

Gestion des risques dans les projets de construction par simulation multi-agent

F. TAILLANDIER ^a, P. TAILLANDIER ^b, F. KHARTABIL ^a, E. TEPELI ^a, D. BREYSSE ^a

a. I2M-GCE, Université de Bordeaux, CNRS, INRA, 351 cours de la libération, 33405 Talence, cedex

b. UMR IDEES -Université de Rouen -7 rue Thomas Becket, 76100 Mont-Saint-Aignan

Résumé :

Ces dernières années ont connu un fort développement de la recherche sur le domaine de la gestion des risques dans les projets de construction. Les projets de construction impliquent de nombreux acteurs dont les intérêts et les besoins doivent être considérés dans les décisions stratégiques, afin d'assurer le succès du projet. Chaque acteur a ses propres risques et sa propre vision des risques. Pour ces raisons, il peut être difficile de modéliser les risques du projet et ainsi de les maîtriser. Dans cet article, nous proposons une approche basée sur l'utilisation conjointe d'un modèle à base d'agents et d'une méthode de décision multicritère pour évaluer les conséquences des risques sur le projet. Les simulations réalisées à partir de notre modèle permettent d'établir des indicateurs qui sont ensuite utilisés comme critères dans le cadre d'un processus d'aide à la décision multicritère (via ELECTRE III) ayant pour objectif d'aider un gestionnaire de projet à choisir la stratégie la plus pertinente pour la conduite du projet.

Abstract :

In recent years, intensive research and development have been done in the area of construction project risk management. Construction projects involve numerous stakeholders whose interests and demands need to be considered in the managerial decision-making, to ensure the success of the project. Each stakeholder has his/her own risks and perspective on project risks. For these reasons, it could be difficult to model project risk in order to manage them. In this paper, we propose an approach based on the coupling of an agent-based model with a multi-criteria decision-making approach to evaluate the risk impacts for the project. The simulations carried out from the model allow to establish indicators that are used in the context of a multi-criteria decision making process (via ELECTRE III) aiming at helping decision makers to choose the most pertinent strategies to carry out the project.

Mots clefs : Projet de construction, Gestion des risques, Simulation multi-agent, ELECTRE III

1 Introduction

Les projets de construction sont soumis à de nombreux risques, qu'ils soient d'ordre organisationnel, humain ou économique. Ces risques peuvent avoir un impact extrêmement important dans la réussite des projets notamment sur les aspects économiques et temporels. La maîtrise de ces risques est l'un des enjeux importants de la gestion de projet. Pour répondre à cet enjeu, de nombreux travaux de recherche ont tenté d'apporter des méthodes ou des outils pour identifier et évaluer ces risques [1-3]. Cependant la complexité inhérente aux projets de construction (multiplicité des acteurs, variété des risques, etc.) rend la gestion globale de ces risques extrêmement difficile. La complexité est en partie due au grand nombre d'acteurs ayant chacun leur rôle, leur objectif et leur motivation vis-à-vis des risques et du projet lui-même. Ainsi, les facteurs organisationnels et humains ont un rôle clef pour la gestion des risques du projet [4]. La gestion des risques passe par une bonne appréhension de ceux-ci. Pour cela, il faut nécessairement faire appel à une modélisation efficiente des risques prenant en compte la multiplicité des regards et l'aspect dynamique des risques (en considérant les phénomènes d'interaction et de la capacité de réaction des acteurs) [5]. A partir de cette analyse de risque, il est possible d'établir des stratégies de maîtrise des risques ; cela peut par exemple consister à réaliser des études de sol supplémentaires (essais géophysiques) pour limiter les risques liés au sol ou à organiser des formations sécurité pour les ouvriers afin de limiter les risques d'accident sur le

