

Montpellier SupAgro

Mémoire de fin d'études d'ingénieur

MineSet :

Numérisation d'un jeu de plateau à une simulation interactive pour une gestion durable des forêts du bassin du Congo

Anton Bommel

Option Data Science

Année 2020 - 2021

Encadrants

Hélène Dessard (CIRAD)

Anne Dray (ETH Zürich)

Claude Garcia (CIRAD/ETH Zürich)

Tuteur de stage

Hazaël Jones (SupAgro)

Sommaire

Introduction générale.....	3
I. La modélisation participative et son utilisation dans le projet CoForSet.....	3
1) Pourquoi la participation ?.....	3
2) Le projet CoForSet.....	6
3) Le jeu de rôle MineSet.....	6
II. La numérisation du jeu de rôle MineSet.....	8
1) Pourquoi CORMAS ?.....	8
2) Les règles de MineSet.....	9
3) Implémentation du jeu numérisé.....	14
III. Analyse des stratégies.....	19
1) Analyse de chaque stratégies prises individuellement.....	19
2) Analyse des stratégies réunies.....	24
3) Conclusion sur les stratégies.....	29
IV. Discussion.....	30
1) Evolutions possibles et limites du modèle.....	30
2) Conclusion générale.....	30
Bibliographie.....	32
Annexes.....	34

Introduction générale

Afin d'aider la co-gestion des ressources naturelles du bassin du Congo, un jeu de rôle a été développé dans le cadre du projet CoForSet conduit par l'unité Forêts et Sociétés du CIRAD. Les concepteurs de ce jeu appelé MineSet, ont voulu en créer une version informatique afin d'en faciliter l'usage et sa diffusion. Il en découle la problématique suivante : **Comment passer d'un jeu de rôle de type jeu de plateau à un simulateur interactif ?**

Ce rapport de stage de fin d'étude s'organise sur divers aspects qui incluent la modélisation participative et plus particulièrement la démarche ComMod, l'appropriation du jeu MineSet, la formalisation du modèle conceptuel, le choix d'une plateforme, l'implémentation d'un système multi-agent (SMA), la conception d'interfaces utilisateur, la conception d'agents autonomes, une analyse de sensibilité sur les stratégies de ces agents, et pour finir un regard critique sur ce travail.

I. La modélisation participative et son utilisation dans le projet CoForSet

1) Pourquoi la participation ?

La Banque Mondiale (1996) définit la participation comme « *tout processus qui aide les individus à influencer les prises de décisions qui les affectent et à prendre une certaine part dans le contrôle de ces décisions, depuis la construction d'une politique publique jusqu'à la sélection d'une technologie adaptée* » (WB, 1996). Ainsi de nombreuses études comparatives sur des projets de développement montrent les bienfaits de la participation et remettent en cause l'approche descendante (consistant à indiquer par les autorités les décisions à prendre localement) dans la construction de projets (Mathevet et al., 2010). La participation s'est ainsi très largement répandue, jusqu'à devenir un incontournable des projets de développement (Pretty, 1995).

Comme fin, la participation vise à assurer que toutes les parties prenantes ont le droit de prendre part à une décision qui les concerne. Elle permet *l'empowerment*¹ des participants à travers la modifications des perceptions, l'apprentissage social, l'implication dans le processus de prise de décision et la distribution du pouvoir dans un groupe social.

Depuis quelques années maintenant, la participation est un « buzz word » (Voinov et Bousquet, 2010). Elle est devenue presque incontournable pour la gestion, le développement et la planification dans le domaine des organisations et de la gestion de l'environnement. Ainsi, les directives (notamment en Europe) contraignent les gestionnaires politiques à impliquer les parties prenantes dans la prise de décision sur les socio-écosystème (SES). Cette interaction étroite entre décideurs et acteurs obligerait donc davantage à impliquer les acteurs dans le processus de décision, voire même dans la phase de modélisation de leur SES.

a) Le concept de modélisation participative

Un socio-écosystème intègre à la fois une dimension environnementale mais également humaine et sociale. Par nature, un SES est complexe et peut être vu comme un ensemble de quatre composants en interaction : i) une zone géographique (une aire naturelle par exemple) avec ii) des unités de ressources (espèces animales, eau, forêts,...), iii) un système de gouvernance et iv) les usagers qui vivent sur cet espace et utilisent les ressources. Souvent interdépendantes, les actions de chacun ont

¹ Basé sur l'idée de pouvoir (power), l'empowerment est une prise de contrôle sur sa vie. En français, le concept se rapproche de "renforcement des capacités", "d'autonomisation" ou "d'émancipation" (Laborie, 2020).

des effets sur les autres avec des phénomènes de rétroaction difficilement appréhendables. Cependant, il n'existe pas encore une modélisation des SES en tant que domaine de recherche structuré, avec un cadre méthodologie, une approche unifiée et bien définie (Le Page, 2017). Il existe donc de nombreuses approches pour aborder ces systèmes complexes. Dans cette perspective, certains modélisateurs considèrent qu'une approche analytique à base d'équations serait moins appropriée qu'une approche algorithmique basée sur une combinaison de mécanismes simples.

Le site web <http://participatorymodeling.org>, spécialisé sur les différentes méthodes de participation, définit la modélisation participative ainsi :

La modélisation participative (MP) est un processus d'apprentissage intentionnel pour l'action qui engage les connaissances implicites et explicites des parties prenantes pour créer une ou plusieurs représentations formalisées et partagées de la réalité. Dans ce processus, les participants co-définissent le problème et utilisent des pratiques de modélisation pour faciliter la description, la solution et les actions de prise de décision du groupe. La modélisation participative est souvent utilisée dans des contextes de gestion de l'environnement et des ressources. Les avantages de cette approche comprennent un niveau élevé d'appropriation de la prise de décision et une structure permettant de rendre les objectifs et les résultats explicites, ouverts à l'évaluation et à la révision.

Basée sur une première classification élaborée par Arnstein (1969), Van Bruggen et al. (2019) proposent une typologie de participation pour la MP qui différencie :

- La modélisation avec participation nominale qui inclut les acteurs pour légitimer le projet et diffuser les résultats,
- La modélisation instrumentale qui utilise les acteurs pour que le processus soit plus efficace et économe,
- La modélisation représentative qui prend en compte les besoins et demandes des acteurs dans le processus de prise de décision,
- La modélisation transformative ayant pour but un empowerment réciproque top-down et bottom-up.

Dans cette dernière, la participation est un moyen, mais aussi une fin. Le modèle est co-construit à travers un dialogue entre les chercheurs et les acteurs. Les participants maintiennent un contrôle sur l'usage du modèle.

Selon Barreteau *et al.* (2013), on peut classer les approches de modélisation participative (MP) selon le degré d'implication des parties prenantes dans les différentes étapes de la modélisation. Dans le cadre de ce stage et de ce projet, le degré d'implication a pour objectif l'apprentissage social. Il se caractérise par une interaction forte et régulière des participants dans le processus de co-construction du modèle à différentes étapes.

b) L'approche ComMod

Un sous-type de modélisation participative est la modélisation d'accompagnement. L'objectif n'est pas de prédire, mais de provoquer des échanges entre participants, de révéler des points de vue, de partager des représentations, et d'explorer ensemble des futures possible. Bien que le terme de « modélisation d'accompagnement » soit apparu en 1996 (Bousquet et al., 1996) qui promeut l'usage des jeux de rôle (Barreteau et Bousquet, 1999), le mot ComMod (pour « Companion Modeling ») et la démarche ont été formalisées plus tard (Bousquet et al. 2005, Etienne, 2011).



Figure 1 : photo d'un atelier utilisant un modèle informatique interactif dans le cadre d'une approche ComMod (Photo A. Perrotton)

La démarche part du principe qu'aucun modèle n'est neutre : il est le produit de notre interprétation du monde. En particulier dans le domaine social et l'étude du comportement humain, affirmer sa neutralité est la porte ouverte à la manipulation (Mullon 2005 ; Daré et al, 2010, Laborie, 2020). Ceci est d'autant plus vrai que la gestion durable et équitable des ressources renouvelables nécessite d'impliquer différents décideurs et acteurs. Afin de limiter cette manipulation, l'objet de la démarche ComMod consiste à intégrer les différents acteurs à la simulation pour qu'ils se mettent en situation et agissent en jouant leur propre rôle ou en se mettant à la place des autres de façon à comprendre d'autres points de vue. Publié dans la revue *Natures Sciences Société*, l'article fondateur (ComMod, 2005) précise que l'approche ComMod a un double objectif. Le premier est de comprendre le SES, à savoir de distinguer le rôle des acteurs dans les processus, la production de connaissances sur un enjeu de développement et la construction commune d'indicateurs qui doivent être pertinents pour tous. Le second objectif est d'aider à la prise de décision collective. Cet objectif est facilité par le côté ludique de la démarche qui permet de débloquent des situations de non-dit, de faciliter des échanges de points de vue, d'éclairer les enjeux du collectif et d'enrichir le processus de décision. En somme, l'approche ComMod vise à faire évoluer les représentations des différents participants. Elle favorise la création d'un groupe qui sera capable de résoudre de lui-même une situation problématique. Plutôt que d'apporter des solutions à un collectif à la manière des approches descendantes (solutions clé-en-main), la démarche vise à accompagner les acteurs locaux à trouver par eux-mêmes des solutions en se projetant sur le long terme. Selon cette posture, le modèle n'est qu'un objet intermédiaire n'agissant que comme médiateur entre les différents participants.

Une démarche ComMod est un processus assez long qui passe par plusieurs étapes dont la modélisation n'est qu'une phase. Une fois l'objectif défini et un premier modèle conceptuel établi, le processus passe fréquemment par la réalisation de sessions de jeu de rôle avec les acteurs (Figure

1). Ces sessions permettent d'enrichir les connaissances pour mieux comprendre le SES et ainsi de modifier et d'améliorer le modèle sous-jacent. De l'autre, elles favorisent l'installation d'un dialogue entre les différents acteurs leur permettant de prendre du recul et de discuter des problèmes rencontrés. L'importance de ces deux points dépend du moment où est réalisée l'atelier au cours du processus.

Souvent ces sessions se déroulent en trois parties, le briefing, le jeu et le débriefing. Le briefing sert à accueillir les participants, leur expliquer l'objectif de la session et leur présenter le modèle. Après une phase de prise en main et l'assignation des rôles, le jeu se déroule, souvent autour d'un plateau. Un "maître du jeu" aussi appelé facilitateur organise le déroulement de la partie. Enfin vient le débriefing avec d'abord une discussion à chaud des sentiments exprimés par les participants et de la direction qu'à pris le scénario simulé. S'ensuit une étude plus en profondeur de la session où sont discutés différents enjeux. Cette dernière phase est importante car c'est à ce moment que le modèle est révisé et que les acteurs discutent des orientations qu'ils souhaitent prendre collectivement.

2) Le projet CoForSet

CoForSet est un projet coordonné par le CIRAD et associe plusieurs organisations en Europe et en Afrique. Financé par la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité et le Fonds Français pour l'Environnement Mondial (cf annexe 1 pour voir tout les collaborateurs), le projet s'appuie et continue un précédent projet, CoForTips. Le projet démarra en 2014 et finit en 2017.

CoForSet a comme zone d'étude le bassin du Congo, en particulier une région appelée TRIDOM (pour Tri-National Dja Odzala Minkebe) à cheval entre le sud-est du Cameroun, le nord-est du Gabon et le nord-ouest de la République du Congo. C'est une région riche en forêts tropicales humides avec presque 97 % de sa surface recouverte (Quétier, 2015). C'est aussi un hot spot de biodiversité avec la présence de nombreux grands mammifères tels que l'éléphant ou le gorille. Enfin, les habitants de ces forêts, en particulier les Pygmées et Bantous, utilisent les ressources de la forêt pour leur subsistance. D'un autre côté, l'exploitation de ces forêts pour le bois, l'agriculture et ses ressources minières en fer est aussi un grande opportunité pour les pays qui occupent la région pour leur développement économique. Jusqu'alors inaccessibles, l'ouverture de ces zones et l'installation de nouveaux habitants mettent en péril l'équilibre de ce système. Cette région constitue donc un socio-écosystème (SES) complexe soumis à des pressions anthropiques diverses.

Le projet s'organise en trois volets. Le premier correspond à la compréhension du SES de la zone du TRIDOM. Pour cela, il s'appuie sur les résultats du précédent projet en se focalisant sur les projets miniers et la mise en place de mécanismes de compensation écologique. Le deuxième volet est la construction de scénarios de la biodiversité intégrant les aspects sociaux, économiques, écologiques, géophysiques et la gouvernance. Ces scénarios doivent comprendre et évaluer l'impact de projets industriels dans des habitats sensibles. Le troisième volet vise à pérenniser les résultats des recherches dans les prises de décision au niveau régional et national. Pour cela, le projet CoForSet a développé des outils pour les divers acteurs de la région (ONG, entreprises forestières et minières, gouvernements, etc) afin qu'ils puissent mieux anticiper leurs actions, mettre en place de bonnes pratiques environnementales et sociales ou encore établir un dialogue constructif entre les différents acteurs afin de ne léser personne. A cette fin, les chercheurs du projet ont décidé d'utiliser l'approche participative ComMod avec comme produit la création d'un jeu de rôle.

3) Le jeu de rôle MineSet

a) Contexte d'utilisation

Fruit de réflexions entre les chercheurs du projet mais aussi avec les acteurs du TRIDOM, le jeu de rôle MineSet vise à représenter les interactions entre les ressources et les usagés de ces ressources. Basé sur un modèle conceptuel longuement élaboré, le jeu retranscrit les processus écologiques de

la région, les facteurs externes tels que la démographie, les changements de gouvernance, les changements culturels mais aussi les stratégies individuelles des acteurs. MineSet a été présenté plusieurs fois aux divers représentants de la zone pour qu'ils puissent le tester et participer aux ajustements (Figure 2). Parmi les acteurs, on trouve des membres du gouvernement du Gabon, des ONG et des grandes entreprises telles que Total. Dès les premières sessions, les jeux se soldent par la transformation des habitats remarquables, une diminution du couvert forestier et la multiplication des conflits avec les populations locales, ce qui conduit les joueurs à prendre conscience de la complexité du SES. Les sessions qui suivirent ont permis une meilleure gestion des trois piliers du développement durable (écologique, économique et social) par la mise en place d'actions collectives par les joueurs.



Figure 2 : Photo d'un atelier de MineSet

MineSet est donc un jeu de rôle qui, comme l'a dit un participant, devient « un outil d'aide à la décision dans les choix que l'on doit faire pour un projet d'investissement ». Cependant le jeu peut avoir d'autres applications. Lors du Forest Stewardship Council (FSC) en août 2017, le jeu de rôle et son débriefing ont permis de débloquer des discussions qui patinaient depuis deux ans. Les différents membres du FSC n'arrivaient pas à trouver un accord commun pour définir des indicateurs régionaux pour la gestion des paysages forestiers intacts dans les concessions forestières. A la fin de 3 jours autour du jeu, les parties prenantes ont réussi à trouver une position commune qui sert de base à la redéfinition des règles de gestion des concessions forestières.

Ainsi, l'approche ComMod dans laquelle se réclame le jeu MineSet peut servir à la fois d'outil d'aide à la décision mais aussi de médiateur pour aider au dialogue et à la décision collective.

b) L'intérêt de numériser MineSet

Par la suite, nous parlerons du jeu de rôle pour la version de MineSet avec un plateau physique et de simulation hybride pour la version informatisée. En réalité, ces deux termes pourraient être utilisés pour les deux situations mais pour plus de clarté ils seront distincts.

