) et sur le formalisme DTSS (Discrete

Time System Specification), permet de communiquer entre experts et d'effectuer un travail de conceptualisation efficace, préalable à ce travail informatique [4]. Nous présentons dans cet article la formalisation d'un modèle *mcaDTSS* multicomposant de pêcherie et son simulateur pour simuler et évaluer des politiques durables de pêche. L'ensemble doit permettre de simuler des scénarii, d'examiner et de comparer des politiques de quotas de pêches. Nous mettons en évidence les bénéfices apportés par notre approche à la mise au point des composants informatiques. Ce papier est organisé comme suit : dans la deuxième partie, nous présentons les éléments conceptuels qui fondent notre approche de modélisation. Dans la troisième partie, nous détaillons le modèle *mcaDTSS* multicomposant. Dans la quatrième partie, nous présentons les algorithmes de la simulation. La cinquième partie est la formulation objet du modèle proposé. Enfin, nous concluons et nous présentons les perspectives futures de recherche dans une sixième et dernière partie.

## 2 Concepts

### 2.1 Les modèles globaux

Les modèles de pêcherie performants développés jusqu'à présent par les chercheurs sont complexes, dans le sens où ils nécessitent de multiples composants en interaction, à différentes échelles. Le comportement global ne peut pas être simplement déduit du seul comportement des composants pris isolément [11]. Les modèles de pêcherie qui se basent sur les *modèles globaux* ou *SPM* (Surplus-Production Models) expriment à l'aide d'une fonction de production  $F$  l'évolution de la biomasse sans nécessiter de grandes quantités de données (les données expérimentales sont rares dans le domaine) [7, 18]. Ces modèles sont également utilisés pour déterminer le rendement maximal durable ou *MSY* (Maximum Sustainable Yield), c'est-à-dire l'effort de production maximum qui peut être supporté par une zone de pêche, sans compromettre sa viabilité à

long terme. La dynamique de la biomasse étant encore mal comprise, les résultats obtenus avec ces modèles holistes sont encore aujourd'hui les meilleurs. Leur grande simplicité et le peu de données nécessaires à leur initialisation sont des raisons qui expliquent qu'encore aujourd'hui ils soient très utilisés pour évaluer les stocks de poissons.

### 2.2 Les modèles bio-économiques des pêcheries

Les *modèles bio-économiques (BEM)* sont un moyen efficace d'expérimenter des politiques de gestion de pêcheries sur un espace [15]. Ils regroupent l'analyse biologique de la dynamique des stocks (*SPM*) et l'analyse économique de l'utilisation des ressources qui sont disponibles (effort de pêche). Ils sont donc des outils pour simuler la dynamique d'un stock de poissons, prenant en compte les facteurs de crises à la fois biologiques et économiques. Les *BEM* se sont développés depuis les travaux de Gordon et Schaefer (1950) [17]. Ces dernières années, un effort important a été mené par la communauté scientifique pour tenter de proposer des frameworks de modélisation bio-économiques dédiés à ces modèles complexes de pêcheries [9, 2]. Les *BEM* sont constitués de composants décrivant l'aspect biologique et l'aspect économique du système réel. Cependant, ces modèles sont extrêmement difficiles à implémenter, surtout lorsqu'ils intègrent des considérations spatiales qui impliquent de nombreux composants en interactions, de multiples relations et la coordination de composants à base de temps à événements discrets et à temps discret [16]. Nous proposons d'utiliser des composants de type *modèles cellulaires* pour décrire informatiquement l'aspect spatial du comportement.

### 2.3 Les modèles cellulaires

Les *modèles cellulaires (CAM)* sont une spécialisation des *automates cellulaires (CA)*. Ils permettent d'étendre les fonctionnalités du

modèle générique de l'automate de base. Des modifications ont été entreprises et concernent aussi bien les éléments structurels (grille, voisinage, etc.), que les éléments fonctionnels (nombre et nature des fonctions de transition, synchronisme, etc.). Les *CAM* permettent ainsi l'analyse de résultats à travers des motifs émergents issus d'un ensemble d'interactions individuelles de composants (multicomposant). Aux modèles cellulaires, nous proposons d'associer des Systèmes Multi-Agent pour décrire les comportements économiques.