chantier. Pour répondre à cet enjeu de maîtrise des risques, cet article propose une approche d'aide à la décision basée sur un modèle à base d'agents appelé SMACC (Stochastic Multi-agent simulation for Construction projeCt) et sur une méthode de décision multicritère. SMACC permet de simuler le déroulement des projets en prenant en compte les incertitudes (risques) qui vont peser dessus. Ainsi, il fournit une évaluation des impacts des aléas sur le projet. En reproduisant un grand nombre de fois la simulation, SMACC permet d'avoir une vision statistique des risques et de fournir des indicateurs sur le projet. Ces indicateurs sont alors intégrés dans le cadre d'un processus d'aide à la décision ayant pour but de définir la stratégie la plus adaptée pour répondre aux risques du projet. La hiérarchisation des stratégies se fait par la méthode ELECTRE III [6].

2 Approche

2.1 Principe

L'objectif de notre approche est de proposer une hiérarchisation des stratégies. Les stratégies sont définies préalablement ; leur définition ne fait pas partie du processus d'aide à la décision ici présenté, qui s'intéresse à leur évaluation et leur comparaison. L'approche fonctionne en deux étapes. Dans un premier temps, les différentes stratégies sont simulées par SMACC afin de déterminer leurs impacts respectifs. SMACC permet en particulier d'établir des estimations sur la qualité du projet, son coût et le temps mis pour le réaliser. Ces estimations sont utilisées pour établir une hiérarchisation des stratégies. Cette hiérarchisation est obtenue par la méthode d'aide à la décision multicritère ELECTRE III.

2.2 SMACC

SMACC a pour objectif de simuler les projets de construction durant tout le cycle de vie du projet, depuis la phase de faisabilité jusqu'à la phase d'exploitation. Le modèle propose une vision neutre des risques, c'est-à-dire que l'on prend en compte les risques s'appliquant dans le projet sur tous les acteurs et à toutes les phases du projet (aucune perspective n'est privilégiée par rapport aux autres). En sortie, SMACC propose d'évaluer la durée du projet, le temps de travail mis par chacun des acteurs, le coût du projet et celui impacté à chaque acteur. Enfin, SMACC permet d'évaluer la qualité de chacune des tâches réalisées et du projet dans son ensemble. SMACC repose sur la description du projet à travers 9 espèces d'agents : le projet (agent global), les acteurs (maitre d'ouvrage, gestionnaire de projet, etc.), les tâches (études, gros œuvre, etc.), les contrats (engagement d'une entreprise à réaliser une tâche avec un temps, un coût et une qualité définis), les instructions (instructions d'un responsable à un opérateur pour réaliser une tâche), les facteurs de risque (cadence élevée, niveau de sécurité faible, etc.), les événements risqués (accident, erreur de conception, etc.) et les conséquences des risques (délai supplémentaire pour réaliser une tâche, mauvaise interprétation d'une instruction, etc.).

SMACC est basé sur une vision temporelle du projet (Figure 1) soulignant le rôle de chaque acteur durant la progression du projet. Les tâches peuvent être successives ou simultanées. Une tâche a un exécutant et un responsable. Les exécutants ont pour rôle de réaliser concrètement la tâche. Les responsables doivent veiller à la bonne réalisation de la tâche ; ils portent la responsabilité du résultat final de la tâche (temps mis, qualité, coût). Ils ont de plus un rôle de commandement. Ils peuvent donner des instructions aux exécutants quand aux priorités ou aux efforts à porter sur chaque tâche.