Il faut reconnaître que le jeu de rôle et la simulation sont proches. Ils partagent un même modèle conceptuel sous-jacent et leur objectif principal reste le même : réunir des acteurs autour d'une problématique socio-environnementale afin d'établir un dialogue, de mieux comprendre les interrelations et la complexité du SES du TRIDOM et d'aider à la décision collective. On peut d'ailleurs comparer les photos des figures 1 et 2 et remarquer que globalement les acteurs sont autour d'un plateau qu'il soit physique ou numérique.

Néanmoins, le passage à une version informatisée offre certains avantages. On peut en énumérer cinq principaux : 1) la rapidité des calculs de la dynamique des ressources et donc la possibilité de simuler sur le long terme ; 2) le calcul et l'affichage d'indicateurs sociaux, économique et, environnementaux, mais aussi individuels ; 3) la diversité des visualisations de l'espace (surface, zone minière, concessions, etc.) et leur mise à jour automatique ; 4) la saisie et l'enregistrement des décisions des participants ; 5) l'enregistrement des parties pour les rejouer lors des phases de débriefing. Outre ces cinq avantages, valables pour tout jeu informatisé, un autre atout du jeu numérisé est qu'il est facilement copiable et échangeable entre différents organisateurs, ce qui est plus compliqué pour un jeu de plateau avec ses pions, cartes, etc (même si dans les deux cas, un manuel d'utilisateur est nécessaire).

c) Pourquoi une simulation multi-agent de MineSet

Si l'objectif initial de ce stage était d'informatiser MineSet, il a fallu choisir quel type de simulateur informatique était le plus adapté. En gardant à l'idée que MineSet doit avant tout garder son esprit jeu de rôle, il se trouve que les simulations multi-agents semblent les mieux adaptées pour ce genre d'exercice. O. Barreteau (2003) a mis en évidence des parallèles entre simulation multi-agent et jeu de rôle : agent ↔ joueur, tour de jeu ↔ pas-de-temps, plateau de jeu ↔ grille spatiale, simulation ↔ session de jeu. On peut d'une certaine manière considérer le jeu de rôle comme une simulation multi-agent grandeur nature. Ainsi, grâce à ces grandes similarités, il est plus naturel de transcrire le jeu de rôle en un simulateur multi-agent interactif.

La position originale que nous avons prise avec MineSet est de pouvoir s'affranchir du jeu interactif (aussi appelé *simulation hybride* de type « Computer-Controlled simulations » selon Crookall et al., 1986), afin de faire de la prospection de stratégies. Ainsi, une simulation de MineSet peut être autonome, comme une simple simulation classique du type « Computer-Dependent ». C'est d'ailleurs cette partie qui est analysée au chapitre 3. En outre, cette option permet aussi à des participants de jouer à MineSet même s'il manque des joueurs. Dans ce cas, les absents sont remplacés par des agents autonomes. Il s'agit dans ce cas de figure d'une véritable simulation hybride au sens de Le Page et al. (2010).

II. La numérisation du jeu de rôle MineSet

1) Pourquoi CORMAS ?

Passer d'un jeu de rôle physique à un simulateur informatique interactif nécessite des adaptations importantes. Pour cet exercice, le choix d'une plateforme de simulation multi-agent n'est pas sans conséquence. Après analyse des outils existants, trois plateformes se sont avérées de bonnes candidates : CORMAS, GAMA et NETLOGO. Plusieurs discussions avec les maîtres de stage nous ont porté à sélectionner CORMAS. Les raisons de ce choix reposent à la fois sur des avantages techniques mais aussi circonstanciels.

CORMAS (pour « Common-pool Ressources and Multi-Agent Systems ») est une plateforme de modélisation et simulation multi-agent dédiée à la gestion des ressources renouvelables (Bousquet *et al.*, 1998, Bommel *et al.*, 2015). Logiciel gratuit et open-source, CORMAS est utilisé par une communauté internationale de chercheurs souhaitant étudier les relations entre les sociétés et leur

environnement. Comme expliqué dans Le Page et al. (2012), CORMAS occupe une place originale et dynamique parmi les plateformes existantes : la simulation interactive. Ses développements ont favorisé le renforcement de la communauté ComMod intéressée par la conception collective de modèles et par la simulation participative.

Une première différence entre les plateformes sélectionnées porte sur la manière de coder. D'un côté, GAMA et NETLOGO (basées sur Java) utilisent un langage de script classique. De l'autre, CORMAS utilise Smalltalk, un langage orienté-objet "pur" et dynamique avec un syntaxe simple (sous la forme sujet-verbe-complément). Même si au premier abord il peut rebuter certaines personnes ayant déjà des connaissances en programmation classique, Smalltalk semble plus intuitif et accessible pour les débutants en informatique.

Mais l'un des gros avantages de Smalltalk est sa flexibilité une fois la simulation lancée. En effet, il est possible de modifier le comportement d'un objet sans avoir à relancer la simulation (méthode « edit and continue » à opposer à « edit, compile and run »). Cet aspect très proche du jeu de rôle est bien plus complexe à réaliser avec GAMA ou NETLOGO. Cette flexibilité permet aussi de vérifier la cohérence d'un code et de le modifier à la volée, gros avantage pour mettre au point un prototype.

Par ailleurs, CORMAS propose des outils qui permettent d'interagir directement sur une simulation en ajoutant de nouveaux éléments (comme par exemple un pion), en détruisant un objet ou en le déplaçant, ou encore en lui demandant d'effectuer une action (par envoi de message). Ces possibilités sont d'ailleurs à la base du jeu de rôle MineSet (version non informatique) et auraient été beaucoup plus complexes à réaliser sur les deux autres plateformes qui ne sont pas conçues pour l'interaction.

Notre choix s'est donc porté sur CORMAS car les objectifs de MineSet entrent exactement dans sa niche. GAMA et NETLOGO offrent d'autres avantages indéniables avec par exemple une meilleure connectivité avec les SIG ou la gestion de la 3D pour le premier, et la simplicité et l'efficacité pour le second qui propose de nombreux modules et réunit la plus grande communauté d'utilisateurs. Or ce travail n'est pas ma première expérience avec la modélisation multi-agent. Au cours d'un stage en Australie, je fus amené à utiliser GAMA qui a montré son efficacité pour simuler des flux d'eau sur un large territoire. Bien que cette expérience fut très positive et qu'il est chronophage d'apprendre un nouveau langage, les atouts qu'offrent CORMAS nous ont convaincus d'utiliser cette plateforme.

Outre les aspects techniques, le choix de CORMAS s'est aussi fait sur des considérations plus circonstancielles. Anne Dray, l'une de mes encadrantes, connaît et utilise déjà CORMAS. De plus, étant basé au CIRAD, il m'était plus facile d'obtenir de l'aide des membres de l'UMR SENS qui gèrent CORMAS. L'apprentissage de cette plateforme était donc facilité et la communication avec mes encadrants était plus simple.

2) Les règles de MineSet

La première partie de mon travail fut de conceptualiser les règles actuelles du jeu MineSet en s'appuyant sur le formalisme UML (pour Unified Modeling Language, OMG), un langage graphique de modélisation objet. La modélisation du jeu s'appuie sur les rapports présentant MineSet lors de sa conceptualisation, mais aussi sur les échanges avec mes maîtres de stages car les règles n'étaient pas toutes bien décrites. Les schémas ci-dessous représentent donc une description en UML de la structure du jeu de plateau et d'une partie de ses règles.

C'est à partir de ces diagrammes qui sont plus formels que l'on peut coder le jeu de rôle informatisé, d'où l'importance de leur réalisation. De plus, ils ont permis l'établissement d'un dialogue entre mes encadrants et moi car certains d'entre eux n'étaient pas familiers avec la modélisation multi-agent sous Cormas.

Le formalisme UML propose plusieurs types de diagrammes qui constituent des « vues » particulières d'un modèle. Ainsi les *diagrammes de classe* présentent la structure générale d'un modèle quand des *diagrammes de séquence*, d'*activité* ou d'*état-transition* en dévoilent les aspects dynamiques.

a) Structure générale du modèle

Le diagramme de classe de la Figure 3 permet d'avoir un aperçu global des éléments qui composent le modèle, ainsi que leurs liens les uns par rapport aux autres.

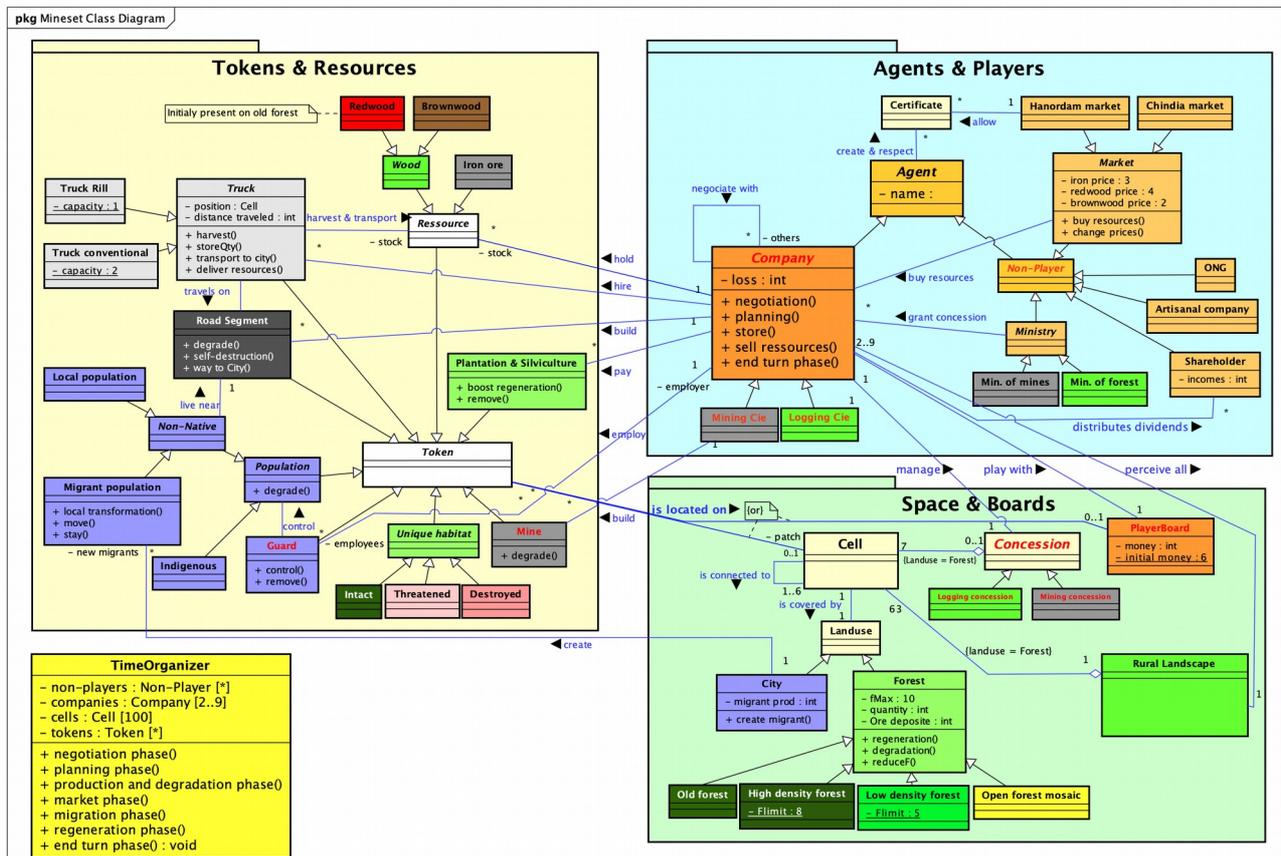


Figure 3 : Diagramme de classe du jeu de rôle MineSet

Le modèle du jeu est structuré en 3 ensembles (package en UML). Le premier correspond au plateau et à l'espace (en vert). Il est composé de 100 cellules hexagonales ayant des rôles différents. Chaque cellule est couverte par une couverture (*Landuse*) qui peut être soit urbaine soit forestière (en fonction de sa quantité de bois, chaque forêt prend un état distinct). L'ensemble des cellules en forêt correspond au paysage rural. Certaines cellules sont regroupées pour former une concession minière ou forestière. Par ailleurs, chaque joueur possède son propre plateau individuel où il place ses jetons et son argent.

Le second ensemble (jaune) est composé de tous les pions (*Token*). On y retrouve les jetons Population, Camions et Routes, Ressources, Mines, etc. Chaque pion est placé sur une cellule, puis lorsqu'il est récolté par un camion, il est positionné sur le plateau individuel du joueur.

Enfin le troisième ensemble (bleu) contient les agents « Non-Players » et les joueurs qui endossent le rôle de compagnies (jusqu'à 9 joueurs au total). Après avoir acquis leur concession, ces derniers (qui se spécialisent soit en entreprise forestière ou minière) utilisent leurs moyens de productions pour récolter, construire, échanger, etc. Les agents non-joueurs sont les marchés, ONG, ministères et autres qui sont gérés par l'organisateur d'une session du jeu.

On comprend donc les trois dimensions que ce jeu explore : la dimension sociale (avec les compagnies, les ONG et autres non-joueurs, mais aussi les populations et les gardes), la dimension environnementale (avec les couverts forestiers plus ou moins dégradés et les ressources en bois qu'ils fournissent, ainsi que les habitats uniques), et la dimension économique qui se devine ici avec les prix des ressources déterminés par les marchés et l'implantation de mines pour extraire les minerais.

Ce diagramme de classe offre un large aperçu de la structure du jeu de rôle et du modèle sous-jacent avec comme classe principale les compagnies qui représentent les joueurs. Leurs actions ont des impacts sur les 3 dimensions du jeu. Par exemple, la mise en place d'un camion permet de récolter des ressources et de s'enrichir, mais cela se fait au détriment de l'environnement qui se dégrade.

Outre les 3 ensembles, une entité particulière est présentée : le *TimeOrganizer* qui correspond au maître du jeu chargé d'organiser le déroulement d'une session. Il ne dicte pas aux entités les actions à mener mais il précise uniquement les phases de chaque tour de jeu.

Même si ce diagramme est assez explicite, il est souvent utile de l'accompagner d'une description textuelle façon plus détaillée. Il est important de souligner que ce schéma qui, somme toute, n'est pas très compliqué à comprendre, a néanmoins nécessité un travail conséquent pour son élaboration avec de nombreux entretiens avec les concepteurs du jeu et pour le rendre à la fois complet et le plus concis possible.

Dans sa structure, la version informatisée est très proche de celle du jeu de plateau : les modèles sous-jacents sont similaires. La principale différence repose sur les agents Compagnies (Figure 4).

