

État de l'ingénierie de systèmes dirigée par les modèles

Résultats d'une enquête de l'OMG™ sur SysML

Mary Bone et Robert Cloutier

Résumé : L'Object Management Group (OMG™) a lancé en juillet 2009 une enquête. Au lieu de recourir à son approche habituelle de la publication des résultats d'enquête et de les afficher sur son site Web, l'OMG a choisi, comme seule méthode de réponse à l'enquête, un mécanisme d'enquête en ligne. Le présent article résume les principaux enseignements tirés des données recueillies sur l'utilisation de SysML et sur l'ingénierie de systèmes dirigée par les modèles (ISDM). L'approche de l'enquête ainsi que les recommandations découlant des résultats de l'enquête sont aussi discutés.

Mots clés : ingénierie de systèmes, ISDM, SysML, enquête

1. INTRODUCTION

L'Object Management Group (OMG™) a publié en novembre 2008 la version 1.1 de la norme OMG SysML™ (abrégée en SysML dans la suite du présent article). Selon cette version la portée est de « spécifier le langage de sorte que les spécialistes d'ingénierie de systèmes puissent apprendre à appliquer et utiliser SysML, que les vendeurs d'outils puissent mettre en œuvre SysML et y apporter un support et que ces deux catégories d'acteurs puissent apporter un retour en vue d'améliorer les futures versions [1] ». Pour permettre aux modeleurs et vendeurs d'outils d'atteindre le but d'apporter un retour afin d'améliorer les futures versions de SysML, l'OMG, en juillet 2009, a lancé une consultation, sous la forme d'une enquête en ligne, auprès de la communauté de l'ingénierie de systèmes. Entre autres, les buts de l'enquête étaient de déterminer :

- Comment SysML et l'ingénierie de système dirigée par les modèles (ISDM) sont utilisés.
- Qui utilise SysML.
- Ce que les ingénieurs aiment ou n'aiment pas dans SysML et l'ISDM.
- Quels apports les praticiens peuvent-ils fournir en matière de méthodes, outils, formation et mesures relatifs à SysML.
- Quels outils sont utilisés.
- Ce qui fonctionne et ne fonctionne pas dans SysML et l'ISDM.

2. MÉTHODE

L'enquête a été menée en utilisant l'outil intitulé SurveyMonkey.com. Elle était ouverte à tous et un lien Internet a été diffusé au moyen de divers canaux, dont le courrier électronique (listes et personnes individuelles), les groupes de forums en ligne, les groupes LinkedIn et le bouche à oreille. L'enquête a provoqué 128 réponses provenant de 16 pays différents. Les contributeurs représentaient 45 entités distinctes. 61 % d'entre eux étaient des ingénieurs spécialistes de l'ingénierie de systèmes, 17 % des ingénieurs spécialistes du logiciel et les 22 % restants correspondaient à diverses fonctions (états-majors, directions générales, autres disciplines et universitaires).

L'enquête a comporté deux parties. La première visait à comprendre la valeur et l'efficacité globales de SysML. Cette partie contenait 22 questions sur le langage SysML, dont son utilisation, son efficacité, les recommandations et les problèmes. Chaque question constituait une occasion de recommander des solutions ou de nouvelles possibilités. La seconde partie, facultative, contenait 39 questions et était focalisée sur la façon dont SysML était utilisé pour assister l'ISDM ; ces questions portaient notamment sur les mesures, la formation, les outils et des retours de projets. Plus de 80 % (104 sur 128) des personnes consultées ont choisi de remplir les deux parties de l'enquête. Toutefois, celles qui ont rempli la partie 2 ont sélectionné les questions auxquelles elles ont répondu, et le nombre de réponses le plus élevé obtenu pour chaque question prise individuellement a été de 63.

La première partie contenait 22 questions alors que la seconde contenait un total de 39 questions, pour un total de 61 questions dans l'enquête. Ces questions pouvaient être ouvertes ou fermées. Seules deux questions devaient avoir une réponse pour l'ensemble de l'enquête : 1) Les coordonnées de l'auteur de la réponse 2) Souhaitez-vous continuer avec la partie 2. Ceci veut-dire que toutes les autres questions étaient facultatives et que, par conséquent, le nombre de réponses a varié selon les questions.

