HAL
open science

L'ingénierie système au service de la conception d'un parcours de formation

Ioana Filipas Deniaud, Amandine Duffoux, Didier Gourc, François Marmier, Claude Pourcel

To cite this version:

Ioana Filipas Deniaud, Amandine Duffoux, Didier Gourc, François Marmier, Claude Pourcel. L'ingénierie système au service de la conception d'un parcours de formation. Génie logiciel : le magazine de l'ingénierie du logiciel et des systèmes, 2016, 116, pp.42-49. hal-02100525

HAL Id: hal-02100525

https://imt-mines-albi.hal.science/hal-02100525v1

Submitted on 16 Apr 2019

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.

L'ingenierie système au service de la conception d'un parcours de formation

Ioana Filipas Deniaud, Amandine Duffoux, Didier Gourc, François Marmier et Claude Pourcel

Un établissement de formation peut être considéré comme un système de production de compétences. Sur la base de cette hypothèse, l'ingénierie système permet de définir, de structurer et d'aider à la conception de parcours de formation. Ainsi, en positionnant le parcours de formation dans la chaîne de valeur du système de production de compétences, cet article présente une réflexion sur l'apport de l'ingénierie système. Deux systèmes sont considérés : le système pour faire (projet d'ingénierie du parcours de formation) et le système à faire (parcours de formation). La conception du parcours demande la définition d'un référentiel basé sur le modèle constructiviste des sciences et de son interprétation. Pour cela, cet article introduit le contexte de définition des compétences requises pour le métier d'ingénieur système. Le parcours de formation doit être considéré comme un service rendu aux apprenants ainsi qu'aux organismes demandeurs de compétences métier spécifiques. Cela conduit à suggérer de développer cette réflexion sur la base des travaux en cours, notamment dans le comité technique de l'AFIS chargé de la formation et des compétences, ainsi que dans celui qui développe une réflexion sur l'ingénierie des systèmes de production de service.

1. Introduction

La formation est un des facteurs clés de succès pour les hommes et les entreprises ; nous pensons que l'apport des méthodes et des outils de l'ingénierie système et du génie industriel permet une approche innovante à la conception (ou la reconception) d'un parcours de formation [1].

Dans cet article nous allons appréhender une formation en tant que système. La théorie des systèmes a été développée à partir des années 1950 par L. von Bertalanffy qui a publié « The general system theory » [2]. Il montre la nécessité d'étudier les interactions dynamiques entre les parties et non pas de se borner à un regard réducteur qui isole les parties afin de les étudier individuellement. La théorie des systèmes va utiliser les concepts de boucles de rétroaction (régulation) de la Cybernétique, développée par Wiener en 1947 [3]. La théorie des systèmes a ensuite ciblé l'étude de la complexité telle que dans « Le macroscope » [4], « La théorie du système général » [5] et « Introduction à la pensée complexe » [6]. L'ensemble de ces écrits a contribué à développer une « science des systèmes » [7] qui se veut interdisciplinaire et qui vise à rendre compte de phénomènes complexes en perpétuelle évolution, irréductibles à un modèle analytique de type causal et déterministe.

Après avoir présenté ce que nous appelons un système de production de compétences et sa signification, nous proposons une démarche de conception d'une formation basée sur l'ingénierie système. La discipline d'Ingénierie Système (IS) est née dans les années 1960 aux États-Unis, dans le secteur militaire. Depuis, l'IS a connu une large diffusion à de nombreux secteurs [8]. Elle a donné lieu à la constitution de « communautés de savoir » [9]. Citons l'International Council on Systems Engineering (INCOSE) ou, en France, l'Association Française d'Ingénierie Système (AFIS) [10]. Avant de conclure, un chapitre est consacré à trois commentaires : l'un sur les conditions préalables au démarrage d'un projet, le second trace une perspective de développement en prenant en considération les réflexions par un Comité Technique AFIS sur les cycles de vie d'un service, enfin le dernier s'intéresse à la performance du parcours par la présentation d'un des auteurs réalisé dans le cadre de sa collaboration avec l'École Nationale d'Ingénieurs de Metz

