

# Les stratégies d'acteurs pour la Gouvernance Communautaire des Ressources Naturelles :

## Expérimentation d'un outil d'aide à la Décision à base de Systèmes Multi-Agents appliqué à l'Océan Indien

A. Gaudieux<sup>a</sup>

Aurelie.gaudieux@univ-reunion.fr

J. Kwan<sup>b</sup>

Joel.Kwan@univ-reunion.fr

R. Courdier<sup>b</sup>

Remy.Courdier@univ-reunion.fr

<sup>a</sup> Centre d'Economie et de Management de l'Océan Indien et Laboratoire d'Informatique et de Mathématiques, Université de La Réunion, France

<sup>b</sup> Laboratoire d'Informatique et de Mathématiques, Université de La Réunion, France

### Résumé

*L'article décrit le système SIEGMAS (Stakeholders Interactions in Environmental Governance by a Multi-Agent System) de simulation des interactions entre les parties prenantes dans la gouvernance communautaire des ressources naturelles dans les îles de l'Océan Indien. Ce système d'aide à la décision repose sur un modèle d'agents permettant d'étudier les interactions entre les agents agissant sur un territoire sous un aspect économique via une interface agronomique.*

*Le travail présenté ici constitue une extension d'un premier système SIEGMAS étendu au travers d'une interface interactive et dynamique dotant notre système de propriétés puissantes de configuration par cartes et d'interprétation des résultats. L'objectif de SIEGMAS est double. D'une part, il s'agit d'offrir un modèle dédié à la communauté économique pour la gestion des ressources naturelles. D'autre part, l'objectif consiste à d'offrir un cadre de solution informatique adaptée aux décideurs du milieu économique et politique.*

**Mots-clés :** gouvernance communautaire des ressources naturelles, Interactions, SMA.

### Abstract

*This paper presents the system SIEGMAS (Stakeholders Interactions in Environmental Governance by a Multi-Agent System)*

*design to simulate interactions between stakeholders in Common Pool Resources in Indian Ocean Islands. This help system tool is based on a model of agents allowing to study the interactions between agents which act on a territory below an economic aspect thanks to an agronomic interface. The work presented here is an extension of a first extended SIEGMAS system through an interactive and dynamic interface providing our system of powerful properties by cards' configuration and interpretation of results. The goal is double. On one hand, we want to offer a tool devote to the economists community to the Common Pool Resources. On the other hand, we want to present a complete informatics solution for results proposals for decision-makers in business and politics.*

**Keywords:** Agent-based simulation, Common Pool Resources, Interactions.

## 1 Introduction

Dans un monde asservi par les crises et un contexte géopolitique où les dysfonctionnements entre les rapports de forces assujettissent les populations à s'adapter, l'évocation par les instances diverses de la gouvernance sous ces formes multiples via le fleurissement de multiples indicateurs de mesures semblent être une

solution palliative pour résorber les multiples problèmes et tout particulièrement ceux relatifs à la gestion de ressources naturelles.

Les ressources naturelles ont, dans un premier temps, été considérées comme illimitées dans les siècles derniers [13]. Puis, avec un accroissement de la population et de la consommation, la notion de limitation des ressources est apparue dans les discours institutionnels. La finitude des ressources incite donc, les sociétés à assurer une gestion plus soucieuse de l'environnement des nuisances et des risques générés. Le système SIEGMAS (Stakeholders Interactions in Environmental Governance by a Multi-Agents System) que nous avons conçu est un outil d'aide à la décision permettant d'étudier les interactions entre les différentes parties prenantes dans la gouvernance communautaire des ressources naturelles.

Bien que cette problématique soit très présente dans l'actualité et dans de nombreuses recherches pluridisciplinaires, la génération de simulation portant spécifiquement sur les interactions entre les parties prenantes dans la gouvernance communautaire des ressources naturelles dans les îles de l'Océan Indien n'avait à ce jour jamais été réalisée. L'approche multi-agents, utilisée dans ce travail, permet d'appréhender cette problématique selon un angle nouveau, complémentaire aux outils économiques actuels.

Notre objectif consiste à apporter une contribution à la communauté scientifique travaillant sur les modèles économiques par la proposition d'un environnement informatique constitué d'une chaîne d'outils dont le cœur est constitué d'un modèle multi-agents réutilisable adaptés aux différents territoires de la zone océan indien. Ainsi nos expérimentations réalisées avec SIEGMAS portent tout autant sur la grande Ile de Madagascar, dont certaines règles de gestion sont liés à des bailleurs internationaux (FMI,...) qu'à la petite Ile française de la Réunion régie par le code européen.

L'article présente la problématique sensible de gouvernance communautaire et justifie

l'intérêt d'une approche SMA. Il décrit le modèle conceptuel de représentation multi-agents associé à notre système, puis introduit des extensions originales constituées d'une part d'un outil de configuration MASC (MAp Sector Creator) qui permet de générer de façon flexible un environnement de simulations en partant de cartes numériques de représentation de données d'experts et d'autre part présente notre démarche d'interprétation des résultats basés sur une séparation complète des données de génération par rapport aux données de visualisation.

