

---

# Management des risques dans les projets de construction par le couplage du modèle agent SMACC avec la méthode MADS MOSAR – Application au projet de barrage TAHT à Mascara en Algérie

Fethi Hamzaoui<sup>2</sup>, Franck Taillandier<sup>1</sup>, Patrick Taillandier<sup>3</sup>, Denys Breyse<sup>1</sup>,  
Mohamed Amine Allal<sup>2</sup>, Mohamed Achoui<sup>2</sup>, Newfel Besmain<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Univ. Bordeaux, I2M, UMR 5295, F-33400 Talence, France. ([franck.taillandier@u-bordeaux.fr](mailto:franck.taillandier@u-bordeaux.fr))

<sup>2</sup> Université A. Belkaid, département de Génie civil, Faculté de technologie, Tlemcen, Algerie.  
([hamzaouifethi@yahoo.fr](mailto:hamzaouifethi@yahoo.fr))

<sup>3</sup> UMR IDEES -Université de Rouen -7 rue Thomas Becket, 76100 Mont-Saint-Aignan

---

**RESUME** : Les projets de construction sont soumis à de nombreux risques et leur maîtrise est un enjeu important. Pour y répondre, 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'. Mais la simulation d'un projet de construction par SMACC nécessite de renseigner de nombreuses informations quant au projet et aux risques susceptibles de l'affecter. Or, nos précédents travaux ne se sont pas intéressés au processus d'instanciation du modèle à partir d'un projet réel. Cet article présente donc une approche se plaçant en amont de SMACC permettant d'instancier les agents du modèle et de les évaluer avec un focus particulier sur les agents 'risques'. Cette approche est basée sur la combinaison entre approches de gestion de projet et la méthode de sûreté de fonctionnement MADS MOSAR (Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques). Cette approche est appliquée à un cas réel : la construction d'un barrage route sur l'oued TAHT à Mascara en Algérie.

**MOTS CLE**: Projets de construction, Management des risques, MADS MOSAR, SMACC

**ABSTRACT** : Construction projects are subject to numerous risks and their management is an important issue. To meet this challenge, we developed SMACC (Stochastic Simulation for Multi-Agent Construction Project), a construction project simulation tool based on an agent-based approach and considering project risks. But, the simulation of a construction project by SMACC requires many specific information about the project and the risks that may affect it. However, our previous work were not interested in the instantiation process of the model from a real project. This paper presents an approach being placed upstream of SMACC for instantiating the agents of the model and evaluating them with a focus on risks. This approach is based on the combination of project management approaches and MADS MOSAR (Organized Method of Systemic Risk Analysis). It is applied to a real case: the construction of a vault on Wadi TAHT in Mascara in Algeria.

**KEY WORDS**: Construction Projects, Risk Management , MADS MOSAR, SMACC

## 1. Introduction

Les projets de construction sont soumis à de nombreux risques, qui peuvent avoir un impact très important quant à la réussite du projet ; un projet de construction sera réussi s'il atteint trois objectifs fondamentaux : respecter le budget, respecter le délai de réalisation et livrer un ouvrage ayant des caractéristiques au moins aussi bonnes que celles initialement prévues. Ainsi, une bonne maîtrise des risques est indispensable à l'atteinte de ces objectifs. Pour répondre à cet enjeu, nous avons déjà, lors de nos travaux précédents, développé SMACC (Stochastic Multi-agent simulation for Construction projeCt), un outil de simulation de projet de construction considérant les risques et basé sur l'approche 'Agent' [TAI 14] [TAI 16]. Il permet de simuler différents scénarii en prenant en compte les différents risques et de tester différentes stratégies de réduction des risques. Mais la simulation d'un projet de construction par SMACC nécessite de renseigner de nombreuses informations spécifiques au projet et aux risques susceptibles de l'affecter. Or, nos précédents travaux ne se sont pas intéressés au processus d'instanciation du modèle à partir d'un projet réel ; il n'existe pas de méthode ou d'outil, permettant, à partir d'un projet réel, de remplir toutes les informations nécessaires à SMACC. Ce point est notamment particulièrement important en ce qui concerne l'identification et l'évaluation des agents risque du modèle (*Facteur de risque* et *Evènement risqué*).

Cet article présente une approche plaçant SMACC dans un processus plus global permettant d'instancier les agents du modèle et de les évaluer et de s'intéresser aux actions de maîtrise des risques. Cette approche est basée sur la combinaison entre SMACC, des approches de gestion de projet et la méthode de sûreté de fonctionnement MOSAR (Méthode Organisée Systémique d'Analyse des Risques). Nous présenterons la démarche retenue ainsi que son application à un cas réel : la construction d'un barrage voute à Oued Taht à Mascara en Algérie.