2. Les systèmes de production de compétences

C'est en 1998, à l'initiative de F. Vernadat et C. Pourcel, qu'un groupe de travail sur le thème : « Gestion des compétences et performance industrielle » a permis d'ouvrir plusieurs pistes de travaux de recherche débouchant sur de nombreuses publications :

- Gestion des compétences et ingénierie [11] ;
- Gestion des compétences et entreprise industrielle [12], [13], [14].

Considérer les établissements de formation comme un système de production de compétences implique une réflexion sur les

thèmes : définir la notion de compétence, modéliser le système, concevoir ou reconcevoir le système, le gouverner, mesurer sa performance. Le système de production de compétences doit être considéré comme un système de systèmes comprenant, entre autres, le système de formation.

2.1 L'organisation du système de formation

L'organisation que nous proposons est basée sur une décomposition du système en plusieurs niveaux inspirée de travaux sur l'aide à la conception de systèmes de conduite de production et sur la réingénierie de systèmes de production :

- Au niveau opérationnel, l'**action de formation est** chargée de la réalisation de tâches dépendant de la discipline.
- L'action est conduite (pilotée) par un acteur, généralement enseignant, qui prend toutes les décisions internes pour assurer la mission qui lui est confiée dans le cadre d'objectifs et de contraintes ; ce niveau est dénommé « **Conduite action de formation** ».
- Les actions de formation sont, généralement, regroupées en domaines d'actions correspondant à une thématique comme par exemple l'ingénierie système. Il convient également de conduire (piloter) un domaine de formation. Ce niveau est dénommé « **Conduite domaine d'actions de formation ».**
- L'ensemble des domaines d'action de formation est conduit par un acteur chargé, dans le cadre de l'établissement, de la réalisation des différentes actions de formation. Ce niveau est dénommé « **Conduite du système de formation ».**

2.2 Le parcours de formation

Le parcours de formation est une liste d'actions de formation que doit suivre un apprenant pour pouvoir obtenir la validation de son acquisition de nouvelles compétences. Nous considérons que ce parcours est un processus décomposé en sous-processus réalisé par ce que nous dénommons l'action de formation.

2.3 La chaîne de valeur d'un système de production de compétences

Par analogie avec des approches de type chaîne de valeur, nous montrons l'ensemble des étapes permettant à un établissement de formation (voir figure 2) d'obtenir un avantage concurrentiel [15], [16], [17].

