HAL
open science

Modéliser et simuler l'aménagement énergétique d'un territoire par les systèmes multi-agents

Yassine Gangat, Daniel David, Denis Payet, Rémy Courdier

To cite this version:

Yassine Gangat, Daniel David, Denis Payet, Rémy Courdier. Modéliser et simuler l'aménagement énergétique d'un territoire par les systèmes multi-agents. Convergence des Réseaux, de l'Informatique, et du Multimédia pour les E-Services (CRIMES), Oct 2009, Saint Denis de La Réunion, France. pp.15. hal-00423818

HAL Id: hal-00423818

https://hal.science/hal-00423818v1

Submitted on 12 Nov 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.

Modéliser et simuler l'aménagement énergétique d'un territoire par les systèmes multi-agents

Yassine Gangat, Daniel David, Denis Payet et Rémy Courdier

Université de la Réunion, LIM - BP 7151, 2 rue Joseph Wetzel, 97490 Sainte Clotilde, FRANCE

Un projet nommé GERRI a été lancé à la Réunion dans le but de favoriser le développement de nouvelles technologies écologiques. Une des pierres fondamentales de ce projet est la maitrise de l'énergie, dont l'aménagement énergétique d'un territoire fait partie.
Les recherches dans ce dernier domaine du projet sont peu foisonnantes. Nous proposons dans cet article une nouvelle approche qui passera par la modélisation de l'aménagement énergétique du territoire, grâce aux systèmes multi-agents. Nous exploiterons plus particulièrement la possibilité de géo-localiser les agents, afin d'obtenir des avantages non accessible dans les autres approches qui, pour la plupart, ne prennent pas la localisation en considération.
La localisation géographique apporte une nouvelle dimension, car il est possible de visualiser les flux d'énergies et donc d'optimiser les pertes dues aux transports. Il est aussi possible grâce à cet outil de simulation d'argumenter certains choix au niveau production d'énergie, ou encore de discuter de certaines politiques de consommation.

Mots-clés: Modélisation et simulation des systèmes, Gestion de l'énergie, Système multi-agents.

---

1 Introduction

L'île de la Réunion se situe au centre du projet GERRI[i] (qui est à la fois l'acronyme de ***G**reen **E**nergy **R**evolution - **R**eunion **I**sland* et de ***G**renelle de l'**E**nvironnement à la **R**éunion : **R**éussir l'**I**nnovation*), un catalyseur pour la recherche et l'innovation. Ce programme novateur se fixe pour objectif, d'ici 2030, de faire de l'île un espace de démonstration de toutes les technologies liées au développement durable. Conduite par l'Etat, la Région, le Département et d'autres acteurs économiques, cette réalisation se veut être une expérience pilote pour la planète : faire de la Réunion un territoire d'expérimentation grandeur nature.
Les différents volets de ce projet se déclinent en 5 thématiques complémentaires:

- la maîtrise des consommations, la production et le stockage d'énergie ;
- les déplacements en modes propres, collectifs et individuels ;
- les éco-quartiers et villes durables ;
- la construction ;
- le tourisme.

Ce programme « Réunion 2030 GERRI » se trouve être le seul à synthétiser en un lieu unique toutes les idées issues du Grenelle. Cet espace d'innovation, circonscrit à un territoire entier fait toute l'originalité de La Réunion.
Le tronc commun relatif au premier thème est la maitrise de l'énergie (MDE), réponse aux défis énergétiques et au souci de protection de l'environnement des pays industrialisés et en voie de développement. La MDE (aussi nommée URE : utilisation rationnelle de l'énergie) regroupe les techniques permettant de diminuer la consommation d'énergie, d'une part dans un souci d'économie financière, et d'autre part pour réduire l'empreinte écologique. L'amélioration de la MDE peut se faire à plusieurs niveaux qui dépendent de la portée de son impact :

- au niveau individuel et familial (gestion du chauffage et de la climatisation, etc.) ;
- au niveau local ou communal (amélioration des transports en commun, etc.) ;
- au niveau national (lois anti-pollution, encouragement pour une agriculture moins polluante, etc.) ;
- au niveau international (congrès, etc.).