## 2. Approche

### 2.1. Démarche proposée

La simulation d'un projet par SMACC nécessite d'abord une identification de tous les agents du modèle. La démarche proposée (Figure 1) passe par plusieurs étapes. Les agents "activités et produits" sont identifiés par une WBS, l'agent "acteur" est identifié par une décomposition organisationnelle, les agents "ressources et compétences" sont identifiés par une RBS, et les agents "facteurs de risque et évènements risqués" sont identifiés par la méthode MOSAR. Ensuite on passe au processus d'instanciation de tous ces agents dans SMACC, enfin une action de maîtrise des risques traduite par une liste de barrières de sécurité est proposée en fonction des résultats de la simulation.

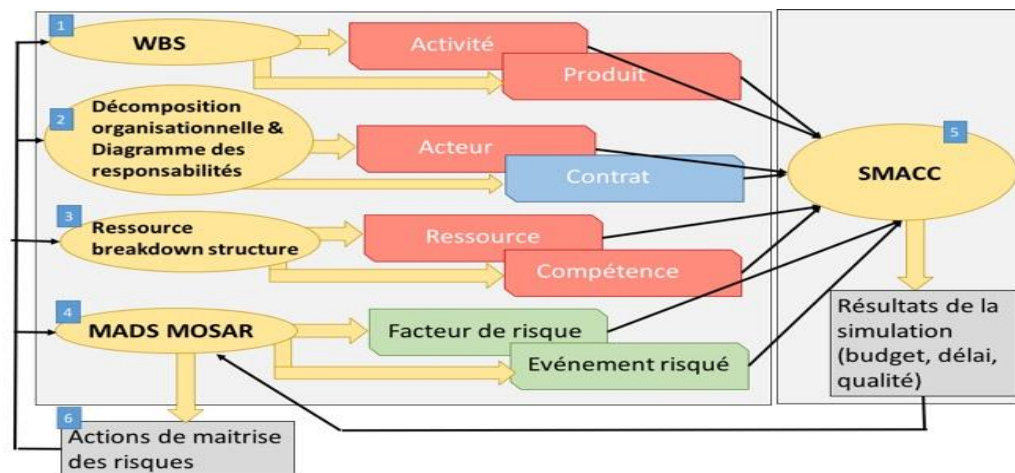


Figure 1. Démarche proposée

### 2.2. Méthode MOSAR

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]. La méthode MOSAR, initialement conçue pour les installations industrielles, fait appel à une modélisation systémique du système (ici, le projet de construction) pour en identifier

les risques et les évaluer. Cette méthode se décompose en deux modules A et B, le premier étant une analyse macroscopique du système et le second étant une analyse microscopique. Dans le cadre de ce travail, il s'agira de mettre en œuvre le module A appliqué aux projets de construction. Il nous est impossible de développer ici complètement la démarche mais il nous semble judicieux de détailler certaines phases pour montrer l'efficacité de la méthode qui va consister essentiellement à identifier les dysfonctionnements de nature technique et opératoire (opérationnelle, relationnelle, organisationnelle) dans un projet de construction dont l'enchaînement peut conduire à des événements non souhaités par rapport à des cibles (acteurs, ressources humaines, compétences...).

La méthode MOSAR suit 8 étapes successives : (1) Modélisation du système étudié et décomposition en sous-systèmes, (2) Identification des sources, (3) Association des événements, (4) Construction des processus, (5) Construction des scénarios, (6) Construction des arbres logiques, (7) Identification des mesures de maîtrise des risques et (8) Identification des mesures de pérennité.

MOSAR fait appel à la modélisation systémique car après avoir décomposé l'installation en sous-systèmes et recherché systématiquement les dangers présentés par chacun d'entre eux, ces sous-systèmes sont remis en relation pour faire apparaître des scénarios de risques majeurs. Cette partie est une APR (Analyse préliminaire des risques) évoluée car elle ne se contente pas de passer l'installation au crible de grilles préétablies issues du retour d'expérience. Elle construit, à partir d'une modélisation des différents types de dangers par le modèle MADS (Méthodologie d'analyse de dysfonctionnement des systèmes), les scénarios possibles. La recherche systématique de barrières permet de neutraliser ces scénarios et leur qualification dans le temps en assure la pérennité.

