HAL
open science

Un nouveau modèle à base d'agents pour gérer les risques d'un projet de construction - Application au carrefour de Bab El Karmadine à Tlemcen

Franck Taillandier, Fethi Hamzaoui, Patrick Taillandier, Denys Breysse

▶ **To cite this version:**

Franck Taillandier, Fethi Hamzaoui, Patrick Taillandier, Denys Breysse. Un nouveau modèle à base d'agents pour gérer les risques d'un projet de construction - Application au carrefour de Bab El Karmadine à Tlemcen. Rencontres Universitaires de Génie Civil, May 2015, Bayonne, France. hal-01167700

HAL Id: hal-01167700

https://hal.science/hal-01167700v1

Submitted on 24 Jun 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Un nouveau modèle à base d'agents pour gérer les risques d'un projet de construction - Application au carrefour de Bab El Karmadine à Tlemcen

Franck Taillandier[1], Fethi Hamzaoui[2], Patrick Taillandier[3], Denys Breysse[1]

[1] *Univ. Bordeaux, I2M, UMR 5295, F-33400 Talence, France. (franck.taillandier@u-bordeaux.fr)*

[2] *Université A. Belkaid,département de Génie civil, Faculté de technologie, Tlemcen, Algerie.*

[3] *UMR IDEES -Université de Rouen -7 rue Thomas Becket, 76100 Mont-Saint-Aignan*

RÉSUMÉ. *La gestion des risques dans les projets de construction est indispensable mais extrêmement complexe. Pour répondre à cet enjeu, nous avons développé SMACC (Stochastic Multi-agent simulAtion for Construction projeCt), un outil de simulation de projet de construction considérant les risques. SMACC propose, par le recours à la simulation à base d'agents, couplée à une approche stochastique, d'évaluer les conséquences des risques sur le projet et cela pour chaque acteur du projet. Ce modèle dynamique permet d'établir des indicateurs qui peuvent servir de critères dans le cadre d'un processus d'aide à la décision. La version initiale de SMACC présentait un certain nombre de limitations, telles qu'une approche trop quantitative, une gestion pauvre des ressources ou une rigidité dans la description du processus. De plus, formellement et conceptuellement, le modèle de SMACC proposait une structuration trop faible de la connaissance. Afin de répondre à ces problèmes, une version améliorée, SMACC2 a été développée. L'article exposera un exemple d'application concret : la construction du carrefour de Bab El Karmadine à Tlemcen.*

ABSTRACT. *Risk management in construction project is key but extremely complex issue. To answer it, we developed SMACC (Stochastic Multi-agent simulAtion for Construction projeCt), a simulation tool for construction project that considers risks. SMACC proposes, using an agent based model with a stochastic approach, to assess risk consequences for each project stakeholder. This dynamic model enables to build indicators, which can be used as criteria in a decision support process. The former version of SMACC had some flaws such as a too quantitative approach, a poor modeling of resources or a high rigidity of the process description. Furthermore, formally and conceptually, the SMACC model had a too weak structuration of knowledge. To answer these issues, a new version has been developed, called SMACC2. The paper will present a real case of application: the building of the crossroads of Bab El Karmadine at Tlemcen.*

MOTS-CLÉS : *Projet de construction, Gestion des risques, Modèle à base d'agents, Ontologie*

KEY WORDS: *Construction project, Risk management, Agent based-model, Ontology*

1. Introduction

Les projets de construction peuvent être impactés par de nombreux aléas qu'ils soient d'ordre organisationnel, humain ou économique ; ils ont une incidence majeure dans la réussite des projets. La gestion des risques qui vise à identifier, analyser et évaluer les aléas est une clef pour la réussite d'un projet [CAR 01]. Cependant la complexité inhérente aux projets de construction (multiplicité des acteurs, variété des aléas et des conséquences potentielles, etc.) et aux risques (caractère dynamique, interactions nombreuses, etc.) rend leur évaluation extrêmement difficile [WAL 03].