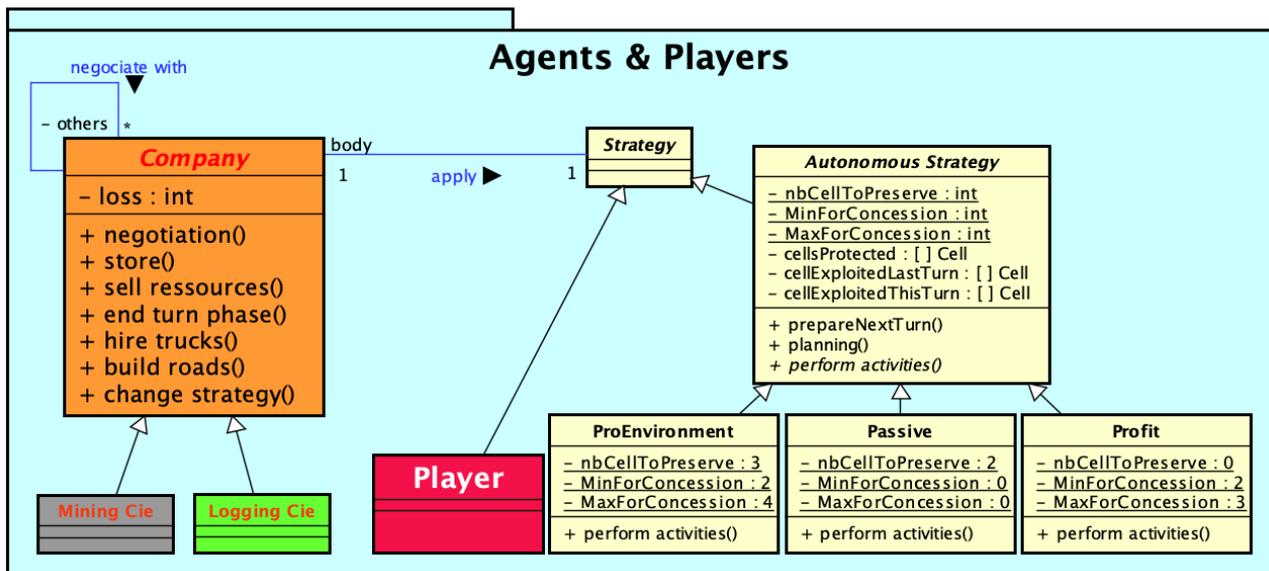


Figure 4 : Diagramme de classe des agents-avatars

Le jeu informatisé doit pouvoir être utilisé avec un nombre variable de participants. Les joueurs prennent alors le rôle d'une compagnie forestière ou minière. Afin de permettre cette flexibilité du jeu informatique, une nouvelle classe a été ajoutée : la *Strategy*. Ainsi l'agent compagnie est artificiellement séparé de son système de décision. Cet artifice, appelé « pattern Acteur-Rôle » par Coad et al. (1995) réifie la notion de rôle². L'ajout de cette classe offre la capacité à tout agent de

² L'extrémité d'une association entre classes en UML est un rôle qui spécifie la façon dont une entité est perçue par les autres. Par exemple, pour l'association "hold" entre les classes *Company* et *Resource*, les instances de *Resource* peuvent jouer le rôle de stock vis-à-vis de *Company*. Or, les langages orientés objets sont dédiés au traitement d'objets qui ne changent pas leur type au cours du temps. Mais lorsque l'on s'intéresse à la représentation d'humains ou d'animaux qui peuvent évoluer, se transformer et changer de comportement au cours de leur vie, il est utile d'agréger le concept d'agent en un ensemble de classes étroitement liées. Le pattern Acteur-Rôle de P. Coad réifie cette notion de rôle afin

changer de stratégie en cours de jeu et d'être joué par une véritable personne ou de devenir autonome à tout moment (méthode *change strategy*). La classe *Strategy* se spécialise en 4 sous-classes : le *Player* qui devient l'avatar du joueur réel du jeu de plateau et trois autres classes autonomes : *Profit*, *Passive* et *ProEnvironnement* qui sont entièrement gérées par l'ordinateur. Ces stratégies diffèrent sur la manière d'organiser les actions (la méthode *perform_activities* est différente pour chaque type de stratégie³), mais aussi sur les cellules que l'agent décide de préserver.

A noter enfin que dans la version numérique, le *timeOrganizer* qui est le chef d'orchestre du jeu, s'occupe de l'ordre dans lequel les actions sont réalisées. Pour la version informatique, l'orchestration n'est plus gérée par une personne (le facilitateur), mais par cette entité (aussi appelée *Scheduler* dans le milieu des SMA).

b) Déroulement d'un tour de jeu

Le diagramme de séquence UML de la Figure 6 permet de mieux comprendre l'organisation d'un tour de jeu. En effet, en modélisation multi-agent, le temps simulé est souvent géré par un système de pas-à-pas (appelé *step*). Pour MineSet, un step est équivalent à 10 ans. Comme une partie doit durer approximativement 50 ans, cinq tours de jeu sont habituellement effectués.

Comme la dynamique du jeu doit suivre une certaine logique, il est important de bien organiser les différentes phases et activités d'un tour de jeu. Afin d'être lisible, il faut noter que le step de la Figure 5 ne représente pas toutes les actions possibles, mais seulement un scénario simple parmi d'autres.

d'associer un comportement spécifique à l'agent jouant ce rôle, mais aussi pour lui permettre de changer de rôle (et donc de comportement) au cours du temps. Le diagramme de classe de la figure X montre un exemple de ce pattern où le rôle est remplacé par la stratégie qui n'est pas une simple étiquette mais qui implique un comportement spécifique de la compagnie qui peut modifier son attitude au cours du temps en fonction de son environnement local. Par ailleurs, l'utilisation de ce pattern incite au polymorphisme qui facilite la gestion du code et les futures évolutions du modèle.

³ Ce principe est appelé « polymorphisme » en modélisation objet.

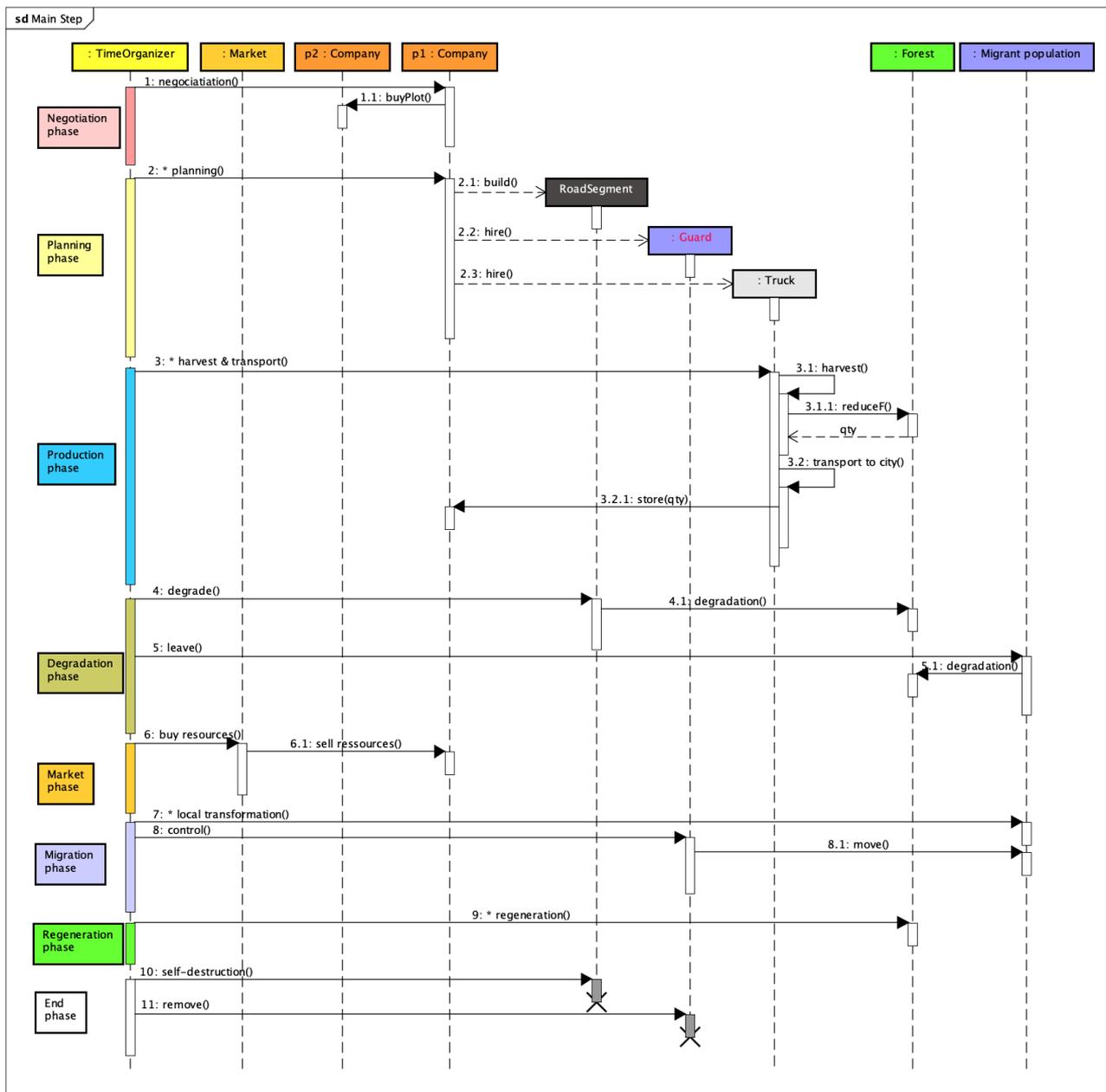


Figure 5 : Diagramme de séquence UML d'un tour de jeu de MineSet

Comme expliqué précédemment, c'est le *timeOrganizer* qui dirige l'ordre dans lequel sont agencées les actions. La première étape correspond à une phase de discussions et d'échanges entre les joueurs. C'est la phase essentielle du jeu où les joueurs négocient et se coordonnent. Pour la version numérique, elle correspond à la pause entre deux tours. Cette phase est suivie de l'application des décisions qui se concrétisent par la répartition des différents pions par les joueurs. Toutes les phases suivantes sont automatisées. Ainsi, les camions récoltent les ressources où ils se trouvent puis les ramènent aux entreprises (aspect économique et écologique). Puis une phase de vente aux marchés est exécutée, lors de laquelle les entreprises vendent leurs ressources et gagnent de l'argent (aspect économique). Ensuite, une phase de migration survient durant laquelle les populations se déplacent et s'installent sur le plateau (aspect social). Lors de la phase de régénération, de nouvelles ressources sont créées (aspect écologique). Enfin, la phase de fin du tour permet les derniers ajustements et prépare le prochain tour.

c) Diagrammes d'activité

Les derniers types de diagramme UML que nous avons utilisés sont les diagrammes d'activité. Ils sont généralement réalisés afin de représenter le comportement d'une entité par la succession des actions et par des points de décision (les losanges et les gardes conditionnelles). Ces diagrammes permettent de visualiser des schémas comportementaux et de repérer les moments où une décision peut faire basculer l'entité vers une voie ou une autre. La partie suivante présente ces diagrammes décrivant les comportements des trois stratégies.

Ces diagrammes peuvent aussi être plus détaillés afin d'être proche du code informatique. C'est le cas du diagramme ci-dessous qui présente l'activité générale d'un camion (Figure 6).

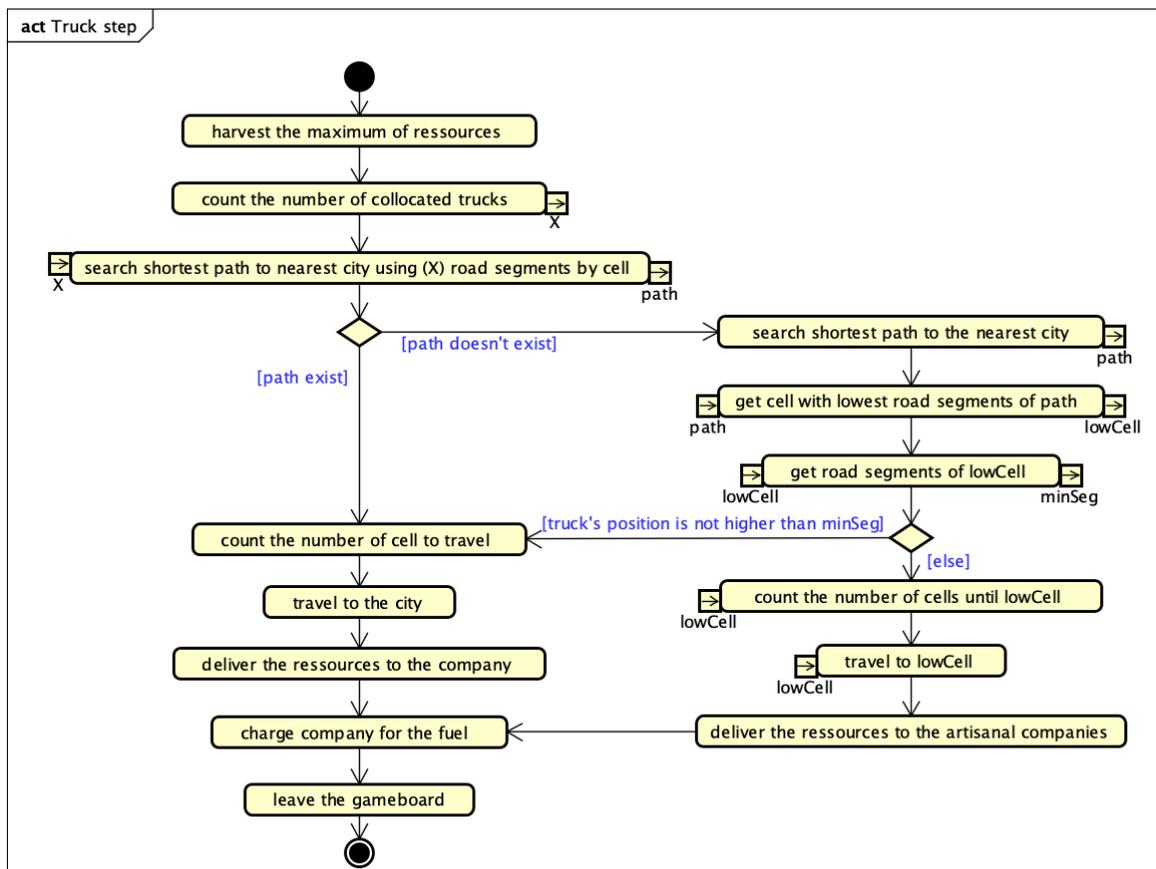


Figure 6 : Diagramme d'activité des camions de MineSet

L'objectif de réaliser ce diagramme est d'explicitier et de formaliser le mouvement des camions chargés de rapporter les ressources jusqu'à l'entreprise. Pour cela, ils doivent se rendre dans la ville la plus proche. La difficulté est qu'il faut qu'il y ait assez de routes pour qu'ils puissent se rendre à leur destination. Deux situations se présentent alors : celle où tout se passe bien et où les camions arrivent jusqu'à la ville pour livrer leurs marchandises à la compagnie qui les emploie, ou alors celle où des camions restent bloqués sur la route et perdent leur cargaison (qui est alors récupérée par un artisan local). Ces deux situations figurent explicitement dans ce diagramme.

3) Implémentation du jeu numérisé

A partir de ces différents diagrammes, il a été plus simple de les traduire en code informatique⁴. Cette implémentation a été effectuée sur la plateforme Cormas en codant les classes et les méthodes en Smalltalk (VisualWorks). Pour apprendre ce langage orienté-objet, j'ai utilisé le matériel

⁴ Le programme sera disponible sur le site Cormas : <http://cormas.cirad.fr/fr/applica/mineSet.html>

pédagogique proposé sur le site de Cormas ainsi que les livres de Smalltalk librement disponibles sur le site web de S. Ducasse (<http://stephane.ducasse.free.fr/FreeBooks.html>).

Cette partie donne un aperçu visuel du jeu numérisé MineSet avec les outils graphiques qui ont été utilisés. Elle présente également les trois stratégies autonomes.

a) Présentation du jeu MineSet numérique

L'interface graphique la plus importante de MineSet présente le plateau de jeu avec les pions situés dessus. La figure 7 montre ce visuel en début du tour 1.

