

Le projet international BKCASE

Body of Knowledge and Curriculum to Advance Systems Engineering

ALAIN FAISANDIER ET DANIEL PRUN

Résumé : Cet article présente le projet BKCASE (Body of Knowledge and Curriculum to Advance Systems Engineering) dont le but est d'élaborer un référentiel d'ingénierie de système, international et reconnu par les communautés industrielle et académique. Ce référentiel réunit deux ouvrages majeurs et leurs annexes :

- Un corpus des connaissances : le Systems Engineering Body of Knowledge – SEBoK ; le document synthétise les connaissances regroupées en domaines (Knowledge Areas - KA) et pointe les références existantes (livres, articles, sites web).
- Un programme d'enseignement / curriculum : le Graduate Reference Curriculum in Systems Engineering – GRCSE ; le document contient une structure de programme de formation, des recommandations pour les pré-requis, les connaissances à enseigner, mais ne contient pas de contenu précis de cours ; il est cohérent avec le SEBoK et fait référence aux domaines de connaissances KA.

Ce projet international d'une durée de trois ans, qui a démarré fin 2009 pour prendre fin en 2012, regroupe plus d'une cinquantaine de spécialistes issus des cinq continents et provenant de l'industrie, de l'enseignement et de la recherche. Le projet semble prometteur puisque la première version du SEBoK, interne au projet, contient 16 chapitres, 650 pages, plus de 700 références de livres, articles et sites web.

Mots clés : ingénierie de système, référentiel, enseignement, corpus de connaissances

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Depuis le tout début des années 2000, le monde industriel identifie de plus en plus de besoins de compétences en ingénierie de systèmes pour la conception et la réalisation de systèmes complexes et pluridisciplinaires. Que ce soit aux États-Unis ou dans le reste du monde, l'ingénierie de systèmes n'est pas encore reconnue comme une discipline (ou métier) par l'ensemble du monde académique. Son enseignement se met en place progressivement dans plusieurs universités et écoles d'ingénieurs, mais il n'est pas uniformisé. Il est plutôt le fait de pionniers et d'autodidactes ingénieurs et professeurs de haut niveau qui s'efforcent de formaliser les pratiques. Pour faire face au besoin de qualifier des ingénieurs système l'INCOSE a mis en

place dans le milieu des années 2000 le Programme de Certification à l'Ingénierie des Systèmes (Certification Systems Engineering Program - CSEP) basé sur le référentiel INCOSE Systems Engineering Handbook [8], mais cela reste insuffisant.

Pour que l'ingénierie de système soit reconnue en tant que discipline ou métier à part entière par le monde industriel et par le monde académique, il est nécessaire qu'elle soit dotée d'un référentiel réunissant un corpus des connaissances et un programme de formation / curriculum standard, comme c'est le cas de toute discipline enseignée en université ou en école. Dans cette décennie, plusieurs tentatives de constitution d'un corpus de connaissances en ingénierie de systèmes ont été

lancées par l'INCOSE, mais elles n'ont pas abouti. Il n'existe donc pas à présent de document de référence reconnu par la communauté qui définit et organise le corpus de connaissances de l'ingénierie de système englobant à la fois les processus, les méthodes et les techniques de modélisation

D'un côté, les standards internationaux (ISO 10303 – AP 233, ANSI-EIA 632, IEEE 1220, ISO-IEC 15288, etc.) [1, 2, 3, 4] apportent des définitions des éléments constitutifs de l'ingénierie de système (ontologie) ainsi que la définition et la classification de ses processus. Il existe un manuel non sectorisé (l'INCOSE Systems Engineering Handbook [8]) et quelques autres manuels selon les secteurs industriels (le NASA Systems Engineering Handbook [11], etc.) qui apportent des compléments utiles à la mise en pratique. Les standards de processus et les manuels explicitent ce qu'il faut faire de façon prescriptive. Par contre, il n'y a pas ou très peu d'informations décrivant les méthodes et techniques de modélisation permettant de réaliser ces processus, et encore moins d'outils permettant de les assister. Ces standards et manuels décrivent le «Quoi» à défaut du «Comment», et laissent démuni le praticien ainsi que l'enseignant.

D'un autre côté, un volume important de documents d'origines diverses (ouvrages scientifiques, articles de recherche, documentation d'outils) décrivent précisément des méthodes et des techniques, ou encore des outils et leur mode d'utilisation pour déployer les méthodes. Malheureusement, ces documents restent globalement indépendants les uns des autres et s'inscrivent peu dans une démarche globale d'ingénierie telle que décrite par les standards.

Le but du projet BKCASE est de combler ces manques en devenant la référence de l'ingénieur système à la fois pour les définitions, les processus et les méthodes. À travers une approche qui se veut être la plus descriptive possible (et non prescriptive), le but est d'identifier, d'organiser et de classer les principales connaissances disponibles sur le sujet. Il n'est pas question de décrire l'ensemble des connaissances disponibles (le sujet est trop vaste, et le nombre de références existantes l'atteste) mais d'être le point d'entrée des références vers lesquelles le lecteur pourra s'orienter si nécessaire.