L'île de la Réunion fournit un terrain favorable à la recherche dans ce domaine de part son isolement pour deux raisons. Premièrement, la faible superficie de son territoire, qui n'est que de 2 500 km^2, favorise la recherche de nouvelles formes d'aménagement énergétique. Deuxièmement, à la différence de la métropole, il ne peut y avoir sur notre île de production électrique d'origine nucléaire : d'abord, la tranche unitaire est surdimensionnée par rapport aux besoins de l'île ; ensuite, la maintenance d'une telle structure est impossible dans un tel endroit [i].
Mais, malgré sa superficie peu étendue, la Réunion présente les problèmes énergétiques complexes qui se retrouvent dans de nombreux territoires du monde, notamment :

- la présence de nombreux acteurs de la production, autant au niveau individuel que collectif ;
- un nombre important de consommateurs répartis de façon non homogène ;
- un grand nombre de microclimats différents ;
- des sources d'énergie de différents types ;

Tout ceci fait de cette île un lieu idéal pour générer recherche et innovation dans le domaine de l'utilisation rationnelle de l'énergie. La Réunion doit donc réussir ce pari de devenir un territoire autonome sur le plan énergétique. La problématique abordée dans le présent article est donc l'aménagement énergétique d'un territoire en utilisant une modélisation qui puisse être reproductible ensuite sur d'autres régions de la France ou du monde.

2 Recherches dans le domaine de la MDE

Dans la communauté informatique, beaucoup d'efforts ont été déployés pour améliorer la MDE que ce soit au niveau individuel ou au niveau familial.

Par exemple, une étude présente de nombreux modèles et méthodes : la prévision des charges par la méthode des réseaux de neurones et la méthode ascendante « bottom-up », ou encore l'optimisation par le « branch and bound », etc. [LeK08].
De même, des thèmes de conférences sont dédiés à ce sujet comme la journée thématique SFT-IBPSA de « l'efficacité énergétique des bâtiments, vers des bâtiments autonomes en énergie » organisée par l'INES (Institut National d'Energie Solaire) en 2006. Parmi les sujets abordés dans cette conférence, on trouve aussi bien les éco-conceptions des édifices, que les maisons « zéro-énergie » et même les bâtiments à énergie positive.
Dans le domaine des Systèmes Multi-Agents (SMA), nous avons aussi la conception d'un système domotique de gestion de l'énergie dans l'habitat reposant sur le paradigme multi-agents. Par exemple, certains travaux utilisent 4 types d'agents représentant le confort personnel d'une personne, sa position dans un bâtiment, les paramètres de l'environnement et chaque pièce de l'habitat [BDS98].

Mais tous ces travaux portent surtout sur les bâtiments : il semblerait que peu d'études traitent de la MDE au niveau supérieur, c'est-à-dire à l'échelle d'un territoire ou d'une région. Nous proposons dans cet article une modélisation de la gestion de l'énergie, par l'intermédiaire des systèmes multi-agents avec une méthodologie particulière.

3 Modélisation

La première phase dans notre travail est de créer un modèle approprié à notre système étudié. Le modèle étant une image homomorphe de la réalité, les déductions et raisonnements partant de celui-ci permettent d'obtenir des prévisions et de mieux comprendre cette réalité pour pouvoir anticiper un phénomène [Feb95]. Plus le modèle sera fidèle à la réalité, plus les résultats obtenus seront pertinents.

Mais une étape importante avant de modéliser est de choisir quel outil servira à faire ces déductions et raisonnements. A cause du système d'interactions entre les dynamiques écologiques et dynamique sociales, la modélisation ne sera pas facile, car cela revient à modéliser un système complexe.

3.1 Modélisation des systèmes complexes par les SMA

Les systèmes multi-agents ont déjà montré leur intérêt pour répondre à des problématiques en rapport avec des systèmes complexes dans lesquels rentrent en jeu des dynamiques écologiques, économiques et sociales [BBW96]. En sus de cela, les univers multi-agents proposent des formalisations qui prennent en compte à la fois la gestion collective et la modélisation centrée sur les individus [Feb94]. Le couplage entre l'individuel et le

collectif, réalisé au travers des interactions, ainsi que la richesse sémantique des environnements spatialisés font des SMA une approche particulièrement adaptée pour notre modèle de gestion d'énergie.
Cependant, lorsque le domaine de l'énergie est mis en corrélation avec celui de l'écologie et de l'économie, nous nous trouvons confrontés à une quantité massive de données et de transactions complexes. Ce qui fait que les méthodes immédiates utilisées en modélisation seront des procédures longues à mettre à place.

