

Simulation cartographique au service de l'innovation collective

Xavier Augusseau, Félicie Aulanier, Agnes Begue, Jeremy Bourgoïn, Daniel David, Gilbert David, Pascal Degenne, Mireille Fargette, Erwann Lagabriele, Gilles Lajoie, et al.

► **To cite this version:**

Xavier Augusseau, Félicie Aulanier, Agnes Begue, Jeremy Bourgoïn, Daniel David, et al.. Simulation cartographique au service de l'innovation collective. SAGEO'2013, Sep 2013, Brest, France. Acte de la Conférence Internationale de Géomatique et d'Analyse Spatiale, pp.37-52. <cirad-00850243>

HAL Id: cirad-00850243

<http://hal.cirad.fr/cirad-00850243>

Submitted on 17 Sep 2013

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.

Simulation cartographique au service de l'innovation collective

Géoprospective territoriale à l'île de La Réunion

Augusseau X.¹, Aulanier F.², Bégué A.³, Bourgoïn J.³, David D.⁴, David G.⁵, Degenne P.³, Fargette M.⁵, Lagabrielle E.⁶, Lajoie G.⁶, Laurent J.B.², Lebourgeois V.⁷, Lestrelin G.¹, Lo Seen D.³, Loireau M.⁵, Tillard E.⁸, Todoroff P.², Tonneau J.P.³, Vitry F.²

1. CIRAD, UMR TETIS

Station de la Bretagne, BP 20, 97438 Saint Denis, La Réunion, France

xavier.augusseau@cirad.fr, guillaume.lestrelin@cirad.fr,

2. CIRAD, UPR SCA

Station de Ligne-Paradis, 7 chemin de l'IRAT, F-97410 Saint-Pierre, La Réunion, France

felicie.aulanier@cirad.fr, jean.baptiste.laurent@cirad.fr, pierre.todoroff@cirad.fr, francois.vitry@cirad.fr

3. CIRAD, UMR TETIS

Maison de la Télédétection, 500 Av. J-F Breton, F-34093 Montpellier, France

agnes.begue@cirad.fr, jeremy.bourgoïn@cirad.fr, pascal.degenne@cirad.fr, danny.lo_seen@cirad.fr, jean-philippe.tonneau@cirad.fr

4. IRD, UMR ESPACE-DEV,

Parc Technologique Universitaire, 2 rue Joseph Wetzell, F-97492 Sainte-Clotilde, La Réunion, France

daniel.david@ird.fr

5. IRD, UMR ESPACE-DEV

Maison de la Télédétection, 500 rue Jean-François Breton, F-34093 Montpellier, France

gilbert.david@ird.fr, mireille.fargette@ird.fr, maud.loireau@ird.fr

6. Université de La Réunion, UMR ESPACE-DEV

Parc Technologique Universitaire, 2 rue Joseph Wetzell, F-97492 Sainte-Clotilde, La Réunion, France

erwann.lagabrielle@univ-reunion.fr, gilles.lajoie@univ-reunion.fr

7. CIRAD, UMR SELMET

Station de Ligne-Paradis, 7 chemin de l'IRAT, F-97410 Saint-Pierre, La Réunion, France

emmanuel.tillard@cirad.fr

8. CIRAD, UMR TETIS

Station de Ligne-Paradis, 7 chemin de l'IRAT, F-97410 Saint-Pierre, La Réunion,
France

Valentine.lebourgeois@cirad.fr

RÉSUMÉ.

L'objectif de cet article est de présenter une démarche de construction d'un exercice de prospective territoriale basé sur un outil de modélisation spatiale. Cette démarche est mise en œuvre dans le cadre du projet ANR DESCARTES dont l'objectif est de construire un outil de simulation cartographique pour analyser différents scénarios d'affectation de l'usage des sols à l'île de La Réunion, en termes de services environnementaux. La plateforme de simulation cartographique est composée de deux applications complémentaires (i) le langage de modélisation Ocelet et son environnement de simulation de paysages dynamiques, et (ii) la plateforme Margouill@. Le développement puis la présentation, en atelier, d'un premier démonstrateur sur la consommation des terres agricoles par l'urbanisation a permis de tester l'outil cartographique comme support d'un processus d'innovation collective entre les parties prenantes, et d'ouvrir de nouveaux champs de recherche sur l'analyse de la démarche par les apprentissages, la spatialisation et la simulation prospective des services écosystémiques, et la prise en compte du changement d'échelle.

ABSTRACT.

The objective of this paper is to present an approach for experimenting territorial prospective analysis based on spatial modelling. This approach is carried out in the framework of the DESCARTES project which aims at developing a spatial simulation tool to support the design and analysis of different scenarios for land-use allocation in Reunion Island in terms of environmental services. The spatial modelling tool is composed of two complementary applications: (i) the Ocelet modelling language and its land dynamics simulation environment, and (ii) the Margouill@ platform. The first demonstrator, a model of farm land consumption by urbanization, was developed and presented during workshops in order to test the role of the spatial simulation tool in support of a collaborative innovation process among stakeholders, and to foster new research on social learning, spatial simulation of environmental services, and scale change issues.