Pour répondre à cet enjeu, nous avons développé SMACC (Stochastic Multi-agent simulAtion for Construction projeCt), un outil de simulation de projet de construction considérant les risques, basé sur l'approche '*Agent*' [TAI 13] [TAI 14]. Les systèmes à base d'agents sont des systèmes composés d'un ensemble d'entités autonomes, appelés agents, dont le comportement individuel répond à des règles potentiellement simples mais pouvant interagir avec les autres agents et évoluant dans un environnement complexe et dynamique [BOU 02]. Chaque agent a sa propre vision du système, sa propre capacité de décision et d'action. Les objectifs et les intérêts des agents peuvent être divergents et il n'y a pas de contrôle global du système : chaque agent est défini localement, la complexité du système émergeant de l'ensemble des interactions. SMACC propose, par le recours à la simulation à base d'agents, couplée à une approche stochastique, d'évaluer les conséquences des aléas sur le projet et cela pour chaque acteur. Ce modèle dynamique permet de prendre en compte, aussi, l'évolution des risques durant tout le projet ; cette évolution est conditionnée par toutes les composantes du projet (acteurs, ressources, avancement des tâches, etc.) et par les décisions prises par les acteurs pour y répondre. SMACC permet ainsi d'établir des indicateurs qui peuvent servir de critères dans le cadre d'un processus d'aide à la décision. Ils peuvent permettre au gestionnaire de projet, par exemple, de choisir la stratégie de maitrise des risques la plus pertinente pour la conduite du projet [TAI 14].

La version initiale de SMACC présentait un certain nombre de limitations : (a) une approche exclusivement quantitative et une affectation déterministe des variables du projet, (b) une gestion des ressources (matérielles ou humaines) assez pauvre, (c) la prise en compte que des tâches opérationnelles et non celles de management, de décision ou de paiement par exemple. Une version améliorée (SMACC2) a été développée pour réduire ces limitations. Cet article exposera la nouvelle version de l'outil de simulation de projet de construction. L'article développera un exemple d'application concret : la construction du carrefour de Bab El Karmadine à Tlemcen.

2. Modèle SMACC2

2.1. Vers une vision ontologique des agents

Les ontologies sont des modèles de structuration de la connaissance d'un domaine ; elles passent par un dictionnaire des concepts et une définition des liens entre eux [ELG 10]. Les modèles ontologiques sont particulièrement adaptés à des modèles de simulation informatique et notamment à la modélisation à base d'agents. En effet, ils permettent de fournir une représentation explicite et formalisée de la connaissance, qui peut ainsi être appréhendée par l'ordinateur [GRU 93].

SMACC croise une vision ontologique avec une vision 'Objet' issue de la *programmation orientée objet* [BAC 97] permettant d'intégrer des liens d'héritage entre différents concepts. Les agents ont été redéfinis dans SMACC2 afin de rentrer dans cette vision ontologique :

Acteur : organisation (entreprise, association, collectivité, etc.) ou individu qui a une influence ou est impacté par le projet de construction (maitre d'ouvrage, gestionnaire de projet, etc.),

Activité : processus appartenant au projet de construction, visant à réaliser un produit. On distingue les activités opérationnelles (études, gros-œuvre, etc.), financières (paiement d'un acteur par un autre), managériales (encadrement d'une tâche par un sous-traitant par exemple) et contractuelles (rédaction d'un contrat affectant un acteur à une activité donnée pour un montant défini).

Produit : résultat d'une activité. Il peut être matériel (voile en béton, plans architecturaux, etc.) ou non (décision, information, etc.). Un contrat est un produit particulier provenant d'une activité contractuelle : c'est un élément physique et ayant valeur juridique, spécifiant le lien entre acteurs et activités et les conditions particulières dans lesquelles l'activité doit être réalisée (temps ou budget imparti, performance visée, etc.).

Ressource : élément possédé par un acteur et permettant de réaliser une activité. On distingue les ressources humaines (équipe travaux, architecte, etc.) et les ressources matérielles (grue, béton, etc.).

Compétence : connaissance, expertise ou savoir-faire nécessaire à la réalisation d'une activité et/ou possédé par une ressource humaine.

Environnement extérieur : tout facteur, élément, situation, extérieur au projet et pouvant avoir un impact sur le projet. Ce peut être par exemple les riverains, la météo, etc.

Facteur de risque : condition sur l'état du monde entrainant un impact sur l'occurrence d'un événement risqué. Par exemple, le facteur de risque « température de l'air très froide » augmente la probabilité d'occurrence de l'événement risqué « accident sur le chantier ».

Evénement risqué : événement dont l'occurrence est incertaine et qui peut impacter les objectifs du projet en cas de réalisation. On distingue les événements risqués d'activité affectant le déroulement des activités et les évènements risqués d'actualisation qui vont venir impacter les agents (création ou destruction d'un agent, modification d'un attribut d'un agent, etc.).