La disponibilité de telles références reconnues internationalement permettra :

- de faciliter la communication entre tous les ingénieurs système du monde,
- d'établir des programmes de formation et de certification sur une base commune,
- de faciliter l'identification de travaux de recherche sur le sujet.

2. CONTENU

Le projet BKCASE est articulé autour de deux livrables et leurs annexes :

- Le Systems Engineering Body of Knowledge – SEBoK : Ce document synthétise les connaissances (concepts, définitions, processus, méthodes et techniques) qui sont regroupées en domaines, les Knowledge Areas - KA. Chaque chapitre et/ou KA pointe les références existantes telles que des ouvrages scientifiques et techniques, des articles, des sites web. Il est destiné principalement aux praticiens industriels et consultants, mais aussi aux étudiants et aux enseignants.
- Le Graduate Reference Curriculum in Systems Engineering – GRCSE : Ce document explicite les caractéristiques du programme d'enseignement / curriculum standard. Il décrit la structure des programmes de formation, donne des recommandations pour les pré-requis, pour les connaissances à enseigner, mais ne contient pas de contenu précis de cours ; il est cohérent avec le SEBoK et fait référence aux KA. Il est destiné essentiellement aux enseignants, pour élaborer des cursus de formation, ainsi qu'aux services des ressources humaines des entreprises pour servir de guide et de compréhension vis-à-vis des différentes offres de formation dans les universités et les écoles du monde entier.

2.1 LE SEBoK

2.1.1 Les objectifs particuliers du SEBoK

Le constat à ce jour est qu'il n'existe pas de source officielle ayant défini et organisé les connaissances de la discipline. Au contraire, il y a des manques de connaissances qui engendrent des incohérences et des confusions dans la compréhension du rôle de l'ingénierie de système, et dans la définition même des processus et des résultats des activités. La création du SEBoK :

- aidera la communauté à bâtir un consensus sur les limites de l'ingénierie de système, ses imbrications avec d'autres disciplines comme le management de projet, le génie logiciel, etc.
- facilitera la communication et les échanges entre les ingénieurs système, et fournira un référentiel pour des modèles de compétences, des programmes de certification, des programmes d'enseignement et le développement d'autres initiatives dans le monde entier.
- facilitera les travaux de recherche et d'autres actions sur les connaissances, grâce à l'identification de méta données.

2.1.2 Qu'est-ce que le SEBoK et quel est son usage ?

Le SEBoK décrit les éléments (limites, terminologie, contenu, structure) de l'ingénierie de système nécessaires pour :

- informer les ingénieurs afin qu'ils puissent pratiquer la discipline dans tous les domaines d'application,

- ▶ • informer les chercheurs et les guider dans leurs travaux de recherche sur les insuffisances, les manques dans les connaissances existantes,
- définir des cursus ou contenus de programmes d'enseignement,
- certifier des professionnels pour qualifier leurs pratiques de la discipline,
- décider des compétences que les ingénieurs système devraient posséder à chaque niveau de pratique de l'apprenti à l'expert.

2.1.3 La genèse du SEBoK

Une des références actuelles la plus communément reconnue est l'INCOSE Systems Engineering Handbook. L'INCOSE, principale association internationale de dissémination de la discipline, a édité la première version de son manuel en 1998. Ce manuel n'est pas un standard, mais un document de référence ou corpus de pratiques, cohérent avec les standards existant à cette date. Il est mis à jour régulièrement pour prendre en compte diverses avancées au sein même de l'INCOSE, ou en provenance d'autres organismes qui travaillent sur le sujet. Ce fut le cas avec la version 2 en 2004 qui se base sur l'IEEE 1220 et l'EIA 632, puis avec la version 3 qui change radicalement de présentation pour prendre en compte la structure et les principes de l'ISO-IEC 15288, notamment l'approche processus.

C'est donc naturellement que les co-auteurs du SEBoK se sont orientés au tout début du projet vers une structure sur la base des processus de l'ISO-IEC 15288. Mais cette structure en processus et en états (*stages*) du cycle de vie ne permet pas de prendre en compte tous les aspects de la discipline. C'est le cas de la vision système (System Thinking), de ses imbrications avec le management de projet, avec les autres disciplines comme le génie logiciel et autres génies ; de plus, l'ingénierie de système est parfois vue comme une inter-discipline et cet aspect doit être discuté et expliqué. L'analyse du corpus de connaissances en logiciel (Software Engineering Body of Knowledge – SWEBoK version de 2004 [13]) a apporté une autre présentation en domaines de connaissances - KA. La décision des membres du projet BKCASE a été prise de structurer le SEBoK en KA, tout en conservant des principes structurants de l'ISO-IEC 15288 afin d'assurer la continuité avec les standards existants et utilisés par la communauté. La première version, dite 0.25, éditée en interne du projet, reflète cette structure comme indiqué au paragraphe suivant.