3.2 Méthode de modélisation orientée dynamique

Afin de palier à ce problème de complexité, nous proposons d'utiliser une solution adaptée à notre problématique : la modélisation orientée dynamique que nous avons présentée dans de précédents travaux [PCS06]. Cette démarche nous conduit à un modèle composé de plusieurs modèles de type mono-dynamiques, le Multi-Mono Dynamic Model (Multi-MDM). Celui-ci permet non seulement d'associer plusieurs couches de modèle mono-dynamique au travers d'un environnement, mais aussi de réutiliser les différentes mono-dynamiques élaborées dans d'autres modèles.
Ici, nous avons besoin de mettre en place une dynamique d'évolution de la population, reposant sur les interactions d'une grande quantité d'agents réactifs qui évolueraient selon un modèle comportemental spécifique (pyramide des âges, migration, occupation des zones habitables, etc.). Ensuite, une seconde dynamique, serait composée d'agents cognitifs géo-localisés, dont le modèle comportemental exprime une politique de gestion d'énergie.

4 Réalisation

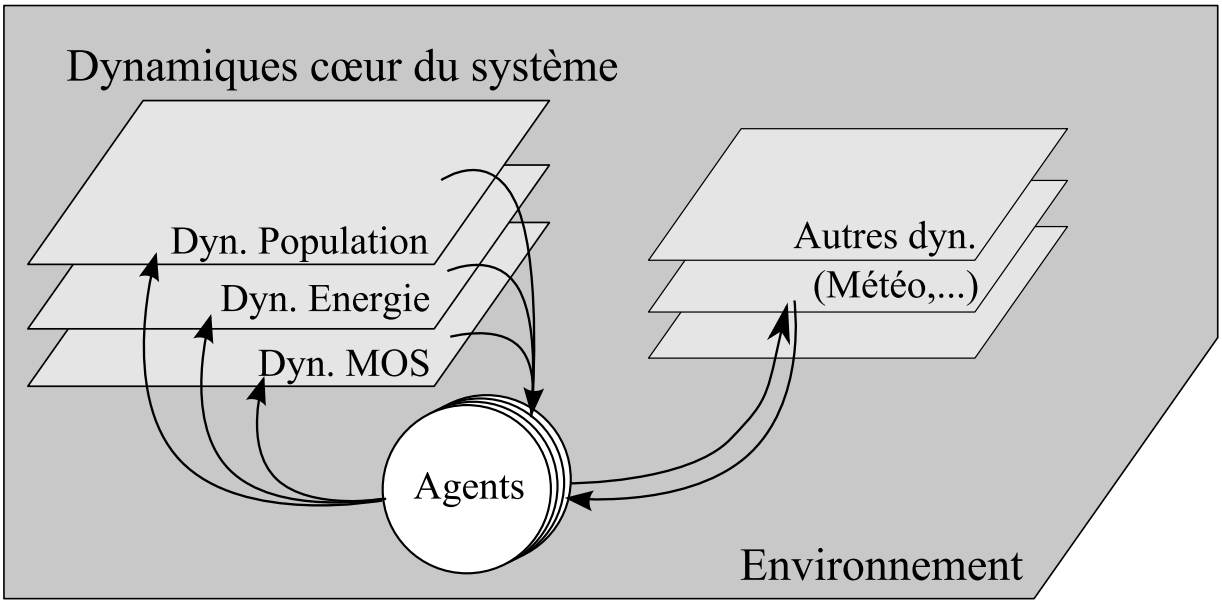

Fig.1 : *Modélisation Multi-MDM*

Les différentes dynamiques (Fig.1) doivent donc être créées pour pouvoir appliquer cette méthode. Une modélisation de ce type a déjà été implémentée sur notre plateforme de simulation Geamas-NG : le modèle DS [DPB07]. Il s'agit d'un modèle de simulation d'évolution des espaces fonciers à la Réunion. Il permet de simuler sur l'ensemble de l'île les interactions entre les trois grandes classes d'utilisation du sol (espaces naturels, agricoles et urbains) et d'observer les évolutions induites.