Ces agents sont en interaction et vont donc permettre la réalisation du projet de construction (figure 1).

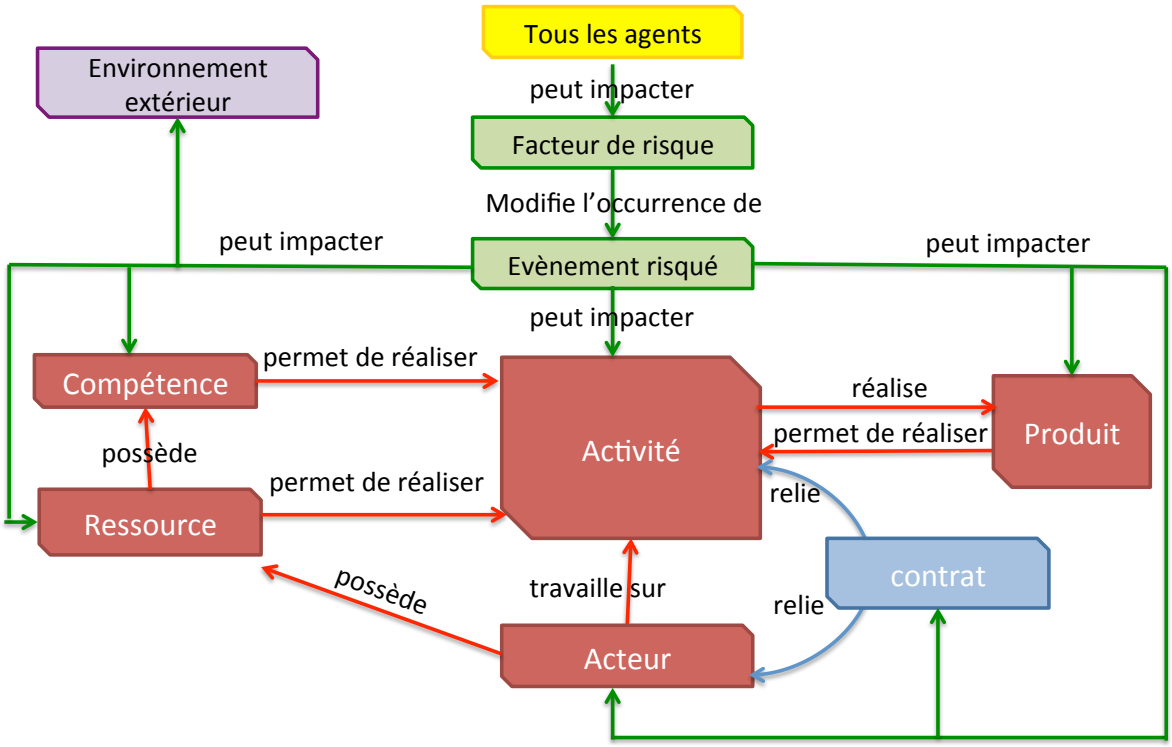

Figure 1. *Les agents et leurs relations dans SMACC2*

2.2. Une meilleure prise en compte des ressources et des produits

Toute activité nécessite des ressources pour être réalisée ; cela peut être des ressources humaines (des ouvriers, un architecte, etc.), des matériaux (béton, poutres en bois, etc.) ou du matériel (une grue, des banches, etc.). Le modèle initial de SMACC ne permettait pas de considérer intrinsèquement les ressources ; il évaluait globalement le besoin de ressources dans une unité artificiellement définie. Le modèle SMACC2 permet lui, de considérer intrinsèquement les ressources, modélisées individuellement en tant qu'agent. Cela permet un traitement beaucoup plus fin de la gestion des ressources, qui demeure un aspect primordial de tout projet de construction.

Un autre apport de SMACC2 est l'apparition de l'agent *produit*. C'est un type d'agent qui n'existait pas dans le précédent modèle ; les tâches étaient directement reliées entre elles et possédaient un attribut de qualité (c'est maintenant le produit qui est affecté d'un attribut de qualité). Ce nouvel agent permet d'apporter plus de souplesse à la structure du modèle. En effet, ce sont les agents qui peuvent eux-mêmes construire l'enchainement des activités qu'ils auront à réaliser en fonction des produits disponibles et nécessaires ; ce n'est plus une structure imposée a priori. Cela permet d'intégrer de nouveaux aspects décisionnels (capacité d'acheter un produit déjà fait, délégation d'activité, etc.) apportant plus de réalisme dans la simulation du projet.