MOTS-CLES : prospective territoriale, modélisation paysagère, services environnementaux, apprentissage collectif, Ile de la Réunion

KEYWORDS: scenario planning, landscape modeling, ecosystem services, social learning, Reunion Island

1. Introduction

Les processus de périurbanisation de l'agriculture se traduisent par une forte tension sur le foncier agricole et l'émergence d'une demande en agriculture « de services ». De nouvelles fonctions sont attribuées à l'agriculture, comme la gestion des aménités rurales et environnementales (Beuret et Cadoret, 2009). L'espace agricole devient ainsi le support de multiples fonctions (production primaire et services environnementaux) et l'objet de controverses entre acteurs urbains, environnementalistes et agricoles (Bertrand *et al.*, 2006). L'agriculture représente désormais l'enjeu de négociations qui dépassent largement le champ de la production, avec de nouveaux acteurs et instances de gouvernance (Jarrige *et al.*, 2006).

Ces nouvelles situations de gouvernance « partagée » rendent difficiles les choix et la recherche de consensus. Le recours à l'information et à la modélisation spatialisée et « l'usage raisonné des représentations spatiales » semblent être des voies privilégiées pour mettre en avant et débattre de différents points de vue et, potentiellement, dégager des consensus (Lardon et Piveteau, 2005 ; Maurel *et al.*, 2007). Ainsi, la mise en débat des services environnementaux est organisée autour de concepts tels que les « landscape services », censés permettre une meilleure compréhension des acteurs et créer un cadre unificateur pour les discussions entre décideurs, scientifiques et acteurs locaux autour de projets de territoire (De Groot, 2006 ; Termorshuizen and Opdam, 2009).

En lien avec ces concepts, la spatialisation des services environnementaux émerge comme une problématique importante (Kienast *et al.*, 2009). La cartographie des services écosystémiques s'attache ainsi à établir des relations entre unités de paysage (occupation/utilisation du sol), couplée à d'autres indicateurs (densité de population par exemple), et services environnementaux (type, quantité, qualité et distribution spatio-temporelle) (Eigenbrod *et al.*, 2010). Des plateformes de modélisation comme les projets InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) et MIMES (Multiscale Integrated Models of Ecosystem Services) sont également développées pour spatialiser des scénarios d'aménagement et réaliser des bilans en termes de services environnementaux (Golstein *et al.*, 2010).

Au-delà des concepts et outils de modélisation et d'évaluation, la diversification des questionnements autour de l'agriculture et la prise en compte d'une pluralité d'acteurs et de perspectives dans les négociations et la prise de décision, nécessitent également des innovations organisationnelles. Or, dans la littérature récente sur la modélisation paysagère (Nelson *et al.*, 2009 ; Willemsen *et al.*, 2010), la participation des acteurs et le rôle joué par la plateforme de modélisation dans les processus de négociation et de construction de scénario ne sont souvent qu'évoqués. La démarche « participative » n'est pas véritablement construite et le rôle des modèles comme objets intermédiaires (Van Egmond and Zeiss, 2010) n'est pas réellement analysé.

Si l'utilisation de modèles comme objets intermédiaires peut jouer un rôle important dans la médiation et les processus d'apprentissage (Vinck, 2000 ; Antona

et al., 2005), il est donc nécessaire de promouvoir des démarches de co-construction itératives pour assurer une bonne appropriation des modèles et la mise en débat par les acteurs concernés (Van Ittersum *et al.*, 1998 ; Volk *et al.*, 2010).

Nous présentons ici les premiers résultats de la construction d'un dispositif de géoprospective qui mobilise un outil de simulation de dynamiques paysagères comme support d'un exercice participatif de prospective territoriale. Ce dispositif est élaboré dans le cadre du projet DESCARTES (ANR 11-AGRO-002-01).

2. La démarche du projet

2.1. La démarche globale

Dans un contexte insulaire, le projet DESCARTES vise à construire une démarche d'élaboration participative d'un diagnostic sur la place et la contribution de l'agriculture à des projets de territoire sur l'île de la Réunion (quel espace agricole ? pour quelle production ? pour quels services ?). Dans la perspective de développer des apprentissages, cette démarche intègre les partenaires institutionnels et la communauté scientifique sur l'ensemble de la mise en œuvre du projet. Le travail en partenariat s'appuie sur un outil de simulation cartographique visant à tester les « conséquences et cohérences », en termes de services (production et services environnementaux), de différents scénarios d'affectation de l'usage des sols dans un projet de territoire. Cet outil est prévu pour dialoguer avec des bases de données et des modèles, et pour être mobilisé comme le support de processus d'innovation collective entre les parties prenantes.

La mobilisation de modèles comme objets intermédiaires doit s'inscrire dans une démarche organisant les interactions entre scientifiques et acteurs concernés par le projet. Ces interactions sont considérées comme nécessaires à un processus d'apprentissage collectif, gage de l'utilisation des résultats du projet par les acteurs.

La première étape est la mise en place et la consolidation d'une arène qui garantisse la légitimité de l'exercice de prospective et en précise la finalité. Pour cela nous avons mobilisé un premier modèle démonstrateur (Figure 1). Les interactions avec les partenaires se font au cours de groupes de travail, la plupart sous la forme d'ateliers de modélisation, durant lesquels les modèles et les simulations sont discutés et consolidés.

La démarche commence par un exercice de prospective qui vise à définir collectivement des scénarios et les indicateurs pour les évaluer, et s'achève avec la présentation et la mise en débat des simulations des scénarios. Les scénarios consistent à explorer différentes hypothèses de mise en œuvre des différentes politiques publiques sur le territoire étudié. Dans les différents ateliers de modélisation, les différents scénarios sont mobilisés pour produire des modèles « thématiques » et paramétrer des simulations.

