



HAL
open science

Jeux sérieux et assistants de décision et de négociation pour la gestion participative d'espaces protégés -Expérience du projet SimParc

Jean-Pierre Briot, Marta de Azevedo, Isabelle Alvarez, Laetitia Zaleski

► To cite this version:

Jean-Pierre Briot, Marta de Azevedo, Isabelle Alvarez, Laetitia Zaleski. Jeux sérieux et assistants de décision et de négociation pour la gestion participative d'espaces protégés -Expérience du projet SimParc. 2024. hal-04643313v1

HAL Id: hal-04643313

<https://hal.science/hal-04643313v1>

Preprint submitted on 10 Jul 2024 (v1), last revised 11 Jul 2024 (v2)

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Jeux sérieux et assistants de décision et de négociation pour la gestion participative d'espaces protégés – Expérience du projet SimParc

Jean-Pierre Briot^{1, 2}, Marta de Azevedo Irving³, Isabelle Alvarez^{4, 5}, Laetitia Zaleski^{1, 6}

¹ Sorbonne Université, CNRS, LIP6
F-75005 Paris, France
Jean-Pierre.Briot@lip6.fr

² DI, PUC-Rio
Rua Marquês de São Vicente, 225 – Rio de Janeiro, 22451-900 RJ - Brésil

³ EICOS, IP, UFRJ
Avenida Pasteur, 250 – Rio de Janeiro 22290-240 RJ, Brésil
Mirving@mandic.com.br

⁴ UCA, INRAE, LISC
9, avenue Blaise Pascal CS 20085, F-63178 Aubière, France
Isabelle.Alvarez@inrae.fr

⁵ CNRS, ISC-PIF
113 rue Nationale, F-75013, Paris, France

⁶ CCNR
F-67082 Strasbourg, France
Laetitia.Zaleski@gmail.com

1. Origine du projet

Notre projet SimParc¹ est né en 2005 du souhait de deux chercheurs : Marta de Azevedo Irving, Professeure en gestion sociale de la biodiversité à l'Université Fédérale de Rio de Janeiro (UFRJ), et Jean-Pierre Briot, Directeur de recherche en informatique au LIP6 (Sorbonne Université et CNRS, à Paris), d'explorer conjointement des méthodologies de gestion participative de parcs et espaces protégés utilisant diverses techniques d'informatique avancée. Ces espaces protégés (il existe différentes typologies selon les pays, par exemple, parcs nationaux, parcs régionaux, réserves marines, réserves extractivistes²...) sont créés pour conserver la biodiversité, mais également pour favoriser l'inclusion sociale. Afin de permettre une participation des points de vue des différents acteurs sociaux concernés (par exemple : populations traditionnelles, ONG de défense d'espèces menacées, opérateur de tourisme, etc.), la gouvernance d'un espace protégé inclut en général un conseil de gestion, constitué de

¹ Le nom provient de « Simulation de la gestion participative de parcs et espaces protégés, pour la conservation de la biodiversité et l'inclusion sociale ».

² Le concept de réserve extractiviste est né en Amazonie Brésilienne dans les années 80, comme la combinaison d'une extraction raisonnable du latex d'Hévéa par la population locale, tout en garantissant une protection durable de la forêt. D'autres types d'extraction durable locale (par exemple, noix de palmiers, poissons...) sont possibles suivant la nature des réserves de ce type (24 types au Brésil), dont la réserve extractiviste marine d'Arraial do Cabo dans l'État de Rio de Janeiro (ICMBIO 1997), qui nous a servi d'inspiration pour le 2^{ème} scénario, introduit au paragraphe 7.

représentants des différents acteurs sociaux concernés (« stakeholders »). Au Brésil, suivant le type d'espace protégé (par exemple, parc national ou réserve extractiviste marine), le conseil est consultatif ou décisionnaire.

L'approche ComMod (Companion Modeling) (Barreteau *et al.* 2003), issue de l'unité de recherche GREEN (Gestion des ressources renouvelables et environnement) du CIRAD à Montpellier, et rapidement devenue un réseau de chercheurs inter-institutions³, a été notre source d'inspiration première. Elle est fondée sur le couplage⁴ d'un jeu de rôles (jeu sérieux), où les joueurs jouent les rôles des différents acteurs sociaux concernés, et d'une modélisation et simulation multi-agent (individus-centrée⁵) de l'évolution des ressources renouvelables concernées (par exemple, eau, forêts, poissons...) (Bommel *et al.* 2015). Les sessions de jeu consistent en une alternance de décisions individuelles des joueurs (par exemple, prélèvement d'une quantité de ressources telles que eau, poissons...) et collectives (par exemple, la construction d'une digue) et d'un cycle de simulation de l'évolution des ressources renouvelables, dont le résultat permet ainsi d'informer les joueurs sur l'impact de leurs décisions ainsi que leurs interdépendances, et ainsi les aide à mieux appréhender les enjeux (et stratégies) de gestion collective raisonnée (Barreteau *et al.* 2003).

2. Spécificités du projet

Comme l'illustre cet ouvrage, il existe différentes définitions et également de types de sciences participatives. Nous proposons ici une typologie simplifiée relative au cycle des données vers un modèle :

- Collecte participative de données
 - La majorité des projets présentés dans cet ouvrage est de ce type, où un public non académique participe à la collecte de données de terrain, ensuite utilisées par des scientifiques,
- Construction participative d'un modèle (à partir des données)
 - Cette fois, la constitution d'un modèle (d'un phénomène étudié) est réalisée en partenariat entre scientifiques modélisateurs et un public non académique, mais acteurs de terrain du phénomène étudié. Ceci permet ainsi d'améliorer la modélisation et son réalisme, en bénéficiant des expériences et de la validation des acteurs de terrain. Un exemple est la première étape de conception incrémentale d'un modèle dans la méthodologie ComMod de gestion participative de ressources renouvelables (Barreteau *et al.* 2003), où les acteurs sociaux participent à la modélisation d'un modèle (en général simulé sur la plateforme de simulation Cormas (Bommel *et al.* 2015)), de manière incrémentale en questionnant la simulation et en raffinant le modèle,

³ Le réseau ComMod (ComMod, 2003) inclut des chercheurs de divers domaines (modélisateur, agronome, éthologue, géographe, hydrologue, etc.) et de diverses institutions (CIRAD, CNRS, INRAE, IRD, Universités).

⁴ Cette méthodologie de couplage est nommée MAS/RPG : Multi-Agent System/Role-Playing Game.

⁵ La caractéristique première d'un modèle de simulation individus-centrés est de se fonder sur une représentation explicite de l'ensemble des individus du système ainsi que de leurs interactions. Il s'agit donc d'une description des mécanismes au niveau des individus qui composent le système, par opposition à des modèles plus classiques, qui expriment des dynamiques (par équations différentielles par exemple) sur des variables agrégées (donc directement à un niveau global). Le terme multi-agent, parfois interprété par certains auteurs comme synonyme de individus-centré, est restreint par d'autres à des modèles dont les entités respectent certains critères plus ou moins bien définis (autonomie ou sociabilité par exemple). Le prototype du modèle individus-centré est l'automate cellulaire, développé à l'origine par les physiciens, pour étudier les problèmes liés à l'agrégation et illustre la complexité des phénomènes collectifs : des automates extrêmement simples acquièrent des comportements globaux extrêmement riches, difficilement déductibles directement à partir des dynamiques individuelles. Ici, les modèles sont étudiés pour leurs propriétés intrinsèques, au niveau collectif. (Adapté de Deffuant *et al.*, 2003).

- Utilisation participative d'un modèle, en particulier pour accompagner une prise de décision participative
 - Un exemple est la seconde étape de la méthodologie ComMod, dans laquelle la simulation individus-centrée est utilisée dans le cadre d'un jeu sérieux pour présenter aux acteurs sociaux les effets de leurs décisions (individuelles et collectives) et ainsi de prendre conscience et affiner leurs stratégies de gestion de ressources renouvelables. Notre projet SimParc s'inscrit également dans ce troisième type.

Il faut souligner de plus parmi les objectifs de notre projet notre souhait de réconcilier deux approches de décision traditionnellement opposées :

- l'approche technocratique, fondée sur une approche technique, mais sans participation des acteurs sociaux concernés. Le risque est le déficit d'acceptabilité des décisions, mais également l'incapacité d'intégrer d'éventuelles informations ou stratégies potentielles développées par les acteurs sociaux,
- l'approche participative, fondée sur la participation des acteurs sociaux concernés. Le risque est cette fois de ne pas fonder suffisamment techniquement les décisions. On peut ainsi arriver en théorie au paradoxe d'une décision consensuelle mais au final mauvaise (pour la majorité ou la totalité des acteurs sociaux). Un autre risque est la difficulté à départager entre opinions et solutions, si elles restent incommensurables (risque de relativisme), autrement que par des manipulations (élever la voix, argumentations morales, intimidation, etc.).