Par ailleurs, les standards d'ingénierie sont prescriptifs : ils indiquent ce qu'il faut faire, basé sur un consensus des parties représentées et présentes lors des votes dans les commissions de normalisation. Un corpus de connaissances d'ingénierie ne peut pas être prescriptif, mais au contraire il

doit être descriptif, c'est-à-dire suffisamment ouvert à des définitions, des pratiques, des méthodes diverses représentant des tendances, des mouvements différents. En sa base la plus profonde, l'ingénierie aborde les mécanismes de création, les méthodes de modélisation et de représentation ; or il n'existe pas une seule méthode pour créer, une seule technique de modélisation pour un même sujet dans l'ingénierie. On doit donc exposer des moyens différents et montrer les avantages et inconvénients, ou encore les domaines d'applicabilité.

À l'heure de l'écriture du présent article, le SEBoK version 0.25 est en cours de revue par 240 critiques sélectionnés.

2.1.4 La structure du contenu de la version 0.25

Cette première version, non publique, est découpée en 18 chapitres.

- Le chapitre 1 est une introduction qui explicite la finalité et l'utilité du SEBoK.
- Chaque chapitre (de 2 à 15) décrit un ou plusieurs KA. Ces chapitres sont génériques et ne dépendent pas du domaine d'application. Chaque chapitre inclut :
 - Des thèmes et des sous-thèmes
 - Des écueils et des bonnes pratiques
 - Les principales références et des références annexes
 - Le glossaire des termes utilisés et définis dans le KA.
- Dans chaque thème ou sous-thème, sont exposés (selon le thème concerné) :
 - Les principes de base ou les concepts, les définitions
 - Des développements et explications
 - La description du processus correspondant lorsqu'il existe, et les principaux objets produits par le processus
 - Des éléments d'ontologie (méta-modèle)
 - Des méthodes et techniques de modélisation
- Le chapitre 16 présente l'application de l'ingénierie de système à l'aide d'études de cas qui sont des projets réels pour illustrer l'application de certaines pratiques des KA.
- Le chapitre 17 rassemble toutes les références du SEBoK
- Le chapitre 18 rassemble tous les termes et acronymes utilisés et définis dans les autres chapitres.

2.1.5 Résumé des 18 chapitres du SEBoK

Les chapitres de cette première version, susceptibles de changements, sont les suivants :

1. *Introduction* : Elle explicite la finalité et l'utilité du SEBoK, la structure du document.
2. *System Concepts and Systems Thinking Knowledge Area* : Ce chapitre introduit le concept de système, la vision système des produits, des services et des organisations. Il fournit des définitions, les caractéristiques d'un système, et des considérations topologiques de la notion

de système qui le différencie d'autres notions ou objets. Il donne aussi des classifications ou typologies existantes de systèmes.

3. *Systems Engineering Overview Knowledge Area* : Ce chapitre explique ce qu'est l'ingénierie de système, son utilité vis-à-vis de la résolution de problèmes complexes et des systèmes pluridisciplinaires. Sont abordés succinctement différentes approches complémentaires incluant notamment les notions de cycle de vie, l'approche processus, la modélisation (MBSE). On y trouve aussi des explications sur les relations et les imbrications avec le management de projet, et le génie logiciel ; un court historique de la discipline et une synthèse des principaux standards existants.
4. *Generic Life Cycle Stages Knowledge Area* : Ce chapitre explicite en profondeur la notion de cycle de vie d'un système, différents modèles de cycle de vie, l'utilisation des processus pour élaborer des cycles de vie, des critères de choix pour les cycles de développement.
5. *Service Systems Engineering Knowledge Area* : Ce chapitre n'est pas développé dans cette première version.
6. *Enterprise Systems Engineering Knowledge Area* : Ce chapitre explique comment est utilisée l'ingénierie de système au niveau entreprise et non au niveau d'un projet. Il se focalise sur les cadres de travail, les outils, les approches de résolution de problèmes inhérents à l'entreprise, la gestion des ressources pour créer de la valeur.
7. *Enabling Systems Engineering in the Organization Knowledge Area* : Ce chapitre apporte des compléments au précédent sur le management de l'ingénierie de système dans les organisations (affaires, projets, équipes) et dans l'entreprise étendue.
8. *Systems Engineering Management Knowledge Area* : Ce chapitre explicite le management des ressources et des moyens pour mener les activités. Les thèmes abordés sont ceux du management de projet et des activités support appliqués à l'ingénierie du système : planification, évaluation et maîtrise, gestion des décisions, gestion de configuration, gestion de l'information, métrologie.
9. *System Definition Knowledge Area* : Ce chapitre présente les principes relatifs à la définition du système : la séparation des domaines du problème et de la solution, les différentes acceptions du terme exigence, les fondements de l'architecture du système, la réutilisation des constituants et la rétro-ingénierie, les premiers éléments d'ontologie. Vient ensuite la description des quatre thèmes majeurs du cœur de l'ingénierie, les exigences des parties prenantes et l'analyse de mission, les exigences du système, la conception des architectures fonctionnelle et organique, les analyses système. Le chapitre se termine par une liste de considérations pratiques en regroupant les écueils et bonnes pratiques relatifs aux thèmes traités.
10. *System Realization Fundamentals Knowledge Area* : Ce chapitre regroupe les connaissances relatives à la réalisation, l'intégration, la vérification et la validation. La réalisation explicite les relations entre l'ingénierie du système (plus exactement la définition du système) et l'implémentation des constituants technologiques et des rôles opérateur. L'intégration traite de l'assemblage des constituants élémentaires en agrégats pour former progressivement le système. La vérification et la validation traite de la preuve de la satisfaction des exigences du système et des exigences des parties prenantes.
11. *System Deployment and Use Knowledge Area* : Sont abordées de façon succincte les activités de déploiement, d'opération / utilisation, de maintenance du système, et de soutien logistique.
12. *System Life Management Knowledge Area* : Ce chapitre décrit les principes et les activités relatifs à la gestion de la vie du système : l'extension de vie, la gestion des modifications multiples, les améliorations, la modernisation ou remise à neuf, et le démantèlement ou retrait de service.
13. *Systems Engineering Agreement Knowledge Area* : Ce chapitre décrit les processus d'acquisition et de fourniture dans le cadre des échanges contractuels entre client et fournisseur.
14. *Cross-Cutting Knowledge Area* : Ce chapitre traite des disciplines transverses à l'ingénierie de système, dites aussi domaines de spécialités, et de leur intégration (ingénierie intégrée). Par exemple, la conception à coût objectif, l'intégration de l'humain dans le système, la sûreté, la sécurité, les interférences électromagnétiques, la résistance aux radiations, la production/fabrication, le soutien, la résilience, etc.
15. *Systems Engineering Competency Knowledge Area* : Ce chapitre traite des compétences ou capacités requises pour exercer la discipline au niveau individuel, au niveau des équipes et au niveau des organisations ; ainsi que de leur évolutions dues aux évolutions du contexte, des standards et des connaissances elles-mêmes. Il aborde l'acquisition des compétences via les enseignements et l'expérience, le recrutement, la gestion des ressources humaines, l'enseignement, les modèles de compétences existants, les niveaux d'expertise, l'évaluation des compétences, etc.
16. *Systems Engineering Applications / Case Studies Knowledge Area* : Présente l'application de l'ingénierie de système à l'aide d'études de cas, qui sont des projets réels pour illustrer l'application de certaines pratiques des KA.
17. *References* : Rassemble toutes les références du SEBoK.
18. *Glossary* : Rassemble tous les termes et acronymes utilisés et définis dans les autres chapitres.