## 2.4 Les modèles multi-agents

Les *modèles à base d'agents* ou *Systèmes Multi-Agents (SMA)* permettent de modéliser et simuler des systèmes complexes composés d'acteurs en interaction. Ils permettent de mettre en évidence des phénomènes qui résultent à la fois de la somme de comportements individuels, mais aussi d'interactions entre entités autonomes (les agents) [6]. Le paradigme d'agent a déjà été utilisé dans de nombreux travaux de modélisation qui ont été validés par la comparaison de résultats de simulations, avec des données collectées sur le terrain. Cette approche appliquée aux pêcheries nécessite la description de trois catégories de composants : les *agents*, les *stratégies comportementales* et l'*environnement*. Les agents agissent et modifient l'environnement par leurs actions. Le contexte de chaque agent est lié à sa perception de l'environnement. Le modèle multi-agents impose de modéliser les actions et les interactions locales avec l'espace car le phénomène considéré est de nature spatiale, et se produit à travers des composants en interaction spatiale. Dans ce travail, l'utilisation des agents doit permettre d'explicitier de manière précise les contraintes économiques à un niveau individuel.

## 2.5 Formalisation des modèles

La théorie des systèmes et la théorie de la modélisation et de la simulation (M&S) mettent

à notre disposition des outils conceptuels permettant de modéliser les pêcheries. Ces théories fournissent des méthodes, des formalismes, des algorithmes, et des techniques pour modéliser et simuler les systèmes complexes.

**Formalisme de spécification DEVS.** Le formalisme *DEVS* (*Discrete Event system Specification*) est un formalisme modulaire et hiérarchique pour la modélisation, la simulation et l'analyse de systèmes dynamiques complexes [20]. Un modèle *DEVS* permet l'expression de modèles informatiques qui peuvent être à temps discrets, à événements discrets, ou encore à temps continus, comme ceux décrits par des équations différentielles. De nombreux travaux de la communauté *DEVS* ont montré la grande capacité d'intégration des composants de modélisation décrits avec ce formalisme, pour spécifier tout ou partie des modèles cellulaires [8]. De plus, à travers ses déclinaisons et ses développements le formalisme *DEVS* a permis de facilement décrire et modéliser de nombreux types de systèmes et de dynamiques (Cell-*DEVS*[19], Fuzzy-*DEVS*[10], Dyn*DEVS*[1] etc.). Les modèles *DEVS* étant indépendants de leur implémentation et des moteurs de simulation, l'emploi de *DEVS* facilite la réutilisation et l'échange des travaux. En construisant des modèles conformes au formalisme *DEVS*, il devient possible d'intégrer et de gérer un grand nombre de composants en interaction (agents, cellules), quelle que soit la configuration virtuelle envisagée [13]. Les objets *DEVS* garantissent la modularité, la généralité, la ré-utilisabilité. Le formalisme *DEVS* fournit également des algorithmes de simulation à événements discrets adaptés aux concepts informatiques objets. Un modèle *DEVS* est une structure :

$$DEVS = (X, Y, S, \delta_{ext}, \delta_{int}, \lambda, ta) \quad (1)$$

où :

- $X$  est l'ensemble des valeurs en entrée,
- $Y$  est l'ensemble des valeurs en sortie,
- $S$  est l'ensemble des états séquentiels,

- $Q = \{(s, e) | s \in S, 0 = e = ta(s)\}$  est l'ensemble d'états total,
- $\delta_{ext} : Q \times X \rightarrow S$  est la fonction de transition d'état externe,
- $\delta_{int} : S \rightarrow S$  est la fonction de transition d'état interne,
- $\lambda : S \rightarrow Y$  est la fonction de sortie.
- $ta : S \rightarrow R_0^+ \cup \infty$  est la fonction d'avancement du temps.

Les modèles *DEVS* ainsi spécifiés sont des modèles qualifiés d'"atomiques", c'est-à-dire qu'ils peuvent être composés pour former une construction hiérarchique de modèles, appelée "modèles *DEVS couplés*". Dans [20], B.P. Zeigler a formalisé ce couplage modulaire. Il nécessite la mise en place de connexions entre modèles et sous-modèles via des *ports*. Par conséquent, les modèles *DEVS-couplés* sont difficiles à mettre en oeuvre et peu efficaces lorsque les composants sont très nombreux. C'est notamment le cas quand les modèles possèdent des espaces discrets et utilisent des formalismes proches des automates cellulaires.