### 2.3. Couplage MOSAR/SMACC

Les scénarios obtenus par MOSAR seront retranscrits en agents *Facteur de risque* et *Evènement risqué* dans SMACC. SMACC sera alors utilisé dans un second temps pour évaluer les conséquences des aléas sur le projet et anticiper ses éventuelles dérives en matière de coût de délai et de qualité, et proposer des barrières de sécurité (technologiques, fonctionnelles ou organisationnelles). La recherche systématique de ces barrières permet d'orienter les chefs de projets vers les meilleures décisions et de définir une stratégie de maîtrise des risques.

## 3. Application

### 3.1. Présentation du cas d'étude

Le site du barrage Oued Taht se situe à proximité du village d'Ain Farah, au sud du chef lieu de la wilaya de Mascara. Il servira à l'alimentation en eau potable des communes de Ain Farah et Oued El Abtal, ainsi qu'à l'irrigation du périmètre de Kechout. C'est un barrage de type voûte en béton conventionnel vibré qui a pour hauteur maximale 44m et une longueur de 175 m. Le coût prévisionnel du projet était estimé à 2.5 milliards de dinars algériens (environ 26 M€) pour un délai prévisionnel de 24 mois. Le projet a officiellement commencé le 07/12/2011. Les intervenants sont le maître d'ouvrage (ANBT), le groupement d'entreprises des travaux (SEROR et HYDRO), le groupement des bureaux d'études d'exécution, assistance technique et surveillance des travaux (EUROESTUDIOS et le Contrôle Technique Hydraulique)

### 3.2. Définition des agents projet

Pour identifier et évaluer les agents liés au projet, nous avons utilisé une WBS qui est un arbre représentant une liste structurée de tous les travaux du projet. Cette méthode est intéressante pour l'appréhension globale de la structure chronologique du projet. La figure 2 expose la WBS du projet de barrage.

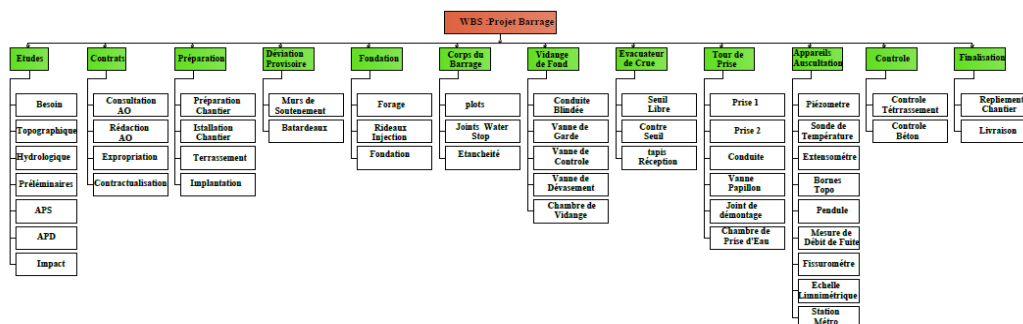
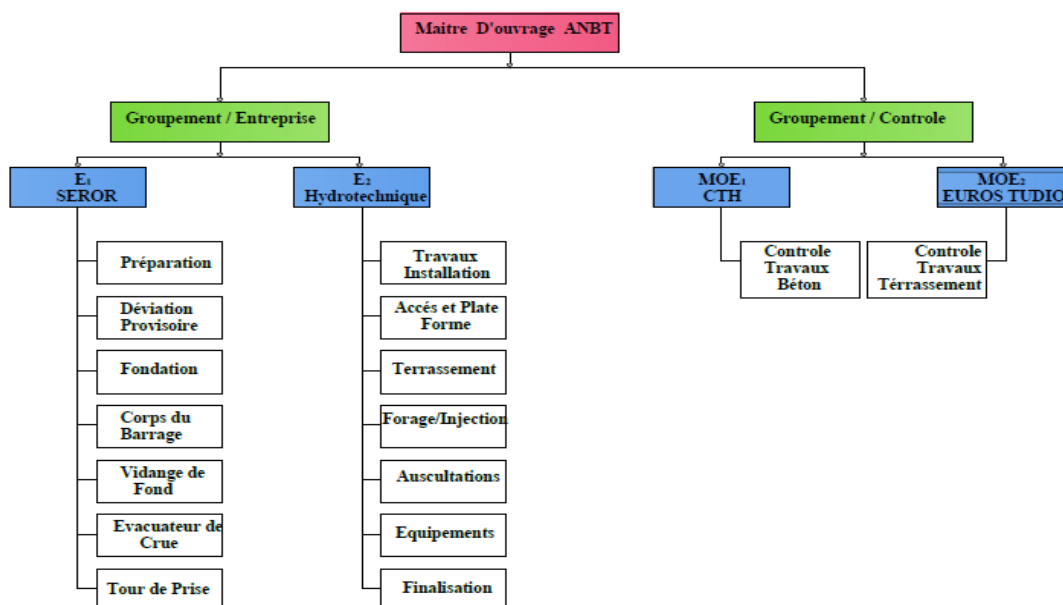