2.2 LE GRCSE

2.2.1 Les objectifs particuliers du GRCSE

Il est maintenant reconnu et accepté que la connaissance et l'application des processus et des méthodes d'ingénierie de systèmes sont des éléments clés pour le succès de la réalisation des systèmes complexes. Les entreprises ont besoin de recruter de plus en plus des ingénieurs débutants déjà formés aux rudiments de cette discipline. Paradoxalement, face à cette demande, l'enseignement académique est encore assez immature. En particulier, il souffre du manque d'une référence qui soit reconnue et acceptée par la communauté décrivant les connaissances devant être enseignées aux futurs ingénieurs système. L'objectif du GRCSE est de fournir cette référence pour les programmes d'enseignement de niveau master (c'est-à-dire master 1 et master 2 ou ingénieur). Précisément, les objectifs du GRCSE sont :

- Contribuer à l'amélioration des programmes d'enseignement déjà existant en prenant en compte les points de vue des différentes parties prenantes : universités et écoles, étudiants, employeurs, clients et utilisateurs des systèmes.
- Assister le développement des nouveaux programmes de formation en proposant des guides sur les contenus des programmes et sur leur mise en place.
- Accroître la valeur des programmes de formation, pour les étudiants et les employeurs.
- Appréhender la diversité des programmes d'enseignement en permettant à un étudiant ou à un employeur d'évaluer un programme particulier en fonction de ses besoins.

2.2.2 La genèse

L'élaboration du GRCSE s'appuie sur des travaux antérieurs relatifs à l'enseignement de l'ingénierie de systèmes.

L'enseignement de la discipline a émergé durant les années 1950. La première publication d'importance a eu lieu en 1962 avec la sortie d'un numéro spécial de l'IEEE Transactions on Education [9] dédié à l'enseignement de l'ingénierie de système. Les sujets abordés étaient : proposition de contenus de programmes, nécessité de l'apprentissage des principes d'optimisation au niveau système, la problématique de l'enseignement de l'interface homme-machine ainsi que la nécessité pour les étudiants d'être formés à un raisonnement de niveau systémique, global plutôt que local aux équipements.