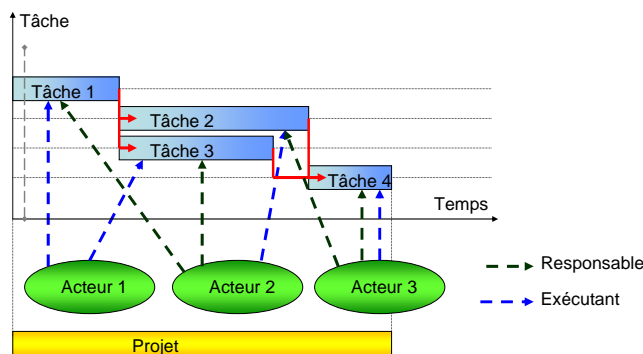


FIG. 1 – Principe du modèle SMACC

La rapidité, le coût et la qualité du travail exécuté dépendent des caractéristiques des exécutants, de celles des responsables et des conséquences des risques pouvant affecter la tâche. Les risques se produisent aléatoirement selon des lois probabilistes variant en fonction du contexte et du type de risque. Les risques sont liés à une tâche (pendant laquelle ils sont susceptibles de se réaliser) et à un acteur (qui en est directement responsable). Chaque pas de la simulation correspond à un jour ouvré. Le processus du modèle est donné dans la Figure 2.