Figure 2 : Décomposition chronologique du projet (WBS)

La structure organisationnelle (figure 3) présente les différentes interfaces entre les acteurs du projet et permet de les mettre en lien avec les activités. En complément des WBS et de la décomposition organisationnelle, nous avons utilisé une « *resource breakdown structure* » et un diagramme des responsabilités, pour identifier et évaluer les différents agents projet.



**Figure 3 :** *Décomposition organisationnelle du projet*

Le tableau 1 indique le nombre d'agents de chaque type ayant été identifiés pour la modélisation SMACC. On a regroupé les 50 activités de la figure 2 en 27 activités opérationnelles, 27 activités de commandement correspondantes et 22 produits. Nous avons identifié 5 acteurs selon la figure 3 : deux entreprises de réalisation, deux bureaux de suivi et contrôle et un maître d'ouvrage. Notre « *resource breakdown structure* » n'est pas représentée dans ce travail, mais elle se compose de 27 ressources humaines, 46 ressources matérielles et 90 compétences.

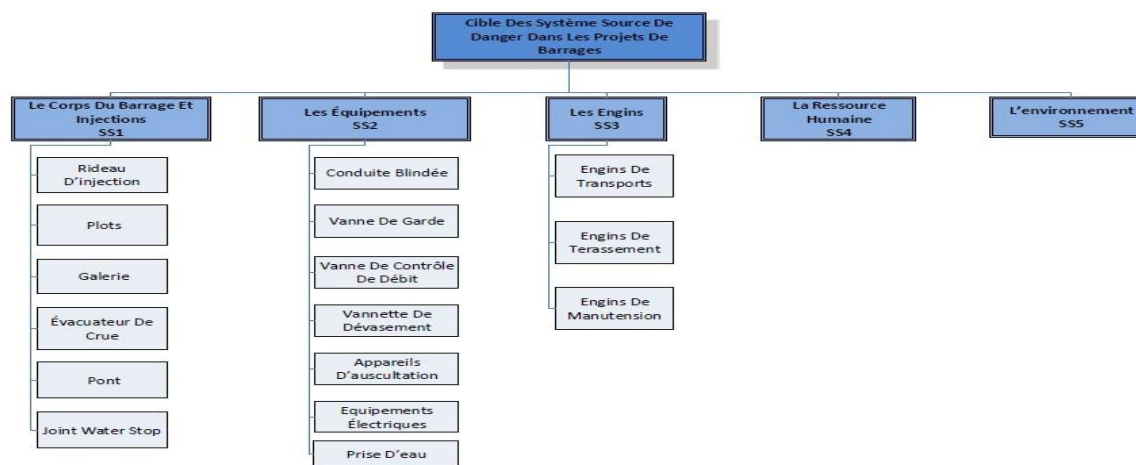
**Tableau 1.** *Agents utilisés pour l'application*

Famille Agent	Agent
Activité	54
Acteur	05
Ressource	73
Compétence	90
Produit	22

### 3.3. Application de MOSAR

#### 2.3.1. Décomposition du système en sous-systèmes

La mise en œuvre de la méthode MOSAR passe par la décomposition du système à étudier en sous-systèmes ; la décomposition présentée en figure 4 a été retenue, répondant à trois conditions [PER 12] : (1) les sous-systèmes répondent aux cinq critères d'un système (structure, fonction, finalité, évolution et environnement) selon le modèle canonique de [LEM 94], (2) chacun doit être homogène et (3) leur nombre doit être le plus limité possible, en tout cas inférieur ou égal à 12.