Par la suite, l'enseignement de l'ingénierie de système s'est considérablement développé en empruntant, comme l'a fait remarquer W. J. Fabrycky [7], deux approches distinctes : l'approche « centrée sur le système » a conduit à des programmes d'enseignement focalisés sur les processus ; l'approche « centrée sur le domaine » a conduit à orien-

ter les programmes sur une ou plusieurs disciplines académiques (telles que la biologie, l'informatique, la mécanique...) auxquelles un enseignement en ingénierie de système est ajouté. *Le GRCSE propose un curriculum de référence en ingénierie de système de type « centrée sur le système » à destination des programmes de type masters, c'est-à-dire de bac+4 à bac+5.*

En 2007, le projet iSSEc (Integrated Software and Systems Engineering Curriculum) a été lancé. Soutenu par le DoD (Department of Defense), il consistait à élaborer un ensemble de curriculums pour des programmes d'enseignement en informatique et en ingénierie de système. Ce projet a conduit à l'élaboration de deux sous-projets distincts décalés dans le temps : GSWEERC pour le domaine de l'informatique (démarré en 2007) et BKCASE pour celui de l'ingénierie de système. GSWEERC s'est terminé par l'élaboration du document GSWE2009 [12] proposant des guides et des recommandations pour l'élaboration de programmes d'enseignement en informatique. *Le choix a été fait de démarrer le projet BKCASE sur les bases de GSWE2009.*

Enfin, une des premières tâches effectuées par l'équipe en charge du GRCSE a été de faire une étude des programmes de formation en ingénierie de système actuellement dispensés. 61 universités et écoles comprenant un programme en ingénierie de système ont été sollicitées. Un peu plus de la moitié ont répondu produisant les résultats suivants :

- 71% des programmes hors des États-Unis et 33% aux États-Unis utilisent l'enseignement face-à-face. 67% des programmes aux États-Unis reposent sur l'utilisation de moyens technologiques (pas de présence physique des élèves et des professeurs)
- Presque l'ensemble des programmes (94%) incluent un projet de fin d'étude (Capstone)
- 71% des programmes hors des États-Unis sont spécifiques à un domaine ; 90% aux États-Unis sont généraux
- L'enseignement de l'ingénierie de système est majoritairement vu comme une discipline de l'ingénieur avec des critères d'entrée liés aux sciences (physique, mathématiques) (81%), à l'ingénierie (88%). À noter que dans 30% des cas (programmes américains) d'autres pré-requis sont acceptés.
- 16% des programmes de formation sont sponsorisés par des industriels (principalement ceux de l'industrie de défense américaine).

Globalement, il se dégage de cette étude un grand manque d'harmonisation des différents programmes (au niveau de leur cohérence, de leur structuration ainsi que de leur contenu), un manque de cohérence dans les types de diplômes délivrés

SYNTHÈSE

ainsi qu'un manque d'harmonisation entre les critères d'entrée. *Un objectif majeur du GRCSE est justement de combler ce manque de cohérence entre les différents programmes de formation.*

2.2.3 Contenu du GRCSE

Au jour de la rédaction de cet article, la version 0.25 du GRCSE vient juste d'être publiée pour une première revue. Nous en présentons ci-dessous les grandes lignes, le contenu de celles-ci restant sujet à modification. Le GRCSE contient neuf chapitres et quelques annexes. Les principaux aspects abordés sont :

- Des *objectifs* décrivant les connaissances et compétences que doivent avoir acquis les étudiants à l'issue d'un programme de formation basé sur le GRCSE. Les objectifs sont principalement décrits en identifiant les connaissances fondamentales devant être enseignées ainsi que, pour chacune d'entre elles, le niveau de connaissance que doivent atteindre les étudiants à l'issue de la formation. Pour cela, le SEBOK est utilisé comme référence ainsi que la taxonomie de Bloom [5]. Pour plus d'informations, voir le point relatif à la description des connaissances fondamentales ci-dessous.

De manière additionnelle, d'autres objectifs consistent à démontrer la capacité à effectuer des activités d'ingénierie pour un système d'un domaine particulier (défense, aérospatial, finance, médical, transport...) ainsi que pour un système d'un certain type (système critique, embarqué...) ou en considérant une propriété globale du système (sécurité, sûreté de fonctionnement...). Enfin, on notera des objectifs globaux tels que la compréhension des challenges liés à la prise en compte de la multidisciplinarité (savoir se comporter et communiquer dans une équipe multidisciplinaire) et de l'approche systémique (évaluation et optimisation de solutions en prenant en compte une vision globale plutôt que locale), la capacité d'apprendre de nouvelles méthodes, celle de comprendre les relations entre l'ingénierie de système et les autres disciplines (ingénierie logicielle, management de projet).

- Des *objectifs moyen terme* décrivant connaissances et compétences que doivent avoir acquis les étudiants diplômés d'un programme de formation respectant les directives du GRCSE à l'issue de leurs cinq premières années professionnelles.
- Un ensemble de *pré-requis* : des connaissances, des savoir-faire et de l'expérience que les étudiants doivent posséder en entrée d'un programme de formation tel que décrit par le GRCSE. Ces connaissances requises sont exprimées en considérant chaque domaine de connaissance ainsi qu'éventuellement ses raffinements en thèmes et en sous-thèmes et en y associant un niveau de Bloom (cf. Figure 1).