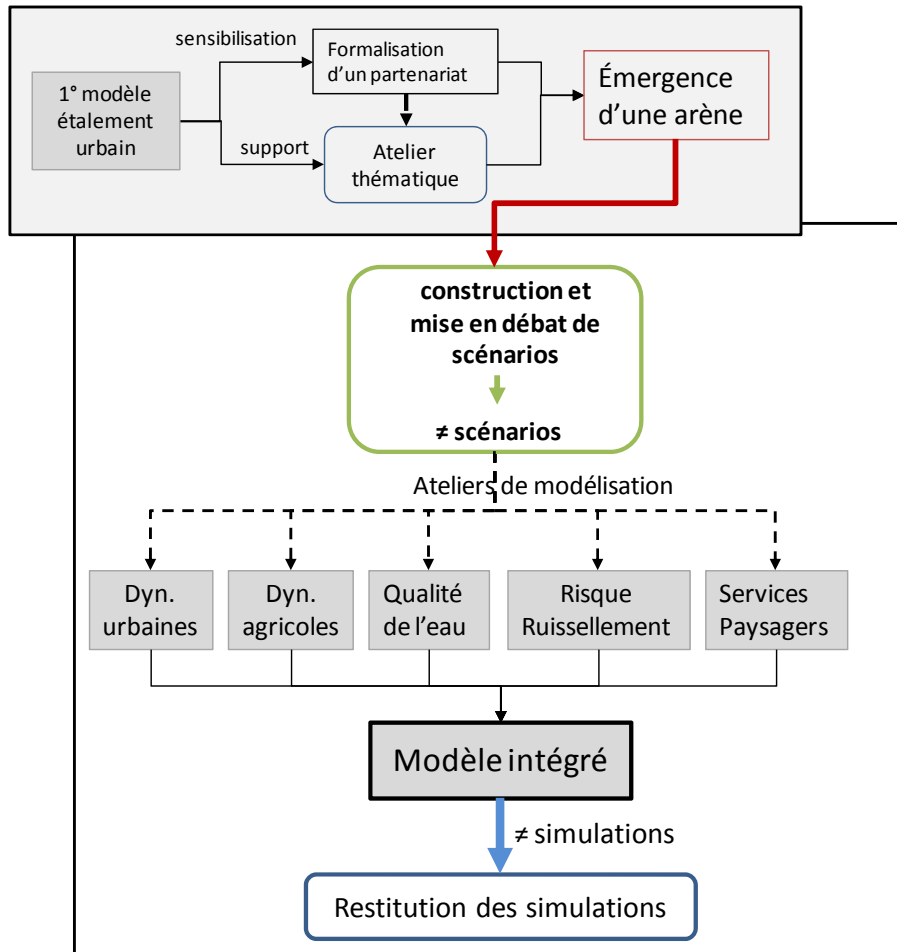


Figure 1 : Schéma général de la mise en place du dispositif partenarial de géoprospective.

2.2. L'approche de modélisation

L'outil de simulation cartographique proposé est basé sur des travaux de recherche récents menés par les équipes du projet, portant sur : (i) le développement d'un langage (Ocelet) et d'un environnement de modélisation de paysages dynamiques (projet ANR Blanc STAMP *Modelling dynamic landscapes with Spatial, Temporal and Multiscale Primitives*) (Degenne *et al.*, 2009 ; 2010 ; Degenne, 2012) et (ii) la constitution d'un système d'information agricole en ligne (plateforme Margouill@ ; www.margouilla.net) (Laurent *et al.*, 2011). Il est

construit pour hériter à la fois de la flexibilité de modélisation de l'approche Ocelet et de la convivialité de la plateforme Margouill@.

Employés comme objets intermédiaires, les modèles de simulation ont l'avantage de pouvoir intégrer un grand nombre de connaissances sur le fonctionnement des composantes du territoire et de montrer rapidement les évolutions possibles en fonction de différents scénarios. Elaborés au cours d'ateliers collectifs, ils permettent de faire émerger des représentations partagées et acceptées par les différents acteurs. En effet, si la construction de modèles et la simulation constituent bien souvent des exercices de réflexion et d'application peu compatibles avec une démarche participative (où le débat, parfois animé, est central), la flexibilité d'un langage de modélisation comme Ocelet permet de combler le décalage entre la nécessité des acteurs d'interagir en temps réel lors des arènes, et le temps nécessaire pour développer les simulations. A cet égard, un ensemble d'interfaces de représentation graphique des indicateurs (de services environnementaux notamment) est en cours de développement afin de faciliter la visualisation et la comparaison des simulations.

2.3. L'intégration des services écosystémiques dans le processus de planification spatiale

Le concept de service écosystémique est apparu à partir des années 1970 en économie de l'environnement, puis s'est imposé à partir des années 1990 comme un concept-outil de légitimation écologique et économique des politiques de conservation face aux pressions anthropiques.

L'intégration des services écosystémiques dans l'aménagement de l'espace est un nouveau défi (De Groot *et al.*, 2010). Ainsi, la spatialisation des services écosystémiques peut aider et faciliter leur appropriation par les décideurs avec l'appui des scientifiques (Fisher and Turner, 2008).

La spatialisation et l'évaluation des services écosystémiques dans le cadre du projet DESCARTES se fait en partenariat avec les gestionnaires, tout en assumant le rôle moteur (i.e. d'innovation) des scientifiques dans cette démarche (Lagabrielle *et al.*, 2010). Nous considérons que le concept de service écosystémique est structurant pour modéliser le fonctionnement biophysique d'un territoire à l'échelle du paysage, sans pour autant chercher à imposer a priori ce concept dans le débat d'aménagement. Aussi le concept « jargonneux » de service écosystémique est introduit dans le projet de manière implicite. L'équipe du projet joue ensuite le rôle d'intégrateur des connaissances et des données dans ce cadre conceptuel.