2.3. Un processus restructuré

Le processus a été revu dans SMACC2, bénéficiant de la redéfinition des agents. En effet, l'ancien processus intégrait 10 étapes, en distinguant les aspects opérationnels, des aspects paiements et des aspects managements. Dans le nouveau modèle, ces trois éléments sont regroupés dans la notion « d'Activité ». Ainsi le processus de SMACC2 ne contient plus que trois étapes qui sont subdivisées en actions (figure 2). Le processus de risque est, comme dans SMACC1, indépendant et est reconduit plusieurs fois dans le processus global. Les événements risqués d'activité vont se produire et impacter le déroulement des activités alors que les événements risqués d'actualisation vont se produire durant la phase d'actualisation.

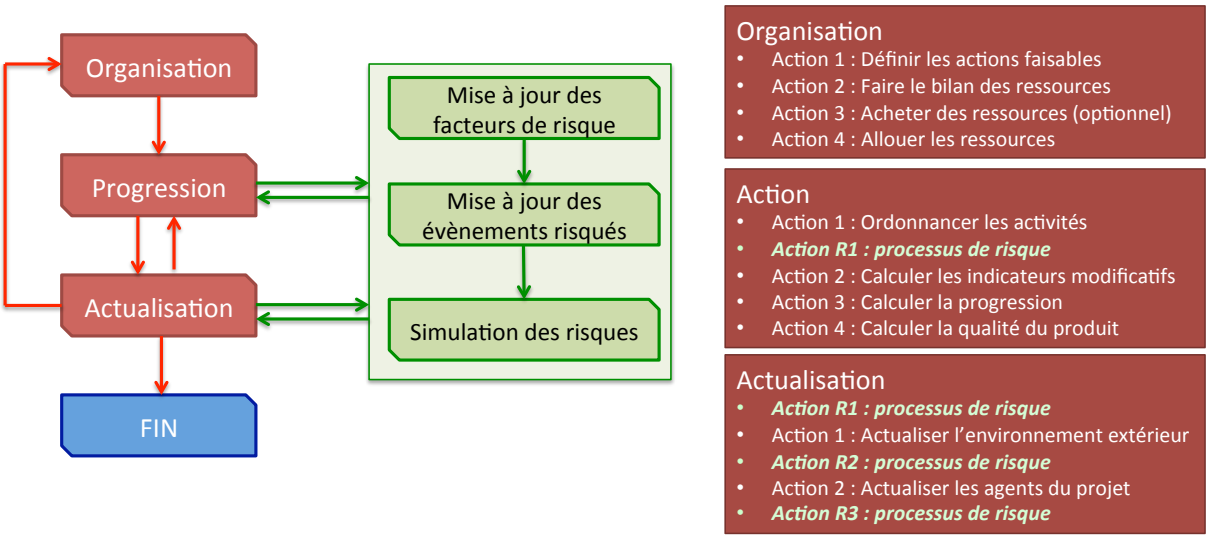

Figure 2. *Processus de SMACC2*

2.3.1. Organisation

Cette étape, effectuée par chacun des acteurs, consiste à vérifier les actions auxquelles il peut participer à ce niveau du projet ; cela dépend des produits disponibles et des contrats passés. Une activité ne peut commencer que si les produits nécessaires à sa réalisation sont présents. Les acteurs doivent ensuite évaluer les besoins en termes de ressources et de compétences, et en fonction des ressources qu'ils possèdent, faire le bilan de ce qui leur manque. Les acteurs ont alors la possibilité d'acheter ou de louer des ressources pour combler ce manque. Cela crée une nouvelle activité spécifique qui s'insère avant les activités opérationnelles. Les acteurs peuvent aussi choisir de faire réaliser l'activité par un autre acteur ; cela les conduit à créer une activité de contractualisation et à déléguer la réalisation de cette activité à cet acteur (nouveau ou acteur déjà présent dans le projet). De plus une activités peut être liée à une activités- de commandement ; celle-ci vient alors s'insérer avant l'activité commandée et le produit sortant de l'activité de commandement devient une entrée de cette activité. Le modèle permet ainsi de considérer des commandements en chaine ; par exemple, le maitre d'œuvre donnant des directives à une entreprise, elle-même dirigeant un sous-traitant pour la réalisation d'une tâche. Lorsqu'un acteur délègue par contractualisation la réalisation d'une activité, il devient automatiquement responsable d'une activité de commandement liée à cette activité.