## 2 Le contexte scientifique

La gouvernance des ressources naturelles désigne la gestion locale efficace en commun des ressources par plusieurs parties prenantes [6]. Les stratégies de gouvernance communautaire s'axent autant sur la participation active de parties prenantes tels que les entreprises et les citoyens que sur la mise en œuvre de politiques par des institutions représentantes d'autorités. Cette seconde forme de gouvernance (celle des autorités) est alors qualifiée de gouvernance passive et s'exerce conjointement à la gouvernance active menée par les entreprises et les citoyens.

En économie, plusieurs méthodes sont envisageables pour l'étude des ressources naturelles et des transferts de gestion [2][5]. Rappelons que les transferts de gestion désignent une passation de pouvoir du gouvernement aux collectivités décentralisées et à d'autres parties prenantes dans le cadre de la gouvernance commune des biens plus communément désignée par le terme « Common Pool Resources » [16].

Toutefois, ces méthodes modélisent difficilement les interactions et la cognition entre parties prenantes. L'incorporation de la biodiversité dans les méthodes de calculs économiques demeure controversée et limitée. Les analyses économiques *ex ante* et *ex post* de la biodiversité portent soit sur la

rationalité de la conservation (analyse coût bénéfique et le bien-être social gagné pour chaque euro investi) soit sur l'efficacité de la stratégie de conservation retenue. Les services éco-systémiques menant à la recherche d'un optimum social relèvent donc de l'évaluation coût-avantage, supplantée par l'analyse coût-efficacité. Le développement économique dépend de la préservation des ressources et de la minimisation de des impacts relevant de son usage. Plusieurs méthodes économiques et transversales ont été envisagées pour créer cette simulation.

- Les méthodes d'efficience du marché et d'économie général qui portent sur les analyses relatives à la valeur du marché et à la valeur, les théories de la croissance et le Modèle d'Equilibre Général Calculable ;
- Les méthodes environnementales employées qui portent sur l'analyse mono ou multicritère(s), les mesures compensatoires ou restauratrices et l'éco-certification et l'éco-potentialité ;
- Les méthodes relatives à l'économie écologique qui portent sur des indicateurs de biodiversité, du calcul de l'emprunt écologique et des indicateurs relatifs à la comptabilité nationale.

Comme l'a montré Stuart Kaufmann [8], de nombreux systèmes dynamiques, dont notamment les systèmes sociaux dans lequel des humains interviennent (tel que dans notre situation) reposent sur des dynamiques non-linéaires. L'utilisation des méthodes classiques de l'économie peut alors masquer la présence de dynamiques complexes non prise en considération jusqu'à présent dans les études réalisées, tels par exemple la sensibilité aux conditions initiales, la prise en compte de phénomènes d'émergence correspondant à des comportements collectifs, combiné à la prise en compte de conditions spatiales et temporelles.

Ainsi, les méthodes économiques présentées

ci-avant analysent donc difficilement la cognition de systèmes dynamiques sociaux, d'où la pertinence à ce stade de s'intéresser aux systèmes multi-agents qui ont leurs preuves notamment dans les solutions informatiques s'appuyant sur la simulation.

Notre démarche, s'inscrit dans l'exploration de nouvelles propositions d'outils et de montrer l'intérêt de l'approche multi-agents dans une solution informatique complète supportant les critères d'évaluation de la communauté scientifiques des économistes.

Notre travail présenté ici a deux objectifs :

- proposer un modèle agent générique réutilisable attaché à la problématique d'aide à la décision dans le domaine du « Common Pool resources ».
- définir une chaîne d'outils adaptés au monde économique pour proposer une solution cohérente et exploitable de bout en bout pour des économistes ; Technique d'initialisation, simulation, visualisation et exploitation des résultats de simulation.

Afin de valider notre modèle, sa généralité et la prise en solidité des choix de solution informatique réalisés, les expérimentations mise en œuvre sur le système SIEGMAS ont été appliquées à des territoires différents de Madagascar et de La Réunion [7].

### 3 SIEGMAS, un système de simulation en trois étapes

SIEGMAS est un système d'aide à la décision permettant d'étudier les interactions entre les parties prenantes dans la gouvernance communautaire des ressources naturelles (fig. 1). Actuellement, ce système constitue le seul outil conçu dans le champ économique dédié à la problématique de transferts de gestion dans les îles de l'Océan Indien et l'étude bibliographique réalisée ne nous a pas permis de pouvoir appuyer notre étude sur un système informatique existant.