La démarche consiste (i) à catégoriser les services écosystémiques, (ii) à établir des associations entre des types d'occupation du sol et ces services à l'échelle du territoire, (iii) à identifier des bénéficiaires pour chaque type de service, puis (iv) à évaluer les impacts de différents scénarios prospectifs d'occupation du sol sur ces services.

3. situation étudiée

3.1. Le contexte de l'étude

Le projet est mené à La Réunion, petit espace insulaire de 2512 km² situé dans l'Océan Indien, qui se caractérise par une dynamique démographique et une économie qui doit composer avec de fortes contraintes d'espace. La gestion du foncier est source de divergences. Depuis deux décennies, les acteurs du monde agricole tentent de protéger les terres agricoles, progressivement déclassées par le développement urbain, alors que les collectivités territoriales cherchent à assurer les besoins économiques et sociaux d'une population croissante (dans la partie « utile » de l'île, les densités sont proches de 600 hab./ha). La création récente du Parc National de La Réunion (le cœur du parc couvre 40% de l'île) et d'une Réserve Naturelle Nationale Marine sur les récifs coralliens de la Côte Ouest, inscrivent dans l'espace géographique un projet de territoire insulaire orienté vers la conservation et la valorisation du patrimoine naturel.

L'espace agricole de l'île (environ 50 000 ha) est le support de fonctions de production « primaire », mais devient aussi le support d'une production potentielle de services environnementaux. Les différentes filières agricoles doivent ainsi réaliser leurs propres objectifs (production et surfaces), potentiellement concurrentiels, tout en contribuant au développement durable de l'île. Néanmoins les différentes politiques sectorielles se superposent sans qu'il n'y ait vraiment de lieux (forums) et d'outils pour diagnostiquer et débattre des interactions. Ainsi les différents diagnostics territoriaux des projets de planification (PLU¹, SCOT², ...) présentent généralement une vision segmentée des différents enjeux du territoire, bien loin de l'intégration nécessaire.

3.2. Les sites d'étude

Le TCO a été choisi car il concentre des problématiques de l'île où les enjeux environnementaux sont particulièrement aigus, notamment avec la présence en aval d'un lagon, dont les ressources sont directement impactées par les activités anthropiques en amont et le cœur du Parc National dans les hauts. Le bassin versant choisi, futur bassin d'alimentation de captage Grenelle, se caractérise par des enjeux environnementaux importants et un exutoire qui se situe au cœur de la Réserve Marine dans le lagon.

Deux échelles emboîtées sont prévues dans le projet : une communauté de communes, les Territoires de la Côte Ouest (TCO) et un bassin versant (Figure 2). Ces deux échelles sont traitées de façon homogène, avec la même approche basée sur des interactions entre entités spatiales à des échelles compatibles, mais

1 Plan Local d'Urbanisme

2 Schéma de Cohérence Territoriale

exprimant des processus différents, pertinents à ces échelles, et avec des acteurs/décideurs qui ont des niveaux d'implication plus ou moins forts selon le territoire de gestion considéré. L'échelle de la communauté de communes est le niveau où l'on teste des scénarios « stratégiques ». Ces scénarios servent de forçage à l'échelle locale, comme lorsque par exemple l'application stricte d'un Instrument d'Action Publique (IAP) induit un changement de pratiques culturales dans certaines parcelles situées en zone d'alimentation de captage d'eau.

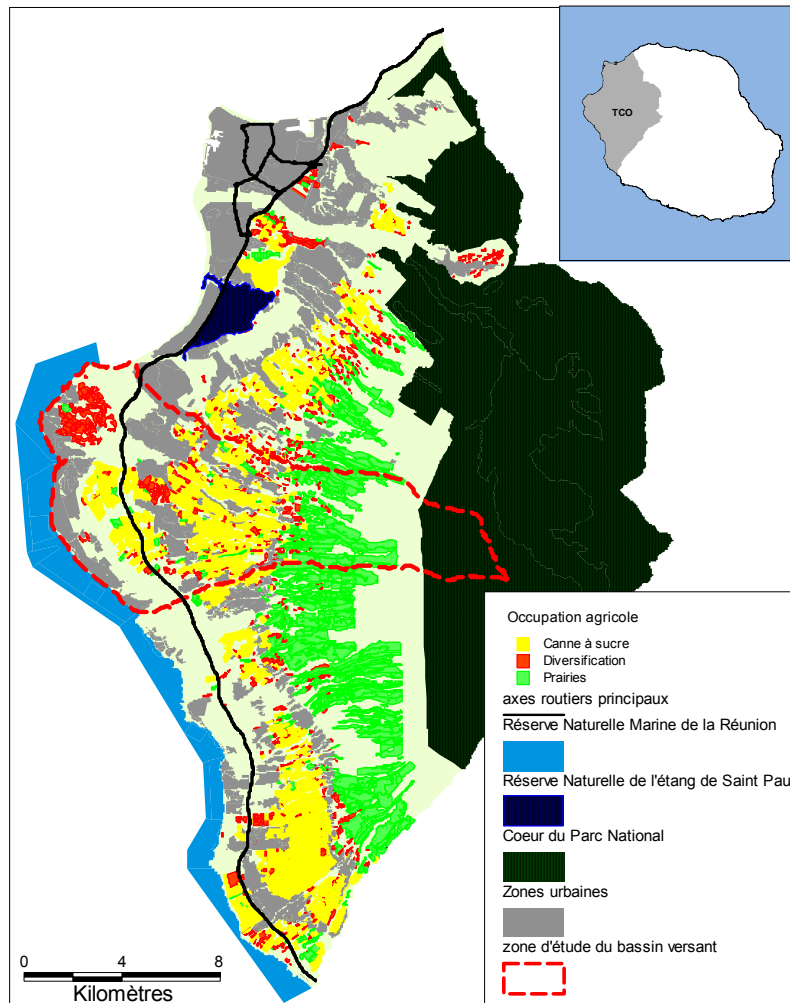


Figure 2 : Carte de localisation du TCO (Territoires de la Côte Ouest) à La Réunion et organisation du territoire.