Une fois les achats de ressources effectués, les acteurs doivent allouer leurs ressources aux différentes activités. Cette allocation se fait en fonction de l'importance des différentes activités pour l'acteur. Les activités de paiement sont basées sur le même principe ; elles nécessitent un produit, par exemple un ouvrage livré, mais en sortie, elles fournissent, non un produit, mais un échange monétaire entre deux acteurs.

2.3.2. Action

A partir des ressources allouées, les activités vont pouvoir progresser. On distingue les activités qui s'inscrivent dans le temps (activités opérationnelles) de celles dont la réalisation n'est pas définie temporellement (activité de paiement, de commandement, etc.). Les activités de la première catégorie ont un attribut d'avancement. Lors qu'un acteur travaille sur ces activités, il contribue à son avancement. L'avancement est modulé en fonction de la qualité des produits en entrée, de la différence entre ressources demandées et allouées (en termes de capacité à faire), ainsi qu'entre celle des compétences demandées et allouées (en termes

de capacité à faire). Enfin, les événements risqués sont susceptibles de perturber l'avancement des activités. De la même façon la qualité des produits en sortie de l'activité (quel que soit son type) est fonction de la qualité des produits en entrée, de la différence entre ressources demandées et allouées (en termes de qualité), ainsi qu'entre celle des compétences demandées et allouées (en termes d'expérience). Les événements risqués peuvent aussi affecter ce paramètre.

2.3.3. Actualisation

Cette étape consiste à réévaluer toutes les variables en fonction de ce qui s'est passé précédemment. Lors de cette phase il peut aussi se produire des événements risqués (événements risqués d'actualisation). Par exemple, cela peut être la faillite d'un sous-traitant, conduisant à la disparition d'un acteur ; dans la prochaine phase d'organisation, l'acteur responsable de ce sous-traitant pourra introduire une nouvelle phase de contractualisation ou décider de réaliser l'activité concernée lui-même.

2.4. Une évaluation qualitative

Le premier modèle SMACC était purement quantitatif et n'intégrait pas de gestion de l'incertitude, bien qu'étant stochastique. Ainsi toutes les données d'entrée devaient être fixées et étaient formalisées sous la forme d'une unique valeur numérique (par exemple une valeur monétaire, une probabilité, etc.). Or il peut être difficile de justifier certaines données, notamment celles liées aux risques. Afin d'améliorer ce point, SMACC2 intègre la gestion de données qualitatives. Ainsi, par exemple, la qualité d'un produit ou d'une ressource, n'est plus renseignée par une valeur numérique mais sur une échelle à cinq échelons allant de « Très mauvaise » à « Très bonne ».

2.5. Implémentation sous GAMA

Comme pour SMACC1, le modèle SMACC2 a été implémenté sous la plate-forme de simulation multi-agent GAMA [TAI 12a][TAI 12b][GRI 13]. GAMA propose un langage de programmation dédié aux modèles à base d'agents. Il propose aussi un mode Batch permettant de générer un jeu de simulations dans une logique de simulation de Monte-Carlo. SMACC étant un modèle stochastique, où chaque simulation conduit à un résultat différent, ce mode est indispensable pour avoir un rendu statistique des résultats.

3. Application

3.1. Présentation du cas d'étude

A Tlemcen, le carrefour de Bab el Karmadine au nord-est de la ville, reliant le quartier d'Imama à la commune de Chetwane, supporte un trafic assez dense et important. Le carrefour est devenu un point noir pour la régulation de la circulation. Afin de résoudre ce problème, la DTP (Direction des Travaux Publics) a décidé de construire une trémie. Cette trémie en permettant une circulation sur un double niveau a pour objectif de réduire notablement les points de conflit et ainsi de fluidifier la circulation. Le coût prévisionnel du projet était estimé à 137MDA (environ 1,4 M€) pour un délai prévisionnel de 5 mois. Le projet a officiellement commencé le 20/12/2009 et s'est achevé le 22/12/2010. Il a affiché un coût final de 150 MDA. Le projet étant déjà terminé lors de l'application, la simulation réalisée avec SMACC2 n'avait pas un but fonctionnel pour le projet, mais doit permettre une validation de l'outil, en plus de son caractère illustratif.