**Formalisme de spécification DTSS.** Nous utilisons l'extension *DTSS* du formalisme *DEVS* pour décrire le niveau global de notre démarche de modélisation. Un modèle à temps discret est une structure :

$$DTSS = (X, Y, Q, \delta, \lambda, c) \quad (2)$$

où :

- $X$  est l'ensemble des valeurs en entrée,
- $Y$  est l'ensemble des valeurs en sortie,
- $Q$  est l'ensemble des valeurs des états,
- $\delta : Q \times X \rightarrow Q$  est la fonction de transition d'état,
- $\lambda : Q \rightarrow Y$  (*type Moore*) est la fonction de sortie.
- $c$  est la constante utilisée pour spécifier la base de temps  $c \bullet \tau$ .

L'utilisation de ce formalisme nous permet de spécifier l'intégration des nombreux composants oeuvrant sur une base de temps discrète. Nous exprimons les comportements locaux à l'aide d'un modèle *Multicomposant*.

**Spécification Système Multicomposant.** B.P. Zeigler a proposé la *Spécification Système Multicomposant* pour décrire des composants en interaction dans un système multi-échelle de type *CAM*. Dans un *multicomposant*, le modèle est structuré en un ensemble de composants interagissant. Un modèle *multicomposant* est une structure :

$$MC = \langle T, X, \Omega, Y, D, \{M_d\} \rangle \quad (3)$$

où :

- $T$  est la base de temps,
- $X$  est l'ensemble des valeurs en entrée,
- $Y$  est l'ensemble des valeurs en sortie,
- $\Omega$  est l'ensemble des valeurs admissibles telles que  $\Omega \subset (X, T)$ ,
- $D$  est l'ensemble des références de composants.

Pour chaque composant  $d \in D$  :

$$M_d = \langle Q_d, E_d, I_d, \Delta_d, \Lambda_d \rangle \quad (4)$$

avec :

- $Q_d$  est l'ensemble des états du composant  $d$ ,
- $I_d \subset D$  est l'ensemble des composants influençant  $d$ , ses influençants,
- $E_d \subset D$  est l'ensemble des composants influencés par  $d$ , ses influencés,
- $\Delta_d : \times_{i \in I_d} Q_i \times \Omega \rightarrow \times_{j \in E_d} Q_j$  est la fonction de transition d'état de  $d$ ,
- $\Lambda_d : \times_{i \in I_d} Q_i \times \Omega \rightarrow Y$  est la fonction de sortie de  $d$ ,

Chaque composant  $d$  possède son propre ensemble d'états  $Q_d$  et contribue aux transitions et aux sorties globales du modèle depuis la fonction de transition d'état locale,  $\Delta_d$ , et la fonction de sortie locale,  $\Lambda_d$ . Chaque composant possède un ensemble d'influencants,  $I_d$ , les composants l'influençant, et un ensemble d'influencés,  $E_d$ , qui sont les composants qu'il influence. La fonction de transition  $\Delta_d$  utilise les états des influençants  $I_d$  afin de calculer le nouvel état du composant. Celui-ci pourra être utilisé par les influencés  $E_d$ . La fonction de sortie locale  $\Lambda_d$  utilise les états des influençants  $I_d$  et calcule la contribution globale du composant à l'état du modèle. Bien qu'un

nombre important de publications qui traitent des *BEM* existent, seule une faible proportion apporte une contribution dans le domaine des pêcheries en se fondant sur le formalisme *DEVs* ou son extension *DTSS* pour les *multicomposants*. Les travaux existant sur les pêcheries ont été conduits en utilisant des formalismes et des implémentations très différentes. Cela rend leur réutilisation et leur interopérabilité très difficile. Nous présentons dans cet article notre portage d'un modèle multicomposant de pêcheries *mcaDTSS* dans une plateforme de simulation *DEVs/DTSS* multicomposant. Celle-ci sera capable de coordonner des composants à temps discrets et à évènements discret selon une approche multi-échelle et multicomposant.