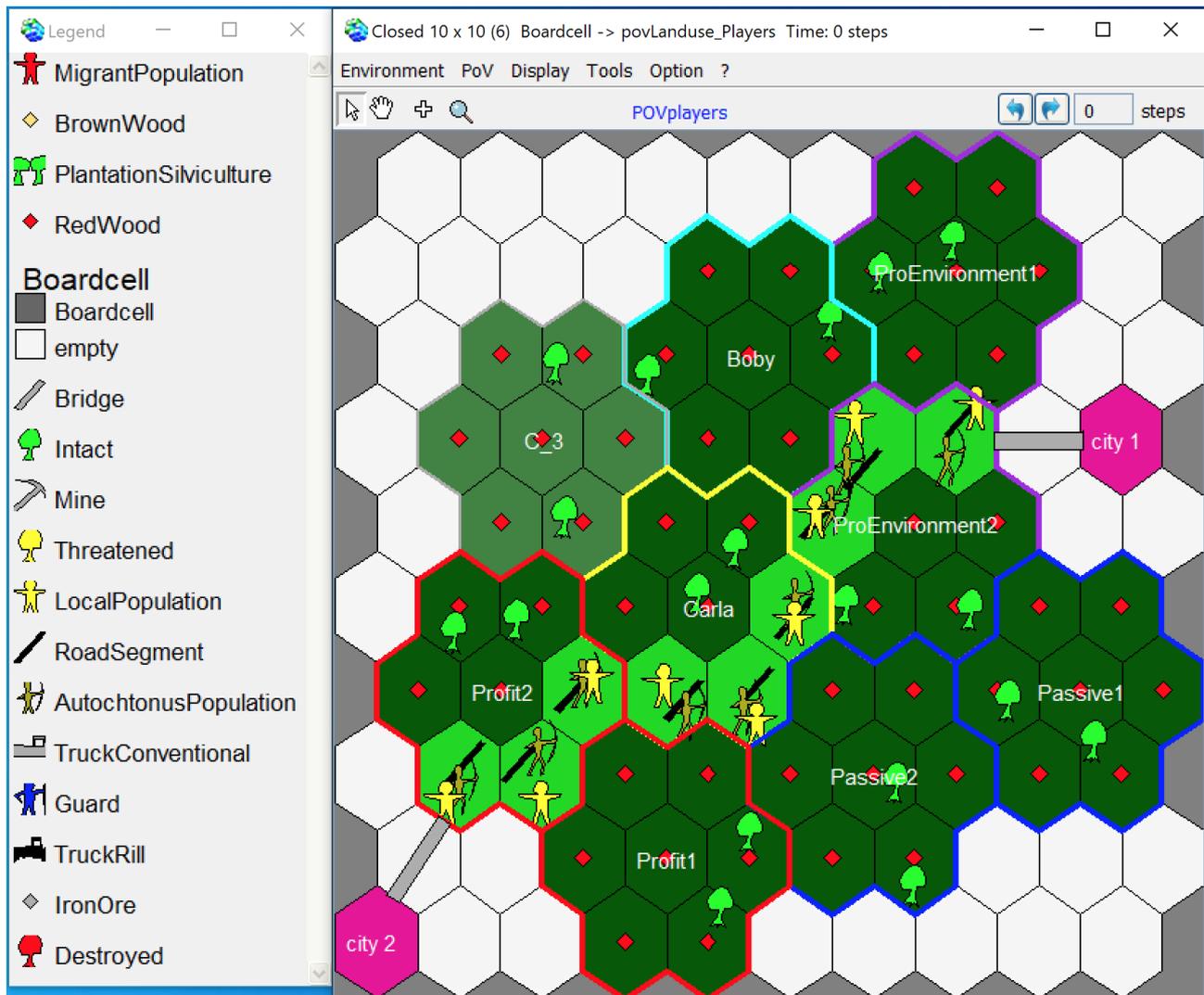


Figure 7 : Plateau numérique de MineSet sous Cormas. Sur cet exemple, 2 concessions appartiennent à des joueurs, 6 appartiennent à des agents autonomes et une (C_3) n'est pas affectée.

Cette grille spatiale est très semblable au plateau de jeu physique tel qu'employé lors des premières sessions (cf. Figure 2). On retrouve les cases du jeu qui sont des instances de cellule (« Cell » du diagramme de classe, Figure 3). Les cellules blanches sont des cases hors du jeu ; les roses sont les villes ; les autres forment le paysage rural. Pour celles-ci, la nuance de vert reflète la quantité de forêt de chaque case. On distingue aussi des regroupements de sept cellules en agrégats qui forment des concessions forestières reconnaissables par leurs contours épais. Chaque concession affiche le nom du joueur avec lequel elle est liée. La couleur du pourtour rappelle celle qui est affectée au joueur lors de l'initialisation du jeu (Annexe 2). Les concessions non occupées par des joueurs ni

par des agents présentent une couleur plus mate (ex. C_3). Enfin cette grille montre aussi la configuration initiale de la carte où est tracée une route d'une ville à l'autre. Elle est représentée par des bâtonnets noirs qui symbolisent des segments de route (*RoadSegment*). Tout du long, cette route est occupée par des populations locales et autochtones. Cette interface présente donc toutes les données des pions du plateau (propriétaire d'un camion, quantité de forêt sur une case, etc).

La manipulation des pions par les joueurs est effectuée par des outils. Ainsi un click sur le bouton « + » en haut à droite de la grille permet d'ajouter des pions que le joueur place alors à la souris sur le plateau. Il est aussi possible d'échanger des bouts de concessions avec d'autres joueurs. La figure 8 présente deux outils : le premier pour ajouter de nouveaux pions sur la grille et le deuxième pour manipuler les entités en leur envoyant des messages.

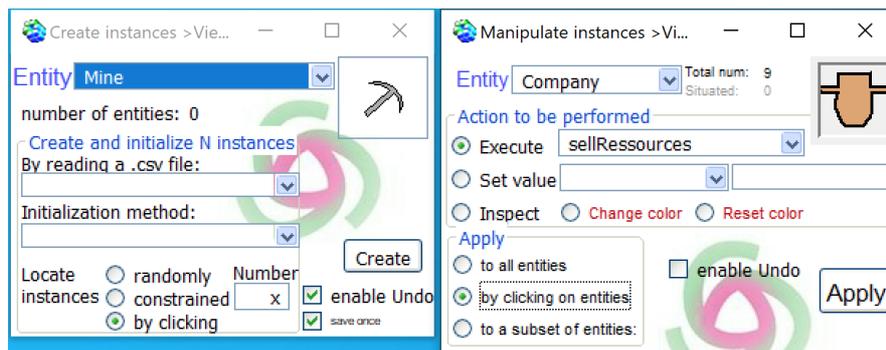


Figure 8 : Deux outils pour créer et manipuler des pions

Afin de suivre l'évolution de certains indicateurs numériques, des fenêtres peuvent être affichées à tout moment et il est possible de sélectionner les indicateurs voulus (Figure 9).

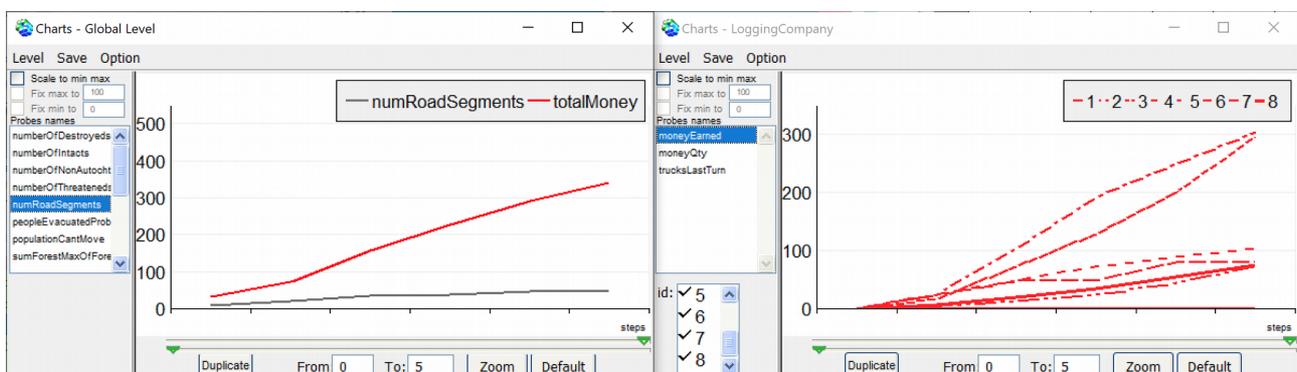


Figure 9 : Graphiques des indicateurs de MineSet et de leur évolution au cours du temps. A gauche, nombre total de routes et masse monétaire ; à droite, argent par agent.

C'est par cette fenêtre que l'on peut suivre tous les indicateurs qui nous intéressent. Cormas offre la possibilité de montrer les variables globales (quantité globale de bois, masse monétaire...) mais aussi les indicateurs de chaque instance.

b) Les différentes stratégies

Afin de pouvoir jouer à MineSet même sans la présence de neuf joueurs, cette version numérique propose de remplacer les participants manquants par des agents autonomes. Afin de simuler leurs comportements, nous avons défini trois stratégies ayant pour but de retranscrire des archétypes de joueurs. Il faut néanmoins noter que ces stratégies restent des automates avec des comportements stéréotypés offrant peu de flexibilité. Les parties suivantes présentent le fonctionnement de ces stratégies. Elles seront suivies par l'analyse des résultats au chapitre IV.

1. La stratégie « Profit »

Le diagramme d'activité figure 10 décrit le comportement d'un agent autonome gérant sa concession en essayant de maximiser ses profits.

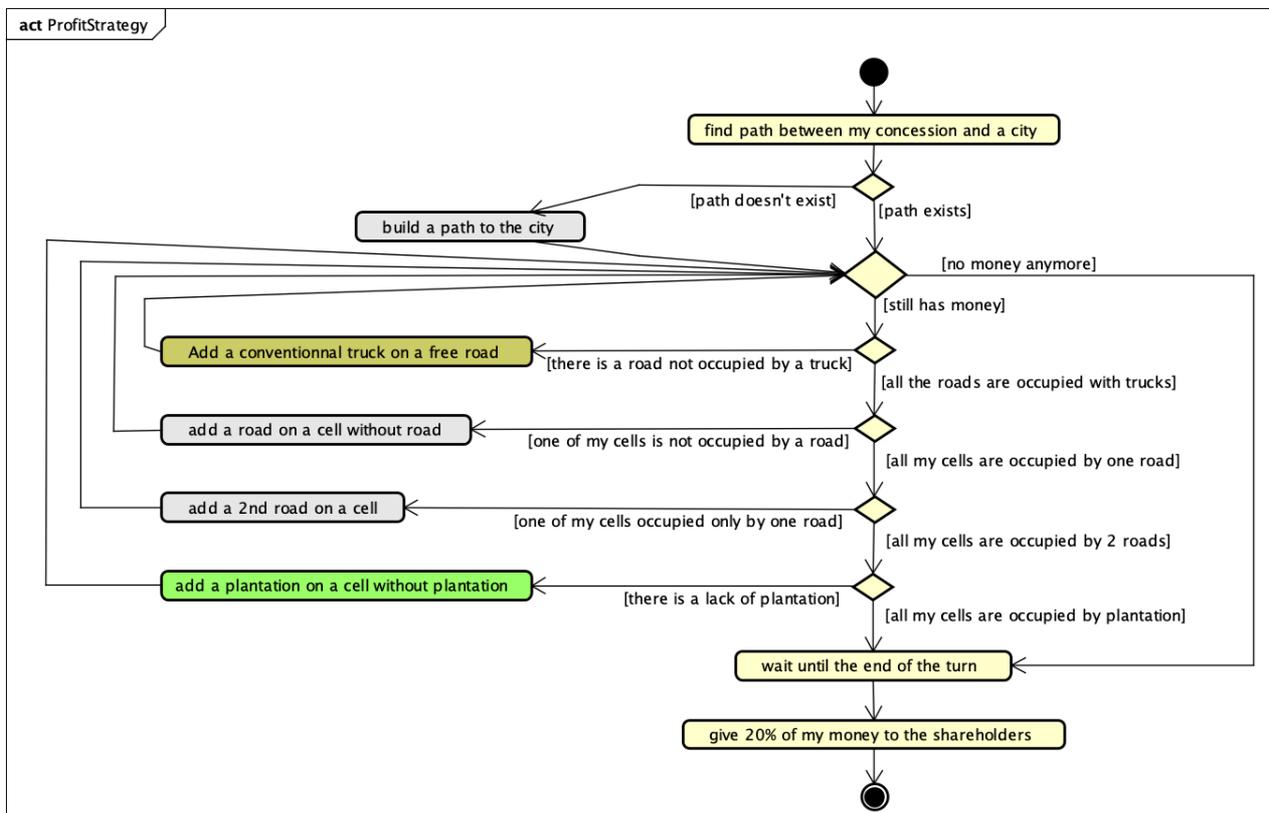


Figure 10 : Diagramme d'activité de la stratégie « Profit » (les activités colorées correspondent à des actions concrètes sur le jeu)

Cette stratégie a pour objectif de mettre en place un maximum de camions afin de récolter le plus de ressources possibles. Centrée uniquement sur son propre profit, elle n'a aucune considération pour les aspects environnementaux. C'est une stratégie à court et moyen terme avec, au mieux, la mise en place de plantations pour produire un maximum de bois. C'est aussi une stratégie qui investit fortement en début de partie pour acquérir une concession facilement accessible à partir d'une ville et qui permet d'emprunter pour faire rapidement de gros investissements.

2. Stratégie « ProEnvironnement »

Le diagramme d'activité figure 11 décrit le comportement d'un agent autonome qui gère sa concession en essayant de protéger la forêt au maximum.

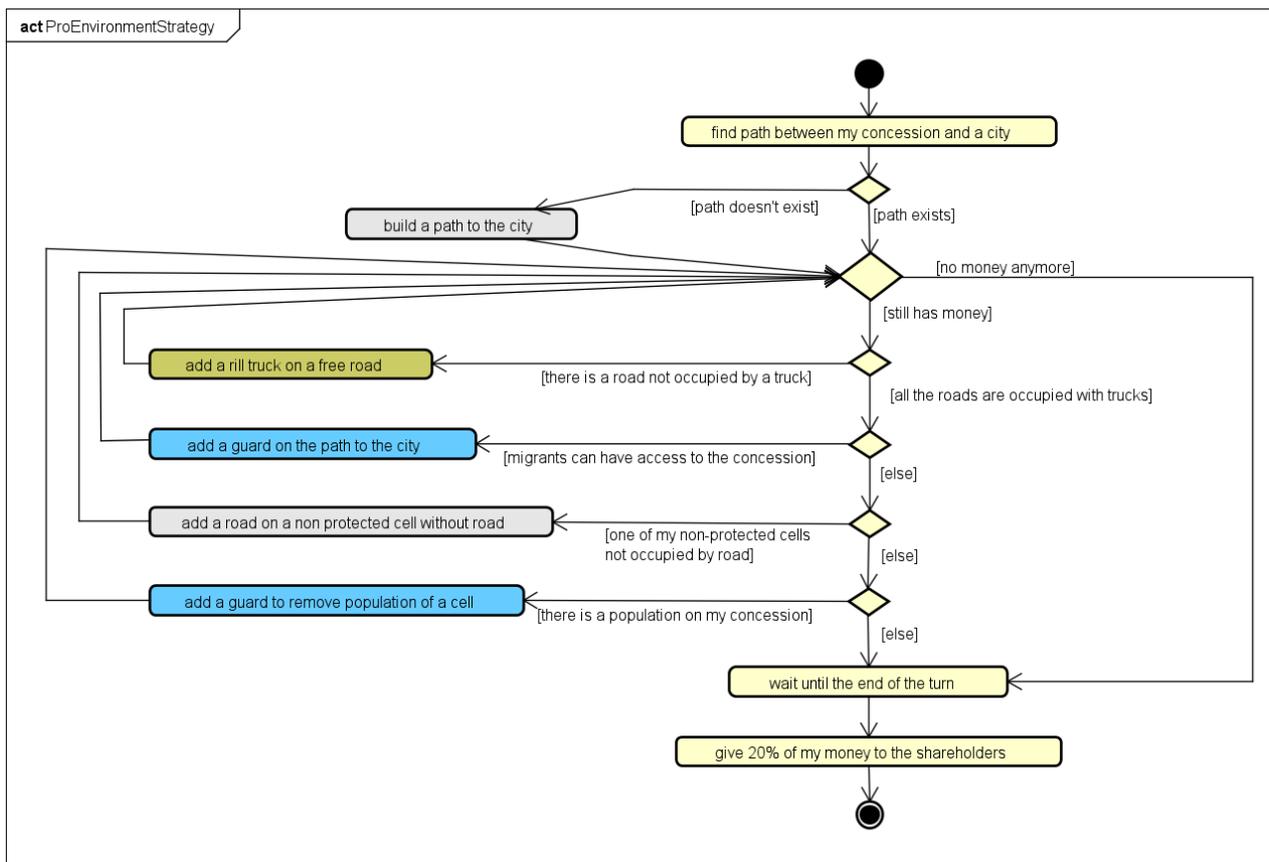


Figure 11 : Diagramme d'activité de la stratégie « ProEnvironnement »

Contrairement à la précédente, cette stratégie priorise avant tout l'environnement. Pour cela, elle ne va pas du tout exploiter certaines des cases de sa concession ($nbCellsToPreserve = 3$, cf. Figure 4). De plus, elle empêche les populations de s'installer sur sa concession et qui pourraient dégrader la forêt. Ensuite, cette stratégie prévoit de ne prélever qu'une quantité de bois limitée et qui se régénère au cours du tour. La compagnie réalise donc plutôt des petits prélèvements. Enfin, elle prend le risque d'investir pour avoir accès à une concession centrale afin de pouvoir protéger un maximum l'environnement des autres acteurs.