Figure 3. *Carrefour de Bab el Karmadine*

3.2. Choix et hypothèses de modélisation

Il y a deux questions préalables indispensables à la modélisation d'un projet et de ses risques ; la première porte sur le choix de la vision d'un acteur, la seconde, qui est liée, porte sur la phase à laquelle on se place. Ces deux questions ont un impact fort sur le modèle, car elles permettent de définir le périmètre et l'objectif de l'instanciation du modèle. Pour cette application, nous nous placerons dans une vision *Entreprise* du projet ; dans notre cas, il s'agit de l'entreprise SEROR qui avait la charge de la réalisation de la trémie. On se place au début du projet, au moment où l'entreprise reçoit l'appel d'offres et décide de faire une proposition pour y répondre.

Une fois les réponses à ces deux questions obtenues, il est possible de modéliser le projet. La table 1 indique le nombre d'agents de chaque type ayant été utilisés pour la modélisation de ce projet. La description du projet est restée à un niveau assez macroscopique ; il est inutile d'aller à un niveau de détails plus fin si les résultats à ce niveau ne sont déjà pas convaincants.

Tableau 1. *Agents utilisés pour l'application*

Agent	Nombre
Activité	44
Acteur	11
Ressource	79
Compétence	95
Produit	25
Evènement risqué	89
Facteur de risque	52

3.3. Résultats

Le modèle a été implémenté sous GAMA et 30 000 simulations ont été réalisées. Elles ont permis d'obtenir les résultats exposés dans la figure 4, sous la forme de distributions de coût, de durée et de qualité du projet. A titre de comparaison, la figure 4 comporte aussi les valeurs prévues et les valeurs réelles pour ces trois indicateurs. Les valeurs réelles correspondent à celles réellement obtenues à la fin du projet. Les valeurs prévues correspondent à celles calculées par l'équipe projet en amont de la réalisation du projet, à l'aide de méthodes déterministes classiques.

Le premier élément qui apparaît sur les résultats est la distribution des sorties, qui s'apparente, pour le coût et pour la durée, à des gaussiennes alors que les tirages des entrées ne sont réalisés qu'à partir de lois uniformes (tirage des évènements risqués). Ainsi la forme gaussienne des sorties est générée de façon non guidée par le modèle. La qualité est quand à elle presque entièrement distribuée entre le niveau *Moyen* et le niveau *Mauvais*. Cela est en lien avec l'évaluation discrète (cinq échelons) de cette variable.

Si l'on compare ces résultats avec les valeurs escomptées en début de projet et celles réellement obtenues, on peut remarquer que le modèle propose des résultats cohérents. Pour la qualité, on retrouve globalement celles escomptée et obtenue, bien que le modèle soit moins optimiste en indiquant qu'elle aurait aussi bien pu être *mauvaise*.

Pour la durée du projet, SMACC2 se situe entre la valeur escomptée et la valeur réelle. Cela est notablement dû à l'écart très important entre les deux : le projet a durée deux fois plus longtemps que prévue. Une grosse partie de ce retard a été accumulée lors de la phase de terrassement. D'une part, les études de sol n'avaient pas permis de révéler la vraie nature du sol : celui-ci s'est révélé beaucoup plus rocheux que prévu, ralentissant sensiblement le terrassement. D'autre part, plusieurs réseaux (gaz, fibre optique…), qui n'avaient pas été repérés lors de la conception du projet, ont du être déviés ; de plus l'intervention des services en charge de cette tâche a été très lente, retardant considérablement le projet. Enfin, le projet a dû être modifié en cours de travaux ; il était initialement prévu de démolir un lotissement situé sur le tracé, mais pour des raisons politiques et administratives, une solution alternative comportant la modification du tracé et la réalisation d'un mur de soutènement a été préférée. Dans le modèle, nous avons intégré les risques de mauvaises études de sol au travers d'un facteur de risque « Mauvaise connaissance du sol/sous-sol », mais nous avons sous-estimé l'impact des évènements risqués liés à ce facteur de risque. Par ailleurs, nous n'avons pas intégré dans cette version du modèle la possibilité de modifications du projet se traduisant par des ajouts de travaux supplémentaires. Cela est envisagé pour la prochaine version.

Pour le coût du projet, l'ordre de grandeur est assez bon. Là encore le modèle est moins optimiste que les prévisions du début de projet. Cela peut s'expliquer par le fait que les valeurs prévues l'ont été sans faire une analyse de risque poussée et de fait, certains aléas n'ont simplement pas été considérés. La valeur réelle obtenue est proche des valeurs moyennes du modèle ; elle est donc cohérente avec les résultats des simulations.