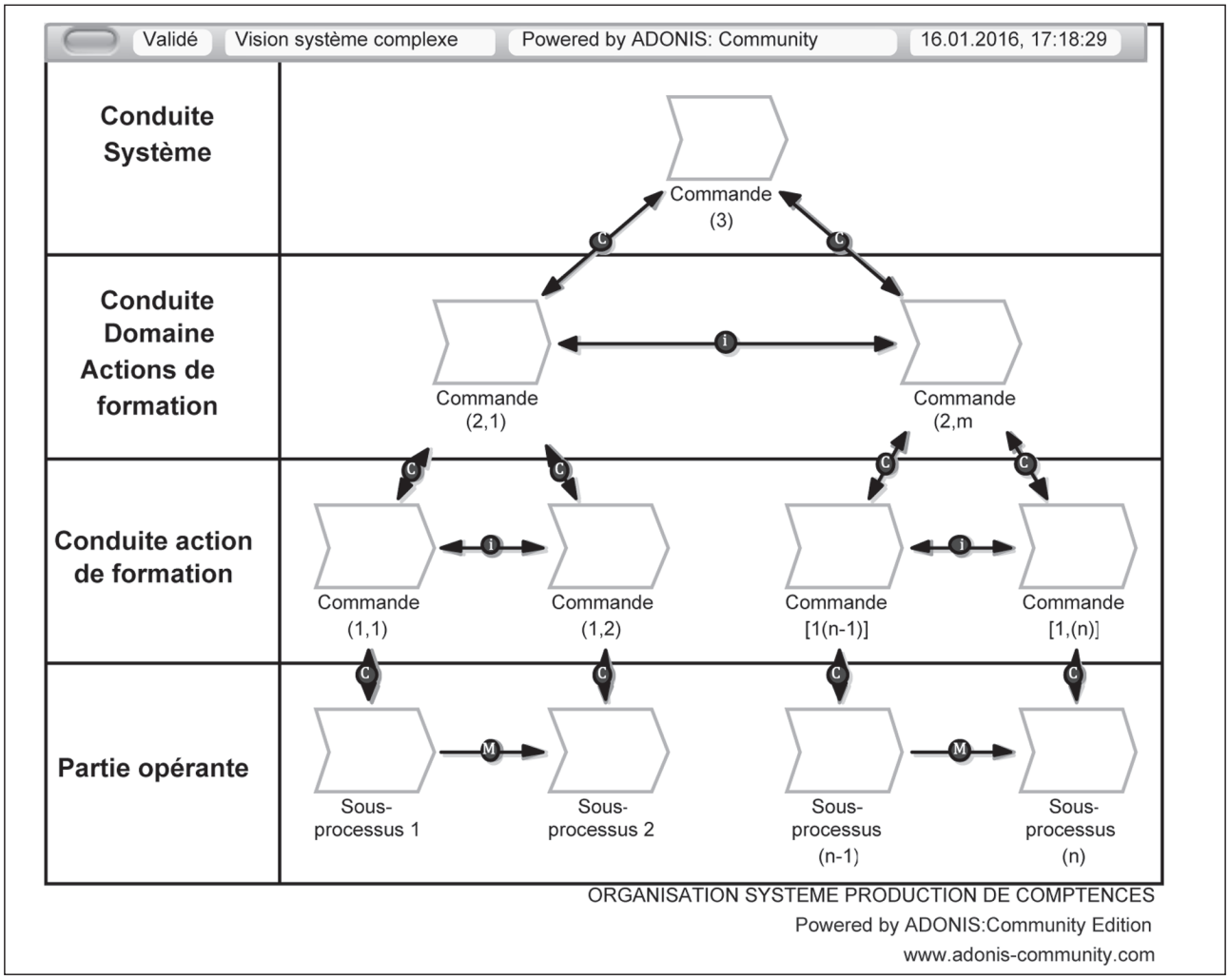
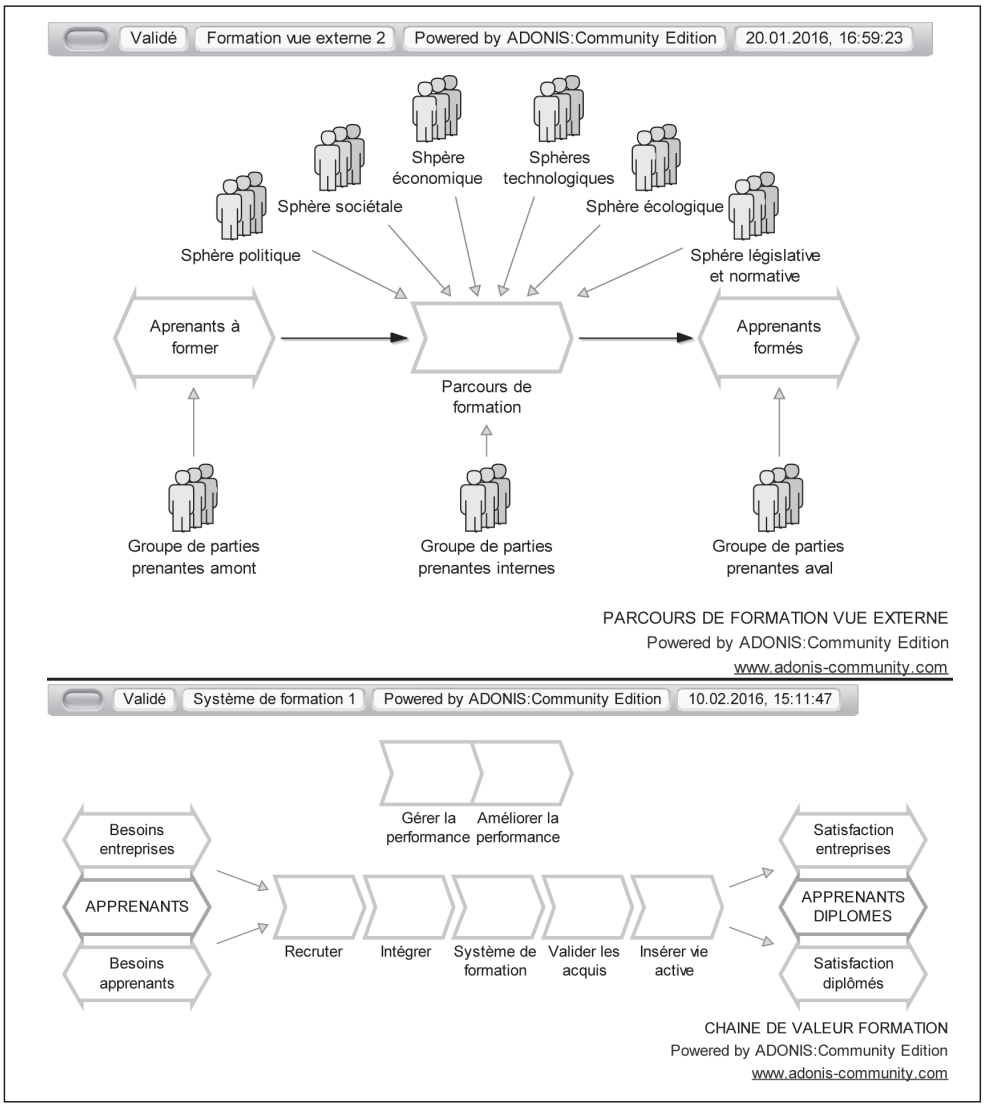