Knowledge Areas	Bloom Level
<i>Mathematics Fundamentals</i>	
1. Discrete Structures	AP
Functions, relations, and sets; basic logic; proof techniques; basics of counting; graphs and trees; discrete probability	
2. Propositional and Predicate Logic	AP
Propositions, operators, and truth tables, laws of logic, predicates and quantifiers, argument and inference	
3. Probability and Statistics	AP
Basic probability theory, random variables and probability distributions, estimation theory, hypothesis testing, regression analysis, analysis of variance	
4. Calculus and Analytical Geometry	AP

Figure 1 : Exemple de description des pré-requis

- Une *architecture* permettant de décrire la structure du curriculum en distinguant les formations touchant aux connaissances de base de celles touchant à des connaissances spécifiques ainsi que celles qui sont optionnelles. Plus précisément, l'architecture retenue comporte six types de formations (cf. Figure 2) :
 - Les *formations de mise à niveau* (Preparatory Knowledge) qu'un étudiant doit suivre s'il ne possède pas les connaissances requises pour pouvoir démarrer le programme de formation.
 - Les *formations de base* (Core Foundation Knowledge) que chaque programme doit contenir, quelle que soit l'école ou l'université et ses particularités (entre autres, son éventuel domaine d'application). Ces formations abordent des connaissances communes, fondamentales que tous les étudiants doivent posséder à l'issue du programme.
 - Les *formations étendues* (Core Extension Knowledge) qui concernent, au choix des universités ou écoles, soit les processus techniques de l'ingénierie de système (design, développement, vérification, validation...) soit les processus de management. Ces formations permettent aux écoles ou universités d'orienter leur programme soit vers la technique, soit vers le management.

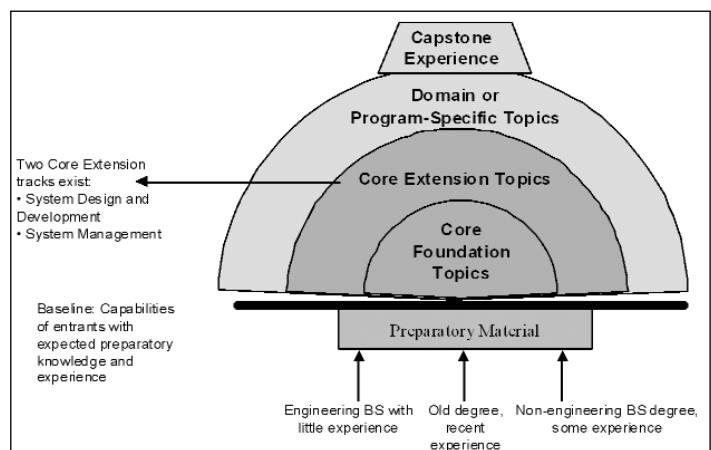


Figure 2 : Architecture d'un programme de formation GRCSE de type master

- Les *formations spécifiques* à un domaine (Domain Specific Knowledge) ou à un programme (Program Specific Topics). Chaque programme doit contenir un ensemble de formations abordant l'application des connaissances fondamentales (Core Foundation et Core Extension Knowledge) à un ou plusieurs

SYNTHÈSE

SEBok Section	Topic	Core	SDD (processus techniques)	TM (processus de management)
2.4	Systems Thinking	X	X	X
3.2	Fundamentals of Systems Engineering	X		
6.2	Fundamentals of Enterprise SE	X		
7.2	Fundamentals of Enabling SE in the Organization			X
8.1	Systems Engineering Management Fundamentals			X
9.3	Stakeholders Requirements and Mission Analysis	X	X	
9.4	System Requirements	X	X	
9.5	Architectural Design	X	X	
9.6	System Analysis	X	X	
...

Figure 3 : Extrait du CorBok de la version 0.25*

* Dans la version 0.25 du GRCSE, seule la répartition sur l'architecture est indiquée et les niveaux de Bloom ne sont pas renseignés. Ceci est prévu pour la version 0.5.

domaines (télécommunication, contrôle aérien, spatial, etc.) ou un ou plusieurs programmes dans lequel les étudiants se spécialisent.

- Le projet de fin d'étude (Capstone Experience). Chaque programme contient un projet qui permet aux étudiants de mettre en application leurs connaissances acquises précédemment.
- La description des *connaissances fondamentales* (CorBok : Core Body of Knowledge) devant être enseignées dans les formations fondamentales. Ce point est le cœur du GRCSE puisqu'il décrit les connaissances qui doivent être enseignées à travers les différentes formations ainsi que le niveau de connaissance attendu de la part des étudiants pour chacune d'entre elles. Pour cela, le GRCSE reprend les KA, et éventuellement leurs affinements en thèmes et en sous-thèmes, du SEBOK et indique pour chacun d'entre eux un niveau d'apprentissage attendu de la part de l'étudiant sous la forme d'un niveau de Bloom (cf. Figure 3).

3. ORGANISATION DU PROJET BKCASE

3.1 LES PRINCIPES DE TRAVAIL DANS LE PROJET

Devant un projet d'une telle ampleur tant par son contenu que par sa dimension internationale, il a été identifié très tôt que l'organisation était un facteur

clef pour le succès final. Une attention a donc été portée sur ce point avec la mise en place de principes inspirés des principes « Agile » (cf. Figure 4).