Pour minimiser ces risques et rapprocher ces deux approches, nous proposons d'adjoindre aux joueurs des aides techniques, sous la forme d'agents assistants, pour les aider à fonder leurs décisions de manière plus objective et également, comme nous le verrons, à négocier en permettant de quantifier les distances entre leurs positions et les efforts à faire pour les rapprocher.

3. Constitution du projet

Nous avons progressivement construit un groupe de chercheurs, enseignants chercheurs et étudiants (en master ou doctorat), composé à la fois de spécialistes en gestion environnementale et en informatique. Nous avons découvert qu'un projet interdisciplinaire, et en plus international entre deux pays (Brésil et France), nécessite du temps pour acquérir les connaissances et codes culturels mutuels, mais l'investissement en vaut largement la peine. En pratique, nous avons travaillé dès le début avec des réunions très régulières incluant les chercheurs participants en gestion de l'environnement et en informatique et ainsi progressivement construit une culture partagée. De plus, plusieurs duos étroits se sont spontanément formés entre des doctorants des deux disciplines et ont accéléré les avancées.

Nous avons bénéficié de différents programmes de financement de projets de recherche : programmes de coopération scientifique internationale : ARCUS du Ministère des Affaires Étrangères et Région Île de France (France-Brésil-Chili)⁶ et CAPES-COFECUB (France-Brésil) ; de recherche scientifique nationale : Grandes Desafios du MCT/CNPq/CT-INFO (Brésil), Ingénierie Écologique (CNRS & Cemagref), Inter-équipes (LIP6), Projets exploratoires de l'Observatoire des Patrimoines (OPUS) de l'IdEx SUPER, et Portail en sciences participatives de l'Alliance Sorbonne Université⁷ ; ainsi que des financements de bourses de doctorat. Nous tenons à tous les remercier.

⁶ Il nous faut signaler que le programme ARCUS, un des rares programmes à la fois international et pluridisciplinaire, a été ainsi crucial dans la construction intégrée (indépendamment du pays ou de la spécialité) du projet.

⁷ À l'initiative de diverses actions, dont cet ouvrage collectif.

4. Premier scénario de parc national

Nous avons tout d'abord identifié un premier cas d'usage, le Parc National de Tijuca, parc national brésilien (ICMbio 1961), situé dans la ville de Rio de Janeiro (le Corcovado en fait notamment partie). Nous avons pu observer la constitution et le fonctionnement de son conseil de gestion qui venait d'être créé et dont Marta de Azevedo Irving était un des observateurs officiels. Cette expérience de terrain et nos contacts avec des professionnels de la gestion d'espaces protégés, différents types d'acteurs sociaux concernés (« stakeholders ») et institutions, nous a permis d'étudier la structuration et la dynamique mises en place au niveau du conseil de gestion pour identifier puis gérer de manière participative des enjeux et conflits d'usage et faciliter leur négociation (voir la Figure 1). Nous avons en particulier identifié l'étape de « zonage » du parc, qui consiste à décider pour chaque sous-partie géographique du parc le niveau de conservation souhaité, comme une étape clé et représentative des enjeux et de la dynamique de délibération du conseil. Dans la législation brésilienne, il existe un certain nombre de niveaux prédéfinis (résumés à la Figure 1), par exemple : intangible qui correspond à une conservation totale, ou historico-culturel, quand il y a des lieux remarquables au niveau patrimonial et touristique.

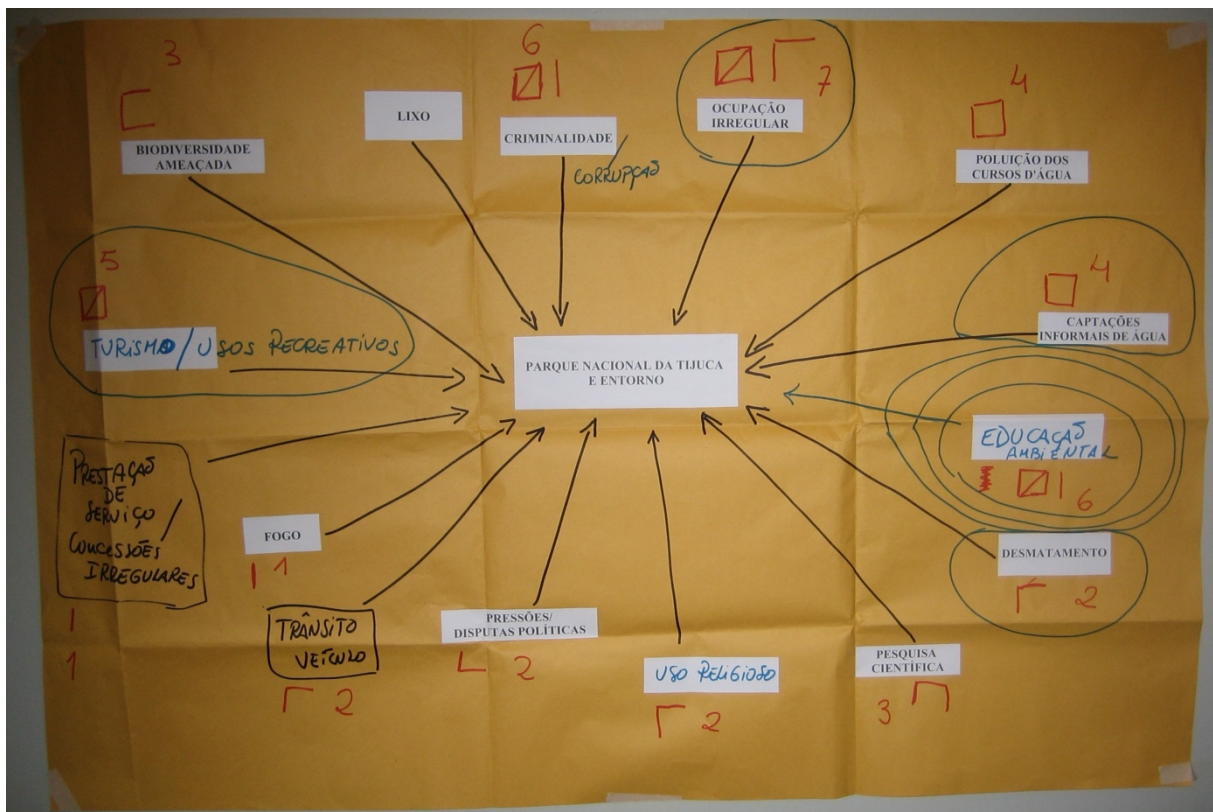


Figure 1. Exemple de résultat d'analyse participative des enjeux et des conflits (biodiversité menacée, déchets, criminalité, occupation irrégulière, pollution des cours d'eau, captations informelles d'eau, éducation environnementale, déforestation, recherche scientifique, cultes religieux, disputes politiques, trafic automobile, feux, concessions irrégulières, tourisme et utilisations récréatives), menée par le conseil de gestion du Parc national de Tijuca (lors d'une de ses premières réunions en septembre 2007).