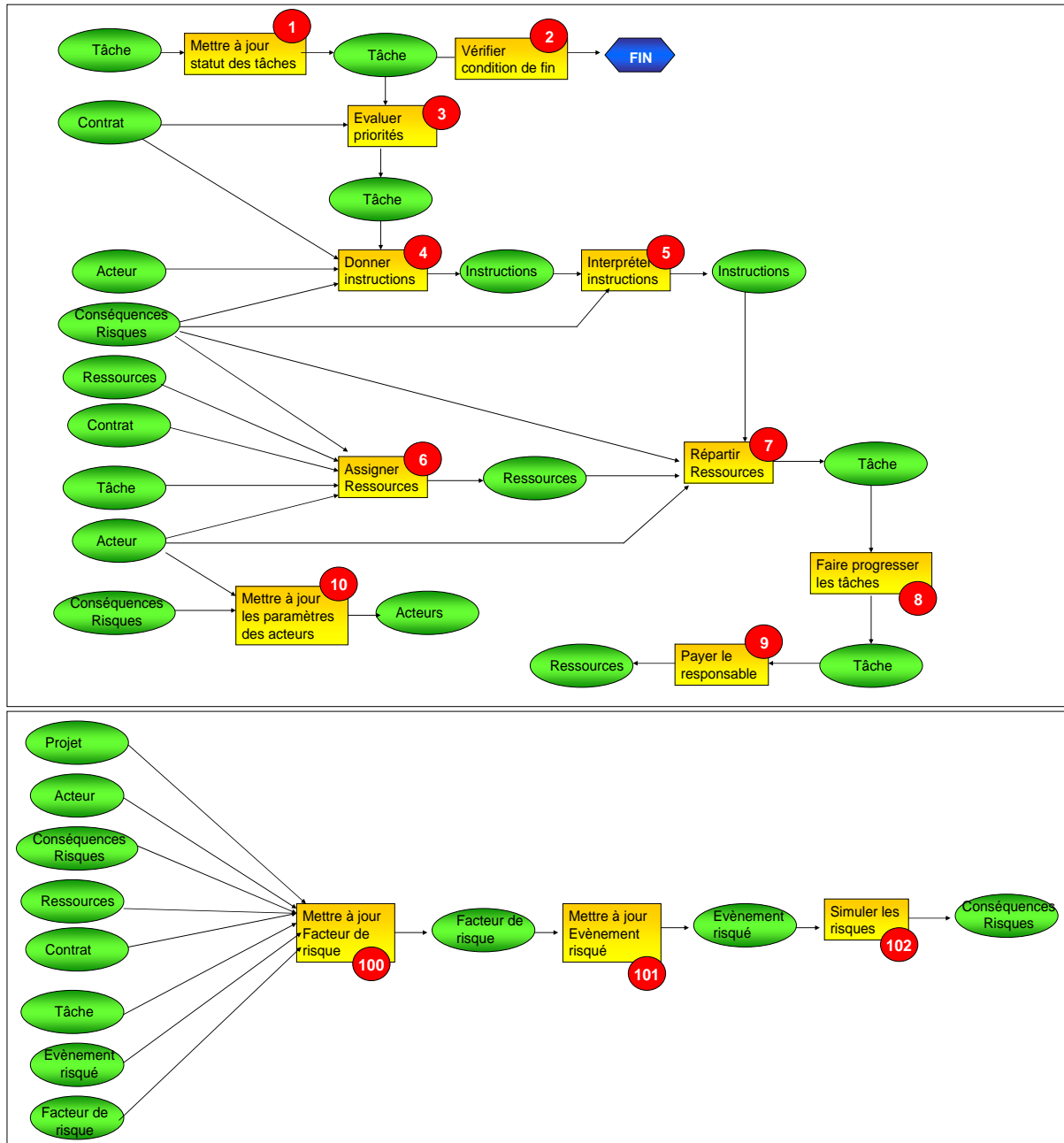


FIG. 2 – Processus du modèle SMACC

A chaque pas, SMACC procède selon la même procédure : Chaque tâche analyse sa situation et détermine, en fonction des tâches déjà finies, si elle peut être réalisée (tâche exécutable) (1). Ensuite, les responsables des tâches exécutables doivent les classer par ordre de priorité (important lorsque qu'un acteur doit choisir entre deux tâches à exécuter) en se basant sur l'avancement du projet (2). Les responsables donnent ensuite des instructions aux exécutants en fonction de l'avancement de la tâche, du contrat passé (temps et coût accordés...) et leurs caractéristiques propres (4). Les exécutants interprètent ces instructions en fonction de leurs propres caractéristiques (5). Chaque responsable assigne à ses exécutants des moyens (6) que ceux-ci répartissent sur chaque tâche en fonction de l'ensemble des instructions reçus (7). En travaillant sur une

tâche, les exécutants permettent de la faire avancer (ou de la finir) (8). Dès qu'une tâche est finie, ses responsables sont payés en fonction des résultats obtenus (en termes de délai, coût et qualité) (9). Enfin, les caractéristiques de l'ensemble des acteurs évoluent en fonction des événements passés (par exemple un travail bien réalisé peut augmenter la motivation d'un acteur) (10).

En plus de ce processus général, un autre processus intervient entre chacun des 10 sous-processus et peut avoir une influence sur chacun d'eux : le processus de risque. Dans celui-ci, les facteurs de risque commencent par évaluer leur niveau de risque (100). Puis, en fonction de ces niveaux d'impact, les événements risqués évaluent leur probabilité de se déclencher (101). En fonction d'un tirage aléatoire, certains événements risqués vont produire des conséquences qui auront un impact sur le projet. Par exemple, si un responsable demande à un exécutant de réaliser une tâche très rapidement (instruction vitesse forte), cela conduit au facteur de risque « Cadence élevée ». Ce facteur de risque augmente la probabilité de l'évènement risqué « Accident sur chantier ». A chaque fois que l'exécutant travaille sur cette tâche, un tirage aléatoire est exécuté. Si ce tirage est inférieur à la probabilité d'occurrence de l'évènement risqué alors l'aléa se produit. Ici, la survenance de l'aléa « Accident sur le chantier » induit des coûts et un retard sur le projet. Ainsi, la partie stochastique du modèle correspond au tirage de la survenance d'évènements risqués. Ce sont eux qui induisent la partie aléatoire du modèle. Evidemment, comme les acteurs agissent en fonction de l'évolution de leur environnement, un aléa survenu peut modifier leur comportement et conduire ainsi à des conséquences en chaîne.

SMACC a été implémenté avec la plateforme de simulation GAMA [7]. Cette plateforme open-source dispose d'un environnement complet de développement permettant de faciliter la définition de modèles complexes. La figure 3 présente l'interface de SMACC lors de la simulation d'un projet.