Le modèle DS couple deux dynamiques comportementales qui peuvent communiquer entre elles pour évoluer au cours du temps simulé:

- Une 1ère dynamique, dite d'évolution de la population, repose sur l'évolution de plusieurs agents *Parcelles* qui couvrent, tous ensemble, la totalité du territoire.

- Une 2nde dynamique, dite d'évolution du mode d'occupation des sols (MOS), est présente à l'échelle globale de l'île et repose sur des agents superviseurs d'échelle macro.

L'île est découpée en parcelles sur lesquelles les agents consommateurs et producteurs seront géolocalisés. Dans notre application, nous nous sommes servis des dynamiques de ce modèle, composées majoritairement d'agents réactifs et de quelques agents cognitifs. Nous avons donc concentré nos efforts sur la création d'une dynamique hautement cognitive de gestion de l'énergie que nous avons rajoutée au modèle, ainsi que d'autres dynamiques secondaires (météo, éphéméride, événementielle,…).

Le modèle que nous proposons pour gérer ce système (Fig.1) est donc composé de :

- 3 dynamiques cœur du système :
  - Dynamique de Population
  - Dynamique du MOS
  - Dynamique de l'Energie
- d'autres dynamiques :
  - Météo
  - Calendrier …

Nous allons donc présenter ces dynamiques qui interviennent dans notre modèle, leurs rôles et leurs compositions.

4.1 Dynamique de Population :

La première dynamique et la plus importante est celle de l'évolution de la population. La population ne consomme pas de la même manière suivant sa position géographique, son activité, selon la météo, etc. Cette population est représentée par des agents consommateurs. Les principales informations que ces derniers doivent gérer sont:

- l'évolution de la population dans le temps ;
- le type d'activité (tertiaire, particulier et industriel) ;
- le niveau de satisfaction de l'agent selon certains critères (le confort thermique, le coût, l'empreinte écologique, etc.).

Le territoire est découpé en un grand nombre de ces agents réactifs nommés *Parcelles*, modulable selon le degré de finesse recherché. Etant donné la quantité d'agents présents, cette dynamique se situe à un niveau micro.

4.2 Dynamique du MOS:

La seconde dynamique du cœur du système est celle du mode d'occupation du sol. Elle a pour moteur trois agents superviseurs, qui ont une vision globale de l'environnement, et est à l'échelle macro (contrairement à la dynamique précédente):

- L'**agent Naturel**, dont l'objectif est d'obtenir une surface d'espaces naturels à conserver sur l'île en mettant des cellules en conservation (prioritairement les cellules de plus fort potentiel naturel).
- L'**agent Agricole**, dont l'objectif est d'atteindre une surface de terre agricole donnée sur l'île dans son ensemble en faisant passer des cellules (prioritairement les cellules de plus fort potentiel agricole) en MOS Agricole.
- L'**agent Urbain**, dont l'objectif est d'assurer l'étalement urbain nécessaire à l'installation de la nouvelle population.

Les deux dynamiques précitées coexistent bel et bien ensemble, non causalement l'une envers l'autre, mais en inter-influence l'une de l'autre, ce qui est assez rare dans les systèmes en règle générale. Le couplage de la dynamique d'évolution de la population et de celle de l'évolution du MOS a pour principal but de loger la population dans les espaces urbains en faisant passer, si nécessaire, des cellules en MOS Urbain.

4.4 Dynamique de production :

La troisième dynamique qui complète le cœur du système est celle de la production d'énergie. Cette dynamique, sur laquelle nous avons consacré la plupart de nos efforts, a pour moteur des agents cognitifs (Fig.2) qui sont localisés sur les centres de productions d'énergie.