**Formalisme multicomposant DTSS.** Quand on utilise des *CAM*, les influençants  $I_d$  d'un *multicomposant* correspondent au voisinage  $N$ . Un modèle *multicomposant* à temps discret de type *CAM* est donc une structure :

$$\text{multiDTSS} = \langle X_N, D, \{M_d\}, h_N \rangle \quad (5)$$

avec :

- $X_N$  est l'ensemble des valeurs en entrée,
  - $h_N$  est l'intervalle de temps considéré,
  - $D$  est l'ensemble des index des composants.
- Pour chaque  $d \subset D$ , le composant  $M_d$  est spécifié tel que :

$$M_d = \langle Q_d, Y_d, I_d, \delta_d, \lambda_d \rangle \quad (6)$$

où :

- $Q_d$  est l'ensemble des états de  $d$ ,
- $Y_d$  est l'ensemble des sorties de  $d$ ,
- $I_d \in D$  est l'ensemble des influençants de  $d$  (voisinage  $N$ ),
- $\delta_d : \times_{i \in I_d} Q_i \times X$  est la fonction de transition d'état de  $d$ ,
- $\lambda_d : \times_{i \in I_d} Q_i \times Y_d$  est la fonction de sortie locale de  $d$ .

L'ensemble des influencés  $E_d$  de  $d$  des modèles *multicomposants* est ici défini implicitement tel que  $E_d = \{d\}$  possédant  $d$  comme unique élément.

### 3 Modélisation multiDTSS d'une pêcherie

#### 3.1 Aspects biologiques

L'aspect biologique est souvent implémenté sous la forme d'une équation décrivant l'évolution de la biomasse en tenant compte de la mortalité. L'équation fondamentale de ce type de modèles est la suivante :

$$dB_t/dt = F(B_t) - h(t) \quad (7)$$

où,  $B_t$  est l'expression de la population de poissons (biomasse).  $F(B_t)$  décrit la dynamique de la biomasse. La dynamique de la biomasse des poissons dans les modèles est souvent inspirée de l'équation logistique de Verhulst, publiée en 1838 :

$$F(B_t) = r \cdot B_t \cdot (1 - (B_t/K)) \quad (8)$$

où,  $r$  représente le facteur de croissance intrinsèque,  $B_t$  représente le stock de biomasse à l'instant  $t$  et  $K$  est la capacité de charge, ou le maximum du stock de biomasse que l'environnement peut supporter.  $h(t)$  décrit la mortalité due à l'exploitation de la ressource (on utilise aussi le terme d'effort). L'équilibre durable est atteint quand la dynamique des poissons est égale à l'effort de pêche, c'est-à-dire quand :

$$dB_t/dt = 0 \Leftrightarrow F(B_t) = h(t) \quad (9)$$

Dans ce cas, nous avons atteint l'exploitation durable du stock de poissons, et l'on peut écrire que  $F(B_t) = F_{MSY}$ . Ici la pêcherie a un effet stimulant sur la biomasse si l'effort de pêche  $h_t$  laisse suffisamment de temps pour que la biomasse se renouvelle et que la pêche n'est pas excessive. Quand l'exploitation de la population de poissons ne compense pas l'effet de mortalité, le stock diminue.

### 3.2 Aspects économiques

Les modèles bio-économiques doivent intégrer les éléments d'économie de la pêche et la notion de profits des pêcheurs dans l'effort de pêche sous la forme d'une fonction  $h(t)$  décrivant la politique de pêche [3]. Il est généralement admis que  $h(t)$  est proportionnelle à la biomasse et à l'effort d'extraction, par exemple :

$$h(t) = q.e.B(t) \quad (10)$$

où  $e$  représente l'effort de pêche,  $q$  est un paramètre constant qui représente habituellement le coefficient de prise. L'effort de pêche  $e$  est un index relatif au nombre de bateaux impliqués dans l'activité de pêche.