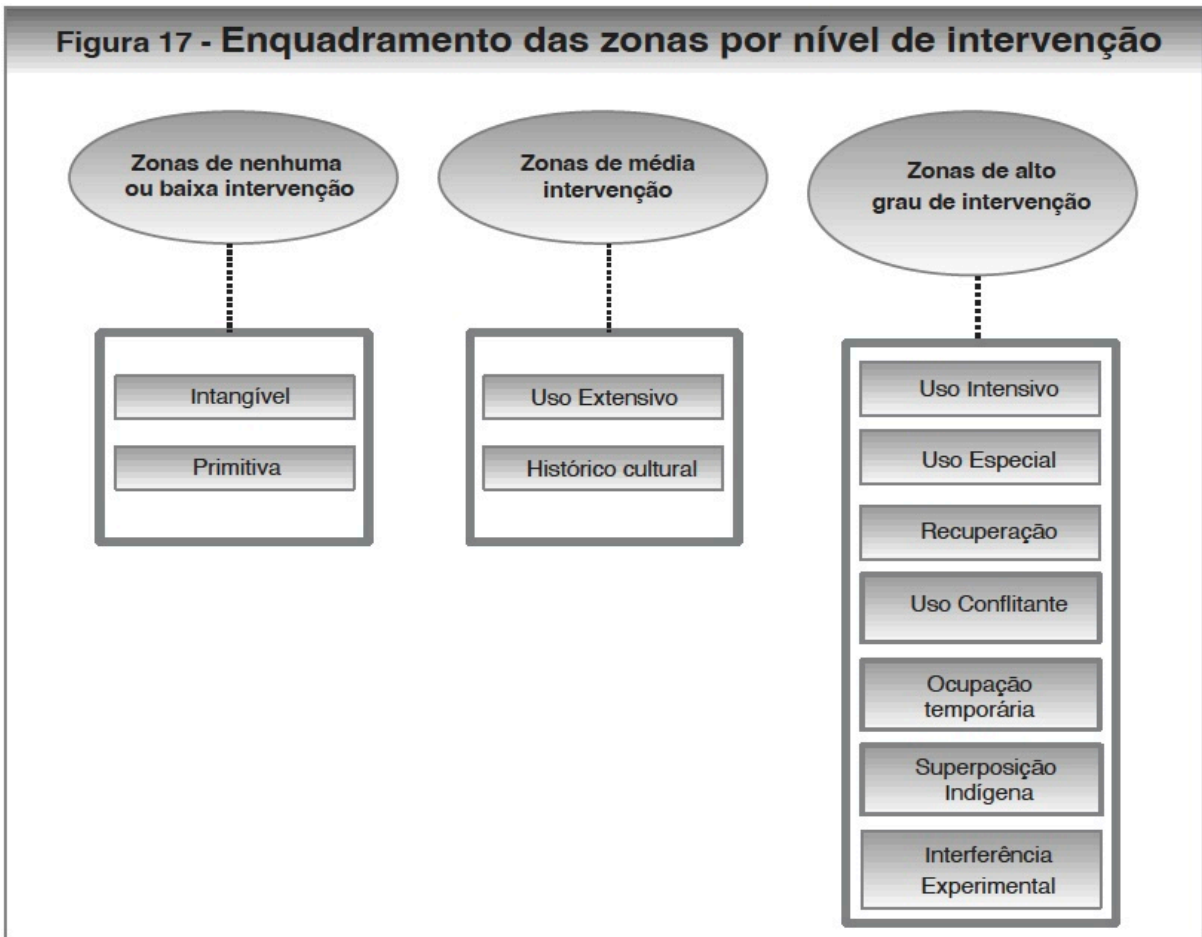


Figure 2. La typologie Brésilienne des niveaux de conservation et d'usage d'espaces protégés (zones sans ou de basse intervention : intangible et primitif ; zones de moyenne intervention : extensif et historico-culturel ; zones de grande intervention : intensif, spécial, récupération, conflictuel, occupation temporaire, superposition indigène, interférence expérimentale), reproduction de la Figure 17, page 97 de (MMA 2002)

Nous avons alors construit un premier scénario autour d'un parc fictif⁸, un ensemble de rôles d'acteurs sociaux⁹, plus le gestionnaire du parc, qui est l'ultime décisionnaire (voir le cycle pédagogique à la Figure 3), autour du processus de zonage des sous-parties du parc¹⁰. Dans ce scénario de jeu, selon son profil et les éléments d'intérêt prioritaires (attrait culturel, attrait touristique, lieu de nidification d'une espèce menacée...), chaque joueur jouant le rôle d'un acteur social (membre du conseil de gestion) va tenter d'influencer la décision du conseil sur le niveau (type) de conservation pour les sous parties du parc qu'il considère prioritaires. Des conflits d'intérêts émergent ainsi rapidement entre les joueurs, conduisant à diverses stratégies de négociation (par exemple, formation d'une coalition, échange de soutien mutuel pour des objectifs respectifs, etc.).

Un rôle spécial dans le scénario est celui du gestionnaire du parc. Il participe au jeu, mais en tant qu'arbitre et décideur, et non en tant que joueur direct. Il observe les négociations qui se déroulent entre les acteurs

⁸ Nous voulions garder un caractère générique à notre scénario, pour éviter aux joueurs de trop s'identifier à un cas réel spécifique. En cela, notre objectif n'est pas d'aider à résoudre directement des problèmes spécifiques lié à un espace protégé particulier, mais de travailler au niveau épistémique sur l'amélioration par les acteurs du processus lui-même (de résolution des conflits d'usage).

⁹ Agence de qualité de l'eau, chercheur en biodiversité, communauté traditionnelle, (représentant d') habitations de luxe, hôtel, mairie, ONG environnementaliste, opérateur de tourisme, et mairie.

¹⁰ En faisant l'hypothèse que le découpage du parc en sous-parties géographiques (nommées au Brésil, unités de paysage) avait déjà été effectué.

sociaux et prend la décision finale relative aux niveaux de conservation de chaque sous-partie du parc¹¹. La décision du gestionnaire du parc est basée sur la cadre juridique, sur le processus de négociation entre les acteurs et sur son profil personnel (par exemple, plus écologiste ou plus ouvert aux préoccupations sociales) (Irving 2006). Il pourra également être amené à expliquer sa décision, si les joueurs le demandent.

Nous avons testé ce scénario à travers des sessions de jeu avec des supports manuels (cartes, informations, voir la Figure 4), avec des participants du groupe de recherche en gestion sociale de parcs et espaces protégés de Marta de Azevedo Irving, en pratique des étudiants de post-grade ainsi que des chercheurs associés, dont un gestionnaire professionnel de parcs. Ces premières expériences nous ont permis de valider le concept et de confirmer l'importance du processus de négociation entre les joueurs (voir la Figure 5) et l'intérêt potentiel d'une aide méthodologique et informatique en vue de sa structuration.

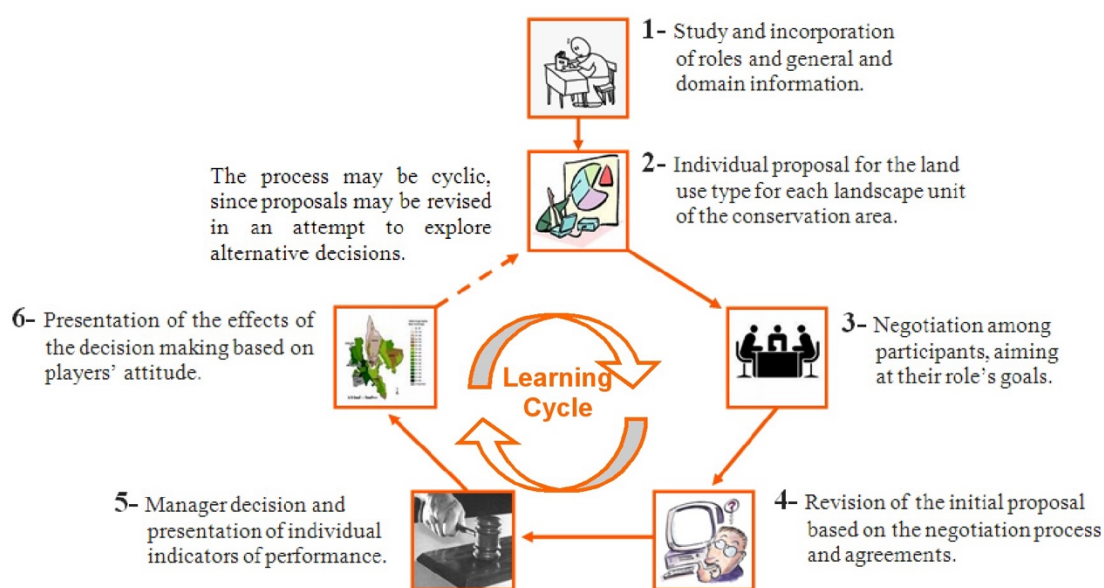


Figure 3. Scénario de parc national – Le cycle épistémique du jeu sérieux

¹¹ Il est important de rappeler que cela correspond à la situation d'un véritable parc national au Brésil, où le conseil de gestion du parc est de nature consultative, laissant ainsi les décisions finales au gestionnaire.