Ces agents gèrent plusieurs informations :

- Le type de production d'énergie : éolien, fuel, charbon, hydroélectrique, photovoltaïque, …

- La capacité de production suivant la période. La Réunion possède des centrales mixtes qui fonctionnent au charbon et à la bagasse. Cette dernière est le résidu fibreux de la canne à sucre, passée par le moulin pour en tirer le suc. C'est une énergie renouvelable qui n'est disponible que pendant la période de récolte de la canne à sucre.
- L'impact des contraintes extérieures. Par exemple, la météo n'a que très peu d'influence sur les moteurs à gasoil, mais beaucoup plus sur le solaire,…
- Le coût de la production (autant le coût économique que le coût CO_2).
- La modularité de la production : certaines centrales peuvent être activées partiellement. Pour d'autres, il n'est pas possible de régler le débit.

Les agents producteurs d'énergie négocient entre eux pour trouver comment produire au mieux l'électricité demandée suivant le scénario de simulation préétabli.

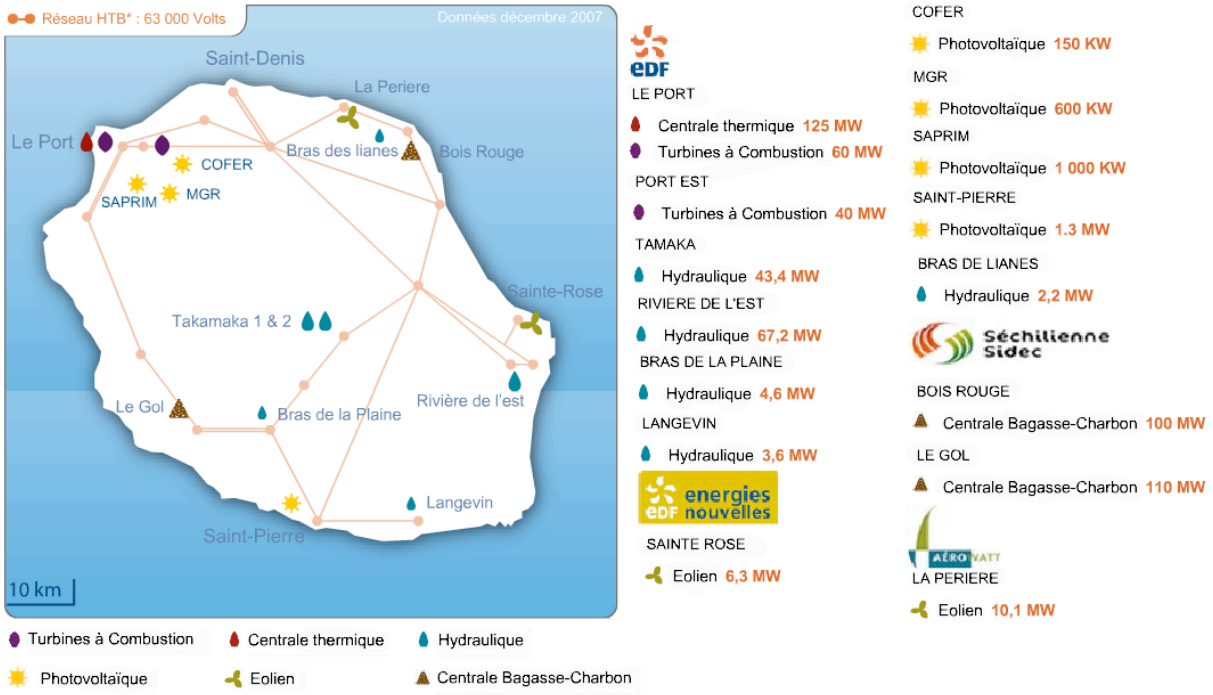

Fig. 2 : *Production d'énergie à la Réunion (d'après EDF)*

4.5 Dynamiques secondaires :

Les trois dynamiques précédentes constituent la base de notre modèle. Des dynamiques secondaires peuvent venir l'enrichir grâce à d'autres agents qui influencent les premières, comme par exemple :

- La météo : d'abord au niveau général comme l'été et l'hiver, puis à un niveau plus fin comme par exemple en période de cyclones, etc.
- Le calendrier : car une personne ne consomme pas de la même manière un lundi, un mardi ou un week-end, ni même lors de périodes de vacances, etc.
- Les événements : il serait possible par exemple de rajouter des évènements sociaux comme une période de grève, de fêtes, etc.

Ces différentes dynamiques pourront être activés ou pas, selon les besoins des utilisateurs et décideurs. Elles seront affinées au fur et à mesure par les thématiciens concernés.