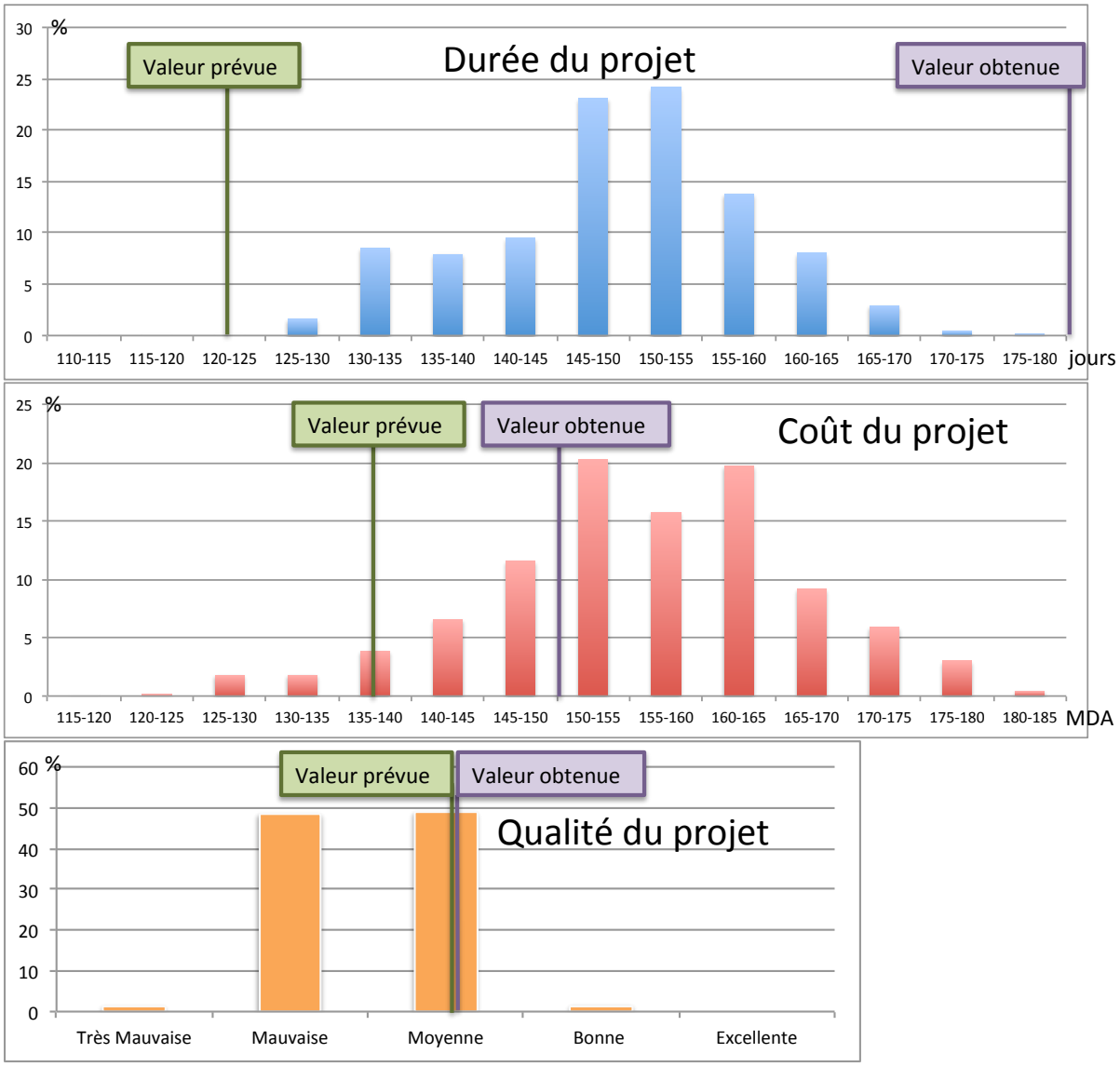

Figure 4. *Résultats obtenus avec SMACC2*

Si ces résultats sont encourageants, il est difficile en analysant ces résultats de trancher quant à la qualité de prévision de SMACC2. Il est notamment difficile de départager la qualité des prévisions obtenues par SMACC2 de celles obtenues par les méthodes déterministes classiques. En toute rigueur, il faudrait pouvoir reconduire le même projet un très grand nombre de fois pour comparer la distribution de résultats avec les résultats de SMACC2. A défaut, il faudrait pouvoir tester SMACC2 sur d'autres projets pour pouvoir évaluer les performances de prévision du modèle. Ainsi, dans les perspectives du modèle, il est prévu de le tester sur de nouveaux projets de construction.