3. Stratégie « Passive »

Le diagramme d'activité figure 12 décrit le comportement d'un agent autonome qui gère sa concession en minimisant le nombre d'actions.

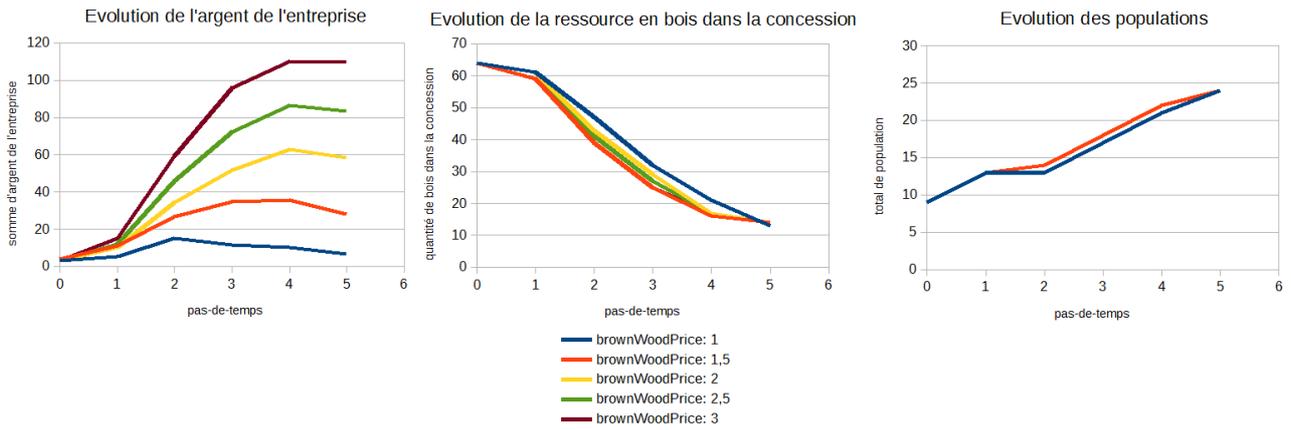


Figure 13 : Graphiques de la stratégie Profit avec 1 agent

La figure 13 montre que la stratégie Profit essaie de maximiser les gains d'argent sur le court et moyen terme. On note un gain d'argent sur les 30-40 premières années (pour rappel, un pas-de-temps équivaut à 10 ans). Néanmoins au bout d'un moment, on remarque une stagnation voire une chute de la rentrée d'argent. Cela s'explique par le deuxième graphique où l'on voit que les ressources disponibles chutent drastiquement. En effet, à la fin de la simulation, la quantité de bois disponible est épuisée et la forêt n'a pas le temps de se régénérer (à chaque tour la quantité de bois est régénérée jusqu'à 14 unités, or cette limite qui est atteinte et dépassée). Enfin du point de vue social, les populations migrantes peuvent s'installer sur le territoire, bien qu'avec une seule entreprise, l'espace est petit (7 cases seulement), ce qui limite leur installation.

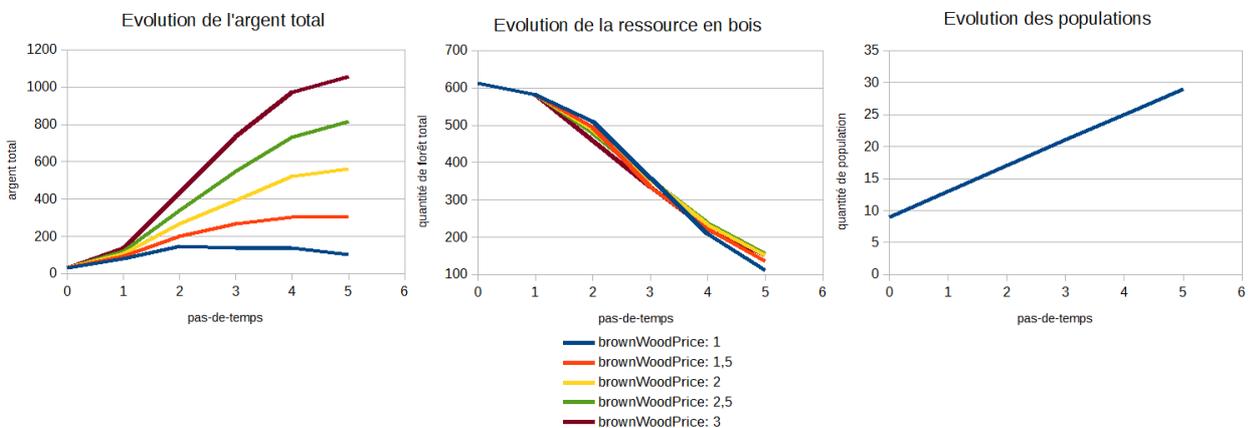


Figure 14 : Graphiques de la stratégie Profit avec 9 agents

Ces évolutions se retrouvent aussi lorsque le nombre d'entreprises est plus élevé (analyse "neuf", figure 14). Les graphiques suivants ont la même structure que les trois précédents. On peut cependant noter deux éléments intéressants. Tout d'abord, toutes les populations migrantes arrivent à s'installer sur le territoire qui est bien plus grand. Le second nous renseigne sur l'influence du prix du bois. On remarque que lorsque celui-ci est très bas, la quantité de bois encore disponible est encore plus faible. Ceci s'explique par le fait que certaines entreprises ne doivent pas avoir les fonds nécessaires pour essayer de replanter des arbres.

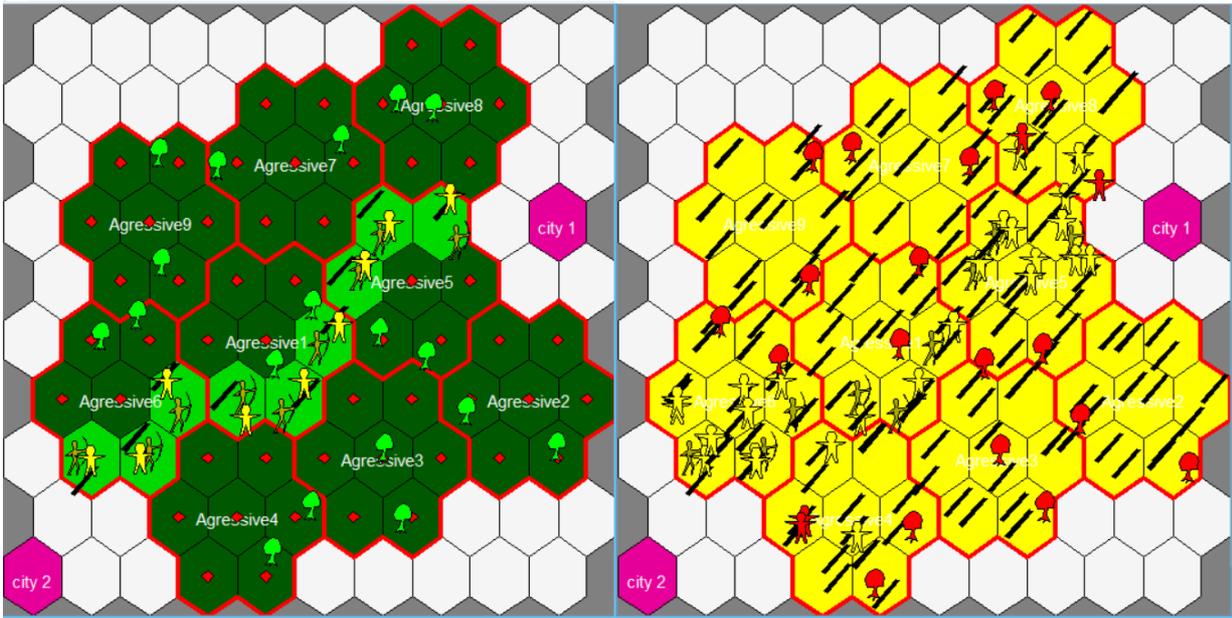


Figure 15 : Evolution du plateau de jeu avec 9 agents Profit ; pas-de-temps 1 et 5

On peut donc conclure que « Profit » est une stratégie qui maximise son profit à court et moyen terme. Les populations peuvent s'installer sur le territoire mais il n'y a aucune considération de l'environnement. C'est très visible lorsque on regarde le plateau (Figure 15) où on peut voir que tous les habitats uniques sont détruits. Par ailleurs, cette stratégie est globalement peu impactée par les prix du marché, car les courbes monétaires ont plus ou moins les mêmes formes (même avec un prix de 1 unité par bois brun, les entreprises s'enrichissent).

b) Stratégie ProEnvironnement

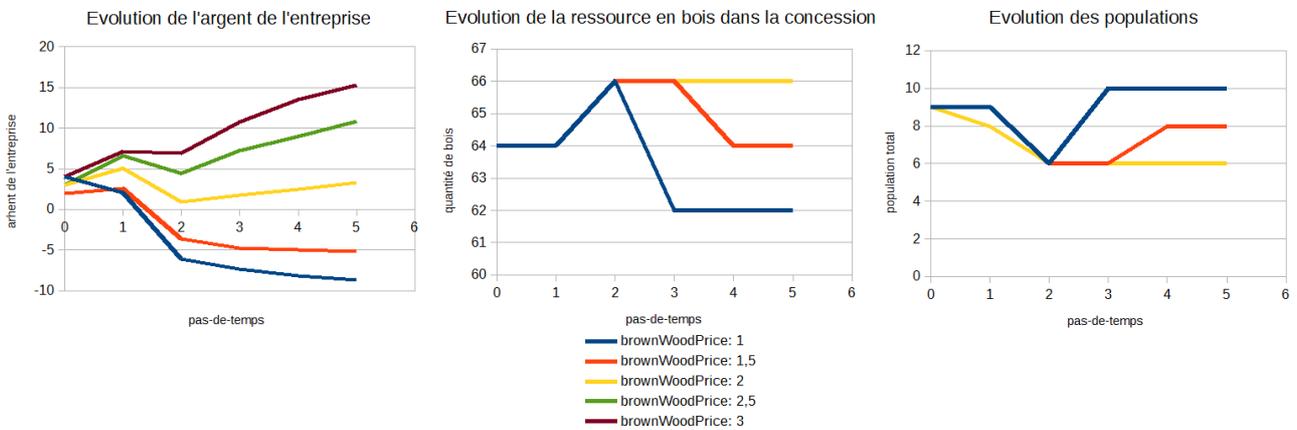


Figure 16 : Graphiques de la stratégie ProEnvironnement avec 1 agent

Pour la stratégie ProEnvironnement, on remarque que les graphiques figure 16 sont bien différents par rapport à la stratégie Profit. Tout d'abord, les prix du marché impactent plus l'évolution des courbes. Dans le cas où ils sont bas, l'entreprise devient même déficitaire. Il faut rappeler que dans le situation "solo", l'entreprise n'est pas en compétition avec d'autres entreprises. On obtient deux situations : la faillite et la situation de survie. L'indicateur quantité d'arbres est plus faible dans la situation où il y a faillite. Idem pour l'indicateur des populations, car l'entreprise ProEnvironnement vise à empêcher l'installation des populations sur le territoire (car elles dégradent le milieu). Or, lorsque les prix sont bas, l'entreprise ne peut empêcher leur installation.

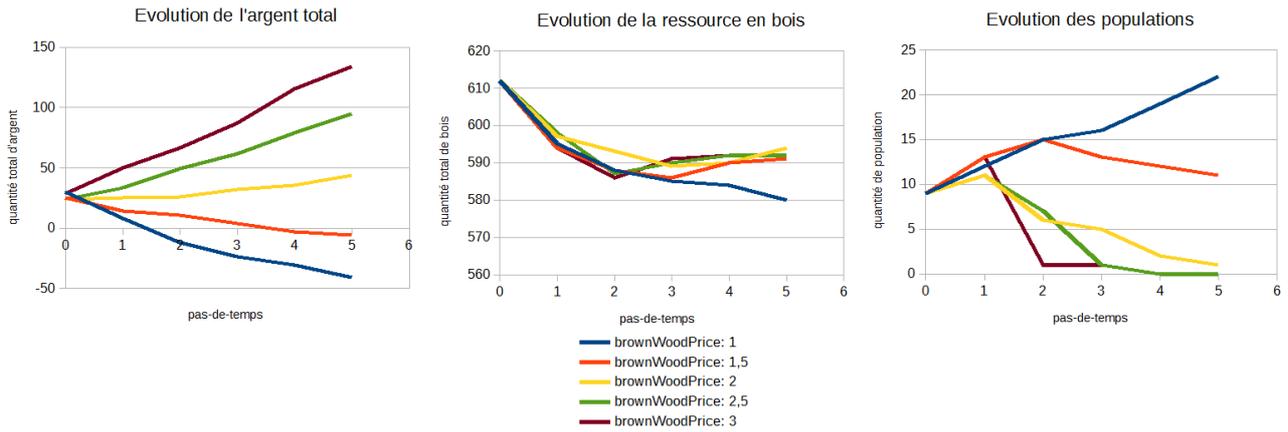


Figure 17 : Graphiques de la stratégie ProEnvironnement avec 9 agents

A neuf entreprises sur le territoire (Figure 17), ces indicateurs restent semblables. Lorsque les entreprises ont suffisamment d'argent (prix du bois supérieur à 2), on remarque qu'elles restent rentables à long terme et que les populations sont même expulsées. Pour ce qui est de la quantité totale de forêt, la diminution s'explique par la création de petite route afin d'atteindre les concessions. Cette diminution est plutôt faible (20 sur un total de 610, cela se voit bien sur le plateau au pas-de-temps 5, Figure 18). Enfin, ce que ne montrent pas les graphiques mais qui est visible sur le plateau lorsque les prix du bois sont inférieurs ou égale à 2, c'est que la compétition sur les concessions et l'accès aux prêts font chuter certaines entreprise (les 2 concessions du bas de la carte de la figure 19).