### 3.3 Spatialisation du modèle

La modélisation spatiale d'une pêcherie nécessite d'intégrer, en plus des aspects bio-économiques présentés précédemment, l'effet de l'espace sur les stocks [5]. Pour cela, nous utilisons un CAM de type *mcDTSS multicomposant*. Celui-ci est capable de reproduire au niveau des cellules les comportements locaux des stocks de poissons et les migrations spatiales observées à grande échelle. Dans le modèle que nous proposons, l'évolution dans le temps n'est donc plus réduite à la seule règle locale  $F(B_i)$  qui définit le stock et les prélèvements  $h(t)$ , comme dans les modèles standards, mais intègre également les flux migratoires  $O(t)$  et  $I(t)$ . Nous exploitons ainsi à maxima les potentialités qu'offrent les modèles de stock en les étendant aux *modèles cellulaires* capables d'interactions spatiales multiples. L'évolution de la biomasse dans chacune des cellule  $i$  du CAM est calculée à partir du SPM décrit dans la section précédente, auquel on ajoute l'effet de migration entre stocks voisins. Chaque composant du CAM est envisagé comme un stock. En tenant compte de l'effet d'exploitation des cellules  $i$  soumises à l'effort de pêche  $h_{i,k}$  d'un agent  $k$  et du voisinage  $N = j_1, j_2, \dots, j_N$  de chaque cellule  $i$  de l'espace, l'équation logistique complète que

nous utilisons est donnée par :

$$B_i^{t+1} = B_i^t + F(B_i^t) + H(t) + O(t) - I(t) \quad (11)$$

où,  $H(t) = \sum_{k=1}^m h_{ik}(t)$  représente l'effort de pêche. Celui-ci décrit les éléments économiques qui entrent en compte dans le comportement de l'action de pêche. Elle est modélisée par un agent (pêcheur) de l'espace sur la cellule  $i$  ;

$O(t) = \sum_{n=1}^N O_{i \rightarrow j}, j \neq i$  représente la quantité  $O$  sortante de biomasse qui migre de la cellule courante  $i$  vers les cellules voisines  $j$  (biomasse sortante) ;

$I(t) = \sum_{n=1}^N I_{j \rightarrow i}, j \neq i$  représente la quantité  $I$  entrante de biomasse qui migre depuis les cellules voisines  $j$  vers la cellule courante  $i$  (biomasse entrante) ;

Le seuil de mouvement  $\sigma$  entre deux cellules adjacentes est supposé constant tel que :  $\frac{K}{2} \leq \sigma \leq K$  et la quantité de biomasse en mouvement  $k$  est telle que  $0 < k \leq \frac{(K-B_i^t)}{N}$ . Si  $(K - B_i^t) \cdot (\frac{B_i^t}{K}) > 0$  alors  $I_{i \rightarrow j} = k$  sinon si  $(K - B_i^t) = 0$  alors  $I_{i \rightarrow j} = 0$ . Si  $(B_i^t > \sigma)$  alors  $O_{i \rightarrow j} = k$  sinon si  $(B_i^t \leq \sigma)$  alors  $O_{i \rightarrow j} = 0$ .

### 3.4 Formulation multicomposant mcaDTSS

Nous avons vu que la mise en oeuvre de ce modèle, nécessite d'étendre les approches conventionnelles de modélisations spatiales, à base de modèles cellulaires, à celles qui intègrent les notions d'agents. La *spécification multicomposant* est une expression non modulaire des modèles DEVS couplés classiques, où les composants (c'est-à-dire les sous-modèles) peuvent s'influencer directement entre eux, à travers leurs fonctions de transition. Dans ce travail, nous étendons l'approche *multicomposant DTSS* proposé par B.P. Zeigler, au couplage de composants de type agent (*MAS/CA-Models*). Nous nous inspirons pour cela de la spécification système *DTSS multicomposant* afin de proposer une dynamique spatiale de composants simple, flexible et intuitive à

base d'agents. Le modèle *mcaDTSS* proposé ici constitue le coeur de notre plateforme de simulation. Formellement, un modèle *mcaDTSS* est une structure :

(12)

où  $X_N$  représentent l'ensemble des valeurs en entrée;  $D$  est l'ensemble des références de composants à temps discret (cellules);  $A$  est l'ensemble des références des composants à événements discrets (agents);  $h_N$  est l'intervalle de temps de la base de temps discrète;  $ech_a$  est l'échéancier des événements associés à  $A$  survenant dans la base de temps discrète.