4. Mise en place de la démarche et premiers résultats

4.1. Développement d'une plateforme de simulation

La plateforme de simulation cartographique se compose de deux applications complémentaires. La première hérite de l'environnement de modélisation Ocelet (Degenne *et al.*, 2009, 2010 ; Degenne, 2012) basé sur la manipulation de graphes (objet mathématique constitué d'un ensemble de nœuds et d'un ensemble d'arcs reliant certains des nœuds) qui sont employés ici de manière innovante. Avec le concept de graphe d'interaction, où les entités du modèle sont les nœuds du graphe et les fonctions d'interaction sont portées par les arcs, il est possible de modéliser avec une grande liberté d'expression une portion de territoire et de simuler son évolution dans le temps. L'outil se présente comme un environnement logiciel avec les fonctions nécessaires pour construire des modèles et des simulations. Cette application est mobilisée au cours d'ateliers pour simuler des scénarios.

La deuxième application est un enrichissement des fonctionnalités de Margouill@ (Laurent *et al.*, 2011) et s'utilise en ligne (sur un serveur web). Connecté à plusieurs bases de données spatiales, le portail Margouill@ met l'accent sur l'ergonomie, la convivialité et la facilité d'utilisation et intègre un outil cartographique en ligne respectant les standards de l'OGC (*Open Geospatial Consortium*).

Un modèle généré par Ocelet est interfacé à Margouill@ à trois niveaux :

- Margouill@ intègre une interface de paramétrage du modèle qui est générée de façon dynamique « à la volée ». L'utilisateur peut ainsi manipuler les paramètres d'entrée du modèle et tester plusieurs simulations sans avoir à intervenir sur la configuration de celui-ci (Figure 3).
- Lors de l'exécution du modèle, celui-ci utilise les données agro-environnementales stockées dans la base de données PostgreSQL/Postgis de Margouill@.
- Les résultats de simulations sont principalement des cartes animées au format KML de Google Earth. Ces cartes sont intégrées au site de Margouill@ à l'aide d'un plugin de visualisation.

L'outil DESCARTES en ligne permet de lancer des simulations avec les modèles construits par la première application, de faire varier les paramètres des modèles (Figure 3), de visualiser les évolutions des différentes simulations et d'évaluer les résultats.

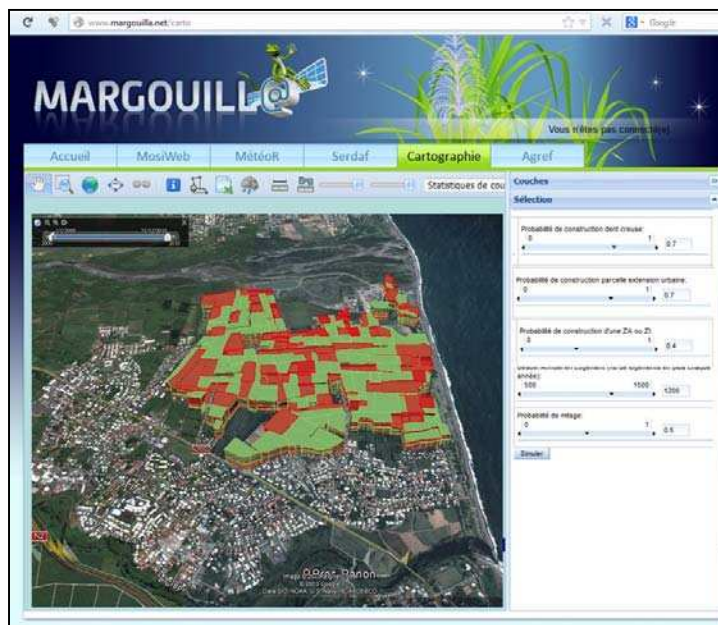


Figure 3 : Prototype de la plateforme Margouill@-Ocelet utilisant le plugin Google Earth pour afficher les résultats de sortie.

4.2. Construction d'un modèle de consommation des terres agricoles par l'urbanisation

En croisant l'expertise des partenaires du projet DESCARTES sur les processus d'urbanisation à La Réunion (Lajoie, 2007 ; David, 2010 ; David *et al.*, 2012) et les connaissances issues des interactions avec les acteurs de l'aménagement sur le TCO, nous avons entrepris la co-construction d'un modèle permettant de simuler l'évolution de l'urbanisation et le processus de consommation des terres agricoles sur ce territoire. La version courante de ce modèle est le fruit d'évolutions successives. Un premier prototype simplifié et volontairement non calibré a ainsi été développé entre chercheurs dans le but explicite d'exposer au TCO notre savoir-faire en matière de modélisation et de simulation cartographique sur une zone test (d'échelle communale). Suite à ce prototype, nous avons enclenché avec les équipes du TCO la démarche de modélisation qui a permis d'aboutir à un modèle plus complet dans lequel nous avons conceptualisé, implémenté et couplé deux dynamiques : l'urbanisation planifiée et l'urbanisation non-contrôlée.