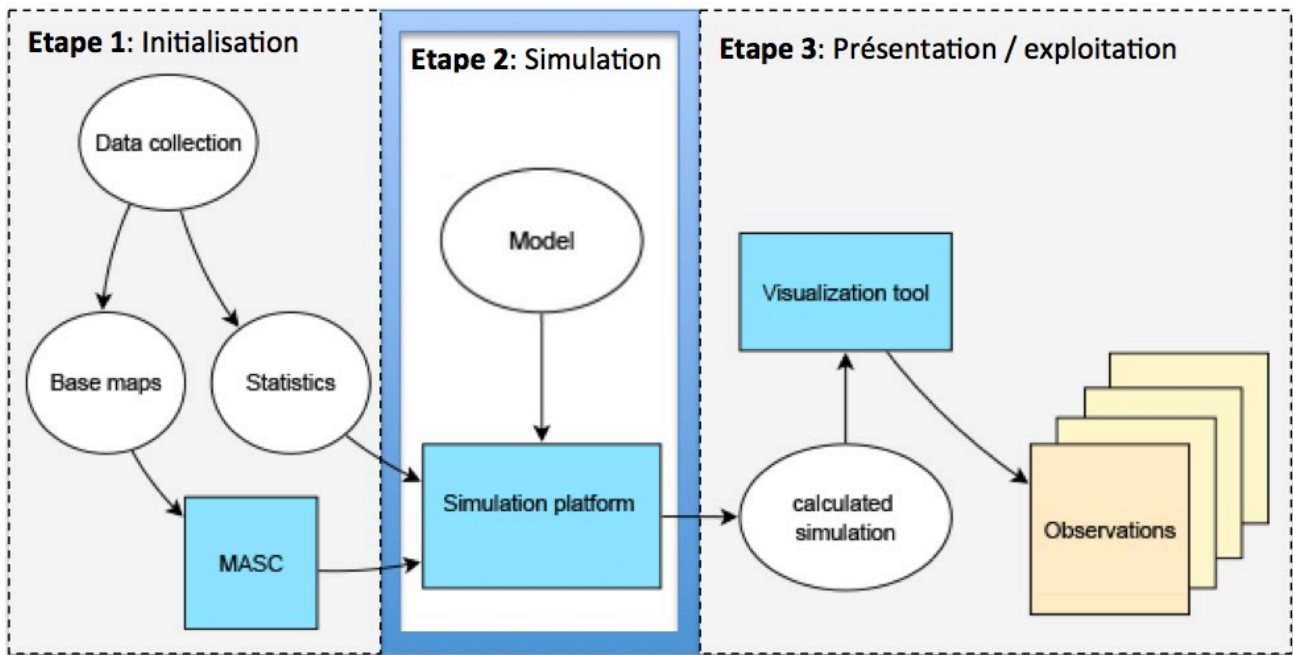


FIGURE 1 - SIEGMAS, un système en trois étapes

*L'étape d'initialisation, calibrage :*

Dans le domaine de la gestion de ressources naturelles de très nombreuses données d'information géographique sont disponibles quelque soient les territoires, et même dans des contrées reculées de Madagascar, l'imagerie satellitaire permet d'initialiser un système en respectant des critères génériques. C'est l'objet du module MASC (MAP Sector Creator) de notre système, qui peut être considéré comme un générateur d'environnement de simulations autorisant à utiliser des cartes numérisées de représentation des ressources naturelles directement utilisable dans une simulation multi-agents. MASC [7].

*L'étape de simulation :*

La difficulté de l'exercice de définition du modèle de simulation tient au fait que l'étude des politiques de gouvernance environnementale nécessite tant une vision agronomique, économique, juridique, sociétale et cognitive des interactions entre les parties prenantes. Le modèle présenté en détail dans la section 4 de cet article.

Le modèle s'appuie en entrée sur des données cartographiques issue de l'étape 1. Le paramétrage des échelles spatiales et temporelles prise en compte durant la simulation sont

de pouvoir réaliser différentes simulations possédant un même cadre d'initialisation mais en considérant des échelles variées.

*L'étape de présentation / exploitation :*

La simulation a pour objectifs de répondre à des questions que se pose un observateur sur un monde réel qu'il ne peut étudier directement pour des raisons de temps, de coûts ou de faisabilité. La simulation produit comme résultat une qualité d'information dont la taille dépend de quatre principaux facteurs, i. La taille du système représenté, ii. La précision de représentation du système, iii. La complexité des entités du système, iv. La richesse et la variété des interactions entre les entités. L'enjeu de cette étape et de permettre la compréhension des interactions entre les nombreux acteurs au sein de leur environnement et dont l'évolution est sensible à des conditions environnementales et non prévisible à priori. La complexité de cette étape tient au fait que la complexité des situations réelles représentées produit une masse de résultats qu'il est paradoxalement aussi difficile à observer et analyser que le système réel initial [14]. Nous proposons pour cette étape d'utiliser des techniques de représentation interactive de données riches et complexes ou data visualization (dataviz) [15]. La solution mise en œuvre consiste d'une part du point de vue structurel à séparer la génération des données/résultats de simulation de leurs visualisations. D'autre part, du point de vue conceptuel la démarche s'appuie sur les résul-