Figure 4. Scénario de parc national – Cartes et documentation



Figure 5. Scénario de parc national – Exemple de négociation en cours

5. Premier prototype informatique de jeu sérieux

Nous avons alors conçu, puis construit, un premier prototype de jeu de rôle informatisé distribué adapté au scénario (Vasconcelos *et al.* 2009a). Il est constitué d'une architecture de type serveur Web, illustrée à la Figure 6, auquel chaque joueur est connecté à travers un ordinateur (ou une tablette), ceci rendant un déploiement facile ainsi que la possibilité de jouer à distance. Ce choix permet également d'enregistrer toutes les conversations, qui pourront ensuite être analysées lors du debriefing, humainement ou avec des outils informatiques d'analyse automatique. Enfin, cette architecture permet d'introduire des agents non humains dans le jeu, comme assistants ou substituts d'acteurs sociaux ou du gestionnaire. Nous avons ainsi notamment construit et testé : un gestionnaire artificiel proposant et capable de défendre (par argumentation) ses décisions (Sordoni *et al.* 2010), ainsi que des prototypes d'agents assistants : d'analyse de décision (proximités des choix, relations de dominance...), et de médiation pour proposer des compromis et leur argumentation (Gargouri 2017). Enfin, nous avons également doté le prototype d'interfaces utilisateurs spécialisées pour les joueurs, permettant de structurer les dialogues selon les intentions de communication (Vasconcelos *et al.* 2009b), comme illustré à la Figure 7. Ce prototype a bénéficié de 3 versions successives, en bénéficiant d'améliorations et raffinements, suite à l'analyse des retours d'expériences (sessions de jeu) présentée au paragraphe suivant (paragraphe 6).

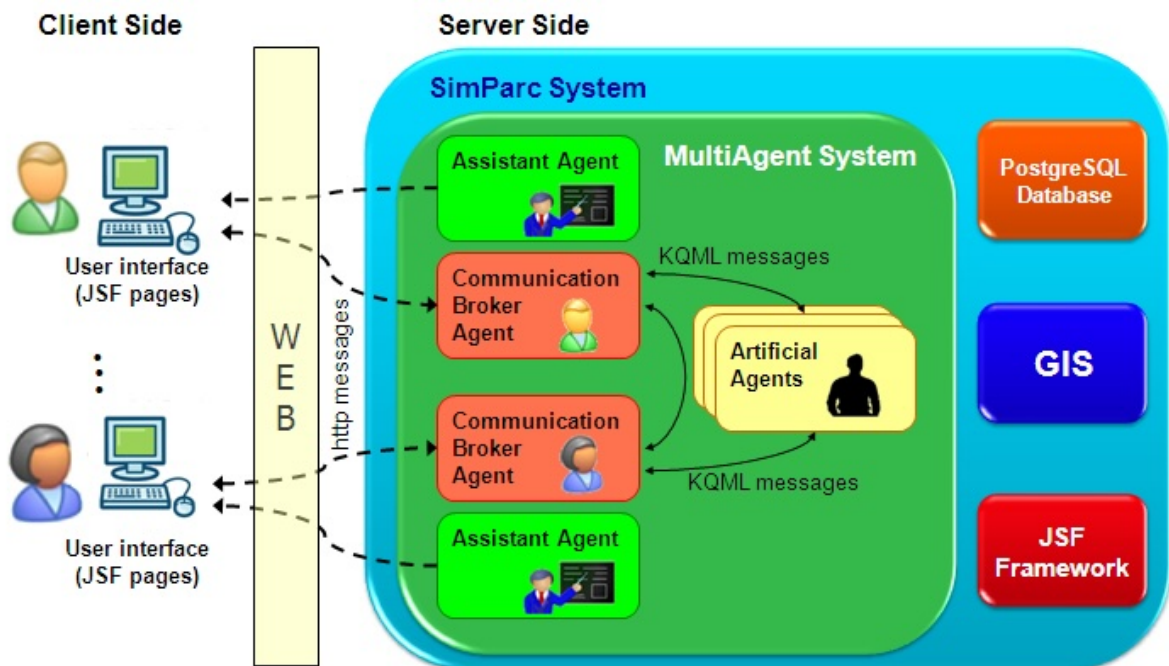


Figure 6. Scénario de parc national – Architecture du serveur Web de jeu

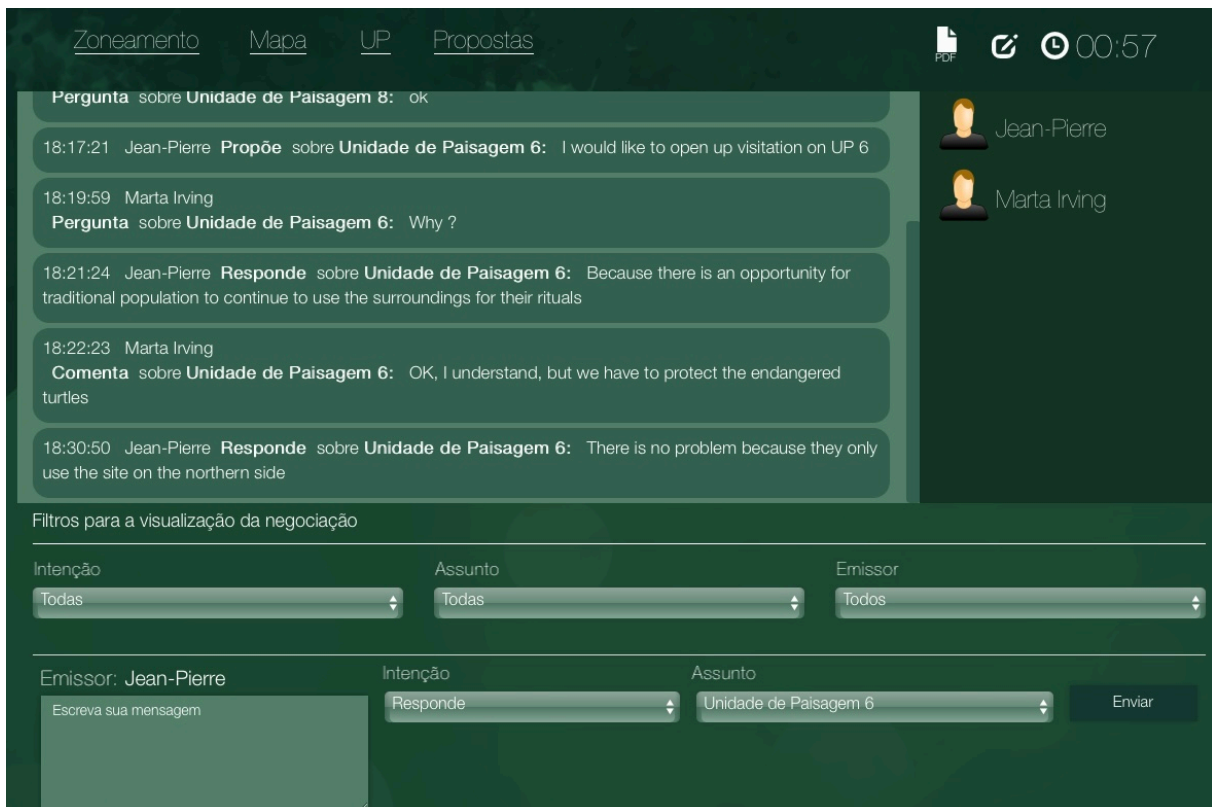


Figure 7. Scénario de parc national – Interface de discussion et de négociation



Figure 8. Scénario de parc national – Session de jeu informatisée

6. Premiers retours d'expériences

Nous avons testé ce premier prototype à différentes reprises et avec différents types de public, la majorité étant des professionnels, chercheurs ou étudiants du domaine (de la gestion participative de parcs et espaces protégés). Nous présentons ci-dessous l'analyse de l'une des sessions de test du jeu (illustrée à la Figure 8).

Les 9 rôles du jeu¹² et celui du gestionnaire du parc ont été joués par des acteurs humains. Presque tous étaient des experts en gestion de parcs (chercheurs, étudiants et professionnels, issus du secteur public ou d'ONG, dont un gestionnaire de parc professionnel du Brésil). Nous avons également inclus quelques joueurs qui n'avaient pas de connaissances en gestion de parc ou d'espace protégé : un participant expérimenté en jeux informatisés (jeux sérieux et jeux vidéo) et une autre débutante complète.

Dans l'ensemble, le jeu a été bien évalué par les joueurs. Nous avons analysé les données sur les sessions de jeu (questionnaires écrits, débriefing enregistré, etc.). Deux aspects du jeu ont été évalués positivement par les participants à la session de jeu : la structure (scénario, règles et tâches) et le contenu (scènes, conflits, gestion de l'environnement). Grâce à une intégration réussie de la structure et du contenu, SimParc a été évalué comme un jeu sérieux ayant atteint l'objectif de créer une arène virtuelle de gestion collective. Bien que le jeu ne constitue pas un outil d'aide à la décision directement applicable aux parcs réels, mais seulement un support à des fins épistémiques et pédagogiques, les joueurs les plus experts ont souligné la proximité du jeu SimParc avec la réalité de la gestion d'un parc, ce qui le rend plus attractif pour les professionnels, tels que les gestionnaires de parcs. Ceci laisse ainsi entrevoir un potentiel de l'utilisation de ce type de jeu sérieux pour leur formation.