4. Conclusion

Cet article a permis de présenter les nouveautés apportées par cette seconde version de SMACC. Les ajouts les plus importants sont la redéfinition des agents dans une optique croisant modèle ontologique et modèle objet, la redéfinition du processus, qui est maintenant tout à la fois mieux structuré et plus flexible, la possibilité d'avoir recours à des échelles qualitatives et la redéfinition des ressources et des produits. Malgré ces apports le modèle présente encore des limites. L'une d'elles est l'impossibilité de se placer à différents niveaux de

description du projet ou des risques. Par ailleurs, le modèle de décision est encore trop limité pour les acteurs du projet (ils ne peuvent pas se projeter sur du long terme) et certains paramètres importants n'ont pas encore fait l'objet d'une analyse de sensibilité (impact de la qualité d'un produit sur le rendement d'une tâche, lien entre compétence et qualité du produit final…). Enfin, il serait intéressant de pouvoir modéliser des évènements risqués induisant la modification du projet au travers de travaux supplémentaires à réaliser.

Malgré ces aspects qui feront l'objet de développements futurs, SMACC2 a déjà permis de modéliser de façon assez efficace un projet de construction réel. Il apporte une avancée notable par rapport à SMACC et peut d'ores et déjà être utilisé pour comparer différentes stratégies de gestion des risques d'un projet. Un outil permettant, à l'aide d'une interface, d'implémenter le modèle SMACC2 pour un cas d'étude est envisagé afin de faciliter cette phase qui peut se révéler fastidieuse. Cela pourrait passer aussi par l'intégration de connaissances pré-implémentées ; c'est aussi une autre piste d'amélioration envisagée pour SMACC2.

5. Bibliographie

[BAC 97] BACHELET R., « Les représentations en génie logiciel : des méthodes 'classiques' à l'orienté objet », *Direction et gestion des entreprises*, vol. 164/165, 1997, p. 87-100.

[BOU 02] BOUSQUET F., LE PAGE C., MULLER J.P., « Modélisation et simulation multi-agent », *Assises 2002 du GDR Information - Interaction - Intelligence*, http://www.irit.fr/GDR-I3/fichiers/assises2002/papers/09-ModelisationEtSimulationMultiAgents.pdf

[CAR 01] CARR V., TAH J. H. M., « A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system », *Advances in Engineering software,* vol. 32, 2001, p.847-857.

[ELG 10] EL-GOHARYN N., EL-DIRABYT T., « Domain ontology for processes in infrastructure and construction », *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 131, n°5, 2010, p. 591-603.

[GRI 13] GRIGNARD A., TAILLANDIER P., GAUDOU B., VO D. A., HUYNH N. Q., DROGOUL A., « GAMA 1.6 : Advancing the Art of Complex Agent-Based Modeling and Simulation », *PRIMA 2013 : Principles and Practice of Multi-Agent Systems*, Springer, Berlin, 2013, p. 117-131

[GRU 93] GRUBER T. R., « Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing? », *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 43, N°5-6, 1993, p. 907-928.

[TAI 12a] TAILLANDIER P., DROGOUL A., VO D. A., 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)'*, 2012a, p. 242-258.

[TAI 12b] TAILLANDIER P., THEROND O., GAUDOU B., « A new BDI agent architecture based on the belief theory, Application to the modelling of cropping plan decision-making », *iEMSs*, 1-5 July 2012, Leipzig, Germany, 2012b.

[TAI 13] TAILLANDIER F., TAILLANDIER P., BREYSSE D., TEPELI E., KHARTABIL F., « Gestion des risques dans les projets de construction par la simulation multi-agent ». *21ème Congrès Français de Mécanique*, Bordeaux, France, 26-30 août, 2013.

[TAI 14] TAILLANDIER F., TAILLANDIER P., « Risk Management in Construction Project Using Agent-Based Simulation ». In *Highlights of Practical Applications of Heterogeneous Multi-Agent Systems*, The PAAMS Collection, Springer International Publishing, 2014.

[WAL 03] WALEWSKI J., GIBSON E., *International project risk assessment: Methods, procedures, and critical factors,* Technical report, Center Construction Industry, 2003.