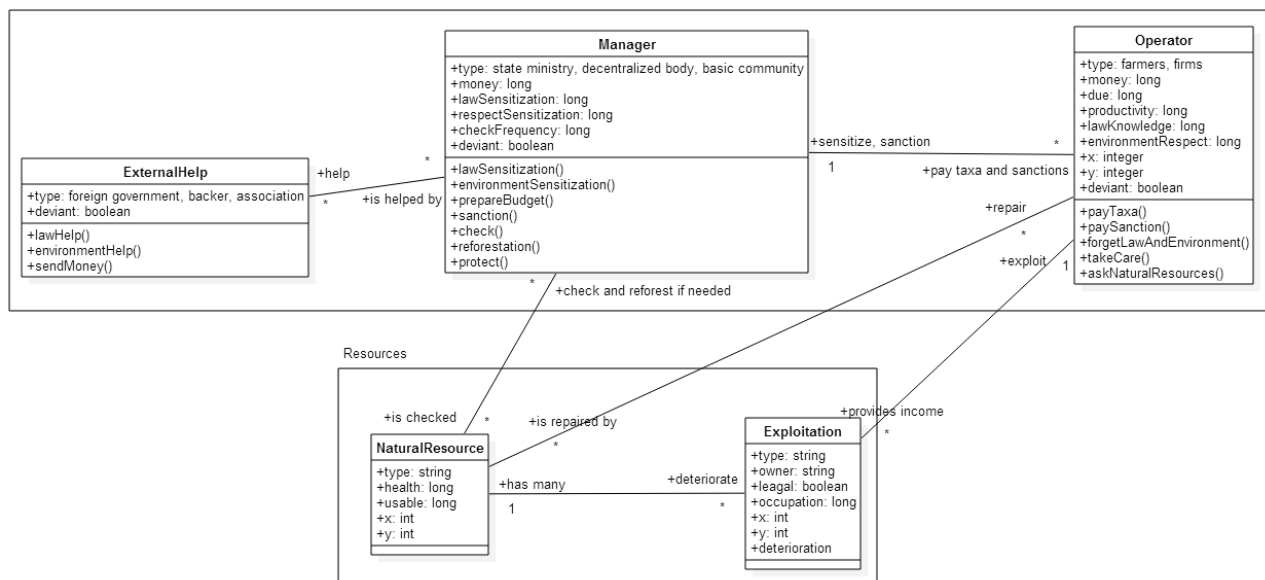


FIGURE 2. Model structure I SIEGMAS (format UML)

tats des solutions basées sur les techniques de graphismes interactifs par la proposition d'outil dédiés à la présentation de données économiques en rapprochant dynamiquement la présentation de graphiques à des contextes sociaux/spatiaux et en simplifiant la l'exploitation et des données aux travers de tableaux dynamique [8].

## 4 Modèle agent de SIEGMAS

### 4.1 Modélisation : aspects structurels

On distingue dans SIEGMAS deux catégories d'agents (figure 2) :

Un ensemble d'agents « Resources » de représentation des ressources naturelles et un ensemble d'agents « StakeHolders » de gestion des ressources naturelles.

Au niveau « Resources », nous avons distingué deux types d'agents :

- L'agent *NaturalResource*, entité de modélisation des zones physiques de territoire (parcelle agricole, forêt, ou friche). Un agent *NaturalResource* subit des pratiques d'exploitation de la ressource, il est contrôlé par un *Manager* (e.g. un ministère) et peut être géré par un *Operator* (e.g. un agriculteur).
- L'agent *Exploitation*, entité de modélisation des pratiques d'exploitations appliquées à une ressource naturelle (pratique biologique, pratique conventionnelle, brûlis, ...). Un agent *Exploitation* s'applique à un agent

*NaturalResource*, il est sous l'influence d'un *Operateur* pouvant mettre en œuvre cette pratique.

Au niveau « StakeHolders », trois types d'agents ont été définis :

- L'agent *Manager*, entité de modélisation de l'État, de ministères, d'instances de gestion décentralisées, ainsi que de communautés citoyennes. Un agent *Manager* est assisté par des *ExternalHelp* (e.g. des bailleurs de fond), il contrôle les *NaturalResource* et peut sanctionner des *Operator* (e.g. une entreprise minière).
- L'agent *Operator*, entité de modélisation des agriculteurs et des entreprises d'exploitation de territoires. L'*Operator* met en œuvre des pratiques d'*Exploitation*, paye des taxes et des sanctions à un *Manager* et peut mener des actions de protection de *NaturalResource*.
- L'agent *ExternalHelp*, entité de modélisation des gouvernements étrangers, bailleurs de fonds et associations. Un *ExternalHelp* porte assistance à des *Manager*.

Il est à noté que nous sommes dans un contexte économique et que chaque partie prenante décrite ci-dessus va dynamiquement en fonction des influences (pressions) qu'elle subira au cours de la simulation pouvoir adopter un comportement *déviant* non conforme aux respects de règles collectives et pouvant donner lieu à des sanctions.

L'un des objectifs principaux du système est d'analyser la sensibilité aux sanctions des

acteurs et l'impact que cela induit sur les ressources naturelles.

#### *But des agents de notre modèle*

Les différents buts des agents de notre modèle sont explicités dans le tableau ci-dessous. Ces buts sont paramétrés dans le modèle en fonction d'une typologie qui est également précisés dans le tableau.