Lors de l'analyse de la session de jeu, deux aspects clés pour des améliorations futures du jeu ont été identifiés : l'accès à l'information et l'interaction. En ce qui concerne l'accès à l'information, l'évaluation a identifié la nécessité d'améliorer les conditions d'accès au contenu, à la forme, à la qualité des données et à la quantité d'informations disponibles. Par exemple, il a été jugé essentiel que le zonage proposé par chaque autre joueur potentiel puisse être visualisé avec les changements de décision affichés en temps réel, afin que chaque joueur puisse voir comment les autres joueurs défendent leurs intérêts. En matière d'interaction, l'évaluation a identifié la question des outils disponibles pour aider les joueurs à négocier. En particulier, et en considérant que le jeu nécessite une interaction continue et dynamique entre les joueurs, les participants ont souligné l'importance de l'utilisation de raccourcis tels que des hyperliens pour envoyer des messages directement à un joueur et l'utilisation d'outils permettant la création de salles de négociation en groupes restreints (à l'image de la Figure 5).

Dans le but de déterminer si SimParc atteint ses objectifs épistémiques et pédagogiques, les participants aux tests ont été interrogés sur quel est selon eux l'objectif principal du jeu. Les réponses étaient liées aux problématiques suivantes : pratiques de gestion impliquant des négociations entre différents acteurs sociaux ; expérimentation avec différents rôles pour faciliter la pratique du dialogue et de la négociation ; illustration de la dynamique du conflit ; apprentissage de l'expertise environnementale et de la gestion des parcs ; et diffusion de l'importance de la conservation de la biodiversité. Dans l'interprétation des joueurs quant à savoir si le jeu avait atteint de tels objectifs, ils ont estimé que oui, le jeu était un excellent exercice de négociation, stimulant l'interaction active et l'intérêt des joueurs, augmenté par l'échange possible des rôles. Les participants ont également signalé que les principales connaissances acquises après le jeu étaient liées au processus de zonage territorial des parcs, en particulier pour les joueurs qui n'avaient pas de connaissances avancées en matière de conservation de la biodiversité. Les acteurs professionnels de la conservation de la biodiversité ont expliqué avoir amélioré leurs connaissances sur les spécificités de chaque type de zonage couramment utilisé dans la gestion des parcs. Il a également été mentionné que le jeu pourrait être considéré comme un exercice sur le processus et les techniques de négociation, bien que le jeu ne suggère aux joueurs aucune technique spécifique en la matière.

Un autre point qui a été évoqué concerne la reconnaissance de la diversité des intérêts dans la gestion d'un parc. Même si la plupart des joueurs connaissaient bon nombre des conflits illustrés par le jeu (tension entre exigences de développement et enjeux de conservation, perception distincte de la nature,

¹² Listés à la note de bas de page ⁹ au paragraphe 4.

etc.), ils ont mentionné qu'il était possible d'améliorer leur analyse en fonction des différents rôles et groupes d'acteurs sociaux que le jeu illustre. Par ailleurs, le fait que le jeu ne nécessite pas d'être installé en tant que nouveau programme sur les ordinateurs, ce qui signifie une facilité de déploiement et de diffusion, a été reconnu comme un point important.

Enfin, une découverte intéressante après les sessions de jeu est que tous les joueurs ont appris et tiré profit du jeu. Les experts ont exploré et affiné des stratégies de négociation et de gestion, tandis que les joueurs débutants ont profité du jeu comme une initiation sur les enjeux de la conservation de la biodiversité. En d'autres termes, le jeu est apparu tolérant par rapport au niveau réel d'expertise des joueurs¹³, un aspect qui n'avait pas été prévu à l'avance. Pour plus de détails sur ce premier scénario et prototype, voir par exemple (Briot *et al.* 2017).

7. Deuxième scénario de réserve marine et deuxième prototype de jeu sérieux

Suite à ces premières expériences, prototypes, tests et analyse des retours des participants, sans oublier les résultats des thèses de doctorat et de master conduites par différents étudiants dans le cadre du projet, nous avons ensuite construit un deuxième scénario. Nous avons cette fois choisi le cas d'une réserve extractiviste¹⁴ marine, avec une modélisation de l'évolution de ses ressources (poissons, tortues, plages...) en fonction des décisions et actions¹⁵ des acteurs sociaux (pêcheurs traditionnels, touristes...), voir la Figure 9. Comme pour le premier scénario, nous nous sommes inspirés d'un cas réel, après l'avoir étudié de manière approfondie, en l'occurrence la réserve extractiviste marine de Arraial do Cabo, dans l'État de Rio de Janeiro.



Figure 9. Scénario de Réserve extractiviste marine

¹³ Au sens qu'il a été apprécié et profitable à la fois pour des joueurs experts et des joueurs débutants.

¹⁴ Voir la définition dans la note de bas de page ² au paragraphe 1.

¹⁵ Dans une réserve extractiviste, les populations locales traditionnelles peuvent utiliser, de manière raisonnée, des ressources biologiques (pêche, fruits, latex, etc.), alors que dans le 1^{er} scénario de parc national (au paragraphe 4), la réglementation brésilienne ne permet qu'une utilisation indirecte des ressources, notamment par de l'éco-tourisme.

8. Analyse de viabilité

Pour analyser la dynamique de l'évolution des ressources (poissons, capital des pêcheurs, touristes), en fonction de leurs lois propres de renouvellement et d'interaction, ainsi que des actions des acteurs sociaux, nous avons choisi une voie alternative fondée sur la théorie de la viabilité (Aubin 1992) pour des systèmes dynamiques, plutôt que suivre une approche de simulation multi-agent (individus-centrée), utilisée dans les projets ComMod (Bommel *et al.* 2015). Cela nous permet d'analyser la viabilité de la dynamique d'une réserve marine fictive et simplifiée, modélisée comme un socio-éco-système dynamique, défini ainsi :

- des variables (dont les valeurs évoluent dans le temps), dans notre cas :
 - le nombre d'animaux d'une espèce menacée (tortues marines),
 - le nombre de touristes visitant la réserve,
 - le capital de la coopérative des pêcheurs pratiquant une pêche traditionnelle dans la réserve,
- des paramètres, par exemple :
 - le nombre de poissons pêchés pour une tortue accidentellement pêchée,
 - la proportion du revenu touristique qui est réinvestie dans les infrastructures,
- des contrôles, qui sont des paramètres dont les acteurs sociaux peuvent dynamiquement changer les valeurs (par une fonction appelée fonction de contrôle, et ainsi moduler leurs moyens d'action), par exemple :
 - la proportion des zones de vie des tortues rendue accessible aux touristes,
 - l'effort de restauration environnementale.

Un modèle agrégé (équationnel¹⁶) modélise la dynamique du système, une version abstraite, résumant les interactions entre variables, est présentée à la Figure 10.