**Figure 4** Décomposition du système barrage en cinq sous-système source de danger [ACH 14]

### 2.3.2. Identification des sources de danger

La source de risque représente le danger potentiel susceptible de générer un flux pouvant impacter une cible. La méthodologie MOSAR consiste à identifier toutes les sources, sous-système par sous-système pour obtenir une liste de dangers de projet. Pour effectuer ce travail, on lit chaque sous-système à travers la grille de typologie des systèmes sources de danger [PER 12]. Pour notre cas d'étude, nous avons défini une liste identifiant les systèmes sources de danger dans le projet de barrage : (A) Systèmes sources de dangers liés à l'environnement actif, (B) Systèmes sources de dangers provenant de l'environnement social et économique, (C) Systèmes sources de dangers d'origine humaine, (D) Systèmes sources de dangers biologiques, (E) Systèmes sources de dangers d'origine mécanique, (F) Systèmes sources de dangers liés à la conception de l'ouvrage, (G) Systèmes sources de dangers liés à la réalisation de l'ouvrage, (H) Systèmes sources de dangers liés aux équipements et (I) Systèmes sources de dangers liés aux fournisseurs.

Une fois les sources identifiées, il faut leur associer des événements, conformément au modèle MADS (*Méthodologie d'analyse de dysfonctionnement des systèmes*), élaboré dans les années 1980 par un groupe d'ingénieurs du CEA (Commissariat à l'énergie atomique) et d'universitaires de l'IUT de sécurité de Bordeaux, qui est en fait une modélisation systémique générale du danger mise en œuvre ici de manière spécifique dans la méthode MOSAR. On distingue [GRA 12] :

- L'événement initial (EI) : c'est l'événement redouté lié à la source
- Les événements initiateurs internes (EII) : ce sont les événements internes propres à la source et qui peuvent initier à eux seuls l'occurrence EI.
- Les événements initiateurs externes (EIE) : ce sont les événements extérieurs à la source de danger et qui peuvent initier à eux seuls l'occurrence EI.
- Les événements principaux (EP) : ce sont les flux générés par l'occurrence de l'EI et qui peuvent produire des effets sur des cibles.

On va rechercher les événements qui constituent les processus de danger pour aboutir à un ou plusieurs événements principaux. Ces événements peuvent être d'origine interne ou externe au système source de danger. La chaîne événements initiateurs – événements initiaux produit des événements principaux. Ensuite construire un processus, c'est associer une source à une cible via un flux. Dans l'application de MADS-MOSAR, cette association doit être automatique, réalisée par simple lecture des processus. Ce travail est une simple compilation d'association des événements qui n'est pas présentée dans ce travail. En effet, cette étape consiste à isoler chaque sous-système. Les processus sont représentés sous formes de boîtes noires dont les entrées sont les événements initiateurs d'origine externe ou interne et les sorties sont les événements principaux.

Il s'agit alors de générer des scénarios courts. Il faut maintenant combiner les événements d'entrée entre eux, les événements de sortie entre eux et identifier les retours en bouclage des événements de sortie et des événements d'entrée. Après la génération des scénarios courts de chaque sous-système, nous allons mettre toutes les boîtes noires sur le même plan, dont il est possible de relier les sorties de certaines boîtes qui sont de même nature que les entrées d'autres boîtes. Par conséquent, nous pouvons obtenir des scénarios longs d'enchaînements

d'événements. La figure 5 schématise succinctement toutes les possibilités d'enchaînement de scénarios qui exposeront le sous-système SS1 à un danger.