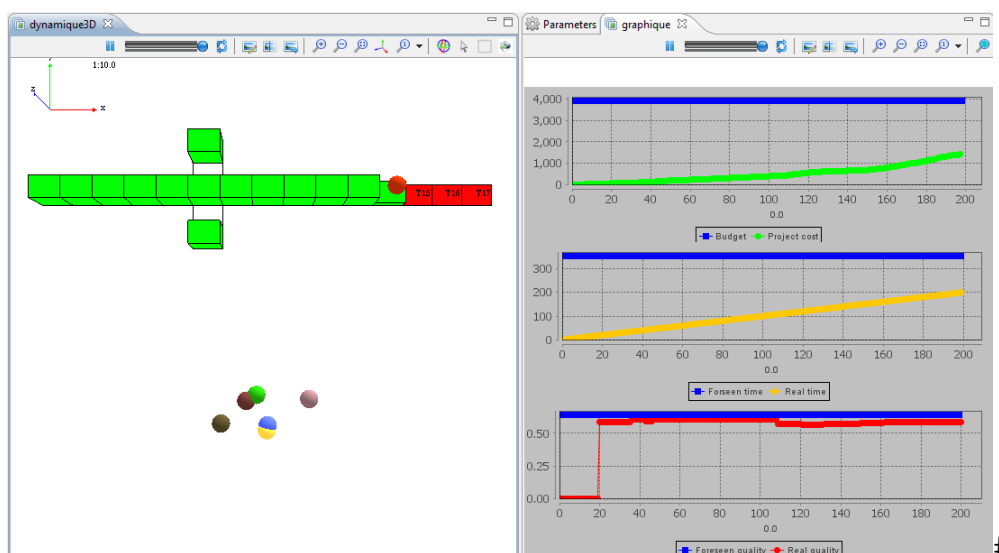


FIG. 3 – Interface de SMACC

L'écran de gauche montre la situation actuelle du modèle : les tâches en vert sont finies ou en cours d'exécution – la hauteur de la tâche représente sa progression, les tâches non exécutables sont en rouge. Les sphères représentent les acteurs. L'écran de droite montre en temps réel, l'évolution du projet -coût, durée et qualité- au travers des courbes -jaune, verte, rouge- ainsi que les valeurs ciblées (droites horizontales bleues).

2.3 ELECTRE

A partir des résultats des simulations, il est possible de prioriser les différentes stratégies. On considère les critères suivants : le temps mis pour finir le projet, la qualité finale (calculer à partir de la qualité des différentes tâches), le coût final et l'équité entre acteurs. Ce dernier critère est évalué en calculant le pourcentage d'acteurs finissant avec un déficit d'argent à la fin du projet. Ce critère permet d'éviter les stratégies qui créaient des situations gagnants/perdants.

A partir de ces évaluations, nous avons recours à ELECTRE III pour définir la meilleure stratégie (meilleur compromis entre les différents critères). Elle permet de résoudre les problèmes décisionnels de classement. A partir de l'ensemble des stratégies $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$, étant caractérisées chacune par un vecteur de valeur

$g(s_i) = \{g_1(s_i), g_2(s_i), \dots, g_p(s_i)\}$ sur les critères 1 à p, cette méthode cherche à les hiérarchiser en les comparant par paires sur chacun des critères.

Cette comparaison fait appel à deux notions : les indices de concordance et de discordance. L'indice de concordance $ck(s_i, s_j)$ affirme dans quelle mesure, pour le critère k, la stratégie s_i est au moins aussi intéressante que la stratégie s_j pour ce critère. L'indice de discordance $dk(s_i, s_j)$, pour le critère k, indique dans quelle mesure la stratégie s_i n'est pas aussi intéressante que la stratégie s_j pour ce critère. Ces deux indices sont calculés entre 0 (concordance ou discordance nulle) et 1 (concordance ou discordance parfaite). Afin de synthétiser les indices de concordance et de discordance sur l'ensemble des critères, on introduit la notion de degré de crédibilité. Cet indice $\delta(s_i, s_j)$ indique pour l'ensemble des critères à quel point la stratégie s_i est plus intéressante que la stratégie s_j . Le calcul de cet indice considère les concordances qui seront minorées par les discordances. Afin de prendre en compte l'importance des différents critères pour le décideur, on a recours à un système de pondération. On attribue ainsi à chaque critère un poids indiquant son niveau d'importance vis-à-vis des autres critères.