4.6 Les scénarios

L'un des intérêts de cette approche utilisant le Multi-MDM est de pouvoir ensuite créer des scénarios d'initialisation, dans lesquels la géo-localisation de la production d'énergie est prise en compte. Ils permettront justement de configurer ces dynamiques. Selon les scénarios utilisés, la simulation offrira des résultats différents : ces résultats peuvent être comparés pour faciliter une prise de décision dans la politique de gestion d'énergie.

Nous envisageons par exemple certains scénarios ayant des règles comme « l'écologie avant l'économie », l'inverse, ou encore un équilibre entre ces deux politiques. Il est possible aussi de prévoir un scénario intégrant une sensibilisation au niveau de la population consommatrice pour limiter le gaspillage.

5 Bilan

La synergie obtenue par ces différentes dynamiques produit des résultats pertinents. Les agents producteurs et consommateurs, étant géo-localisés, peuvent aussi prendre en compte dans leurs transactions une donnée qui est souvent négligée dans les autres modèles existants au niveau de la distribution : la gestion des flux d'énergie.

En effet, en 2006, la production électrique à la Réunion a été de 2 365 GWh pour une consommation de 2 152 GWh. La différence s'explique par les pertes électriques naturelles dans les réseaux de transport et de distribution[ii]. Ces pertes d'énergie sont liées au type de la ligne (haute tension, moyenne tension, basse tension et les différentes classes de câbles) et représentent un coût.
Rajouter cette donnée dans le système permet donc de prévoir, par exemple, de nouvelles lignes, de nouvelles installations, ainsi que leur localisation optimale et leur dimensionnement, de manière à limiter les coûts autant au niveau économique qu'écologique.
Ce système permet aussi de calculer la perte qu'occasionnerait, par exemple, la maintenance de toute une ligne haute tension, ou encore celle d'une centrale.

Il est important de relativiser ces résultats en sachant qu'il ne s'agit que d'une représentation simplifiée du monde réel. Cependant, plus ce modèle sera enrichi par des thématiciens spécialistes dans leurs domaines respectifs (sciences de l'énergie, météorologie, sociologie, etc.), plus il pourra venir en aide aux décideurs, et servira en parallèle à d'autres dispositifs de prévisions traditionnels pour anticiper les installations des années à venir.

Références

[BBW96] F. Bousquet, O. Barreteau, et J. Webber. «Modélisation d'Accompagnement : Systèmes Multi-Agents et Gestion des Ressources Renouvelables.» *Quel Environnement au 21ème Siècle ? Environnement, Maîtrise du Long Terme et Démocratie.* Abbaye de Fontevraud, Paris: GERMES, 1996. 10.

[Fer94] Ferber, Jacques. «La kénétique: des systèmes multi-agents à une science de l'interaction.» *Revue internationale de systémique*, 1994: 13-27

[Fer95] Ferber, Jacques. « Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective. » Paris: InterEditions, 1995.

[LeK08] Ky Le. «Thèse : Gestion optimale des consommations d'énergie dans les bâtiments.» Institut Polytechnique de Grenoble. Grenoble, 10 Juillet 2008.

[BDS98] Magnus Bornan, Paul Davidsson, Nikolaos Skarmeas, Keith Clark, et Rune Gustavsson. «Energy Saving and Added Customer Value in Intelligent Buildings.» *Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems (PAAM-98).* London, 1998. 505-516.

[PCS06] Denis Payet, Rémy Courdier, Nicolas Sébastien, et Tiana Ralambondrainy. «Environment as support for simplifications, reuse and integration of processes in spatial MAS.» *Information Reuse and Integration (IRI).* Hawaii, 2006. 127-131.

[DPB07] Daniel David, Denis Payet, Aurélie Botta, Gilles Lajoie, Sébastien Manglou, et Rémy Courdier. «Un couplage de dynamiques comportementales : Le modèle DS pour l'aménagement du territoire.» *Actes des Journées Francophones Systèmes Multi-Agents (JFSMA'07).* Carcassonne: Cepadue, 2007. 129-138.

[i] http://www.gerri.fr/leprojet/historique
[ii] Selon l'Observatoire Energie Réunion