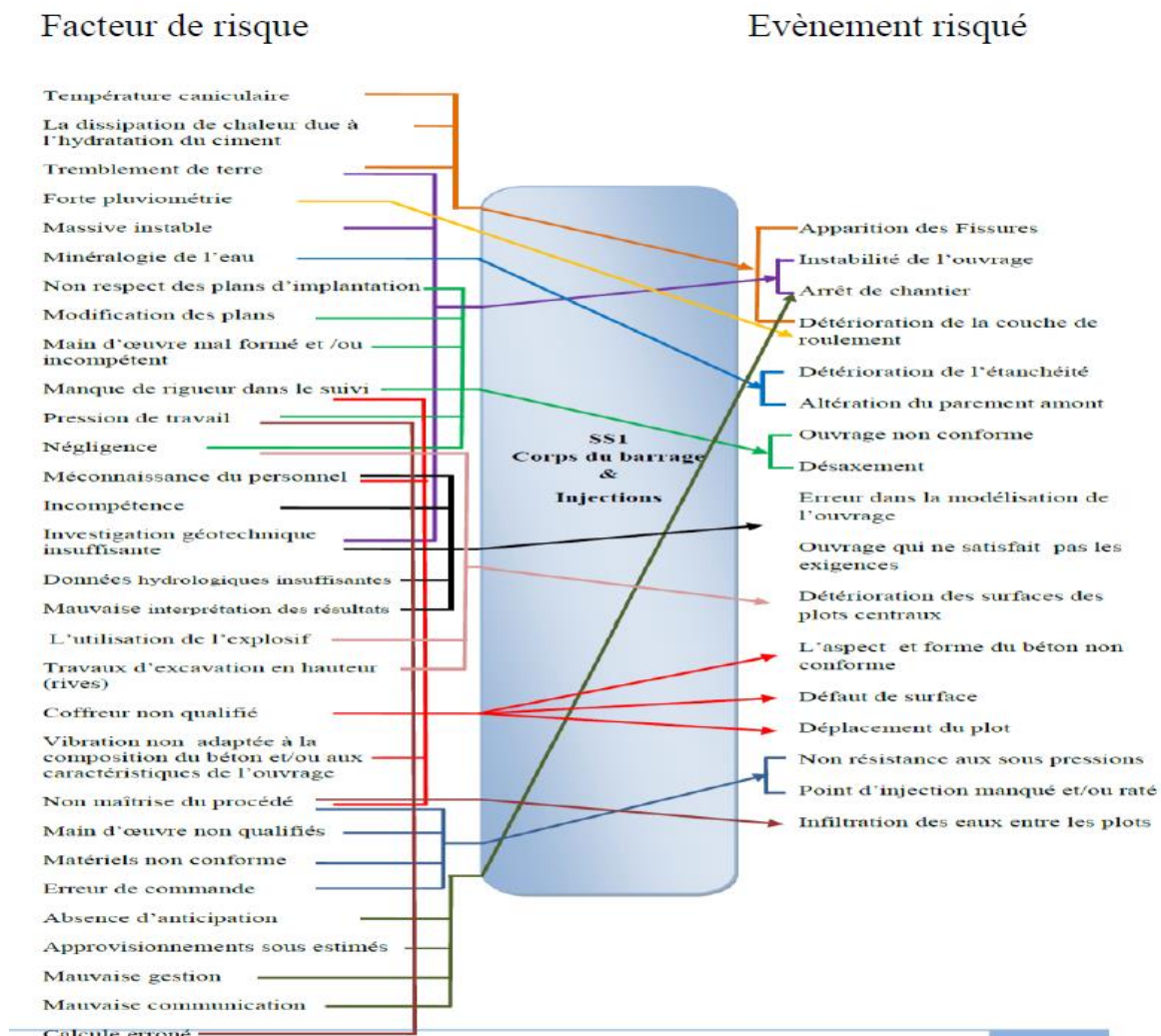


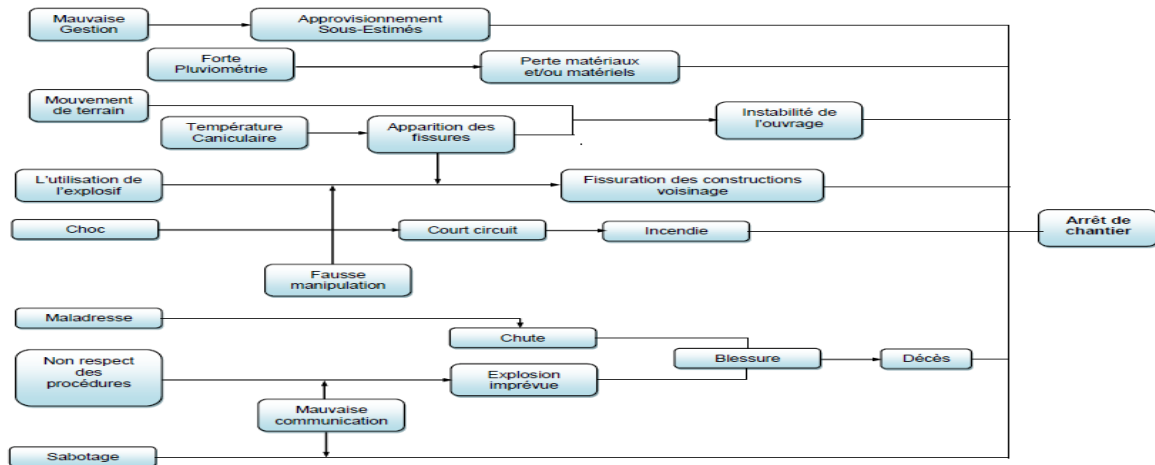
Figure 5 Scénario SS1 [ACH 14]

Nous remarquons dans la figure qu'un groupe de facteurs de risque comme par exemple (*approvisionnement sous-estimé, mauvaise gestion, mauvaise communication*) peuvent engendrer un ENS (Evènement Non Souhaité) comme l'*Arrêt de chantier*, ce qui nous permettra d'en faire par la suite l'ossature des arbres logiques montrant l'enchaînement de tous les événements conduisant à un ENS.