Enfin, à partir des indices de crédibilité, un classement entre les stratégies peut être établi. Pour cela, on joue sur le niveau de signification du degré de crédibilité. Un paramètre appelé seuil de coupe est défini. On examine alors, par couple, le nombre de fois où une stratégie en domine d'autres. Puis on procède à des distillations successives qui aboutissent à deux rangements (pré-ordre complet). La première relation est obtenue de manière descendante, en sélectionnant la meilleure stratégie et en classant les autres stratégies de la meilleure à la moins bonne, on parle alors de distillation descendante. La seconde se fait de manière ascendante, en choisissant d'abord la plus mauvaise stratégie, et en classant de la plus mauvaise à la meilleure, on parle alors de distillation ascendante. On range alors les stratégies en utilisant ces deux classements.

Nous utilisons une version stochastique d'ELECTRE permettant d'obtenir des résultats plus robustes. En effet, la méthode repose sur un certain nombre de paramètres dont la définition peut se révéler complexe (poids, seuil de coupe...). Dans la méthode employée, les paramètres seront associés à une plage de variation ainsi qu'à une loi de distribution. La plage de variation des paramètres correspond à une gamme pertinente des valeurs et font l'objet d'une vraie réflexion menée avec le gestionnaire de projet. Elle permet de transcrire son incertitude sur la valeur des paramètres. Par simulation Monte-Carlo, on pourra alors tester les résultats avec différents jeux de paramètres et obtenir ainsi des résultats plus robustes.

3 Application et résultats

3.1 Contexte

Notre approche a été appliquée pour un projet de construction réel. Ce projet concerne la construction d'un institut de formation d'infirmière en France. Le budget du projet est de 3.9 M€; le temps total alloué au projet est de 18 mois (352 jours de travail). Les acteurs pris en compte sont : le client, le gestionnaire de projet, l'architecte, le bureau d'étude et l'entreprise réalisant les travaux qui est considéré comme trois acteurs distincts : le département études, le département gros-œuvre et le département corps d'état secondaire.

Le projet contient 17 tâches depuis la phase d'étude d'opportunité jusqu'à la phase de livraison de l'ouvrage. Pour chacune de ces tâches, un responsable et un exécutant sont identifiés. L'agent contrat contient les différents objectifs visés (temps alloué pour réaliser la tâche, budget prévisionnel, qualité visée...). L'analyse de risque a conduit à identifier pour ce projet 95 événements risqués (accident de travail, malfaçon, difficulté à obtenir un permis de construction, sous-estimation du matériel nécessaire, etc.) ainsi que 42 facteurs de risques (conditions de travail difficiles, mauvaise implantation de la grue, mauvaise communication, etc.).

Trois stratégies ont été simulées. La première stratégie (S0) correspond à une stratégie standard. Il s'agit de celle choisie pour le projet réel. La seconde stratégie (S1) propose d'améliorer la sécurité sur le chantier. Pour cela, on introduit un délai supplémentaire pour réaliser les tâches (formation à la sécurité et présence de dispositifs sécurité supplémentaires). La dernière stratégie (S2) vise une qualité supérieure pour chacune des tâches. Le budget alloué aux tâches est augmenté pour pouvoir supporter cette augmentation de qualité.

Afin d'obtenir des résultats de simulation robustes et de mieux prendre en compte le caractère stochastique du modèle (survenance des événements risqués), 5000 simulations pour chaque stratégie ont été réalisées. Nous avons effectué 50000 tirages pour la méthode ELECTRE de façon à obtenir une hiérarchisation plus

robuste.

3.2 Résultats

La figure 4 montre les distributions de résultats en termes de qualité, temps et cout du projet pour chacune des stratégies.