3.2 LE SPONSORING, LES AUTEURS, LE MANAGEMENT

Le projet est sponsorisé par le DoD (États-Unis), le NDIA (États-Unis), l'INCOSE, l'IEEE, les ACM et les entreprises auxquelles appartiennent les nombreux auteurs. Le DoD n'a aucune autorité ou influence sur le contenu des documents, et les documents ne sont pas orientés vers les systèmes de défense. Les documents sont écrits par les auteurs et non par les sponsors et les partenaires. Les auteurs sont des volontaires qui produisent le matériel de base.

L'équipe de management, composée de membres du Stevens Institute et de la Naval Postgraduate School, se charge de la direction, de la gestion du projet, de l'intégration et de la présentation finale des documents.

Jusqu'à la version 1.0, le contenu est sous la responsabilité des auteurs et est sous copyright du Stevens Institute of Technology. Ensuite, les documents seront pris en charge par l'INCOSE et l'IEEE pour leur mise à jour, évolution, gestion et diffusion au sein de la communauté mondiale de l'ingénierie de système.

Principes d'organisation Agile - voir [10]	Mise en place dans le projet BKCASE
1/ Minimize team size, maximize team talent (FIST Manifesto) (Fast, Inexpensive, Simple, Tiny)	45 auteurs provenant de plus de 10 pays dont 3 Français, 8 Européens, 10 Asie-Australie, 25 États-Unis Mais organisé en petite équipe de rédacteurs de 2 à 5 personnes
2/ Agile teams are more successful with more experienced and skilled team members	Les auteurs sont recrutés en fonction de leur compétences et réputation dans le domaine.
3/ documents and meetings must be short. Have as many as necessary, as few as possible 4/ the most efficient and effective method of conveying information to and within a development team is face-to-face conversation.	Rencontre en face-à-face tous les 3 mois Téléconférences plus régulièrement

Figure 4 : Organisation Agile

3.3 LES WORKSHOPS

- Le workshop I a eu lieu en décembre 2009 à Monterey et a défini la charte du projet, son objet, formé une première équipe en charge de la rédaction du SEBoK.
- Le workshop II s'est tenu en mars 2010 en Floride et a lancé le travail sur le SEBoK et sur le GRCSE.
- Le workshop III a eu lieu à Chicago en juillet 2010 et a restructuré les premières productions du SEBoK, redistribué le travail entre les auteurs.
- Le workshop IV s'est tenu en octobre 2010 à Toulouse et a finalisé les idées directrices du GRCSE.
- Le workshop V se tient à Phoenix fin janvier 2011 pour la résolution des commentaires de la revue du SEBoK.

3.4 CALENDRIER

Le démarrage du projet a eu lieu fin 2009 et sa terminaison est planifiée pour fin 2012. Trois étapes majeures :

- Production version 0.25 fin 2010 : destinée à être commentée par un nombre limité de personnes.
- Production version 0.5 fin 2011 : intègre les commentaires de la 0.25 destinée à être commentée plus largement.
- Production version finale 1.0 fin 2012 : version publiable.

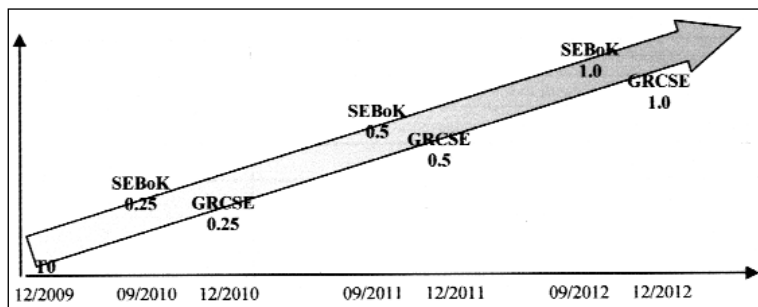


Figure 4 : Calendrier du projet BKCASE

4. CONCLUSION

À travers cet article, nous avons présenté le projet BKCASE dont l'ambition est de constituer des bases solides pour le référentiel de l'ingénierie de système :

- par une approche descriptive des concepts, des processus, des méthodes, des écueils et des bonnes pratiques en fournissant toutes les références nécessaires pour que le lecteur puisse approfondir la discipline ;
- par une couverture large des processus d'ingénierie de système, de management et d'organisation.

À terme, l'objectif est de contribuer à l'émergence de l'ingénierie de système en tant que discipline à part entière auprès du monde industriel et surtout auprès du monde académique.

Beaucoup de travail reste cependant à effectuer. À ce jour, les versions 0.25 ont été élaborées et sont en cours de relecture. Plus de 1000 commentaires sont attendus sur le SEBoK, ce qui devrait conduire à des modifications importantes. En particulier, un des principaux aspects concerne l'inhomogénéité des chapitres entre eux du fait d'un assemblage de parties distinctes indépendantes. On observe ainsi des différences de vocabulaire, des manques ou des doublons devant être corrigés.