3. RÉSUMÉ DES ENSEIGNEMENTS TIRÉS DES DONNÉES DE L'ENQUÊTE

Ce qui va suivre constitue une analyse des principaux enseignements tirés des données de l'enquête. Ces enseignements reposent uniquement sur l'analyse des données recueillies et, sauf indication contraire explicite, ne représentent pas l'opinion des auteurs. Dans l'analyse des données, chaque question a été prise au pied de la lettre (c'est-à-dire 54,3 % des réponses étaient OUI) puis les questions étaient croisées les unes avec les autres. Des exemples de croisements effectués sont les suivants :

- Comment la formation (type et durée) affecte-t-elle globalement les réponses.
- En quoi le rôle de l'auteur des réponses affecte-t-il globalement les réponses.
- En quoi le type d'outil utilisé affecte-t-il les réponses.
- En quoi le moment du cycle de vie où SysML a été appliqué affecte-t-il les réponses.
- Comment la taille du projet affecte-t-elle les réponses.

En plus des croisements, les réponses ont été filtrées dans le but de voir si certaines tendances étaient évidentes. Par exemple, les réponses qui donnaient à « Block Definition Diagram » une valeur basse ont été filtrées pour voir si ce groupe de réponses était différent de la moyenne globale des réponses aux questions de l'enquête.

En dehors de tout classement, les enseignements de l'enquête sont les suivants :

1. La perception est que les méthodes et modèles de l'ISDM ont aux yeux de l'équipe d'ingénierie de systèmes une note moyenne-haute (taux de satisfaction de 4,23 sur 5,00). La satisfaction globale concernant l'ISDM a reçu une note moyenne-haut (3,77 sur 5,00). L'ISDM a aussi reçu une note moyenne-haut quant à son avantage global sur les projets (3,89 sur 5,00). Cela reviendrait à dire que le niveau global de satisfaction relatif à l'ISDM est moyen-haut (4,00 sur 5,00). Ce fait devrait être pris en considération lors de modifications. Tout problème relatif à l'adoption et à l'utilisation de l'ISDM peut se situer en dehors de l'ISDM et de SysML.

2. Les diagrammes de définition de bloc (BDD) et les diagrammes de blocs internes (IBD) sont les plus utilisés et les mieux notés. Toutefois, les réponses indiquent aussi qu'ils sont les diagrammes les plus difficiles à comprendre pour les donneurs d'ordre. Les réponses aux questions ouvertes ont indiqué que les donneurs d'ordre ont eu du mal à comprendre l'utilisation des ports et des interfaces. Si les BDD et les IBD constituent la majeure partie des éléments présentés aux donneurs d'ordre, ces derniers n'étant pas à l'aise avec les ports et les interfaces, le résultat peut être que les donneurs d'ordre ne sont pas satisfaits de l'ISDM.

3. La résistance générale au changement a été identifiée comme étant le frein le plus important (voir Figure 1) à l'adoption de l'ISDM. Le second frein le plus important coché a été « Autre ». Cette rubrique contenait de nombreux commentaires sur les outils et la facilité d'apprentissage de tous les aspects requis pour appliquer SysML. L'idée que l'ISDM et SysML requièrent une courbe d'apprentissage ardue est un thème rencontré tout au long de l'enquête en réponse aux questions ouvertes. Il était indiqué que pour appliquer l'ISDM il fallait apprendre, outre l'ISDM, un outil et une méthode.

Culture et résistance générale au changement	3,96
Autres	3,88
Absence de soutien de la part du management	3,30
Coût initial	3,27
Outils de modélisation	3,19
Formation à l'ISDM	3,08
Méthode de modélisation, pratiques, etc	2,97
Langage de modélisation	2,35
Nombre de diagrammes	2,09

Figure 1 : Les freins à l'adoption de l'ISDM

4. Le recours à l'ISDM intervient principalement (55,2 %) comme moyen pour améliorer les activités d'ingénierie de systèmes, bien que les entreprises n'aient pas accepté officiellement l'ISDM dans leurs procédures. Les résultats de l'enquête ont montré que seulement 4,4 % des réponses mentionnaient que l'ISDM était utilisée en raison des procédures de l'entreprise, ce qui vraisemblablement indique que l'ISDM n'a pas été largement intégrée dans les procédures des entreprises. Le domaine d'application de l'ingénierie de systèmes qui incite à l'utilisation de l'ISDM est l'amélioration de la qualité des exigences et de la conception afin de réduire les défauts dans les phases ultérieures du cycle de vie (72 % des réponses indiquaient ceci comme le premier but du modèle).