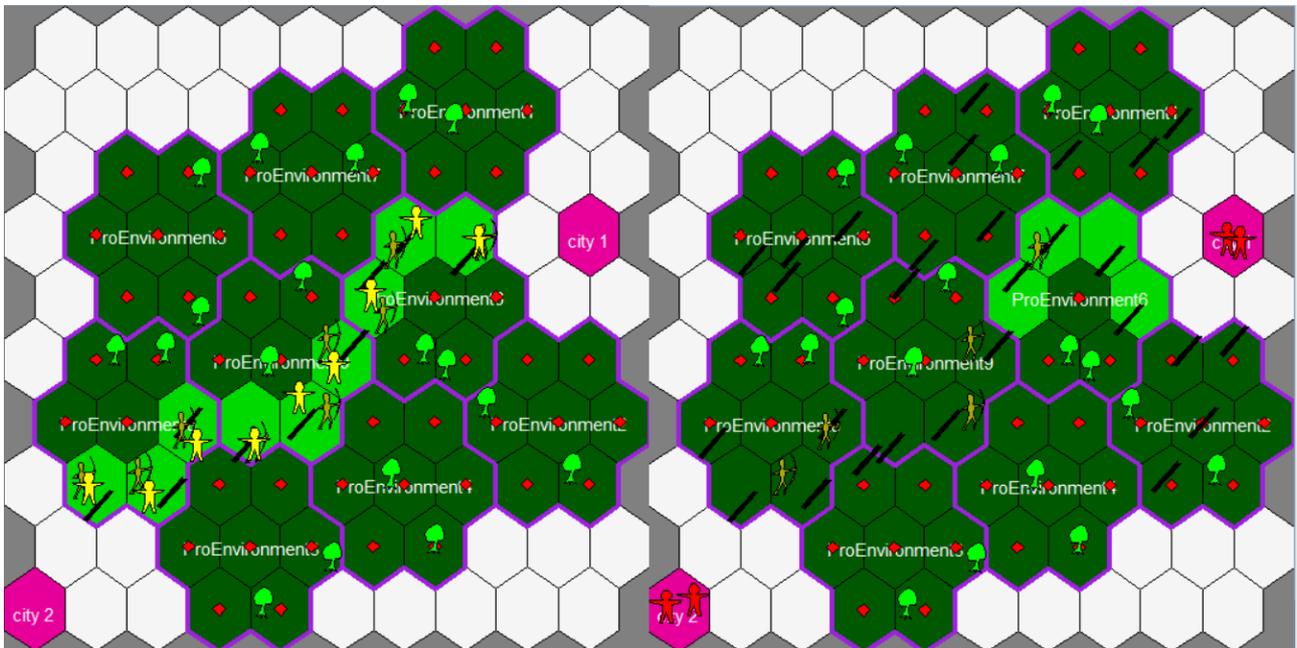


Figure 18 : Evolution du plateau de jeu avec 9 agents ProEnvironnement ; pas-de-temps 1 et 5

Cette stratégie met l'accent sur l'environnement comme son nom laisse l'entendre, mais au détriment des populations, voire de l'économie. Elle est cependant sensible à la baisse des prix du bois et une certaine compétition peut s'installer entre les entreprises, surtout pour l'obtention des concessions les plus attractives.

c) Stratégie Passif

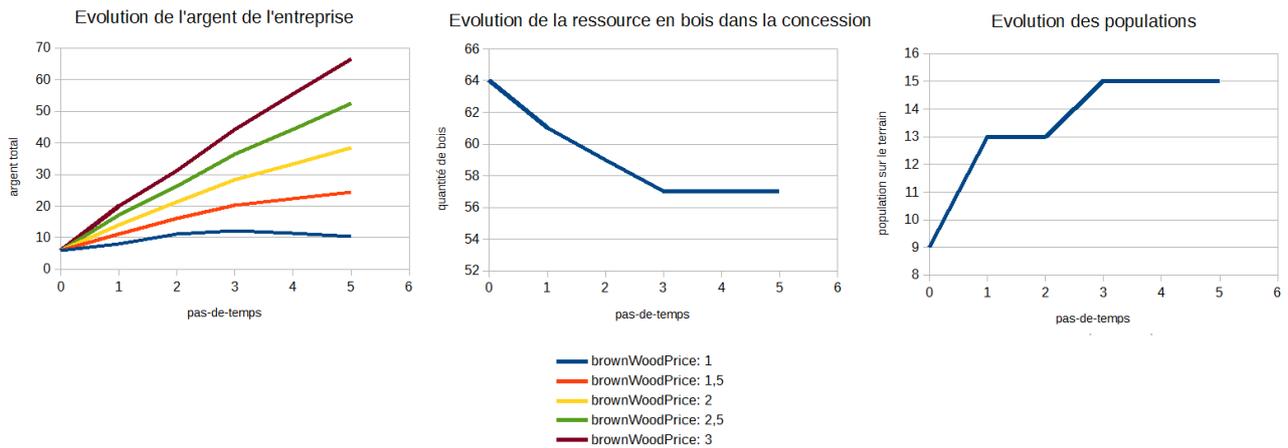


Figure 19 : Graphiques de la stratégie Passif avec 1 agent

Pour la stratégie Passif, les graphiques de la figure 190 montrent une grande stabilité malgré les modifications du prix du bois. Elle gagne de l'argent quelle que soit la situation (sauf pour le cas où le prix du bois est de 1 unité, où elle stagne). Il y a ensuite une diminution légère de bois qui se stabilise rapidement. Idem pour la population qui rentre sur le territoire jusqu'à un certain niveau.

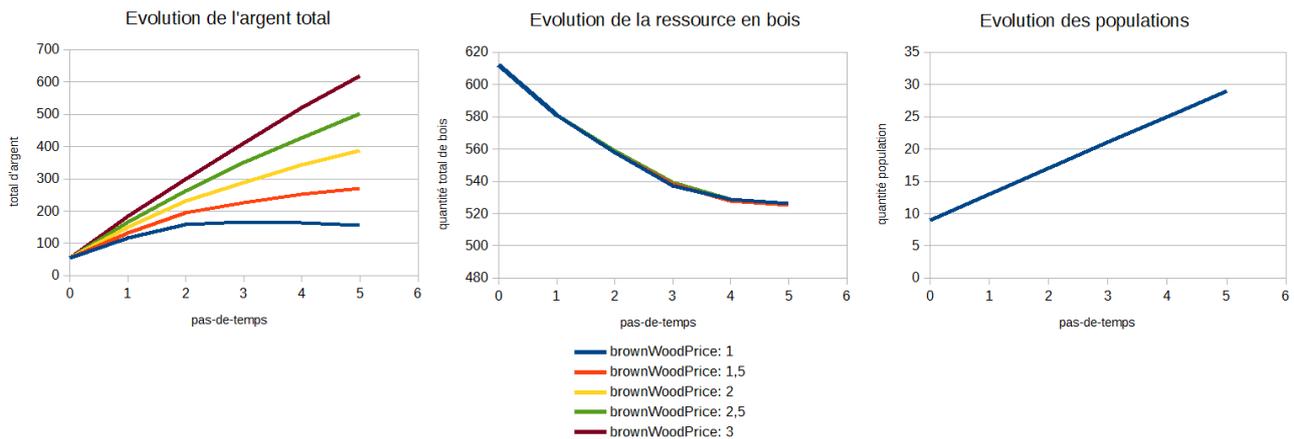


Figure 20 : Graphiques de la stratégie Passif avec 9 agents

Par rapport à la situation à 1 agent, l'analyse à "neuf" (Figure 20) dévoile des courbes très semblables. On note cependant une différence est au niveau de la quantité de bois dont l'équilibre arrive plus tardivement mais reste élevé. La plus grande différence porte sur les populations qui s'installent sur le territoire sans discontinuité. Le derniers point intéressant à remarquer est la configuration spatiale (Figure 21) : le plateau est constitué d'îlots de verdure avec des forêts en bon état.

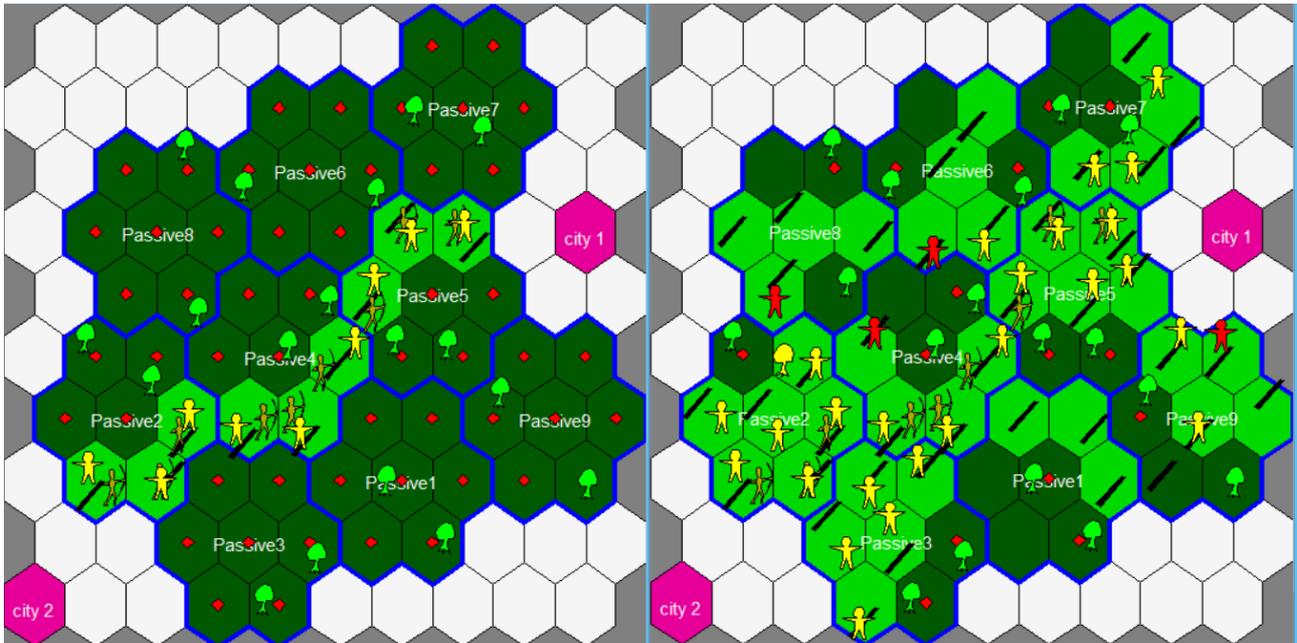


Figure 21 : Evolution du plateau de jeu avec 9 agents Passif ; pas-de-temps 1 et 5

Cette stratégie qui investit peu et met en place des rotations de récoltes, semble être une stratégie rentable du court au long terme. La quantité de forêt n'est pas très inférieure par rapport à la stratégie ProEnvironnement. Enfin, du point de vue social, l'installation des nouvelles populations se fait sur les cases vierges donc sans soucis de conflits locaux ni de refus d'accès au territoire.

2) Analyse des stratégies réunies

Pour cette analyse, les trois stratégies sont réunies, avec deux situations différentes : l'une avec une stratégie distincte pour un total de 3 compagnies ("1P1P1P"), et l'autre avec trois stratégies de chaque type pour un total de 9 compagnies. A chaque fois, nous comparons les résultats entre types de stratégie. Elles sont analysées d'abord du point de vue économique, puis environnemental et enfin sociétal. A chaque fois, 50 répétitions sont réalisées pour gommer les aspects aléatoires. Les graphiques qui suivent correspondent à la moyenne de ces répétitions.

a) Analyse avec 3 compagnies : 1 Profit, 1 ProEnvironnement, 1 Passif

Du point de vue économique (Figure 22), on remarque que les courbes ont les mêmes formes que pour les analyses individuelles. Même constat pour l'indicateur environnemental (figure 23). On note tout de même que le comportement global de quantité de la ressource en bois ressemble plus à celle de la stratégie Profit. Même la stratégie ProEnvironnement ne peut contrebalancer la diminution des ressources en bois et ce qu'importe le prix du bois brun.

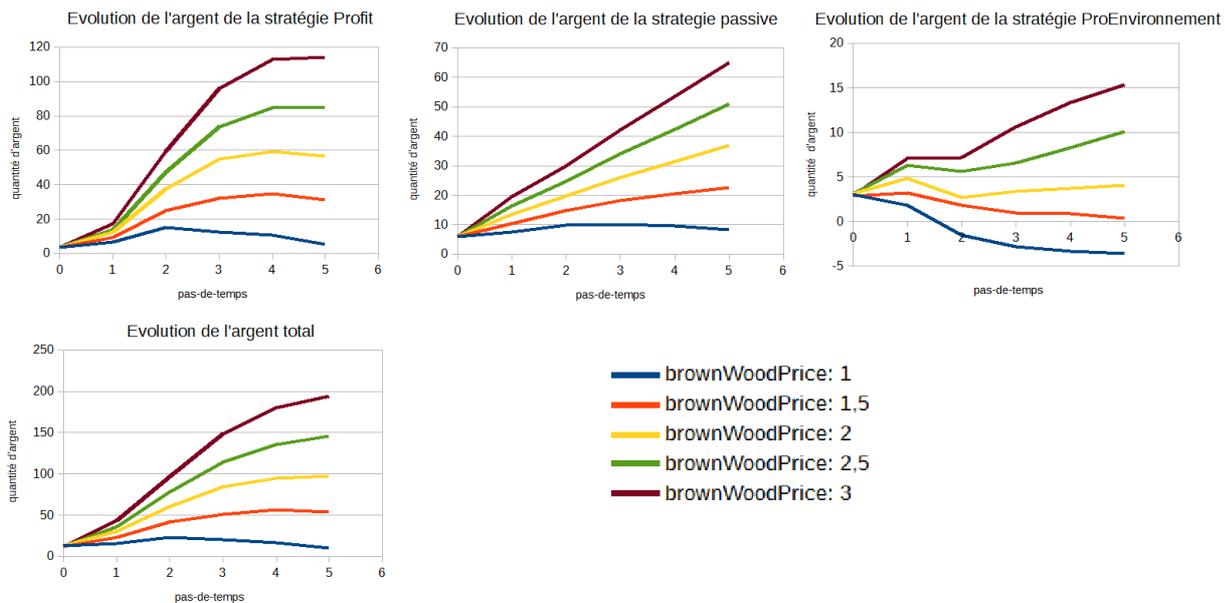


Figure 22 : Graphiques du pilier économique ; cas 1P1P1P ; Le graphique du bas représente la somme des trois stratégies

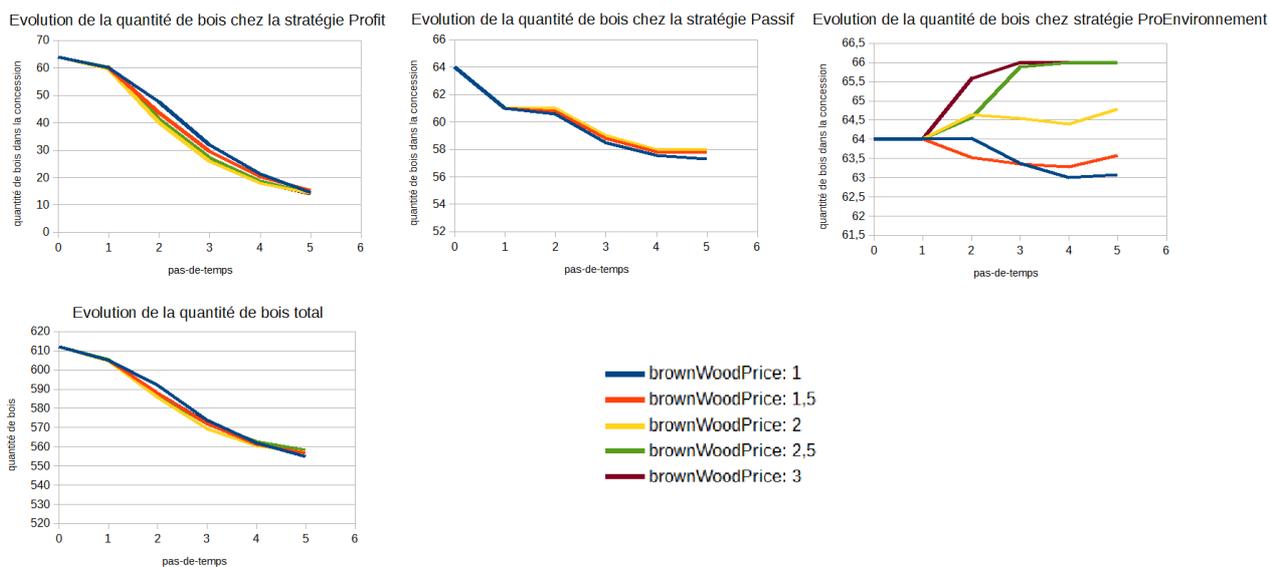


Figure 23 : Graphiques du pilier environnement ; cas 1P1P1P ; Le graphique du bas représente la somme des trois stratégies