5. RÉFÉRENCES

- [1] ISO 10303 – AP 233 Systems Engineering and Design
- [2] ANSI/EIA 632 (1998) – Processes for Engineering a System
- [3] ISO/IEC 26702 (2007) - Systems engineering – Application and management of the systems engineering process (l'IEEE 1220 est devenu un standard ISO).
- [4] ISO/IEC 15288:2008(E) - Systems and software engineering — system life cycle processes, IEEE Std 15288-2008, second edition, 2008.
- [5] B. S. Bloom : *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals* ; Handbook I, Cognitive domain ; Longman, New-York, 1956
- [6] www.incose.org
- [7] W. J. Fabrycky : *Systems engineering: its emerging academic and professional attributes* ; in Proceedings of American Society for Engineering Education, Conference and Exposition ; Lexington, KY, 2010
- [8] INCOSE Systems Engineering Handbook, INCOSE-TP2003-002-03.2, janvier 2010, version 3.2, www.incose.org
- [9] IRE : *Proceedings of the Workshop on Systems Engineering in Electrical Engineering Education* ; IRE Transactions on Education, Vol. E5, n° 2, pp. 78-81, juin 1962
- [10] M. A. Lapham, R. Williams, C. (Bud) Hammons, D. Burton et A. Schenker : *Considerations for using Agile in DoD acquisition* ; SEI report CMU/SEI-2010-TN-002, avril 2010
- [11] NASA Systems Engineering Handbook, NASA/SP-2007-6105, 2007
- [12] A. Pyster : *Graduate software engineering 2009 (GSWE2009) – curriculum guideline for graduate degree programs in software engineering, version 1.0* : Integrated Software & Systems Engineering Curriculum Project ; Stevens Institute of Technology, Hoboken, NJ, États-Unis
- [13] Guide to Software Engineering Body of Knowledge, 2004 version - www.swebok.org

SYNTHÈSE

▶ LES AUTEURS



Alain Faisandier est directeur et fondateur de MAP système (1996), formateur et expert international en Ingénierie de Système. Quarante ans d'expérience dans la conception de logiciels et de systèmes, en ingénierie, intégration, gestion de projet, développement de méthodes pour les exigences et la conception. Il a été vice-président du Standard Technical Committee de l'INCOSE, à la tête de la délégation française pour l'ISO/IEC 15288 et son guide d'application ISO/IEC 19760, critique et contributeur de l'ISO/IEC 26702 (ex IEEE 1220). Durant les années 70, il a travaillé dans le contexte des systèmes de télécommunication publique comme concepteur, intégrateur et responsable technique. Dans les années 80 et 90, il a travaillé pour l'industrie spatiale européenne participant au développement des méthodes d'ingénierie. Depuis 1998 il participe activement au déploiement de l'ingénierie de système pour de grandes compagnies dans les domaines de la défense, l'aéronautique, l'automobile, les télécommunications, le biomédical, les infrastructures, etc. Ce déploiement inclut la formation, l'accompagnement de projets, la rédaction de guides et la mise en œuvre d'outils. Ces actions sont menées dans des contextes pluridisciplinaires, multiculturels et internationaux. L'auteur est également enseignant en ingénierie de système depuis plus de dix ans dans plusieurs grandes écoles françaises dont l'INSA Toulouse, l'ISAE, SUPELEC, etc. Il est actuellement Directeur Technique de l'Association Française d'Ingénierie Système –

AFIS ; co-auteur dans le projet BKCASE, animateur de certains chapitres du SEBoK.



Daniel Prun est actuellement enseignant-chercheur en ingénierie de systèmes à l'ENAC (École Nationale de l'Aviation Civile). Il possède plus de quinze ans d'expérience dans le domaine de l'ingénierie de systèmes.

Après une thèse de doctorat obtenue en 1997 à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris 6 – laboratoire MASI), il a quitté le monde académique pour rejoindre la société de conseil ALTRAN en tant que consultant junior puis sénior en ingénierie de systèmes. Il a ainsi été impliqué auprès d'industriels de différents secteurs d'activités (principalement la défense, le contrôle du trafic aérien, l'aéronautique, le ferroviaire, le médical) pour mener des activités de support et de conseil. Ses principaux champs d'expertise résident dans les processus techniques d'ingénierie de systèmes et particulièrement ceux de la vérification et validation. Depuis décembre 2009, Daniel a rejoint l'ENAC et le laboratoire d'informatique interactive (LII) avec l'objectif d'y développer enseignements et recherches en ingénierie de systèmes. Daniel est membre de l'association INCOSE (International Council on Systems Engineering) pour laquelle il participe au développement d'un référentiel de connaissances en ingénierie de systèmes (projet BKCASE) et de son instance française : l'AFIS (Association Française d'Ingénierie Système). Il est, en particulier, très impliqué dans le développement du chapitre local Midi-Pyrénées de l'AFIS.

Risks - Requirements - Regulatory Management

AUDIT

FORMATION

CONSEIL

SERVICES EN INGÉNIERIE SYSTÈME

17, rue Louise Michel - 92300 Levallois Perret
 Courriel : contact@adn.fr — Tél : +33 1 72 03 23 81