Agents	But	Typologie
Manager	Assumer et veiller à l'application d'une politique de gestion de ressources naturelles partagées. Un Manager peut adopter un comportement déviant qui représente alors une institution corrompue.	StateMinistry Decentralizedbody BasicCommunity
Operator	Définir des pratiques économiquement viables sur une ressource naturelle en tenant compte du cadre fixé par les institutions et des risques encourus en cas de non respect de ce cadre en utilisant un comportement déviant.	Farmer Firm
ExternalHelp	Veiller aux ressources naturelles protégées par les instances internationales. Veiller à des intérêts économiques, notamment à créer les conditions d'accès à des ressources naturelles. Un ExternalHelp peut adopter un comportement déviant dans un but stratégique.	ForeignGovernment Backer Association
Exploitation	Appliquer une pratique agricole (biologique, conventionnelles, sur brûlis) sur une ressource naturelle et évaluer la détérioration engendrée sur la ressource dans le temps.	Bio Con Snb
NaturalResource	Le but d'une ressource naturelle Limiter son niveau de détérioration. Les règles appliquées vont dépendre du type de ressource. Siegmas considère actuellement 3 type ressources (Friche / FallowLand, Terre arable / ArableLand, Forêt/Forest )	FallowLand ArableLand Forest

#### **4.2 Modélisation : aspects spatio-temporels**

La spatialité dépend de la carte générée dans MASC. En effet, lors de la passation de la carte dans MASC, celle-ci est mise en correspondance avec un espace en deux dimensions discrétisé dans une grille. La finesse de le discrétisation est alors décidée par les modélisateurs. Il est alors possible de réaliser des simulations à différents niveaux d'échelle (microéconomique, méso-

économique ou macroéconomique) en fonction des objectifs de simulation fixés.

Sur le plan temporelle. Pour l'interprétation des résultats de simulation d'un système dynamique et le paramétrage des actions, il est primordial de pouvoir disposer d'une base temporelle adaptée à notre application.

La base de conversion entre le temps processeur et le temps de simulation, correspond à l'échelle de temps choisie pour le modèle (plus petit intervalle de temps en deçà duquel on ignore les éventuels changements). Ce paramètre influe sur la vitesse de simulation et la finesse des résultats obtenus.

Dans le modèle SIEGMAS, nous avons choisi qu'un pas de temps de simulation correspond à un mois en unités de temps astronomique.

#### **4.3 Modélisation : aspect comportementaux**

Plusieurs règles et stratégies régissent le modèle SIEGMAS.

Pour l'exploitation des ressources naturelles, les parties prenantes exploitent ou tentent d'exploiter tant les ressources avoisinant leur territoire que les ressources éloignées géographiquement. Les agents (*Operators*, *ExternalHelp*, *Manager*) interagissent sur le marché interne et international pour l'achat et la vente des biens et services. Concernant les biens collectifs se pose le problème du passager clandestin [13] qui permet aux agents d'obtenir 100% de gains pour un citoyen qui utilise les biens publics sans s'acquitter d'impôts. Les investissements et les préférences individuelles sont déterminants pour mesurer l'utilité collective. S'agissant des externalités (positives ou négatives), elle dépend des paiements des taxes/impôts, de l'application des peines et des dons. Les choix publics relèvent des politiques et stratégies environnementales, du coût du contrôle, de la productivité, du coût de la réalisation des lois et de son application. La coopération s'ajoute à ces choix publics pour les agents *ExternalHelp*.

**Les sanctions :** les agents peuvent respecter ou transgresser la législation envers la

protection des ressources naturelles selon leur appartenance au groupe des agents sains, intermédiaires ou déviants. Les lois nationales et spécifiques aux territoires étudiées réglementent la gestion des ressources.

### Classification des stratégies

Une classification de stratégies a été construite dans le modèle SIEGMAS. Ces stratégies sont adoptées dynamiquement par les agents. On notera que certaines conditions peuvent conduire les agents à appliquer des stratégies combinées.

stratégies	Principales actions	Objectifs visés
De prix	Produits discounts de valeurs comparables à celles des concurrents.	Offrir des produits moins chers sur un marché
Hybride	Produits avec plus de valeur et moins coûteux que ceux des concurrents.	Offrir des produits avec plus de valeur à des prix réduits.
Innovation	Produits et services innovants	Maintenir sa situation ou l'améliorer
Alignement	Par rapport aux autres régions nationales et internationales	Risques de diminution des profits
communication	Auprès des acteurs de la gouvernance (citoyens, firmes)	Développement futurs/ bilans
Encrage	Stratégie ciblée, politique de prix	Dominer dans un secteur ou sur une niche de marché
différentiation	Produits locaux ou de valeurs différentes de celles des concurrents	Part de marché, niche
Epuration (stratégie de différenciation vers le bas)	Produits et services dont la valeur est inférieure à celle des concurrents.	Offrir des produits à prix réduits.
Sophistication (stratégie de différenciation vers le haut)	Produits et services dont la valeur est supérieure à celle des concurrents.	Offrir des produits à prix supérieurs aux concurrents.
Focalisation (ou de niche)	Produits différents pour attirer une part des consommateurs.	Offrir des produits différenciés.
D'agglomération	Stratégie de court terme	Attirer et agglomérer les pôles économiques
De concentration	Sur le moyen terme	Être plus concurrentielle et ériger des barrières à l'entrée

### Prise en compte des propriétés des Systèmes multi-agents dans le modèle SIEGMAS

Considération des propriétés classiquement conférées aux Agents constitutifs d'un SMA :