5. Le volume ou l'absence de formation ne semblent pas, en fonction des données recueillies, influencer sur la position des auteurs des réponses vis-à-vis de l'ISDM et de SysML. La seule différence entre ceux qui ont eu une formation et ceux

qui n'en ont pas eu (y compris l'autoformation) est que, lorsqu'il est demandé à ceux n'ayant pas reçu de formation quels sont les freins, ces derniers notaient les freins en moyenne plus haut que ceux qui avaient reçu une formation. Ceux qui n'avaient pas reçu de formation notaient le soutien à l'utilisation de SysML de la part des clients, de la direction et des donneurs d'ordre le plus bas (2,94 sur 5,0) comparé à la moyenne des réponses (3,62 sur 5,0) venant de ceux qui avaient reçu une formation.

6. Les bénéfices de l'ISDM apportés globalement à un projet décroissent lorsque l'ISDM est introduite tard dans le projet (voir Figure 2). Il ne doit pas en être déduit que ceux qui ont commencé à utiliser SysML bien après le démarrage du projet auraient globalement une expérience bien moindre, car ces derniers avaient des réponses comparables pour la plupart des autres questions telles que les valeurs des diagrammes ou l'expérience des outils.

Étape pré-proposition/Proposition	4,30
Au début du projet	3,75
Bien après le début du projet	3,40

Figure 2 : Bénéfice moyen de l'ISDM en fonction du moment de l'introduction de SysML

7. Plus d'un tiers (36,7 %) des personnes ayant répondu n'avaient reçu aucune formation (ou étaient autodidactes). Cependant, comme déjà mentionné, cela ne semblait pas affecter globalement les réponses sur la valeur et l'efficacité de l'ISDM et de SysML. Toutefois, les personnes qui n'avaient reçu aucune formation ont aussi affirmé qu'elles avaient un support moindre de la part de leurs clients, directions et donneurs d'ordre (voir Figure 3) ; ce qui peut indiquer que pour recevoir une formation il est important d'avoir une assistance de la part des donneurs d'ordre, directions et clients. Ceci mérite d'être étudié plus à fond pour déterminer la corrélation entre formation et assistance de la part des donneurs d'ordre, directions et clients.

Formation à la méthode ISDM	3,68
Formation à l'outil	3,62
Formation à SysML	3,56
Aucune formation	2,95

Figure 3 : Assistance à SysML par type de formation

8. À la question « Doit-il y avoir une mise à jour de SysML dans les trois prochaines années ? » les réponses ont été sensiblement pour moitié oui (55,4 %) et non (44,6 %). Un croisement avec le rôle des auteurs des réponses a montré que les personnes engagées dans la modélisation, en moyenne, préconisaient une mise à jour alors que celles qui étaient membres de l'équipe de modélisation sans être modéleur ou de l'équipe de direction, en moyenne, n'étaient pas en faveur d'une mise à jour. En s'appuyant sur les réponses, les auteurs estiment que la raison de cette position peut être due à la perception d'une courbe d'apprentissage ardue requise pour apprendre SysML ainsi qu'au souci qu'une révision peut impacter les outils SysML.

	OUI	NON
Modéleur	17	12
Chef de projet	5	6
Consultant	5	2
Membre de l'équipe de modélisation sans être modéleur	1	3

Figure 4 : Réponses à la question d'une révision significative dans les trois années à venir

9. À la question « Dans quelle mesure envisagez-vous d'utiliser SysML dans votre entreprise dans le futur ? » 71,3 % des personnes ont répondu que leur entreprise soit utilisait déjà soit envisageait d'intégrer SysML dans leurs pratiques. Ceci montre qu'il y a, dans les entreprises, un fort désir de continuer à utiliser SysML. Ceci peut constituer une indication de la valeur que ceux qui l'utilisent estiment être apportée par SysML.

10. La majorité des réponses à l'enquête (voir Figure 5) indiquent que SysML est utilisé dans des systèmes à grande échelle (avionique, spatial, défense, etc.) Même si le projet lui-même est petit, les systèmes qui sont développés ou intégrés sont du style grande échelle. Le type de projets auxquels SysML est appliqué (67,3 %) correspond à des projets comportant au maximum 100 personnes quelle que soit la phase du projet considérée (et non pas la seule phase de modélisation). La durée des projets pour 53,6 % d'entre eux est comprise entre un mois et trois ans.