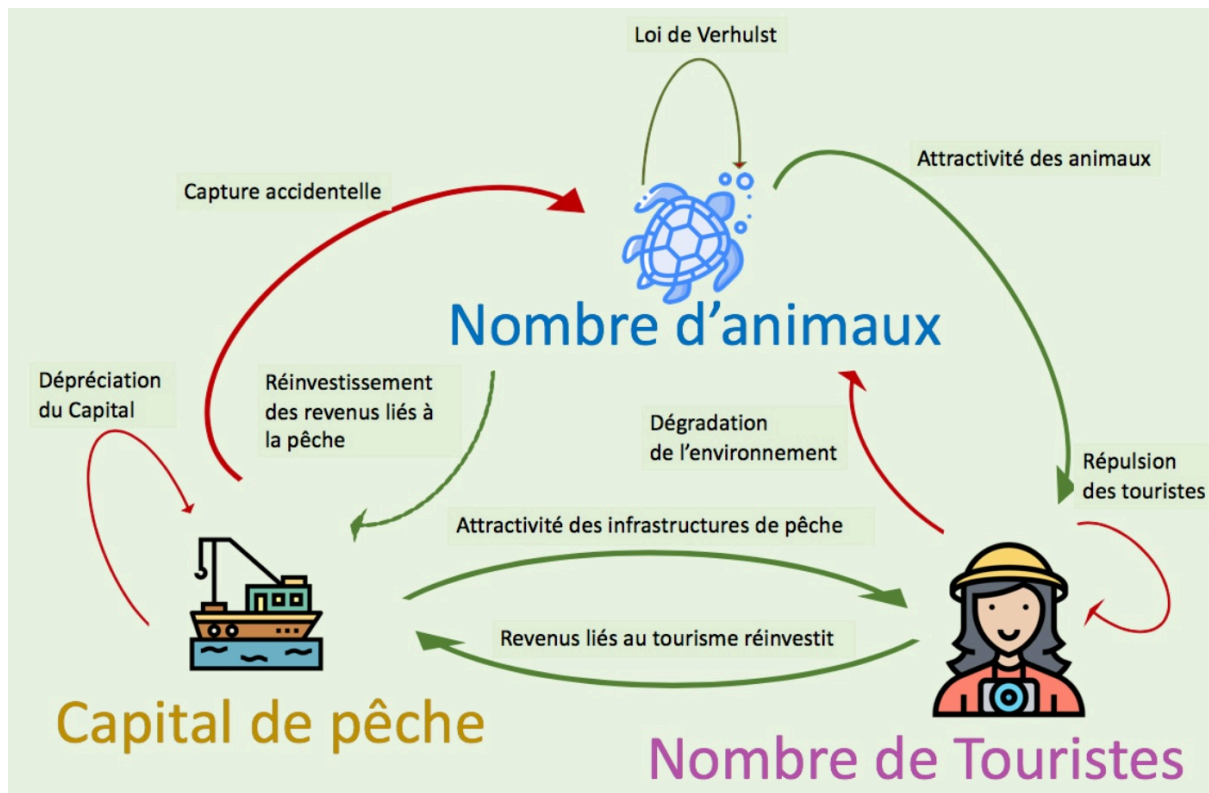


Figure 10. Scénario de Réserve extractiviste marine – Modèle abstrait

¹⁶ Le modèle équationnel est détaillé dans (Zaleski *et al.*, 2019) et (Zaleski, 2020). La comparaison entre modèle individus-centré et modèle agrégé est introduite dans la note de bas de page ⁴ au 1er paragraphe.

Dans le scénario proposé, les trois rôles d'acteurs sociaux qui seront joués par des participants sont :

- représentant d'une ONG de protection de tortues marines menacées d'extinction,
- représentant de la coopérative de pêcheurs traditionnels,
- opérateur de tourisme.

Chaque joueur va informer en fonction de ses préférences (et de son rôle) ses souhaits (appelés contraintes de viabilité) sur les variables et également sur les contrôles (moyens d'action), comme présenté à la Figure 11 (en pratique, une des interfaces de l'assistant en analyse de viabilité). L'intervalle vert est souhaité, l'orange toléré et le rouge exclu. Par exemple, l'ONG de protection des tortues aura comme priorité de maintenir la population de tortues toujours supérieure à un seuil (minimum) qu'il jugera critique pour la viabilité biologique de l'espèce. L'opérateur de tourisme souhaitera lui un minimum de touristes, pour assurer cette fois une viabilité à son modèle économique, mais peut-être en fixant également un seuil maximum afin d'éviter les risques liés à un tourisme de masse incontrôlé (inadéquation des infrastructures disponibles, détérioration de l'environnement et ainsi de sa capacité d'attraction).



Figure 11. Scénario de Réserve extractiviste marine – Souhaits d'un joueur

Un des concepts intéressants de la théorie de la viabilité est le concept de noyau de viabilité. Il est défini comme l'ensemble des états du système pour lesquels il existe (au moins) une fonction de contrôle qui maintient les variables du système dans les limites des contraintes de viabilité, c'est-à-dire, en permanence dans un état souhaitable pour un joueur (jouant le rôle d'un acteur social) donné¹⁷. Un algorithme permet le calcul d'un noyau de viabilité et ainsi d'estimer l'adéquation des objectifs (contraintes de viabilité) d'un acteur social avec les moyens d'action (fonction de contrôle) qu'il se donne. Si le noyau de viabilité est vide, cela signifie que les objectifs ne sont pas viables (et en conséquence vont entraîner une perte, même momentanée de viabilité, écologique, économique, ou/et sociale, en fonction de la nature des variables concernées).

¹⁷ Il est illustré à la Figure 12, pour un modèle réduit à 2 variables (pour des questions de lisibilité) et un paramètre de contrôle représentant la proportion des zones de vie des tortues rendue accessible aux touristes.

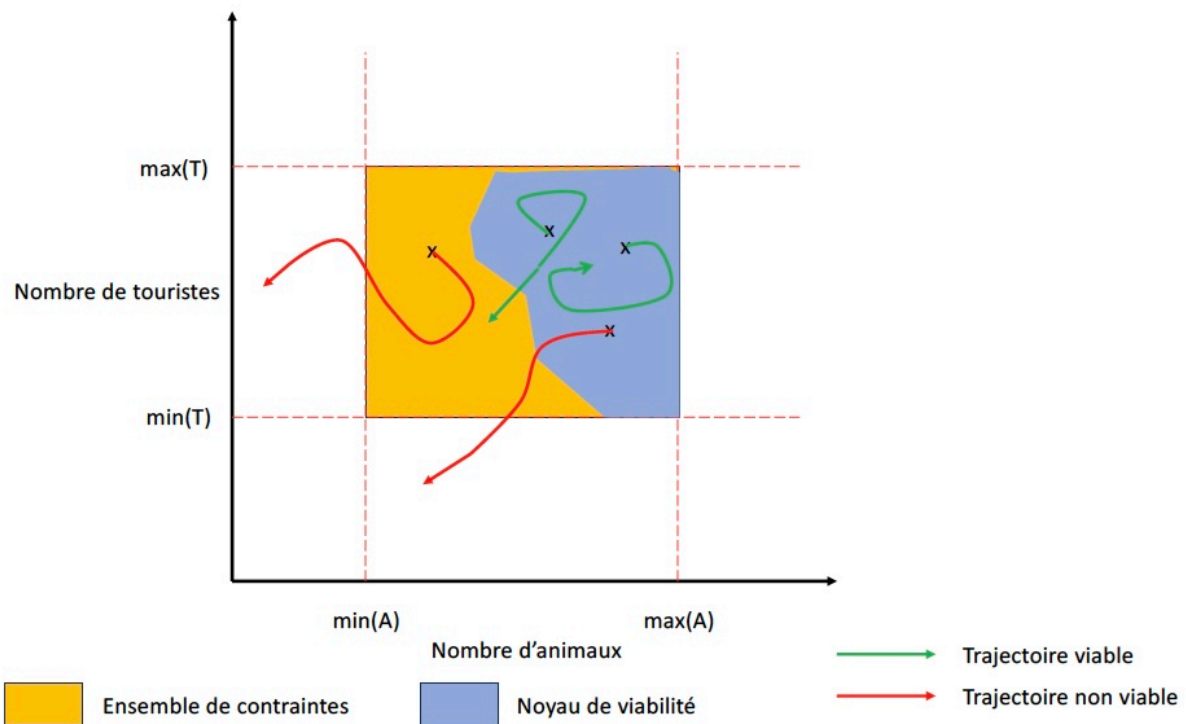


Figure 12. Scénario de Réserve extractiviste marine – Noyau de viabilité

Nos motivations pour l'utilisation de la théorie de viabilité, utilisée avec succès pour divers cas de gestion de ressources naturelles, voir par exemple (Martin 2004), sont les suivantes :

- elle ne présuppose pas une hiérarchisation des critères, contrairement au cas d'une approche par optimisation directe,
- elle travaille à horizon infini, et ainsi permet une équité intergénérationnelle, à la différence d'une simulation qui a un horizon borné,
- elle garantit la complétude, à la différence d'une simulation, stochastique, pour laquelle certaines configurations et effets peuvent ne pas être couverts, même par un plan d'expérience bien conçu,
- elle ne présuppose pas un consensus préalable des acteurs sociaux sur un choix de modèle, grâce à des résultats récents en matière de viabilité garantie pour un cas multi-modèle (Alvarez *et al.* 2023), la différence des approches classiques dont la simulation multi-agent.

9. Assistants en analyse de viabilité pour l'aide à la décision et à la négociation

Nous avons conçu et construit un modèle d'assistant en analyse de viabilité (Zaleski *et al.* 2019), avec deux modes (et étapes) d'utilisation.

La première étape est d'aider le joueur à analyser si ses souhaits (contraintes de viabilité sur les variables et sur les valeurs des contrôles) sont viables (c'est-à-dire compatibles avec le modèle). L'assistant propose alors de lancer un calcul de noyau de validité. Si le noyau est non vide, cela signifie que les souhaits sont compatibles et le joueur peut passer à la prochaine étape, même s'il peut mener des analyses complémentaires à l'aide de l'assistant, par exemple, vérifier la sensibilité du noyau à des modifications de ses souhaits, en vue d'anticiper une possible future marge de négociation. Si le noyau est vide, cela signifie que les souhaits du joueur ne sont pas viables. L'assistant propose alors au joueur de relâcher certaines des contraintes (parmi ses souhaits) en vue d'obtenir un noyau non vide (en utilisant des stratégies d'exploration ou/et des calculs de noyaux anticipés).