Pour chaque composant  $d \in D$ ,

$$M_d = \langle S_d, I_d, E_d, \delta_d, \lambda_d \rangle \quad (13)$$

où  $S_d$  est l'ensemble des états séquentiels de  $d$ ;  $I_d \subset D$  est l'ensemble des composants influençant;  $E_d \subset D$  est l'ensemble des composants influencés;  $\delta_d$  est la fonction de transition d'état interne,  $\lambda_d$  la fonction de sortie;

Pour chaque composant  $a \in A$ ,

$$M_a = \langle S_a, I_a, E_a, \delta_a, \lambda_a \rangle \quad (14)$$

où  $S_a$  est l'ensemble des états de  $a$ ;  $I_a \subset A$  est l'ensemble des composants influençant;  $E_a \subset A$  est l'ensemble des composants influencés par  $a$ ;  $\delta_a$  est la fonction de transition d'état interne,  $\lambda_a$  la fonction de sortie;

## 4 Simulateur *mcaDTSS*

Dans ce travail, afin d'introduire le comportement des agents, nous avons spécialisé le simulateur *mcDTSS* décrit dans [20] faisant évoluer dans le temps le multicomposant.

### 4.1 Simulation *mcaDTSS*

Un multicomposant *mcDTSS* classique fonctionne de la manière suivante : les événements internes sont programmés individuellement pour chaque composant  $d \subset D$  à chaque intervalle de temps  $h_N$ . Quand un événement se produit dans un des composants, la fonction de

transition d'état  $\delta_d$  est exécutée. Il est important de souligner ici que la fonction de transition se fonde sur l'ensemble des états  $q_i$  des composants influençant  $I_d$  et participe au changement d'état  $q_j$  des composants influencés  $E_d$ .

### 4.2 Intégration des agents

Dans le multicomposant *mcaDTSS* que nous proposons, les agents sont ajoutés et indexés dans un sous-ensemble  $A$ . Le comportement de pêche des agents est déclenché par les événements provenant de l'échéancier  $ech_a$ . Ce comportement est décrit dans la fonction de transition  $\delta_a$  du composant. Les déplacements des agents sont programmés pour chaque agent  $a \subset A$  dans  $\delta_a$ . Pour cela, chaque agent possède un objectif de pêche qui dépend de l'expression de l'effort de pêche  $h(t)$ . Quand un agent est positionné sur un espace ouvert à la pêche (cellule), il procède au prélèvement d'une partie de la biomasse. Tant que l'objectif de pêche n'est pas atteint, il programme un nouvel effort de pêche (un nouvel événement est programmé dans l'échéancier). Quand une cellule de l'espace n'est plus en capacité de fournir la biomasse permettant d'atteindre l'objectif de pêche, l'agent se déplace de nouveau sur l'espace cellulaire. Quand l'objectif de pêche est atteint l'agent rentre au port (il n'est plus programmé dans l'échéancier).

### 4.3 Algorithme *mcaDTSS* de la simulation

Le noyau du simulateur possède un échéancier  $ech_A$  en charge de la gestion des événements attachés au comportement des agents. Ceux-ci activent les agents à des instants précis du temps discret. Une *horloge centrale* garantit le temps du système de simulation, qui correspond à l'heure d'activation de l'événement courant. Dans l'échéancier en charge du comportement des agents, les événements sont insérés dans une file d'attente avec priorité, qui dépend de la valeur de l'horloge centrale. La figure 1 illustre la partie en charge de l'intégration du comportement des agents dans la boucle principale du



simulateur *mcaDTSS*. Grâce à cet algorithme,

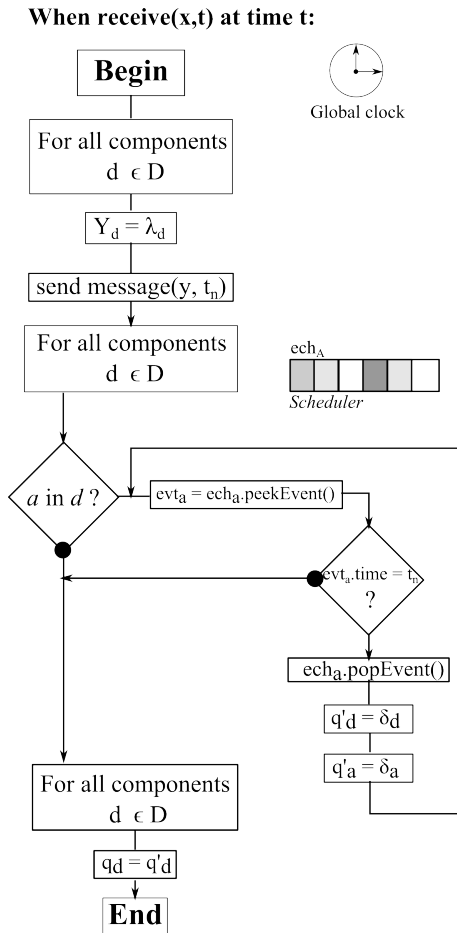


Figure 1 – Algorithme du simulateur *mcaDTSS*

le comportement des agents suit une trajectoire d'événements dans le temps discret. Les transitions d'état  $\delta_a$  peuvent engendrer de nouveaux événements qui sont insérés dans l'échéancier  $ech_A$ .