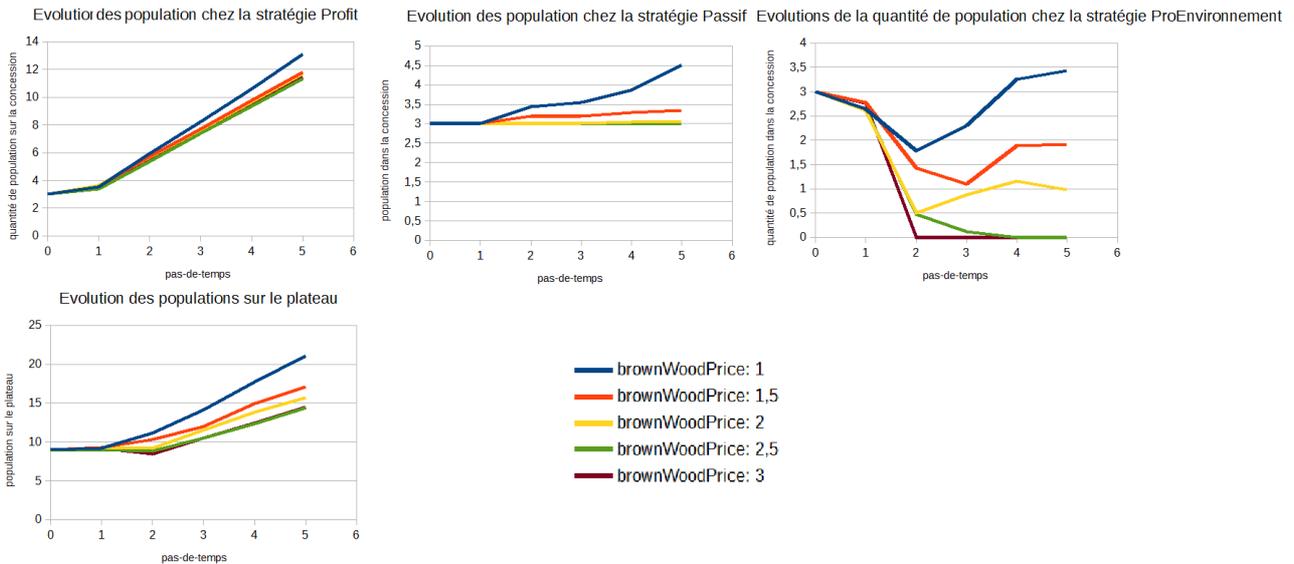


Figure 24 : Graphiques du pilier social ; cas 1P1P1P ; Le graphique du bas représente la somme des trois stratégies

C'est en étudiant l'aspect social (Figure 24) que l'on voit émerger un nouveau phénomène. Bien que les graphiques des stratégies Passif et ProEnvironnement se ressemblent, les courbes de la stratégie Passif stagnent. On peut expliquer ce phénomène par le fait que d'un côté de la concession, les migrants s'installent directement dans la concession de l'agent Profit et de l'autre côté de la concession, l'entrée est bloqué par les gardes de la stratégie ProEnvironnement (Figure 25). On voit d'ailleurs que lorsque le prix du bois est de 1 unité et que la stratégie ProEnvironnement est en faillite, des migrants s'installent alors sur le territoire. Mais les populations ne s'installent pas tout de suite sur le territoire. Cela s'explique par le fait qu'au début, toutes les concessions sont positionnées sur la route principale ; ainsi les agents n'ouvrent pas tout de suite l'accès pour les premières populations migrantes.

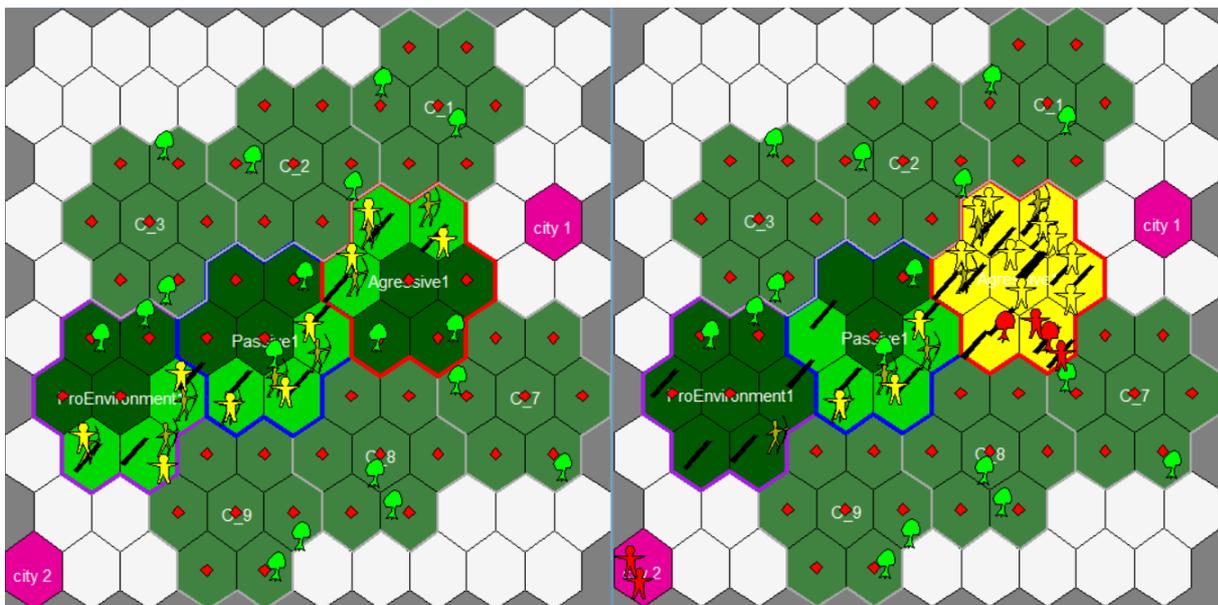


Figure 25 : Evolution du plateau de jeu avec 1P1P1P ; pas-de-temps 1 et 5

b) Analyse combinée "3P3P3P"

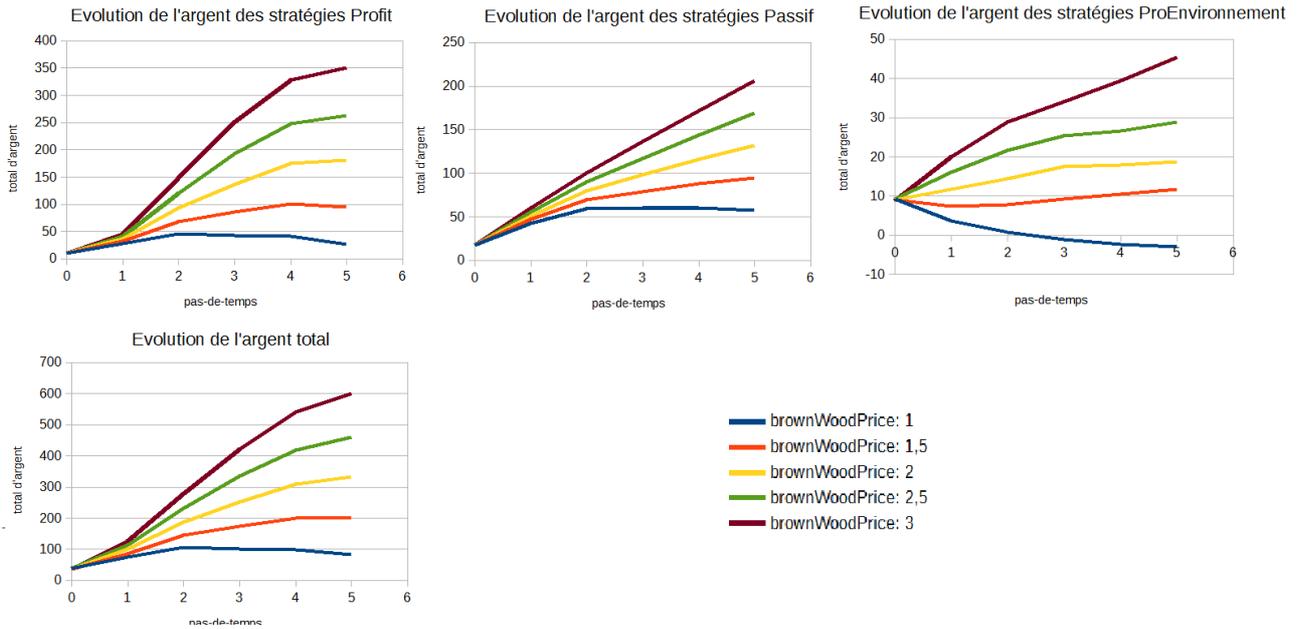


Figure 26 : Graphiques du pilier économique ; cas 3P3P3P ; Le graphique du bas représente la somme des trois stratégies

Du point de vue économique (Figure 26), même si elles ressemblent beaucoup à celles de l'analyse "1P1P1P", on remarque que les courbes des stratégies ProEnvironnement sont légèrement plus élevées. C'est surtout visible dans le cas où le prix du bois est à 1,5. L'une des hypothèses est que les stratégies ProEnvironnement n'ont pas assez d'argent pour investir autre chose que camions pour récolter. Cela est confirmé sur les courbes de population (Figure 29) où on remarque que les populations sont élevées alors que la stratégie veut au contraire les réduire : elle n'a pas suffisamment d'argent pour embaucher des gardes.

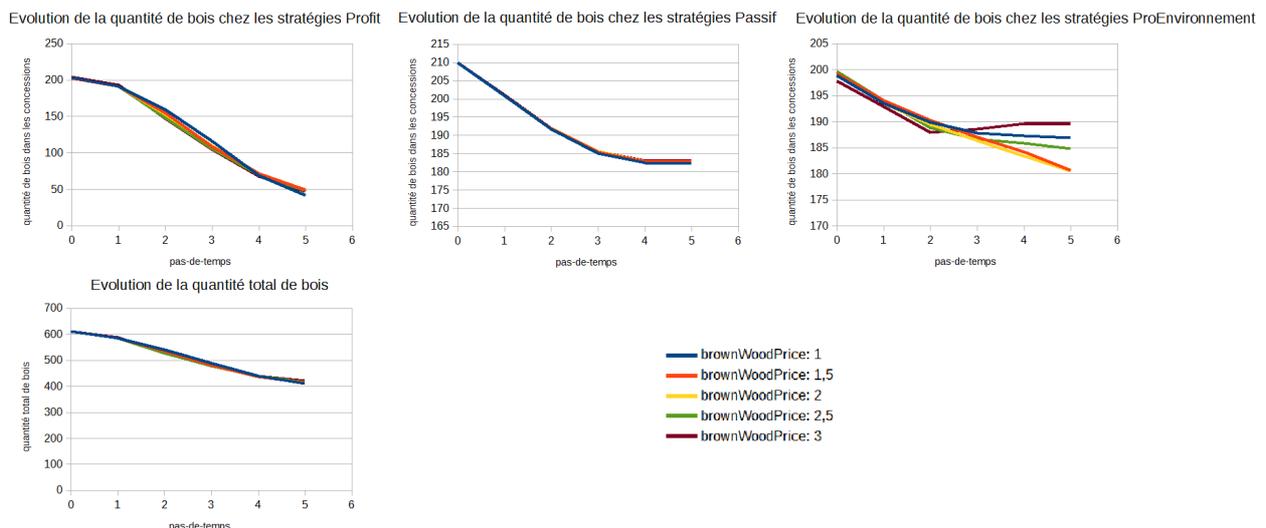


Figure 27 : Graphiques du pilier environnement ; cas 3P3P3P ; Le graphique du bas représente la somme des trois stratégies

Concernant le pilier « environnement » (Figure 27), on retrouve aussi le même genre de courbes que lors de la version "1P1P1P". Ici aussi, c'est la stratégie ProEnvironnement qui change. Lorsqu'il y a 9 stratégies ProEnvironnement, les ressources en bois finissent par augmenter ou stagner (sauf lorsque le prix du bois est de 1). Mais ici, sauf lorsque le prix du bois est très élevé, les quantités de forêt sont plutôt décroissantes. Elles sont même plus basses que dans le cas où le prix du bois à 1. Cela s'explique par le fait que les compagnies ProEnvironnement survivent en récoltant du bois mais n'arrivent pas à mettre en place des mesures de protection. De plus, comme cette stratégie investit beaucoup pour prendre possession des concessions aux entrées du territoire, elle est impactée par la stratégie Profit qui agrandit les routes pour pouvoir vendre ses ressources en grande quantité. Cela est plus flagrant en regardant le plateau (Figure 30).

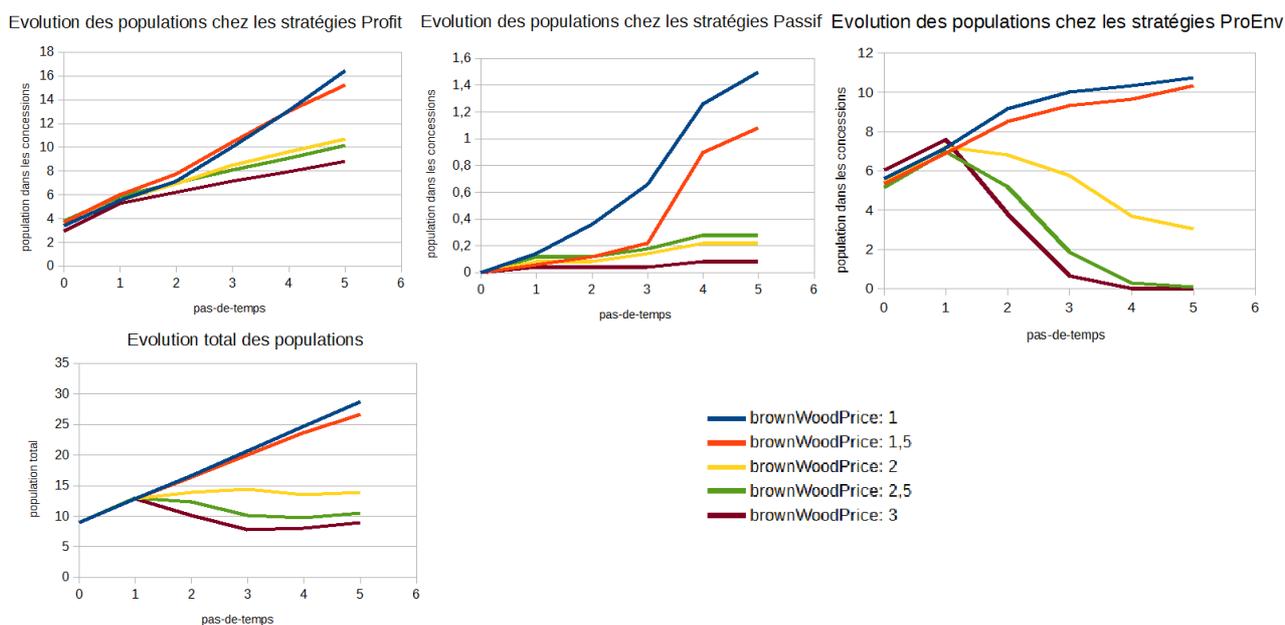


Figure 28 : Graphiques du pilier social ; cas 3P3P3P ; Le graphique du bas représente la somme des trois stratégies

Enfin, c'est surtout au niveau des populations (Figure 28) que l'on aperçoit le plus de changements. En effet, lorsque les agents ProEnvironnement sont en situation financière difficile, les migrants peuvent rentrer dans le plateau. On obtient alors les courbes bleu et orange où la croissance est maximale (les courbes des populations totales indiquent que toutes les populations se sont installées sur le plateau). Par contre, si le prix du bois est plus élevé (surtout pour un prix supérieur à 2), on remarque qu'il y a moins de populations qui s'installent sur la carte. Ceci est dû au fait que les stratégies ProEnvironnement ont les moyens de contrôler les entrées du territoire. Cela est visible dans la figure 29.