Figure 1 : Organisation du système de formation



▲ *Figure 2 : Chaîne de valeur d'une formation*

Cette figure présente deux visions du parcours :

- La première qualifiée de vue externe montre la nécessaire prise en compte de sphères d'influence : politique, sociétale, économique, technologique, écologique, législative et normative.
- La seconde montre la vue interne du parcours sous la forme d'une chaîne de valeur en mettant en évidence les fonctions créatrices de valeur.

Ces étapes sont illustrées dans la cartographie [18] (figure 2) : recruter, intégrer, former (parcours de formation), valider les acquis, s'insérer dans la vie active. En amont de cette chaîne, outre les apprenants, nous avons des informations concernant les besoins de compétences des apprenants et des entreprises. De même en aval, outre les apprenants diplômés, l'établissement doit mesurer la satisfaction des diplômés et des entreprises.

3. Le concept de compétence

La notion de compétence est explicitée dans de nombreux documents, comme par exemple dans un ouvrage de Le Boterf [14] et Cohendet et al [9]. Ces auteurs précisent qu'une compétence est la capacité d'un acteur à mobiliser ses ressources et celles de son environnement pour remplir une mission.

Les ressources incorporées sont composées :

- de connaissances : connaissances générales, connaissances d'environnement, connaissances procédurales ;
- de savoir-faire : formalisés, relationnels et cognitifs ;
- de qualité, de ressources physiologiques, de culture.

Les ressources de l'environnement sont composées :

- de réseaux (relationnels, documentaires, d'expertises, informationnels) ;
- d'outils de proximité.