### 2.3.3. Construction des arbres logiques

Toujours à partir du principe qu'un scénario est un enchaînement de processus, il est alors possible, en appliquant MADS-MOSAR, de construire des arbres logiques. Un arbre logique est, par exemple, l'ensemble des scénarios qui aboutissent à une même cible (arbre des causes) et l'ensemble des scénarios qui sont générés à partir de cette cible qui devient alors source (arbres des conséquences). Dans notre étude de cas, nous nous intéresserons à un type d'arbre logique qui est : *Arrêt de chantier*.

Si l'on met toutes les boîtes noires de SS1 à SS5 sur une même page, il est possible de relier les sorties de certaines boîtes qui sont de même nature que les entrées d'autres boîtes. On obtient ainsi des scénarios longs d'enchaînements d'événements ou aussi scénarios principaux d'ENS. À partir des scénarios, on peut construire, en les rassemblant sur un même événement, un arbre logique qui est la première représentation des événements s'enchaînant pour générer un ENS. Pour notre exemple, on peut rassembler les scénarios (SS1 et SS2) ainsi que quelques scénarios courts conduisant à l'arrêt de chantier, on obtient l'arbre logique représenté sur la figure 6.

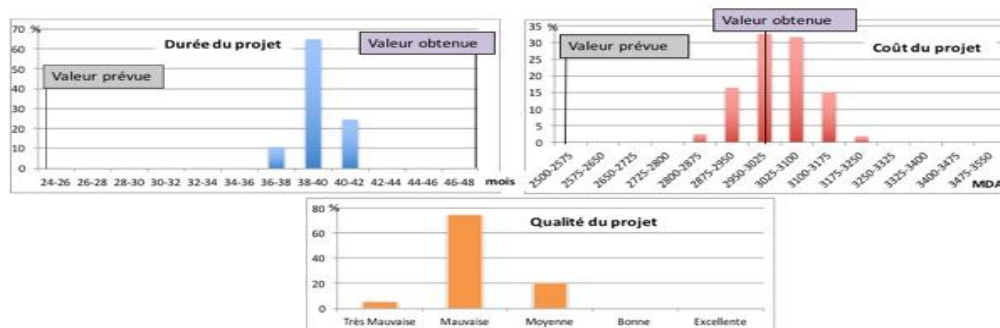


**Figure 6 : Arbres logique arrêt de chantier [ACH 14]**

Nous allons pouvoir retranscrire à partir de tous les scénarios développés, tous les *Evènements risqués* et les *Facteur de Risque* de notre projet dans le processus SMACC ; dans le cas étudié, 72 *Evènements risqués* et 15 *Facteurs de risque* ont été identifiés.

### 3.1. Simulation sous SMACC

Le modèle a été implémenté sous la plate-forme de simulation multi-agent GAMA, qui propose un langage de programmation dédié aux modèles agent. Le monde simulé étant stochastique, un grand nombre de répétitions de la simulation est effectué afin d'avoir un rendu statistique pertinent des résultats. La figure 7 donne ainsi les résultats des 5000 simulations effectuées quant aux distributions obtenues de durée, coût et qualité du projet. Le coût du projet réel est assez bien estimé par le modèle SMACC, puisque le coût du projet réel (3010 MDA) en fin de travaux se retrouve dans l'intervalle le plus probable donné par SMACC. La durée est sous-évaluée par rapport à la durée du chantier réel, mais la prédiction de SMACC est tout de même meilleure que l'estimation initiale (24 mois initialement prévue contre 48 mois sur le projet réel et 38-40 mois pour l'intervalle le plus probable sous SMACC). Cette différence est similaire à celle obtenue sur le projet de construction d'une trémie à Tlemcen exposé dans [TAI 16]. Cela peut signifier une difficulté de SMACC à simuler les risques conduisant à des écarts extrêmement importants par rapport aux estimations. Ce point nécessiterait ainsi une analyse approfondie. La qualité du projet tend du côté du '*mauvais*', ce qui est représentatif du projet réel, même si ce critère est plus difficilement évaluable.