La deuxième étape est d'aider plusieurs joueurs à négocier entre eux pour rendre compatibles leurs souhaits. Les assistants interagissent entre eux et proposent tout d'abord aux joueurs de vérifier si leurs noyaux de validité respectifs sont compatibles (d'intersection non vide), et dans ce cas calculent le noyau de viabilité pour cette intersection (voir la Figure 13). Dans le cas où il est non vide, une solution consensuelle existe. Sinon, les assistants proposent tout d'abord des suggestions sur quel joueur devrait en premier assouplir ses contraintes, puis de quelle manière (sur quelles variables ou/et quels contrôles) en fonction de leur analyse et de stratégies prédéfinies. De plus, les stratégies des assistants prennent en compte une équité au niveau des efforts fournis par chacun des joueurs. Le détail des algorithmes et stratégies proposés est disponible dans (Zaleski 2020).

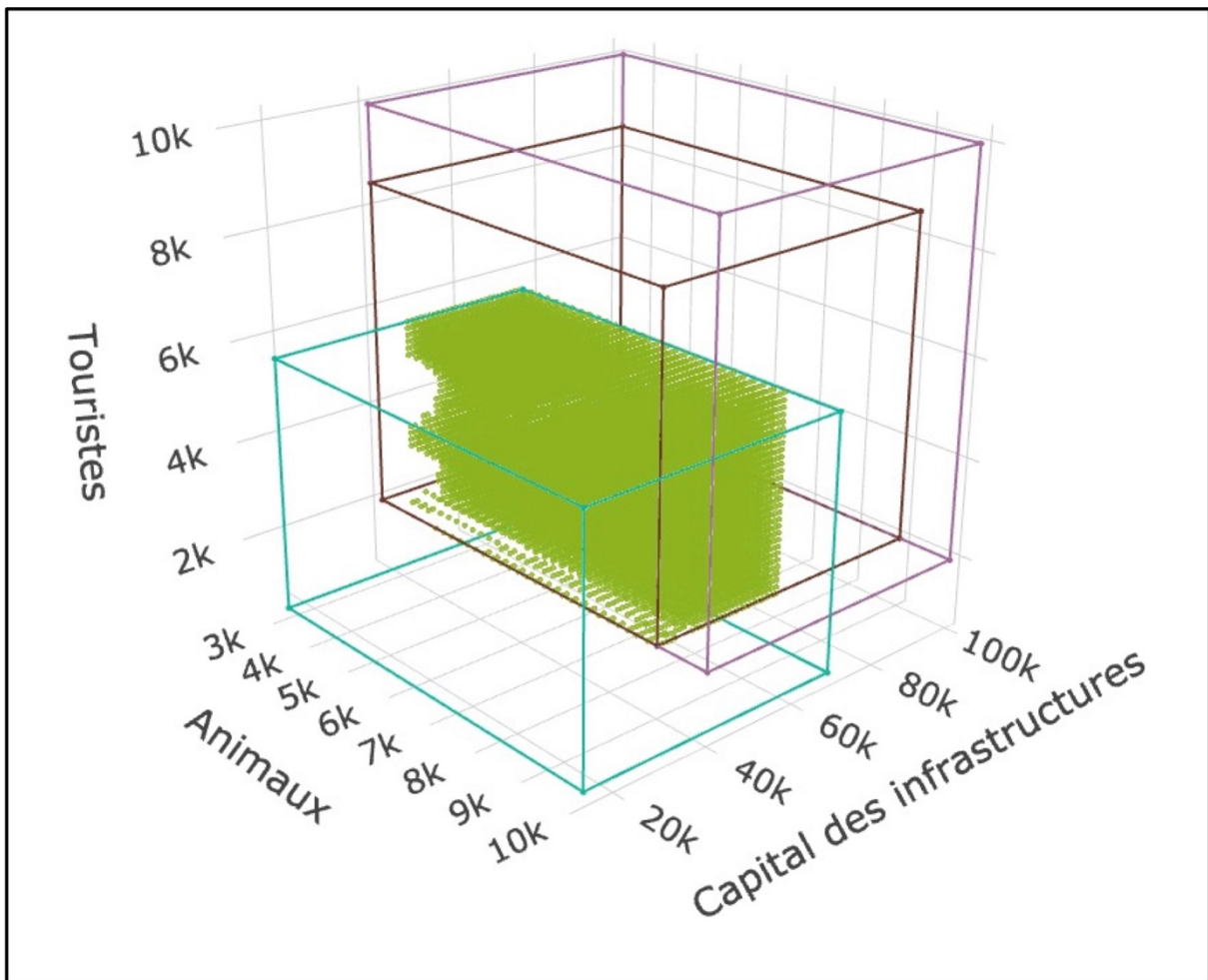


Figure 13. Scénario de Réserve extractiviste marine – Cas où les intersections des contraintes et des contrôles des joueurs ne sont pas vides et où un noyau de viabilité (non vide, en vert) a été calculé dans cette intersection (les hyperrectangles représentant les contraintes des joueurs).

10. Nouveaux retours d'expériences

Nous avons testé ce 2^{ème} scénario avec le prototype associé et ses assistants d'analyse de viabilité avec des participants (la totalité avec au moins le niveau Bac+3, pour la majorité en sciences de l'ingénieur ou du vivant) pour une série de sessions de jeu. En pratique, nous avons élaboré un protocole d'évaluation et de comparaison croisée avec ou sans assistants d'analyse de viabilité, avec des questionnaires remplis par les participants, pour pouvoir estimer leur apport à la compréhension et la réussite de négociations. Les analyses statistiques quantitatives (tests de Wilcoxon-Mann-Whitney et de Fisher) montrent une évaluation significativement meilleure en cas d'utilisation des assistants d'analyse de viabilité. L'analyse qualitative est également globalement positive : les joueurs sont globalement satisfaits de leur expérience

et ont le sentiment d'avoir compris les enjeux de gestion d'espaces protégés. Enfin, les résultats à la fin des négociations avec des assistants sont considérés plus équitables, ce qui est très encourageant. Par contre, deux inconvénients actuels sont évoqués : le manque d'interaction du joueur par rapport à la quantité d'information qu'il reçoit, même si les échanges entre participants rythment la progression, et la complexité mathématique du modèle. Des améliorations envisagées en manière d'ergonomie devraient pouvoir minimiser ces inconvénients.

11. État des prototypes et impact du projet

Le prototype de serveur web de jeu sérieux correspondant au scénario de parc national (présenté au paragraphe 5) est le plus abouti, ayant fait l'objet de versions successives, sous la supervision de José Eurico Vasconcelos, à l'époque un des doctorants du projet. Par contre, il est aussi un peu fastidieux à installer, comme il combine diverses plateformes technologiques de développement et de déploiement (Eclipse, Java, bibliothèques Java d'interfaces utilisateur, base de données Postgres, architecture de serveur web Apache). Nous envisageons la conception d'une nouvelle architecture plus légère, en nous appuyant sur des standards extensibles plus récents en matière d'architecture conversationnelle (de type « chat ») et de moteur de jeu sérieux. De plus, nous envisageons d'essayer d'utiliser les avancées récentes en matière d'IA générative conversationnelle (de type Chat-GPT d'Open AI) pour aider à résumer et questionner interactivement les messages et arguments échangés par les joueurs. Enfin, outre le prototype actuel d'assistant en analyse de viabilité (Zaleski 2020), des prototypes d'assistants (ou de joueurs artificiels) d'aide en analyse de décision, médiation (Gargouri 2017) et argumentation (Sordoni *et al.* 2010), mériteraient d'être développés encore plus avant. L'idée est en effet d'offrir une variété d'assistants offrant des points de vue et objectifs complémentaires (analyse de viabilité, décision, négociation, etc.), chacun pouvant offrir une aide personnalisée à chaque joueur¹⁸, tout en se coordonnant entre eux, pour des étapes telles que la négociation.

Le prototype de serveur web de jeu sérieux correspondant au scénario de réserve extractiviste marine (présenté au paragraphe 7), avec son modèle d'assistant de validité, est plus léger bien qu'il combine différentes plateformes ou langages de programmation (Scala, Javascript, plateforme ViNO...). Il a fait l'objet d'un développement unique par une doctorante du projet, Laetitia Zaleski. Ainsi, malgré ses qualités, il n'a pas la maturité de conception et de développement incrémental de l'autre prototype.