Cette approche doit être mise dans le contexte de la réalité professionnelle comme l'a montré M. Harzallah [13] dans un modèle explicatif présenté à la figure 3 : une mission requiert des compétences codifiées et d'un acteur qui dispose de ressources de l'environnement. L'acteur a acquis un certain nombre de compétences durant sa vie et c'est l'adéquation entre les deux qui assurera la réussite de la mission.

D'autre part, compte-tenu de la mission, les savoirs et savoir-faire requis doivent être en harmonie avec tout ou partie des aspects suivants : économique, environnemental, social, informationnel, organisationnel, technologique et/ou objet technique.

4. La conception d'un parcours de formation

4.1 Description du projet

Le projet a pour objectif de définir l'ingénierie de formation, par exemple, en **Génie des Systèmes**. Cette définition doit comprendre l'ensemble des actions de formation, leur regroupement en domaines d'actions ainsi que celle des acteurs chargés de leur réalisation et de leur pilotage, en précisant pour chacun d'eux les ressources incorporées et l'environnement nécessaire à l'accomplissement de leur mission d'enseignant. Mais avant tout les besoins et le référentiel de formation, dont le rôle est de définir

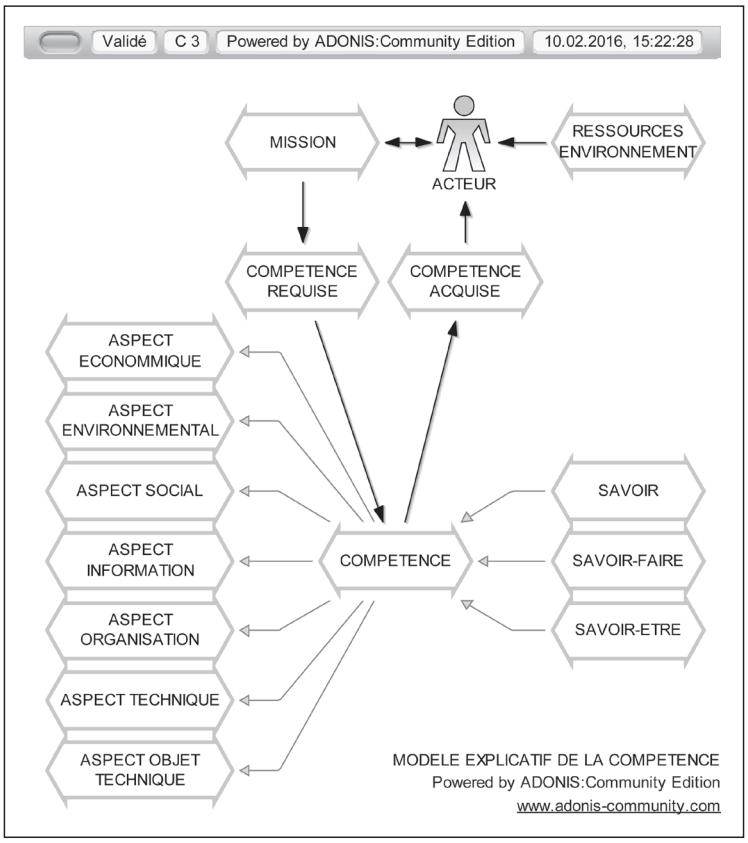


Figure 3 : La compétence

les thématiques des domaines d'action et des actions de formation, doivent être maîtrisés. Avant de commencer le projet il est indispensable que l'établissement ait procédé à la définition de sa stratégie [19] pour ce système complexe [20].

4.2 L'ingénierie des besoins

La démarche d'ingénierie des besoins est fondamentale en ingénierie système. L'AFIS (Association Française d'Ingénierie Système) a procédé à la rédaction d'un guide pratique [21]. Il insiste sur la nécessité de définir correctement les parties prenantes :

- Les demandeurs de formation représentés par les différents types d'organismes recruteurs ;
- Les utilisateurs de la formation en l'occurrence les apprenants potentiels ;
- Les enseignants ;
- Les institutions ou organismes de contrôle.