## 5 Implémentation

### 5.1 Implémentation objet

Les concepts objets garantissent la modularité, la généricité et la ré-utilisabilité du framework développé. Les principaux objets que nous avons implémentés ainsi que leurs interconnexions sont présentés sur la figure 2. Dans l'approche *mcaDTSS*, le *multicomposant* est considéré comme un agent global qui a la connaissance de tous les composants (agent

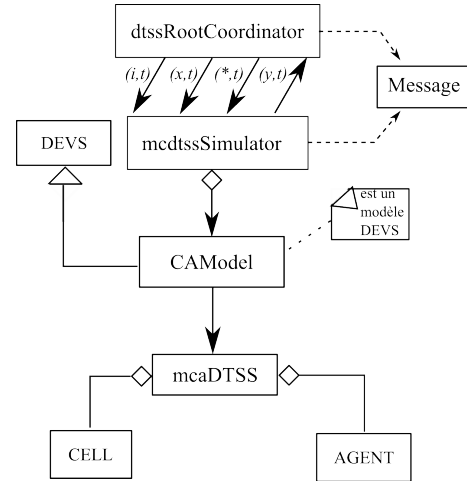


Figure 2 – Les principaux objets du framework.

et cellules). Il est ainsi capable de mettre en mouvement une collection dynamique d'objets dotés d'attributs.

### 5.2 Mise en oeuvre

Une interface logicielle graphique a été développée afin de simplifier le paramétrage du multicomposant via une interface graphique utilisateur. Le programme principal est chargé

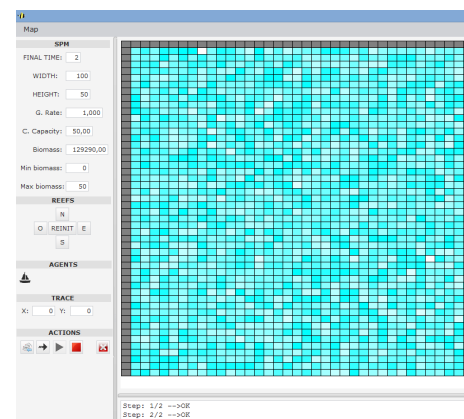


Figure 3 – L'interface graphique de paramétrage et de visualisation.

d'initialiser la simulation en instanciant la carte initiale de la simulation (espace cellulaire) et en créant les premiers événements des agents. Après chaque expérience de simulation, nous

procédons aux comptages statistiques et à l’affichage des résultats.

## 6 Conclusion et perspectives de recherche

Nous avons proposé un modèle multicomposant (*mcaDTSS*) de pêche bio-économique et son simulateur *DEVS/DTSS* afin de modéliser et de simuler des politiques de pêche. Ce type de modèle permet d’intégrer les problématiques économiques des pêcheries, en utilisant la notion d’agent et le formalisme *DEVS/DTSS multicomposant* pour les modèles à temps et événements discrets. Les concepts présentés soulignent la capacité de notre modèle à répondre aux problématiques du domaine. Ce travail évoluera vers la mise au point d’un outil logiciel d’aide à la décision dédié à l’évaluation de l’impact des politiques de pêche locales (quotas, réserves, subventions, etc.). Dans nos prochains travaux, nous consacrerons également une partie de nos efforts à l’optimisation des temps d’exécution. Nous intégrerons notamment les techniques du calcul parallèle et distribué, afin de simuler des espaces à grande échelle.