Espaces	23,2
Avionique	19,6
Défense	19,6
Autres	16,1
Automobile	7,1

Informatique	7,1
Médical	7,1

Figure 5 : Répartition des projets par type de systèmes

11. L'enquête montre que SysML n'est pas utilisé uniquement par les seuls ingénieurs systèmes. À la question « Quelles sont les disciplines concernées dans la modélisation SysML (en sélectionner autant que de besoin) » 71,9 % des réponses comportaient génie logiciel, 43,9 % analyse et 38,6 % matériel (voir Figure 6). Avec 29,8 %, le test correspondait à la plus faible proportion. D'autres disciplines peuvent être cochées comme chercheur ou médecin. La proportion de 29,8 % peut indiquer que SysML n'est pas utilisé si tard que cela dans le cycle de vie (Vérification & Validation). Le cas du test devrait être étudié plus à fond dans le but de mieux comprendre les raisons de la faible implication des ingénieurs de test dans SysML. Des explications sont proposées telles que l'arrêt du programme avant la phase de test ou le fait que de nombreux programmes de grande taille n'ont pas de vue sur le test en raison du simple fait que le test est mené par une entité extérieure.

Ingénieurs systèmes	94,7 %
Ingénieurs logiciels	71,9 %
Analystes	43,9 %
Ingénieurs matériels	38,6 %
Ingénieurs de test	29,8 %

Figure 6 : Disciplines impliquées dans la modélisation avec SysML

4. RECOMMANDATIONS

L'enquête suggère que l'un des freins les plus importants à l'adoption de SysML est la courbe d'apprentissage ardue requise pour comprendre SysML. Une réponse à l'enquête indiquait que cette courbe d'apprentissage a une couverture trop grande, car une personne doit apprendre trois sujets séparés pour réussir à utiliser SysML, à savoir le langage SysML lui-même, la méthode (qui peut varier d'un projet à l'autre) et l'outil. En conséquence, la première recommandation serait de développer une formation portant clairement sur chacun des trois sujets mais en les maintenant suffisamment séparés pour pouvoir être distingués de sorte qu'une personne recevant la formation sur l'un des sujets puisse en tirer parti indépendamment des deux autres. Par exemple, la méthode ne devrait pas être liée à l'outil. Une autre recommandation concernant la courbe d'apprentissage est de fournir des exemples de projets réels. Tout au long de l'enquête, via les questions ouvertes, les réponses suggéraient, comme moyen d'adoucir cette courbe d'apprentissage, de fournir des exemples réels sur la façon d'appliquer la méthode. De même qu'il existe plusieurs versions du véhicule hybride sport/utilitaire, les modèles sont incomplets et aucun texte ne décrit le développement du modèle ni le raisonnement sous-jacent aux décisions prises. Une troisième recommandation serait qu'émerge une source de meilleures pratiques. Comme la méthode peut constituer l'un des freins les plus importants à l'adoption et à l'utilisation de SysML et de l'ISDM, le sujet de la méthode et des meilleures pratiques devrait avoir une priorité haute.

L'analyse des données montre que les diagrammes paramétriques et les diagrammes de paquetages semblent être mal compris, en ce sens que la plupart des groupes (en les croisant) n'étaient pas en accord sur la valeur et l'utilisation de ces diagrammes. Les diagrammes paramétriques étaient les moins utilisés de tous les diagrammes. Compte tenu de cette information, il serait recommandé de rechercher le pourquoi de cette situation.

Une autre recommandation reposant sur les données recueillies porte sur les ports, les affectations et les stéréotypes. Ces trois caractéristiques ont été spécifiquement éliminées des questions ouvertes, car mal comprises ou non appliquées correctement. Ceux qui affirmaient les comprendre ont admis que parfois ils n'étaient pas capables de les appliquer correctement ou ne savaient pas s'ils les appliquaient correctement. En conséquence, il serait intéressant de mieux comprendre quels problèmes spécifiques les gens rencontrent lorsqu'ils essaient d'appliquer ces caractéristiques (ports, affectations et stéréotypes) ou lorsqu'ils les expliquent aux clients. La cause de ces problèmes n'a pas été découverte dans l'enquête. En conséquence, la raison de ces problèmes devrait être recherchée.

Une autre recommandation pour faire progresser l'adoption de SysML est de coopérer avec les vendeurs d'outils en vue d'augmenter la maturité et la facilité d'utilisation des outils. De nombreuses personnes ont remarqué que des outils matures tels que Visio de Microsoft étaient capables d'assurer de nombreuses fonctions requises par l'ISDM ; en conséquence, leurs collaborateurs n'étaient pas enclins à passer à un outil spécifique de SysML. Une recherche devrait être conduite pour déterminer les besoins des utilisateurs et ce que ces derniers souhaitent voir dans une interface d'outil.

Les résultats de l'enquête ont montré que le choix d'un vendeur d'outils particulier n'affectait pas la note des questions liées à l'efficacité de l'utilisation de l'ISDM dans un projet, mais qu'il affectait la moyenne globale de la valeur des

diagrammes. Par exemple, ceux qui utilisaient InterCAX ParaMagic (un plugin de MagicDraw) donnaient aux diagrammes en moyenne la note de 4,21 sur 5.0 tandis que ceux qui utilisaient Rhapsody d'IBM donnaient une note de 3,57. Le pourquoi de cette différence ne ressort pas des données.