Figure 29 : Evolution du plateau de jeu avec 3P3P3P ; pas-de-temps 1 et 5

3) Conclusion sur les stratégies

Les trois stratégies que nous avons conçues sont évidemment caricaturales. Bien qu'elles soient centrées sur leur propre concession, on remarque tout de même une certaine influence des unes sur les autres. Tout d'abord, la stratégie ProEnvironnement réduit l'installation des populations sur toutes la carte. Cela impacte même les stratégies qui veulent accueillir de nouvelles personnes (Passif et Profit). D'un autre côté, on remarque une influence négative de la stratégie Profit sur la stratégie ProEnvironnement surtout quand le plateau est complètement occupée par des agents ("3P3P3P"). La stratégie ProEnvironnement est en effet sensible à son environnement, même si cette variation peut aussi provenir du prix du bois. On peut voir cela comme la nécessité pour ce type d'entreprise d'obtenir des financements particuliers pour les aider dans la préservation de l'environnement.

Il faut cependant rappeler que ces analyses ne sont qu'exploratoires. En effet, l'approche ComMod mise en place dans ce projet ne recherche pas la prédiction, mais au contraire de favoriser le dialogue entre les différents acteurs de ce territoire. C'est une des raisons qui ne nous incite pas à une étude statistique approfondie, malgré le nombre de répétition (50 par type de simulation).

Enfin, il ne faut pas tirer de conclusion hâtive et classer les stratégies de la meilleure à la pire. En effet, il faut tirer une leçon des résultats des approches tout en restant le plus neutre possible. C'est avant tout les acteurs locaux qui doivent pouvoir choisir leurs décisions. En effet, une démarche participative eurocentrée peut être considéré comme de la manipulation pour « moderniser » ces populations. La modélisation permet de pousser un comportement à l'extrême et de voir ses conséquences à long terme.

IV. Discussion

1) Evolutions possibles et limites du modèle

a) Evolutions

Par manque de temps mais aussi de compétences, certaines fonctionnalités ne sont pas présentes, telles que la mise en place de comportements plus intelligents comme par exemple des stratégies prospectives et adaptatives qui se projetteraient sur plusieurs tours pour prendre leurs décisions.

Générer des évènements aléatoires serait aussi intéressant. En effet, jusqu'à présent le rôle du maître du jeu reste important : il facilite le dialogue et peut à tout moment décider d'évènements qui peuvent stimuler les joueurs. Mettre en place ce genre d'actions directement dans la simulation informatique permettrait une meilleure fluidité ainsi qu'un meilleur gameplay. Cela réduirait la nécessité d'un maître du jeu derrière son ordinateur et lui permettrait d'être encore plus proche des joueurs.

Enfin, une autre évolution possible serait de faire évoluer l'interface joueur actuelle pour la rendre plus intuitive et personnalisée. On peut même imaginer qu'elle soit disponible sur smartphone. Les joueurs pourraient alors discuter en permanence entre eux et prendre leurs décisions sans passer par l'animateur. Outre le confort d'avoir une interface spécialisée et mobile, cela autoriserait des sessions en distanciel, même en période de restriction sanitaire !

MineSet a été conçu pour établir un dialogue entre les gérants des entreprises forestières et les autres acteurs locaux. Mais il serait possible d'adapter le jeu de rôle pour des situations différentes, dans un contexte semblable mais avec d'autres acteurs que ceux initialement prévus.

b) limites du modèle et de l'approche

Tout d'abord, qu'il soit physique ou informatique, le jeu présente une région très stylisée, bien loin de la réalité. L'objectif derrière cela est de distancier les participants de leur réalité sur le terrain et ainsi de limiter les conflits entre eux. Les autres dangers de vouloir tendre vers plus de réalisme, sont : la possibilité de perdre le côté ludique du jeu, le coût et le temps de développement que cela nécessite, et le côté intimidant qu'un outil "high-tech" peut provoquer. Sur ce dernier point, la modélisation participative cherche la coopération, or un modèle informatique trop raffiné sera rarement critiqué par les acteurs. Il faut comprendre que le but d'avoir un modèle empirique stylisé est qu'il est toujours critiquable et améliorable, en d'autres termes qu'il reste un modèle KILT (pour *Keep It a Learning Tool*) selon Le Page (2017). Même s'il perd en précision, le jeu doit garder son attractivité, ce qui n'est pas simple à trouver. C'est aux concepteurs qu'il incombe la décision de trouver cette limite, et les ateliers et les remarques des participants aident à la trouver.

D'autres limites sont liées à l'approche ComMod. Même si ces méthodes se développent en Europe, il y a toujours des barrières culturelles pour comprendre et s'impliquer dans la démarche. Le projet CoForSet illustre cela : certains membres du projet n'ont pas réussi à s'impliquer dans le processus de co-conception et plusieurs partenaires locaux ont mis du temps à s'approprier la démarche. Une version informatique de MineSet pourrait faciliter cette appropriation par sa diffusion rapide. Mais il faudra pour cela concevoir un manuel d'utilisateur didactique.

2) Conclusion générale

Le rapport devait répondre à la problématique : Comment passer d'un jeu de rôle de type jeu de plateau à un simulateur interactif ? Le stage a permis de concevoir et d'implémenter le jeu de rôle informatique de MineSet, qui sert de preuve de concept. Pourtant ce rapport révèle aussi la complexité de créer un tel outil. Personnellement, ce stage de fin d'étude m'a ouvert la porte à la modélisation participative, qui m'apparaît être une approche prometteuse dans la gestion des

ressources renouvelables. Il m'a permis de faire mes premiers pas en découvrant l'approche ComMod, tout en développant mes connaissances en modélisation conceptuelle UML et son implémentation sous la forme d'un SMA avec Cormas. Ce cheminement rend compte de tout ce qu'il a fallu mettre en place pour obtenir un simulateur interactif opérationnel. Bien sûr, il reste encore des améliorations à apporter (interfaces individualisées, des stratégies d'agent autonome adaptatives, guide utilisateur, ...). Cependant, grâce à la simplicité des règles du jeu et l'efficacité de la version numérique, MineSet pourra être utilisé par les acteurs du bassin du Congo mais aussi sur de futurs projets traitant de questions similaires.

Mon plus grand regret pour ce stage, c'est qu'à l'heure actuelle, il n'a pas été possible d'appliquer le jeu dans des conditions réelles, ni avec d'autres étudiants pour le tester, ni avec les acteurs qu'il cible. Cette frustration est liée aux conditions sanitaires mais aussi au temps nécessaire qu'il m'a fallu pour m'approprier les diverses compétences que ce processus nécessite. Or comme le préconise la démarche ComMod, c'est aussi lors de ces sessions que l'on peut affiner le jeu. Par la suite, j'espère mobiliser ces compétences et continuer à les appliquer dans le domaine de la modélisation participative.

Bibliographie

Arnstein, S. R., 1969. A Ladder Of Citizen Participation. *Journal of the American Institute of Planners*, 35(4), 216-224. <https://doi.org/10.1080/01944366908977225>

D'Aquino P., 2007. Empowerment et participation : comment mieux cadrer les effets possibles des démarches participatives ? Proposition d'un cadre d'analyse à partir d'une synthèse bibliographique. 2007. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00157747>

Barreteau O., et Bousquet F., 1999. Jeux de rôles et validation de systèmes multi- agents. In, actes des 7èmes JFIADSMA, 99:67-80. La Réunion.

Barreteau O., 2003. The Joint Use of Role-Playing Games and Models Regarding Negotiation Processes: Characterization of Associations. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation V ol. 6, No. 2.* <<http://Jasss.Soc.Surrey.Ac.Uk/6/2/3.Html>>, 2003.

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 (Éd.), *Simulation and Gaming in the Network Society. Volume 9 of the series Translational Systems Sciences* pp 387-410. Springer Singapore.

Bousquet, F., Barreteau, O., Mullon, C. et Weber, J., 1996. Modélisation d'Accompagnement : Systèmes Multi-Agents et Gestion des Ressources Renouvelables. Communication présentée Quel environnement au XXIème siècle ? Environnement, maîtrise du long terme et démocratie, Abbaye de Fontevraud.

Bousquet F., Bakam I., Proton H., Le Page C. 1998, Cormas: Common-pool resources and multi-agent systems. In *Tasks and Methods in Applied Artificial Intelligence*, édité par Angel Pasqual del Pobil, José Mira, et Moonis Ali, 1416:826-37. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. http://link.springer.com/10.1007/3-540-64574-8_469.

Bousquet F, Trébuil G, Hardy B, editors. 2005. Companion modeling and multi-agent systems for integrated natural resource management in Asia. Los Baños, Philippines: IRRI , International Rice Research Institute. 360 p.

Coad P., North D., Mayfield M., 1995. *Object Models : Strategies, Patterns & Applications*, Yourdan press Computing series 1995.

ComMod, Collectif. 2005. La modélisation comme outil d'accompagnement. *Natures Sciences Sociétés* 13 (2): 165-68. <https://doi.org/10.1051/nss:2005023>.

Crookall, David, Allan Martin, Danny Saunders, et Alan Coote. 1986. « Human and computer involvement in simulation ». *Simulation & Games* 17 (3): 345-75.

Daré W., Barnaud C., d'Aquino P., Étienne M., Fourage C., et Souchère V., 2010. La posture du commodien : un savoir être, des savoir-faire. In *Modélisation d'accompagnement*, 47-70. Update Sciences & Technologies. Versailles: Editions Quæ.

Etienne M., éd. 2011. *Companion Modelling. A Participatory Approach to Support Sustainable Development*. Dordrecht: Springer Netherlands. <http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-8557-0>

Laborie N., 2020. Les asymétries de pouvoir dans la modélisation participative : entre empowerment et manipulation. Mémoire bibliographique de fin d'études d'ingénieur, VetAgro Sup.

Le Page C., Abrami G., Barreteau O., Becu N., Bommel P., Botta A., Dray A., Monteil C., et Souchère V., 2010. Des modèles pour partager des représentations. In *Modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable*, Quæ, 71–101. Versailles, France: M. Etienne.

Le Page C., Becu N., Bommel P., et Bousquet F., 2012. « Participatory Agent-Based Simulation for Renewable Resource Management: The Role of the CORMAS Simulation Platform to Nurture a Community of Practice ». *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 15 (1): 10.

Le Page C. 2017. *Simulation multi-agent interactive: engager des populations locales dans la modélisation des socio-écosystèmes pour stimuler l'apprentissage social*. Habilitation à Diriger des Recherches, Université Pierre et Marie Curie. 84 pages

OMG. 2017. *OMG Specification of Unified Modeling Language. Version 2.5.1*, Object Management Group (OMG). December 2017. Available on <http://www.omg.org/spec/UML/>

Quétier F., De Wachter P., Dessard H., Gersberg M., Nzene Halleson D., Nzita Nganga di Mavambu M., Ndong Ndoutoume E., Feintrenie L., Garcia C., 2015. Biodiversity offsets: opportunities and challenges for managing cumulative impacts of large-scale land-based investments on Africa's forest landscapes and their biodiversity. In : *Linking land tenure and use for shared prosperity*. 16th Annual World Bank Conference on Land and Poverty, March 23-27, 2015, Washington, United States. 16 p. 23 – 27 Mars 2015

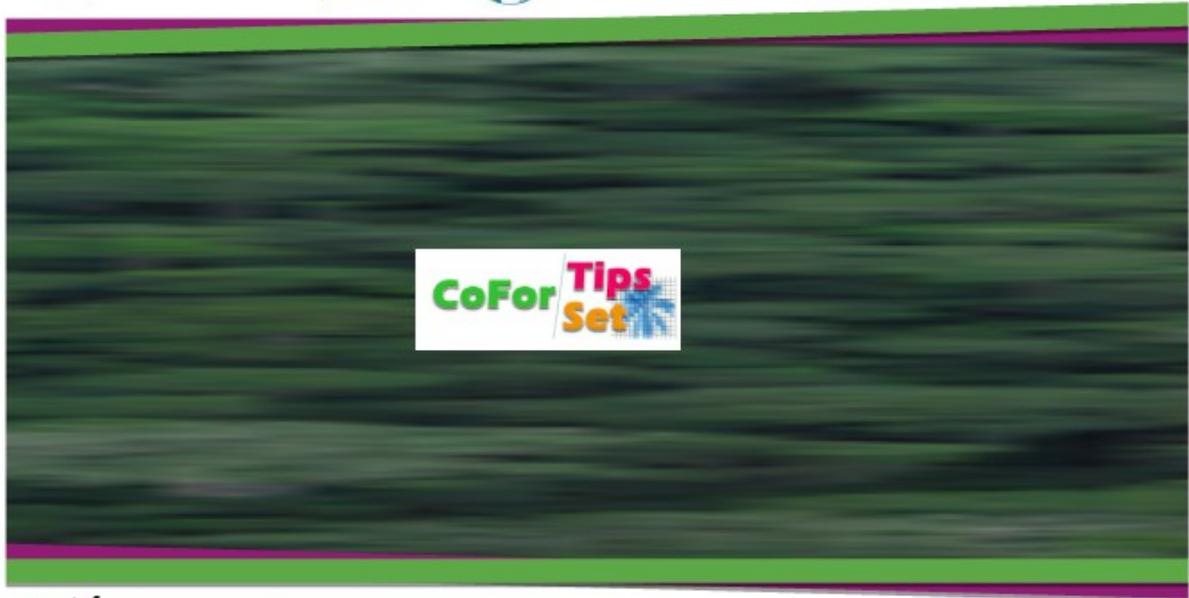
World Bank (1996). *The World Bank Participation sourcebook*. Washington DC, World Bank

Annexes

Annexe 1 : Collaborateur du projet CoForSet



FONDS FRANÇAIS POUR
L'ENVIRONNEMENT MONDIAL



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



Gembloux Agro-Bio Tech
Université de Liège



Annexe 2 : Interface d'initialisation du jeu

The screenshot shows a window titled "Initialization" with a standard Windows-style title bar. The main content is organized into six horizontal rows, each representing a player. Each row has a distinct background color: yellow for Player 1, cyan for Player 2, green for Player 3, red for Player 4, magenta for Player 5, and orange for Player 6. Each row contains the following elements from left to right: the player's name, a "Change color" label with a small green square icon, a text input field for the "Company name", and a question "What is the company type?" followed by two radio buttons labeled "Logging" and "Mining". In all rows, the "Mining" radio button is selected. Below the player rows are two separate input boxes. The first is labeled "How many migrants on city 1 ?" and contains a text input field with the number "1" and a green shield icon with a horizontal slider below it. The second is labeled "How many migrants on city 2 ?" and also contains a text input field with "1" and a green shield icon with a slider. At the bottom center of the window is a button labeled "OK".