## Références

- [1] Fernando J Barros. Modeling formalisms for dynamic structure systems. *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS)*, 7(4) :501–515, 1997.
- [2] H. Bartelings, K.G. Hamon, J. Berkenhagen, and F.C. Buisman. Bio-economic modelling for marine spatial planning application in north sea shrimp and flatfish fisheries. *Environmental Modelling Software*, 74 :156 – 172, 2015.
- [3] C. B, L. Doyen, and D. Gabay. A viability analysis for a bio-economic model. *Ecological Economics*, 36(3) :385 – 396, 2001.
- [4] Ju-Hwan Cha and Myung-II Roh. Combined discrete event and discrete time simulation framework and its application to the block erection process in shipbuilding. *Advances in Engineering Software*, 41(4) :656 – 665, 2010.
- [5] Arne Eide. A bioeconomic {MPA} study based on cellular automata population growth and distribution. *Fisheries Research*, 113(1) :118 – 132, 2012.
- [6] Jacques Ferber. *Les systemes multi-agents. Vers une intelligence collective*. InterEditions, Paris, 1995.
- [7] M. Graham. Modern theory of exploiting a fishery, an application to north sea trawling. *Journal de Conseil International pour l’Exploration de la Mer*, 10 :264–274, 1935.
- [8] Eric Innocenti, Paul-Antoine Bisgambiglia, and Dominique Urbani. Activity-based discrete event simulation of spatial production systems : Application to fisheries. In Bernard Grabot, Bruno Vallespir, Samuel Gomes, Abdelaziz Bouras, and Dimitris Kiritsis, editors, *Advances in Production Management Systems. Innovative and Knowledge-Based Production Management in a Global-Local World*, volume 440 of *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, pages 240–247. Springer Berlin Heidelberg, 2014.
- [9] Matthew C. Ives and James P. Scandol. Biomass : A bio-economic modelling and assessment system for fisheries management strategy evaluation. *Ecological Modelling*, 249 :42 – 49, 2013. Modelling for decision making in ecological systems.
- [10] Yi Wan Kwon, H Park, S Jung, and Tag Gon Kim. Fuzzy-devs formalism : concepts, realization and applications. Citeseer.
- [11] Stéphanie Mahévas and Sigrid Lehuta. Illustration de la mise en oeuvre d’une analyse de sensibilité d’un modèle de gestion des pêches. In R.Faivre, B.Loos, S. Mahévas, D.Makowski, and éd. H. Monod, editors, *Analyses de sensibilité et*

- exploration de modèles. Application aux sciences de la nature et de l'environnement*, volume 1 of *Collection Savoir-faire*, pages 213–231. Editions Quae, 2013.
- [12] Gordon R. Munro. The optimal management of transboundary renewable resources. *The Canadian Journal of Economics / Revue canadienne d'Economie*, 12(3) :355–376, 1979.
- [13] A. Muzy, D. Prunetti, and E. Innocenti. Design of a simulation-based tool for the creation of marine reserves. In *Environment Identities and Mediterranean Area, 2006. ISEIMA '06. First international Symposium on*, pages 296–301, July 2006.
- [14] H Praehofer. *System theoretic foundations for combined discrete-continuous system simulation*. PhD thesis, Johannes Kepler University, Linz, Austria, 1991.
- [15] Ral Puellezo, Paolo Accadia, Jesper L. Andersen, Bo S. Andersen, Erik Buisman, Alyson Little, J. Rasmus Nielsen, Jan Jaap Poos, Jeff Powell, and Christine Rckmann. A review of {EU} bio-economic models for fisheries : The value of a diversity of models. *Marine Policy*, 36(2) :423 – 431, 2012.
- [16] Simons Laura Sarah, Dring Ralf, and Temming Axel. Combining area closures with catch regulations in fisheries with spatio-temporal variation : Bio-economic implications for the north sea saithe fishery. *Marine Policy*, 51 :281 – 292, 2015.
- [17] MilnerB. Schaefer. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Bulletin of Mathematical Biology*, 53(1-2) :253–279, 1991.
- [18] P. Sparre and S.C. Venema. *Introduction à l'évaluation des stocks de poissons tropicaux : Manuel*. Number vol. 1 in FAO fisheries technical paper. FAO, 1996.
- [19] G.A. Wainer. Modeling and simulation of complex systems with cell-devs. In *Simulation Conference, 2004. Proceedings of the 2004 Winter*, volume 1, page 60, Dec 2004.
- [20] Bernard P. Zeigler and Herbert Praehofer. *Theory of Modeling and Simulation, Second Edition*. Academic Press, 2 edition, January 2000.