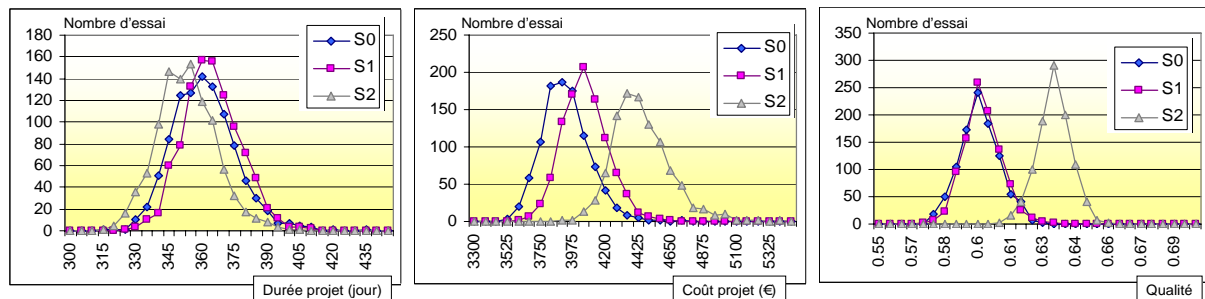


FIG. 4 – Résultats de simulation

A partir de ces courbes et du pourcentage d'équité (respectivement de 87,86%, 85,71% et 85,71%), il est possible d'obtenir un classement via ELECTRE III. La stratégie S2 (qualité élevée) semble la plus intéressante ; elle obtient 100% de classement en première position. Elle est suivie de la stratégie S0 (stratégie de base), qui obtient respectivement 98% de classement en deuxième position et 2% de classement en première position (ELECTRE permet les égalités) Enfin, dans cette analyse, la stratégie S1 (prévention sécurité) semble la moins intéressante. Elle est dans 100% des cas classer en dernière position.

4 Conclusion et perspectives

Cet article a présenté une approche d'aide à la décision basée sur le couplage d'un modèle à base d'agent (SMACC) et d'une méthode multicritère d'aide à la décision (ELECTRE III). Cette approche a été appliquée à un cas d'étude réel et a montré son intérêt dans la question de choix de stratégie de conduite de projet. Notre approche représente une avancée dans le domaine de la conduite de projet en permettant une comparaison suggestive et argumentée de différentes stratégies de maîtrise des risques. L'un des points clés de notre approche réside dans le réalisme du modèle SMACC. Dans ce cadre, nous prévoyons d'améliorer ce modèle en enrichissant les possibilités d'interaction entre acteurs. En particulier, nous souhaitons travailler sur une prise en compte des relations hiérarchiques entre acteurs afin de pouvoir considérer les structures de type pyramidal. Il serait aussi intéressant d'enrichir le modèle par de la connaissance a priori. En effet, on pourrait lier le modèle à une base de données proposant les facteurs de risque et les événements risqués pertinents pour le projet à partir d'une analyse typologique de celui-ci.

Références

- [1] Carr V., Tah J., A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system, *Advances in Engineering software*, 32, 847-857, 2001.
- [2] Mehdizadeh R., Taillandier F., Breysse D., Niandou H., Methodology and tools for risk evaluation in construction projects using Risk Breakdown Structure, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 16, 78-98, 2012.
- [3] PMI (Project Management Institute) Standards Committee, A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide), 4th ed. Project Management Institute, Newtown Square, PA, 2008.
- [4] Walewski J., Gibson E., International project risk assessment: Methods, procedures, and critical factors, Technical report, Center Construction Industry, 2003.
- [5] Mehdizadeh R., Breysse D., Chaplain M., Modeling methodology of the risk breakdown structure for project risk management in construction, *Proceeding of 11th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering*, 811-818, 2011.
- [6] Roy B., The outranking approach and the foundations of electre methods, *Theory and Decision*, 31, 49-73, 1991.
- [7] Taillandier P., Drogoul A., Vo D., Amouroux E., Gama: a simulation platform that integrates geographical information data, agent-based modeling and multi-scale control, *Proceedings of 13th International Conference on Principles and Practices in Multi-Agent Systems (PRIMA)*, 78-98, 2010.