Plusieurs entités spatiales multi-échelles sont représentées et manipulées dans ce modèle, en particulier le TCO lui-même, ses pôles urbains, et ses parcelles cadastrales. Chaque année, dans la dynamique d'urbanisation planifiée, une partie des parcelles cadastrales qui se trouvent au sein des zones d'extension urbaine

définies dans les documents de planification (notamment le Plan Local de l'Habitat du SCOT) s'urbanise en fonction des objectifs de nombre et de densité de logements associés à chacun des pôles urbains (à l'horizon 2020). En fonction des contraintes et des scénarios de simulation, la part des besoins en logement qui n'est alors pas satisfaite vient enrichir la dynamique d'urbanisation non-contrôlée. Dans cette dernière, des maisons sont construites sur des parcelles cadastrales se situant en dehors des zones urbaines réglementaires mais qui possèdent un fort potentiel en raison de leur attractivité et de leur proximité au réseau routier, aux pôles urbains et/ou aux zones historiques de mitage des terres agricoles.

Les résultats des simulations issues de cette version du modèle ont été exportés sous forme de fichiers *kml* temporels pour comparer les évolutions spatiales associées à des scénarios d'aménagement tests (Figure 4). Ces premiers résultats ont été présentés aux élus du TCO ainsi qu'à un panel des acteurs de l'aménagement et les discussions engendrées ont permis d'enrichir notre modèle conceptuel, que ce soit au niveau des critères à prendre en compte dans les processus (par exemple l'ensemble des types de réseaux, qu'ils soient routiers, de distribution en eau, d'assainissement, ...), au niveau de l'identification de certains facteurs clés (la disponibilité des financements, les effets des lois de défiscalisation, ...), ou au niveau même de la caractérisation des dynamiques d'urbanisation (« renouvellement urbain » et « extension urbaine » d'une part, « mitage traditionnel » et « mitage vases-communicants » d'autre part). Le modèle conceptuel obtenu □ qui servira de base à la prochaine version du modèle implémenté □ est ainsi le fruit d'une démarche progressive de co-construction et d'apprentissage collectif.

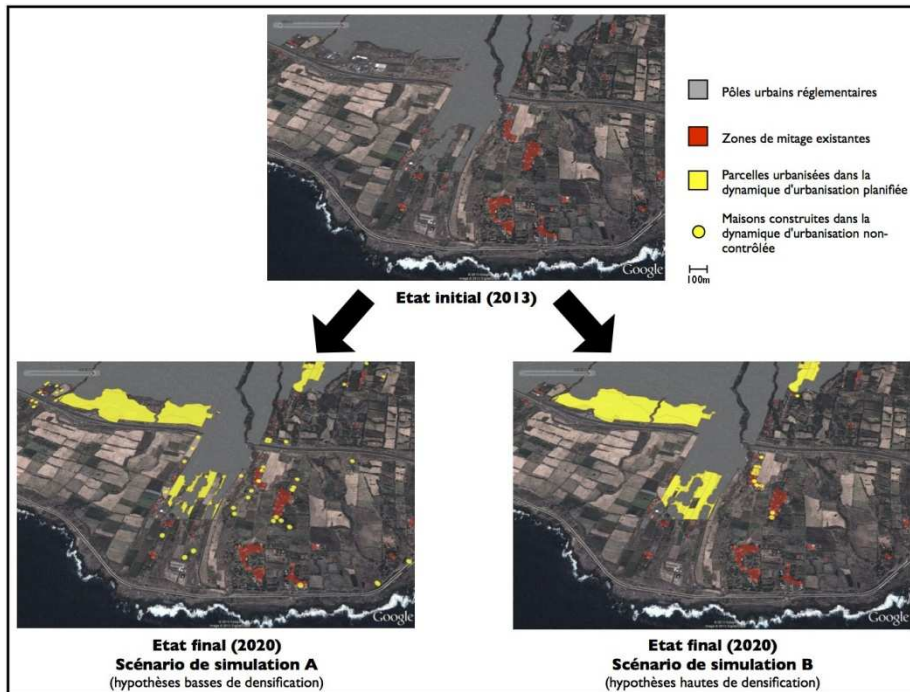


Figure 4 : Représentation des dynamiques urbaines.

4.3. Emergence d'un dispositif de géoprospective

L'émergence du dispositif de géoprospective est structurée par différentes étapes et changements d'état dans les relations entre acteurs du projet. Dans un premier temps, le développement d'un modèle démonstrateur sur l'étalement urbain et la présentation de simulations cartographiques issues de ce modèle ont eu pour effet d'attirer l'attention et de sensibiliser l'équipe technique du TCO sur l'intérêt potentiel des méthodes et outils développés pour la résolution de questions de planification et prospective (Figure 1). Cette étape de sensibilisation a été facilitée par l'actualité interne de l'équipe technique du TCO, en phase stratégique de redéfinition des grandes orientations de son territoire (ex. validation du projet de SCOT et révision du SAGE³). Des groupes de travail sur la modélisation des dynamiques d'urbanisation et la restitution de simulations sous *Google Earth* ont notamment permis d'alimenter des discussions entre l'équipe scientifique du projet et l'équipe technique du TCO autour du projet de SCOT et des différentes orientations possibles de l'urbanisation en ciblant localement des incohérences ou des compromis potentiels. Suite à ces échanges, la collaboration a été formalisée par

³ Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

une charte de partenariat précisant la finalité du travail de prospective, les modalités d'interaction entre les acteurs du projet, et positionnant l'intercommunalité du TCO au centre d'un dispositif de réflexion et de débat sur l'évolution du territoire.