Agents	Buts: les parties prenantes sont dotées d'un but qui sera polarisé.
Autonome	Décide et contrôle ces actions en faveur de la Gouvernance des Ressources Naturelle (GRN).
Proactif	L'agent est proactif et opportuniste et n'hésite pas à choisir des méthodes allant à l'encontre des RN et de transgresser les lois.
Situé	Les « entrées sensorielles » orientent ces décisions sur la GRN.
Flexible	L'agent s'adapte aux nouvelles informations perçues sur la GRN et les actions des autres agents pour atteindre ces buts et ne pas se faire sanctionner.
Just in time	L'agent émet une réponse dans le temps idéal dès qu'il perçoit les actions des autres agents ou-et dès qu'il dispose d'une nouvelle information sur la GRN.
Social	Chaque agent à une capacité d'interaction avec les agents GRN pour concourir à des buts collectifs (améliorer la gouvernance des RN) ou individuels (s'assurer ou accroître son revenu, rendre son exploitation productif, équilibre des prix sur le marché des biens et services).
Adaptatif	Les agents sont capables de changer de stratégie pour atteindre ces buts. Ainsi, un agent peut changer de méthodes de préservation de ressources naturelles ou peut passer de la mise en œuvre d'une mesure de protection de l'environnement à l'adoption d'une mesure/ pratique contraire à la sauvegarde de l'environnement.

Considération des éléments de représentation mentale classiquement utilisés par les modèles SMA :

Notions mentales de l'agent	Agents
Connaissances	Les agents savent que l'environnement doit être protégé et qu'il ne faut pas transgresser les lois.
Croyances	Certains agents protègent l'environnement parce qu'ils savent que les ressources sont limitées et qu'ils seront sanctionnés.
Buts et désirs	Les agents désirent percevoir un profil et une image positive ou de ne pas se faire sanctionner par l'Etat.
Intentions	Certains agents ont l'intention de mettre en œuvre des mesures pour l'environnement ou d'en appliquer, d'autres désirent exploiter illicitement les ressources.
Choix & décisions	Les agents ont décidé de mettre en place les mesures de la Gouvernance des Ressources Naturelles ou pas.
Engagements	Les agents protègent ou pas l'environnement tant que le contrat de transfert de gestion est en vigueur ou que

	la zone reste protégée.
Conventions	L'Etat peut exercer sa fonction de contrôle de sensibilisation et de sanction.
Obligations	Si les agents ne respectent pas les lois certains dispositifs des sanctions sont applicables (amendes et peines de prison).

## 5 Autres outils de SIEGMAS

### 5.1 Le générateur d'environnement MASC

Dans l'article MASC [7], le sujet principal de la discussion s'est focalisé sur la création d'un générateur d'environnement de simulations qui permet d'utiliser des cartes numérisées pour avoir une représentation de la zone considérée directement utilisable dans une simulation multi-agents.

Afin d'éviter à tout modélisateur de devoir installer un outil informatique trop lourd et pour limiter les mises à jours des postes informatiques, nous avons conçu MASC selon une architecture de type client/serveur basée sur un processus qui se décompose en trois étapes (figure 4).

La première étape consiste à acquérir toutes les informations nécessaires à l'outil. Cette étape se déroule principalement du côté client (poste modélisateur). L'information de base requise pour le bon fonctionnement de l'outil est un ensemble de fichiers d'images au format normalisé par les standards du W3C, qui représente le territoire simulé.

Le modélisateur est conduit alors à définir le niveau d'échelle spatiale le plus fin pouvant être raisonnablement considéré dans une simulation. MASC extrait alors les couleurs de l'image et permet de façon interactive une association dynamique de plages de couleurs avec des ressources considérées par le modèle

(e.g. forêt, friche, etc).

Dans une seconde étape, ces données sont envoyées à serveur pour qu'il puisse extraire une grille qui servira comme point de départ pour générer le code « snippet » utilisé pour l'initialisation de système multi-agents. Pour cette étape, le modélisateur n'a pas d'opérations à réaliser, tout se fait uniquement au niveau du serveur.

La dernière étape constitue un retour de résultats visuels de l'opération faite par la partie serveur. D'une part, l'utilisateur a un retour graphique et d'autre part, il peut légèrement modifier la grille générée ou changer manuellement certaines couleurs de secteurs avant la génération de code final. On notera que cette génération de code final est un module « plug&play » qui autorise l'utilisation de MASC par d'autres plateformes Agents.