Un point important que l'enquête a mis en évidence est que les outils de modélisation sont tout à fait importants. Alors qu'ils sont classés comme étant le quatrième frein le plus fort à l'adoption de l'ISDM, les outils sont les seconds en termes de variables pouvant être directement contrôlées. Les deux premiers freins les plus importants étaient le manque de support de la part du management et la résistance naturelle au changement, deux variables qui ne peuvent pas être modifiées directement ; on ne peut que tenter d'influer sur elles.

Une action devrait être lancée pour recueillir des mesures cohérentes et bien définies en matière d'ISDM. L'enquête a montré que des mesures sont bien recueillies mais qu'elles ne sont pas cohérentes et qu'elles ne sont pas recueillies en quantité suffisantes pour pouvoir justifier l'avantage d'utiliser une approche d'ISDM. Aucune réponse n'a donné une preuve solide d'un bénéfice qui serait apporté par l'ISDM. Ceci ne signifie pas qu'une preuve n'existe pas. Seulement 22,6 % des réponses indiquaient que le programme concerné recueillait des mesures.

La dernière recommandation est que soit lancée une série d'enquêtes plus courtes et plus ciblées afin d'arriver à une meilleure compréhension des enseignements obtenus à l'issue de l'enquête initiale. Certains des sujets qui devraient être étudiés davantage comprennent, mais ne devraient pas y être limités : 1) La cause ou les causes de la perception d'une courbe d'apprentissage ardue pour l'ISDM, 2) En quoi les outils affectent l'adoption de SysML et de l'ISDM, 3) Mieux comprendre comment et pourquoi les diagrammes sont utilisés.

Il peut être préférable que ces enquêtes soient conduites par le monde académique plutôt que par l'OMG.

5. CONCLUSIONS

L'enquête de l'OMG a fourni une profusion d'informations sur l'état actuel de SysML et de l'ISDM. Dans l'essentiel, elle a montré que davantage de données doivent être obtenues pour tirer des conclusions précises sur les grandes questions contenues dans l'enquête. Cette enquête devrait être vue comme une porte vers d'autres recherches et enquêtes éventuelles pour mettre en lumière les causes premières des faits mis à jour par l'enquête. Cependant, de nombreuses conclusions générales peuvent être tirées de l'enquête en ce qui concerne SysML et l'ISDM.

RÉFÉRENCE

[1] OMG : OMG Systems Modelling Language (OMG SysML™), version 1.1, 2008

Biographies

Robert Cloutier est maître de conférences en ingénierie de systèmes au Stevens Institute of Technology ainsi qu'au Buskerud University College à Kongsberg en Norvège. Il est aussi membre du Comité Scientifique Consultatif de l'Engineering Research for Compact and Efficient Fluid Power de la National Science Foundation. Robert Cloutier a plus de vingt ans d'expérience en matière d'ingénierie et architecture de systèmes, de génie logiciel et gestion de produits. Avant de rejoindre le Stevens Institute of Technology, il a été ingénieur principal à la division Mission Systems & Sensors de Lockheed Martin où il a collaboré aux programmes Aegis et LCS, Associate Technical Fellow à Boeing Helicopters et ingénieur en avionique sur le V-22 Osprey. Avant cette période industrielle, il était officier dans l'US Navy. Ses domaines de recherche comprennent les patrons d'ingénierie de systèmes, l'architecture de systèmes, l'entropie architecturale, l'ingénierie de systèmes dirigée par les modèles et l'application de l'ingénierie de systèmes à de nouveaux domaines et technologies. Il a reçu la médaille 2009-2010 Alexander Crombie Humphreys Distinguished Associate Professor Teaching Award au Stevens Institute of Technology. Il est membre de l'INCOSE. Il est titulaire d'un Ph.D. en ingénierie de systèmes délivré par le Stevens Institute of Technology, d'un MBA de Eastern University et d'un B.S. de la Naval Academy des États-Unis.

Mary Alice Bone a travaillé comme ingénieur système à GE Transportation, BAE Systems et Rockwell Collins. Elle est titulaire d'un B.S. en ingénierie aérospatiale délivré par l'Université du Missouri à Rolla et d'un Master en ingénierie de systèmes délivré par la Iowa State University. Elle est actuellement assistante de recherche sous la direction de Robert Cloutier au Stevens Institute of Technology où elle prépare une thèse de Ph.D.