Sur ces bases, le dispositif de géoprospective a pu être étendu pour intégrer un plus grand nombre d'acteurs et répondre à des besoins stratégiques. Ainsi, dans le cadre de ses activités de planification et de prospective, l'intercommunalité souhaite développer une charte rurale et identifier des orientations possibles pour une agriculture en cohérence avec le projet de territoire général. L'exercice est cependant rendu difficile par un dialogue quasiment inexistant avec les institutions agricoles. Pour répondre à ces objectifs et enjeux, l'accent a donc été mis sur la dimension heuristique du travail de modélisation et le potentiel d'intégration et d'intermédiation associé aux modèles et simulations cartographiques. Les interactions entre aménageurs, acteurs du monde agricole et de l'environnement ont pu être multipliées et structurées par une série de groupes de travail et d'un atelier collectif organisés sur le thème des dynamiques historiques, des impacts et de la modélisation du mitage des terres agricoles. Ces activités ont notamment permis de dépasser les visions statistiques pour faire émerger des perspectives plus intégrées et territorialisées, de mettre en évidence des perceptions divergentes, d'analyser et de débattre collectivement du processus et de sa régulation. Elles ont aussi permis de faire évoluer rapidement le modèle d'étalement urbain vers une « meilleure » représentation⁴ du mitage et de ses interactions avec d'autres dynamiques et variables territoriales.

5. Conclusion

Cet article présente la démarche de construction d'un exercice de prospective territoriale à la Réunion, dans le cadre du projet ANR DESCARTES. Le projet est en cours et les premiers résultats décrivent la construction des premiers modèles de simulation et leur utilisation pour mettre en place une arène qui vise à organiser les interactions entre l'équipe du projet et ses partenaires.

Une question importante soulevée par le projet DESCARTES concerne les impacts de la démarche de modélisation participative et prospective sur le renforcement des compétences et l'apprentissage. L'apprentissage collectif est notamment considéré comme un moyen d'augmenter les capacités d'adaptation des décideurs et gestionnaires et, partant, de renforcer la résilience des systèmes socio-écologiques (Armitage *et al.*, 2008 ; Reed *et al.*, 2010). Au travers d'enquêtes de diagnostic initial puis de suivi des activités du projet, l'équipe scientifique s'intéresse ainsi à l'émergence de nouvelles pratiques, normes et formes d'interaction sociale au sein du collectif de participants. Une analyse du dispositif de géoprospective comme « acteur-réseau » (Akrich *et al.*, 2006) visera notamment à

4 En accord avec Cash *et al.* (2003), l'idée de « meilleure » représentation est considérée ici comme intégrant trois dimensions : la crédibilité, la légitimité et la pertinence d'une représentation.

réintégrer la question des rapports de pouvoir au centre du questionnement sur l'apprentissage collectif et l'innovation territoriale (Fox, 2000), à évaluer la capacité de médiation d'objets intermédiaires, tels que les modèles et les scénarios, et, en particulier, à mettre en évidence leur rôle dans la production des savoirs et la reproduction ou la reconfiguration des rapports de pouvoir (Cooren, 2010). A cet égard, nos premières observations suggèrent que la démarche collaborative et les technologies de modélisation et de simulation spatiale employées ont d'ores et déjà contribué à structurer de façon significative les relations et interactions entre acteurs du territoire. En particulier, elles ont contribué à faire émerger un réseau de réflexion et de débat sur la prospective territoriale et à motiver le choix de l'intercommunalité du TCO de se constituer en « organisation frontière », porteuse de l'arène du projet DESCARTES, à l'interface entre recherche et prise de décision.

Remerciements

Cette recherche est en partie financée par l'Agence Nationale de la Recherche à travers le projet DESCARTES (ANR 11-AGRO-002-01 ; <http://pad.teledetection.fr/descartes>).

Bibliographie

- Akrich M., Callon M., Latour B. (2006). *Sociologie de la traduction. Textes fondateurs*. Presses des Mines de Paris, Paris.
- Antona M., D'Aquino P., Aubert S., Barreteau O., Boissau S., Bousquet F., Daré W., Etienne M., Le Page C., Mathevet R., Trébuil G., Weber J. (2005). La modélisation comme outil d'accompagnement, *Natures Sciences Sociétés*, n°13, p. 165-168.
- Armitage D., Marschke M., Plummer R. (2008). Adaptive co-management and the paradox of learning. *Global Environmental Change*, vol. 18, n° 1, p. 86-98.
- Bertrand N., Souchard N., Rousier N., Martin S., Micheels M.C. (2006). Quelle contribution de l'agriculture périurbaine à la construction de nouveaux territoires: consensus ou tensions ? *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, n°3, p. 329-353.
- Beuret J.-E., Cadoret A. (2009). Une gouvernance territoriale endogène de l'environnement : contours et enjeux. *3^{èmes} journées de recherches en sciences sociales*, Montpellier.
- Cash D. W., Clark W. C., Alcock F., Dickson N. M., Eckley N., Guston D. H., Jagger J., et Mitchell R.B. (2003). Knowledge systems for sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 100, n° 14, p. 8086-8091.
- Cooren F. (2010). Ventriloquie, performativité et communication. Ou comment fait-on parler les choses ? *Réseaux*, vol. 5, n° 163, p. 33-54.
- David D. (2010). *Prospective territoriale par simulation orientée agent*. Thèse de doctorat, Université de la Réunion.
- David D., Gangat Y., Payet D., Courdier R. (2012). Reification of emergent urban areas in a land-use simulation model in Reunion Island. *ECAI workshop on Intelligent Agents in Urban Simulations and Smart Cities (IAUSSC2012)*, Montpellier.