Ces logiciels sont disponibles sur demande et nous envisageons de les mettre à disposition (en l'état) sur une plateforme telle que Github.

En matière de production scientifique, notre projet a donné lieu à une trentaine de publications scientifiques, 6 thèses de doctorat et 6 projets de master.

En matière d'impact des différentes sessions de tests avec différents types d'utilisateurs, experts ou non, elles ont montré les intérêts de notre méthodologie et des outils avancés associés (jeu sérieux et assistants artificiels) pour aider à la gestion participative d'espaces protégés. Une piste envisagée est de développer l'aspect soutien à la formation de gestionnaires d'espaces protégés, en lien avec des institutions participant à leur formation, telles que l'Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO) au Brésil et l'Office français de la Biodiversité (OFB) en France, institutions avec lesquels nous avons déjà établi des contacts. Notre approche devrait en effet permettre d'aider à la formation de gestionnaires, à travers des mises en situation dans différents types de configuration de conseils de gestion et de types de conflits d'usage entre acteurs sociaux. Nous avons d'ailleurs imaginé un

¹⁸ À la différence d'une aide technique centralisée (pour tous les joueurs), comme c'est par exemple le cas pour une simulation multi-agent complétant le jeu de rôle dans la méthodologie ComMod (ComMod 2003).

générateur de configuration/scénario, en fonction de la nature souhaitée des situations de conflits lors d'une étape de formation. Une voie alternative, et complémentaire, est en matière d'initiation environnementale pour un public non expert, à travers un jeu sérieux de type SimCity¹⁹ à scénario et actions simplifiés (où les joueurs peuvent par exemple ajouter des touristes, des tortues, changer la taille des filets) permettant d'observer leur impact sur la dynamique de l'espace protégé. Ainsi, les idées et projets ne manquent pas, mais ne sont malheureusement pas toujours réalisés du fait d'un certain manque de ressources (humaines et matérielles).

Des informations supplémentaires sur le projet SimParc (notamment, diverses publications, événements, participants) sont accessibles via la page du projet sur le portail Science Ensemble : <https://www.science-ensemble.org/projets/simparc>, ou bien directement sur la page du projet : <https://webia.lip6.fr/~briot/simparc/>.

12. Conclusion

Nous espérons, à travers ce texte, avoir pu présenter le positionnement relativement original en termes de sciences participatives de notre projet SimParc, ainsi que son expérience et ses résultats. Les différentes sessions de tests avec différents types d'utilisateurs, experts ou non, ont montré les intérêts de notre méthodologie et des outils avancés associés (jeu sérieux et assistants) pour aider à la gestion participative d'espaces protégés. Nous souhaitons explorer son utilisation pour la formation de gestionnaires d'espaces protégés. Par ailleurs, bien que le projet soit centré sur la gestion participative d'espaces protégés, on peut constater que l'objectif est en fait plus large, les conflits d'usage de ressources renouvelables partagées, à l'image du problème de la Tragédie des biens communs (Hardin 1968) et de la méthodologie ComMod (ComMod 2003). Nous espérons que notre expérience pourra ainsi servir d'inspiration à d'autres projets en matière de soutien informatique à la gestion de ressources partagées et la résolution de conflits d'usage.

Remerciements

Nous tenons à remercier nos ex-étudiants et collègues pour leurs contributions au projet, et tout particulièrement : Alessandro Sordoni, Gustavo Mendes de Melo et José Eurico Vasconcelos.

Références

- Alvarez, I., Zaleski, L., Briot, J.-P., De Azevedo Irving, M. (2023) Collective Management of Environmental Commons with Multiple Usages: A Guaranteed Viability Approach, *Ecological Modelling*, Vol. 475, Article 110186.
- Aubin, J.-P. (1992) *Viability theory*, Modern Birkhäuser Classics.
- Barreteau, O. et al. (2003) Our Companion Modelling Approach, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS)*, 6(2):1.
- Bommel P., Bécu N., Le Page C., Bousquet F. (2015) Cormas, an Agent-Based Simulation Platform for Coupling Human Decisions with Computerized Dynamics, In T. Kaneda, H. Kanegae, Y. Toyoda & P. Rizzi (Eds.), *Simulation and Gaming in the Network Society*, Series Translational Systems Sciences, 9:387–410, Springer Verlag.

¹⁹ SimCity est un jeu vidéo mi-ludique mi-sérieux introduit à la fin des années 80 où l'objectif pour le joueur est de créer et développer une ville dont la dynamique est simulée. Le joueur joue le rôle d'un maire à la tête d'un budget qu'il utilise pour aménager et développer la ville (création de zones urbaines, commerciales ou industrielles, de réseaux d'eau, électriques et de transport, d'équipements type écoles et hôpitaux, etc.). Des erreurs de gestion peuvent entraîner des effets négatifs comme des révoltes, de la pollution, ou l'abandon des constructions.

- Briot, J.-P., De Azevedo Irving, M., Vasconcelos Filho, J., Mendes de Melo, G., Alvarez, I., Sordoni, A., Pereira de Lucena, C. (2017) Participatory Management of Protected Areas for Biodiversity Conservation and Social Inclusion: Experience of the SimParc Multi-Agent Based Serious Game, In Adamatti, D. F. (Ed.), Multi-Agent Based Simulations Applied to Biological and Environmental Systems, Advances in Computational Intelligence and Robotics (ACIR) Book Series, IGI Global, pp. 295–332.
- ComMod (2003) Companion Modeling, Collectif ComMod. <https://www.commod.org/>
- Deffuant, G., Amblard, F., Duboz, R., Ramat, E. (2003) Une démarche expérimentale pour la simulation individus-centrée, 10^{èmes} Journées de Rochebrune : Rencontres interdisciplinaires sur les systèmes complexes naturels et artificiels – Épistémologie de la simulation, Rochebrune, ENST Editions, janvier 2023, pages 43–62.
- Gargouri, A. (2017) Expert Agents in Negotiation and Argumentation for Serious Games on Participatory Management, Rapport de stage M2, Université Paris Descartes/Paris 5 – LIP6, septembre 2017.
- Hardin, G. (1968) The Tragedy of the Commons, *Science*, 162(3859):1243–1248.
- ICMBIO (1997) Resex Marinha do Arraial do Cabo, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Brasil. <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/resex-marinha-do-arraial-do-cabo>
- ICMBIO (1961) Parque Nacional da Tijuca, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Brasil. <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/mata-atlantica/lista-de-ucs/parna-da-tijuca/parna-da-tijuca>
- Irving, M. A. (2006) Áreas Protegidas e Inclusão Social: Construindo Novos Significados, Rio de Janeiro: Aquarius.
- Martin, S. (2004) The Cost of Restoration as a Way of Defining Resilience: a Viability Approach Applied to a Model of Lake Eutrophication, *Conservation Ecology*, 9(2):8.
- MMA (2002) Roteiro metodológico de planejamento – Parque nacional, reserva biológica, estação ecológica, Edições IBAMA, Ministério do meio ambiente, Brésil.
- Sordoni, A., Briot, J.-P., Alvarez, I., Vasconcelos, E., Irving, M. A., Melo, G. (2010) Design of a Participatory Decision Making Agent Architecture Based on Argumentation and Influence Function – Application to a Serious Game about Biodiversity Conservation, *RAIRO – An International Journal on Operations Research*, 44(4):269–284.
- Vasconcelos, E., Melo, G., Briot, J.-P., Sebba Patto, V., Sordoni, A., Irving, M., Alvarez, I., Lucena, C. (2009a) A Serious Game for Exploring and Training in Participatory Management of National Parks for Biodiversity Conservation: Design and Experience, In VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment (SBGAMES 09), pages 93–100. DOI: 10.1109/SBGAMES.2009.19.
- Vasconcelos, E., Briot, J.-P., Irving, M. A., Barbosa, S., Furtado, V. (2009b) A User Interface to Support Dialogue and Negotiation in Participatory Simulations, In N. David & J. S. Sichman (Eds.), *Multi-Agent-Based Simulation IX*, LNAI 5269, Springer-Verlag, pp. 127–140.
- Zaleski, L., Alvarez, I., Briot, J.-P., De Azevedo Irving, M. (2019) Viaduc : Un assistant de viabilité pour la négociation dans un éco-socio-système, 17^{èmes} Rencontres des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle (RJCIA 2019), Toulouse, pp. 43–53.
- Zaleski, L. (2020) Assistant de décision et de négociation par analyse de viabilité – Application à la gestion participative d’espaces protégés, Thèse de doctorat, Sorbonne Université, 2020. <https://hal.science/tel-03768905/>