**Figure 7 : Résultats de la simulation par SMACC**

### 3.2. Identification des mesures de maîtrise des risques

À ce stade de MADS-MOSAR, on a une vision la plus exhaustive possible des scénarios redoutés. Cette étape de l'analyse a pour objectif de les maîtriser. D'un autre côté SMACC nous permet de faire un constat sur

d'éventuelles dérives importantes de ces objectifs par rapport à ce qui était prévu lors de la phase de lancement du projet, ceci nous conduit à réviser l'analyse antérieure. Cette analyse porte sur une démarche préventive et protectrice et se traduit par une liste de barrières de sécurité technologiques (BT) ou d'utilisation (BU) qui permettra de neutraliser ces scénarios. Le Tableau 2 illustre les barrières identifiées pour l'arbre logique relatif à l'arrêt de chantier.

**Tableau 2.** *Identifications des barrières pour le scénario arrêt de chantier*

Scénarios longs	EIE / EII	Barrières		Typologie associé aux barrières
		Type	Action	
Arrêt de chantier	-Mauvaise gestion -Approvisionnement sous estimé -Mauvaise communication	BU BT	Appliquer un management de projet efficace et efficient	Formation Procédure Document
			Utiliser le retour d'expérience (Feed back)	
			Maitriser la qualité selon la norme ISO 9001	
	-Massive instable -Température caniculaire -La dissipation de la chaleur due à l'hydratation du ciment	BU BT	Utiliser les coulis d'injection	Disposition constructive Contrôle technique
			Augmenter la profondeur de l'ancrage des fondations	
			Maitriser la température de l'eau de gâchage	Procédure
			Maitriser le procédé de bétonnage	
			Installer un serpentin de refroidissement dans les plots	
Arroser les surfaces en contact avec l'air après le bétonnage				
Arrêt de chantier	-Choc -Incendie	BT	Utiliser un équipement électrique nouveau	Maintenance
			Installer les détecteurs incendie	Surveillance
	-Non respect des consignes de sécurité	BU	Respecter le plan hygiène et sécurité	Procédure
			Sensibiliser le personnel des moyens généraux	Sensibilisation
	-Forte pluviométrie -L'utilisation de l'explosif -Fausse manipulation	BU	Assurer une bonne installation de chantier	Procédure
			Assurer le chantier (un contrat d'assurance)	consigne
			Respecter la quantité de la dynamite mentionnée dans le rapport de l'expertise de l'ingénieur des mines	
			Former la main d'œuvre qui participe à l'installation de l'explosif	Formation

#### 4. Conclusion

L'approche proposée dans cet article combine des concepts issus de l'ingénierie des systèmes et de la maîtrise des risques avec une simulation au moyen d'une plate forme multi-agents. A travers la méthode MOSAR, nous arrivons à identifier les scénarios de défaillances (pour notre cas arrêt de chantier) et nous appréhendons les événements risqués causant ces scénarios, ces derniers seront retranscrits en agents Facteur de risque et Évènement risqué dans SMACC, ceci nous permettra d'évaluer les conséquences sur le projet en terme de coûts, délais et performances techniques. A la fin une démarche préventive et protectrice est mise en œuvre, elle est traduite par une liste de barrières de sécurité technologiques ou d'utilisation qui permettra de neutraliser ces scénarios.

#### 5. Bibliographie

- [ACH 14] ACHOUI Mohammed& Amin BENSMAIN Newfel : « Management des risques dans les projets de barrages par la méthode MADS-MOSAR : « Cas de barrage voûte mince d'oued Taht Wilaya de Mascara »PFE, université de Tlemcen,Algerie,juin 2014.
- [GRA 12]. GRANDAMAS O. « Méthode MADS-MOSAR pour en favoriser la mise en oeuvre», Techniques de l'Ingénieur, (se4062).France,2012.
- [LEM 94] LE MOIGNE J.L., – Théorie du Système Général, théorie de la modélisation. Éd. PUF, Paris (4e édition) ,1994.
- [PER 12] PERILHON P. « MOSAR-cas industriel», Techniques de l'Ingénieur, (se4061).France, 2012.
- [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.
- [TAI 16] TAILLANDIER F., TAILLANDIER P., HAMZAOUI F., BREYSSE D., «A new agent-based model to manage construction project risks – application to the crossroad of Bab El Karmadine at Tlemcen ». *Published online in European Journal of Environmental and Civil Engineering*, DOI: 10.1080/19648189.2015.1134675, 25 Jan 2016 .
- [WAL 03] Walewski J., Gibson E., International projectriskassessment: Methods, procedures, and critical factors, Technical report, Center Construction Industry, 2003.