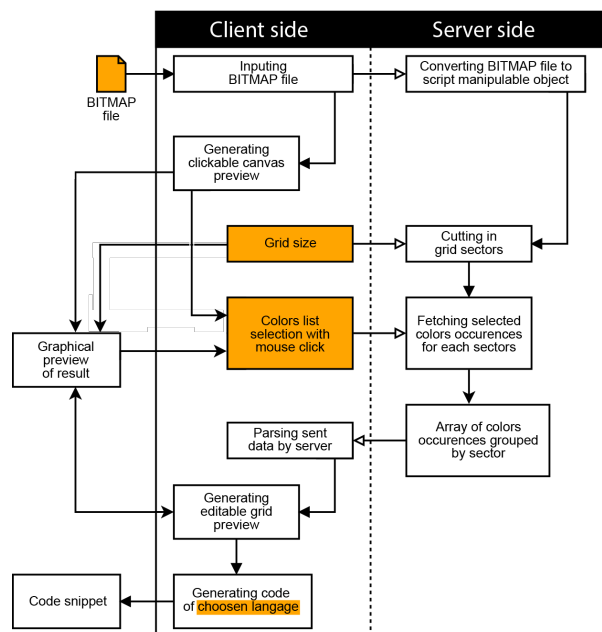


FIGURE 4 - Workflow détaillé de MASC



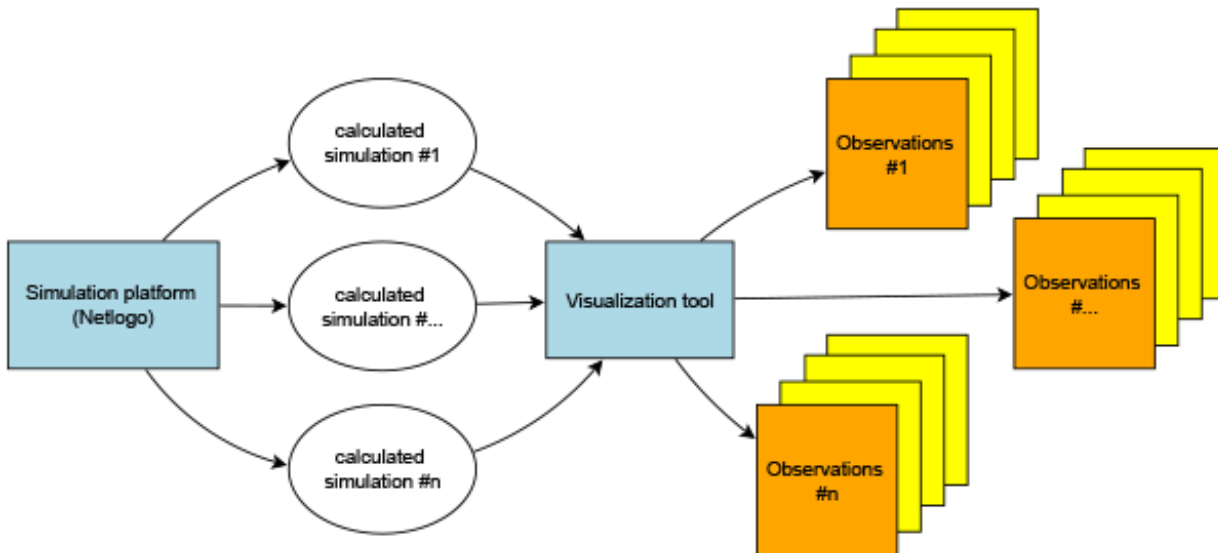


FIGURE 5 – Tableaux de bord dynamique construit sur la base de multiples simulations

## 5.2 Présentation de résultats d'observations de simulations

Le modèle multi-agent de SIEGMAS a été implanté sur la plateforme NetLogo qui offre un certain nombre de fonctionnalités d'observation de résultats de simulation sommaires pour la mise au point du système (figure 6).

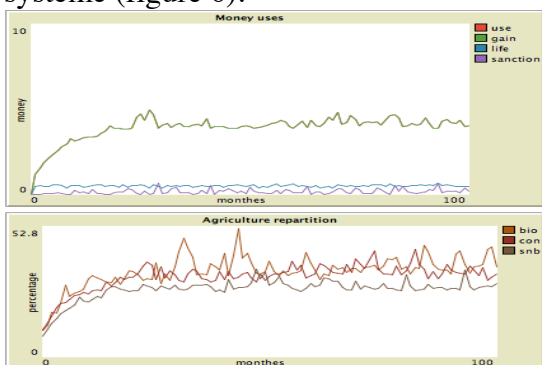


FIGURE 6. Présentation de résultats De simulation sous NetLogo

Cependant, seuls quelques résultats peuvent être exprimés alors que compte tenu de la masse d'information générée au cours d'une simulation de nombreuses formes d'interprétations peuvent être offertes et construites de façon interactive par un économiste.

Nous avons donc externalisé le maximum de données issues de séries de simulations afin que celles-ci soient exploitables « en différé » par des outils de gestion de tableau de bord interactifs qui sont des outils très prisés par les acteurs de l'économie.

Il s'agit d'offrir aux décideurs plusieurs axes de vues pour les données calculées. En effet, il y a toujours des difficultés de choisir la « chaîne » de données à suivre pendant le déroulement de la simulation et conduisant à la mise en valeur de phénomènes observables. L'approche mise en œuvre, fournit la possibilité de visualiser la simulation dans plusieurs directions et axes et aussi autorise d'extraire les observations sans relancer les calculs plusieurs fois. De plus, il fournit également une chronologie pour avancer ou rembobiner la visualisation de résultats.