- Degenne P. (2012). *Une approche générique de la modélisation spatiale et temporelle : application à la modélisation des paysages*. Thèse de Doctorat, Université Paris-Est, Marne-la-Vallée.
- Degenne P., Ait Lahcen A., Curé O., Forax R., Parigot D., Lo Seen D. (2010). Modelling with behavioural graphs. Do you speak Ocelet? In: *proceedings of International Congress on Environmental Modelling and Software*. Ottawa.
- Degenne P., Lo Seen D., Parigot D., Forax R., Tran A., Ait Lahcen A., Curé O., Jeansoulin R. (2009). Design of a domain specific language for modelling processes in landscapes. *Ecological Modelling*, vol. 220, n° 24 p. 3527-3535.
- de Groot R.S., Alkemade R., Braat L., Hein L. and Willemeijn L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, n°7, p.260-272.
- de Groot R. (2006). Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes. *Landscape and Urban Planning*, n°75, p. 175-186.
- Eigenbrod F., Armsworth P.R., Anderson B.J., Heinemeyer A., Gillings S., Roy D.B., Thomas C.D., Gaston K.J. (2010). The impact of proxy-based methods on mapping the distribution of ecosystem services. *Journal of Applied Ecology*, n°47, p. 377-385.
- Fisher B., Turner R.K. (2008). Ecosystem services: classification for valuation. *Biological Conservation*, n°141, p. 1167-1169.
- Fox S. 2000. Communities of practice, Foucault and Actor-Network Theory. *Journal of Management Studies*, vol.37, n°6, p. 853-868.
- Goldstein J., Caldarone G., Colvin C., Duarte T.K. et al. (2010). *The Natural Capital Project, Kamehameha Schools, and InVEST: Integrating Ecosystem Services into Land-Use Planning in Hawaii*. Report for the Natural Capital Project Hawaii Case for TEEB D2.
- Jarrige F., Thinon P., Nougaredes B. (2006). La prise en compte de l'agriculture dans les nouveaux projets de territoires urbains. Exemple d'une recherche en partenariat avec la Communauté d'Agglomération de Montpellier. *Revue d'Économie Régionale et Urbaine*, n°3, p. 393-414.
- Kienast F., Bolliger J., Potschin M., de Groot R.S., Verburg P.H., Heller I., Wascher D., Haines-Young R. (2009). Assessing Landscape Functions with Broad-Scale Environmental Data: Insights Gained from a Prototype Development for Europe. *Environmental Management*, n° 44, p.1099-1120.
- Lagabrielle E., Botta A., Daré W., David D., Aubert A., Fabricius C. (2010). Modelling with stakeholders to integrate biodiversity conservation into land-use planning □Lessons learnt in Réunion Island (Western Indian Ocean), *Environmental Modelling & Software*, vol. 25, n°11, p. 1413-1427.
- Lajoie G. (2007) *Recherches en modélisation urbaine*, Rapport d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de la Réunion.
- Lardon S., Piveteau V. (2005) Méthodologie de diagnostic pour le projet de territoire : une approche par les modèles spatiaux. *Géocarrefour*, vol. 80, n° 2, p.75-90.

- Laurent J-B., Todoroff T., Mézino M., El Biache Y., Degenne P. (2011). Margouill@ : un système d'information géographique en ligne pour le pilotage de la production de canne à sucre. *Congrès STIC & Environnement*, S^t Etienne.
- Maurel P., Craps M., Cernesson F., Raymond R., Valkering P., Ferrand N. (2007). Concepts and methods for analysing the role of Information and Communication tools (IC-tools) in Social Learning processes for River Basin Management. *Environmental Modelling & Software*, vol. 22, n°5, p. 630-639.
- Nelson E., Mendoza G., Regetz J., Polaski S., Tallis H., Cameron D.R., Chan K.M., Daily G.C., Goldstein J., Kareiva P.M., Lonsdorf E., Naidoo R., Ricketts T.H., Shaw M.R. (2009). Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol.7, n°1, p. 4-11.
- Reed M., Evely A., Cundill G., Fazey I., Glass J., Laing A., Newig J., Parrish B., Prell C., Raymond C., Stringer L. (2010). What is social learning? *Ecology and Society*, vol. 15, n° 4, <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/respl/>
- Termorshuizen J.W., Opdam A.E.P. (2009). Landscape services as a bridge between landscape ecology and sustainable development. *Landscape Ecology*, n° 24, p. 1037-1052.
- Van Egmond C., Zeiss R. (2010). Modeling for Policy: Science-based models as performative boundary objects for Dutch policy making. *Science Studies*, vol. 23, n° 1, p. 58-78.
- Van Ittersum M.K., Rabbinge R., van Latesteijn H.C. (1998). Land Use Studies and Their Role in Strategic Policy Making. *Agricultural Systems*, Vol. 58, n° 3, p. 309-330.
- Vinck D. (2000). *Pratiques de l'interdisciplinarité. Mutation des sciences, de l'industrie et de l'enseignement*, PUG, Grenoble.
- Volk M., Lautenbach S., van Delden E., Newham L., Seppelt R. (2010). How Can We Make Progress with Decision Support Systems in Landscape and River Basin Management? Lessons Learned from a Comparative Analysis of Four Different Decision Support Systems. *Environmental Management*, n° 46, p.834-849
- Willemen L., Hein L., van Mensvoort M., Verburg P. (2010). Space for people, plants, and livestock? Quantifying interactions among multiple landscape functions in a Dutch rural region. *Ecological Indicators*, n°10, p. 62-73.