A ce niveau, une application est réalisée avec l'environnement « tableau public »<sup>1</sup> ne nécessitant pas de connaissance informatique pour la gestion et présentation interactive de données complexes. D'autres expérimentations sont en cours d'étude avec des outils de type « data-driven », utilisés pour la présentation de grandes quantités de données et utilisés dans le contexte Big Data<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Tableau de bord interactif  
<http://www.tableau.com/public/>

<sup>2</sup> Bibliothèque Data-Driven Document  
<http://d3js.org>

## 6 Conclusion et perspectives

La réalisation d'un outil d'aide à la décision pluridisciplinaire pour la gouvernance communautaire, SIEGMAS, apporte une réponse à l'étude des interactions dans ce domaine, difficilement modélisable par des méthodes économiques traditionnelles. Dans [6] nous avons pu montrer que cette démarche permettait d'obtenir des résultats prometteurs, transposable à différents territoires, en considérant trois régions de l'Océan Indien: Analamanga et Itasy (Madagascar) et l'île de La Réunion. Dans ce papier nous avons détaillé et argumenté l'intérêt d'un modèle multi-agents. Nous avons également enrichi notre proposition en spécifiant un cadre complet de définition d'une architecture informatique adaptée à la problématique de gouvernance des « *Common Pool resources* » en tirant profit des propriétés de l'approche système multi-agents.

Dans l'avenir, nous comptons affiner notre modèle agent et nos différents outils au travers d'expérimentations menées sur d'autres territoires insulaires de l'Océan Indien (Seychelles, Mayotte, Comores et Maurice). Il s'agira alors de créer des synergies positives résultants de la valorisation des ressources naturelles pour d'améliorer les politiques de gouvernance communautaire des ressources naturelles dans un contexte communautaire international.

Grâce à des simulations prospectivistes, un tel système devrait favoriser des actions d'anticipation sur la gestion de ressources naturelles et conduire à un comportement proactif des acteurs impliqués dans l'ensemble des niveaux de la chaîne de décisions.

## Références

- [1] L. Alden Wily, Can We Really Own the Forest? A Critical Examination of Tenure Development in Community Forestry in Africa, Paper 251d, *Tenth Biennial Conference, International Association for the Study of Common Property (IASCP)*, p.15, 2004.
- [2] S. Aubert, S. Razafianrison, A. Bertrand, *Déforestation et systèmes agraires à Madagascar : les dynamiques des tavy sur la côte orientale*, CIRAD ; CITE : FOFIFA, 2003.
- [3] O. Brandouy, P. Mathieu et I. Veryzhenko, Optimal Portfolio Diversification? A Multi-agent Ecological Competition Analysis. *PAAMS (Special Sessions)*, pp. 323-331, 2012.
- [4] P. Bontems, G. Rotillon, *L'économie de l'environnement*, Repères, 2007.
- [5] F. Bousquet, O. Barreteau, C. Mullon, J. Weber, Modélisation d'accompagnement : système multi-agents et gestion des ressources renouvelables, in Actes internationales, *Quel environnement au 21<sup>ème</sup> siècle ? Environnement, maîtrise du long terme et démocratie*, Germes, 2001.
- [6] A. Gaudieux, Y. Gangat, J. Kwan, R. Courdier. (2014). *Study of the interactions between stakeholders by a multi-agents system : application to the governance of natural resources in Miariharivo District (Madagascar)*, conference MAS 2014, Bordeaux, September Full Paper, 2014.
- [7] A. Gaudieux, R. Courdier, Y. Gangat, J. Kwan, *MASC : MApp Sectors Creator A tool to help at the configuration of multi-agents systems for everyone*, SIMULTECH 2014, Special Session on Applications of Modeling and Simulation to Climatic Change and Environmental Sciences - MSCCEC 2014, 28-30 August, 2014 - Vienna, Austria, Full Paper, pp. 836-844, 2014.
- [8] Alain Fernandez, *Les nouveaux tableaux de bord des managers, Le projet Business Intelligence clés en main*, Ey-

- rolles, 6<sup>e</sup> édition, ISBN 978-2-212-55647-6, 2013
- [9] S. Kaufman, *Investigations*, Oxford University Press, 2000.
- [10] P. Mathieu, S. Picault, Intérêt de la simulation centrée interactions pour les sciences humaines et sociales, *Revue des nouvelles technologies de l'information*, pp. 15-30, 2012.
- [11] J-P. Müller et S. Aubert, Formaliser les rôles et les territoires par les systèmes multi-agents institutionnels, *JFSMA 2012*, Cépaduès, pp. 13-22, 2012.
- [12] M. Olson, *The logic of collective action. Public goods and the theory of groups*, Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1965.
- [13] E. Ostrom, *Gouvernance des biens communs*, Boeck, 2010.
- [14] T. Ralambondrainy, J.-M. Médoc, R. Courdier, F. Guerrin, Tools to visualise the structure of multiagents' conversations at various levels of analysis, International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM07), Christchurch, New Zealand, Dec. 10-13, 2007.
- [15] Phil Simon. *The Visual Organization: Data Visualization, Big Data, and the Quest for Better Decisions* (1st ed.). Wiley Publishing. 2014
- [16] R. Wade, The management of common property resources : collective action as an alternative to privatisation or state regulation, *Cambridge Journal of Economics*, 11 : 95- 106, 1987.