À cela il faut rajouter le maître d'œuvre du projet, l'équipe de validation du parcours de formation, l'équipe de conception, les experts de la thématique de formation sans oublier les représentants des organismes institutionnels comme, pour les formations d'ingénieurs, la commission du titre d'ingénieur (CTI).

Le guide conseille pour la mise en œuvre d'une expression du besoin de se poser certaines questions présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Le guide conseil

Quel est l'objet du besoin ?	• L'enjeu du parcours de formation est de répondre à des besoins des entreprises et des organisations industrielles • Pour répondre aux missions actuelles d'un ingénieur • Le besoin est destiné aux entreprises industrielles et de service • Le parcours réagit avec les apprenants potentiels et les entreprises
Le besoin est-il fondé ?	• Le besoin est fondé, car il répond aux insatisfactions des industriels, des besoins de compétitivité et aux désirs d'intégrer les nouvelles méthodes et outils de l'ingénierie système et du génie industriel
Le besoin est-il réaliste ?	• De nombreuses enquêtes montrent les besoins exprimés par les industriels

4.3 Définition du référentiel

La définition du référentiel s'appuie sur une définition des tâches à accomplir.

4.3.1 Les tâches à accomplir en Ingénierie et Génie des Systèmes

On peut s'inspirer du cycle de vie d'un objet technique, en distinguant une partie opérationnelle et une partie pilotage. Nous présentons cette hypothèse dans le tableau 2.

Tableau 2 : Les tâches

Partie opérationnelle	Partie pilotage
1. Définir les besoins 2. Concevoir 3. Développer 4. Mettre en situation 5. Exploiter 6. Maintenir à niveau 7. Évaluer 8. Retirer d'exploitation	1. Évaluer 2. Planifier 3. Gérer 4. Décider

La partie opérationnelle se divise en deux :

- L'ingénierie ou la conception de l'objet technique ou produit (partie pour faire) ;
- La production de l'objet technique ou du produit (partie à faire).

4.3.2 Une approche par la définition des besoins en ressources incorporées

Pour effectuer cette définition nous avons classé les possibilités en nous inspirant du modèle constructiviste des sciences :

- Connaissances, savoir-faire en sciences de l'ingénierie
- Connaissances, savoir-faire en sciences de la vie
- Sciences de la matière et du mouvement

Ressources incorporées

Connaissances, savoir-faire en Sciences de l'Ingénierie
Systémique et analyse des systèmes
Sciences et génie de l'automatique
Sciences et génie de l'informatique
Sciences et techniques de gestion
Sciences et techniques de l'économie
Sciences et techniques de l'organisation
Sciences et techniques de la décision
Sciences et techniques de la conception
Sciences et techniques de la modélisation
Science et techniques de la production et de la servuction
Science des techniques ou technologie
Connaissances, savoir-faire en sciences de la vie
Sciences et techniques de la connaissance
Sciences sociales
Sciences et techniques de l'environnement ou écologie
Sciences et techniques du comportement
…/…
Sciences de la matière et du mouvement
Chimie et génie chimique
Biochimie et génie biochimique
Electricité et génie électrique
Energétique et génie énergétique
Mécanique et génie mécanique
…/..

4.4 Proposition d'une démarche de conception du parcours de formation

La conception du parcours de formation repose sur les méthodes et outils de l'ingénierie système [22] ainsi que sur des méthodes et outils de modélisation [23], [24] et d'aide à l'ingénierie de système de conduite [25], [26], [27]. Elle repose pour l'essentiel sur l'approche proposée par la mise en évidence des décisions à prendre lors des phases de préconception, conception, développement et préparation de la mise en œuvre. Nous précisons ces décisions en les adaptant au projet de conception du parcours.

Tableau 3 : Les étapes de la démarche

Préconception	1. En fonction des besoins exprimés, définir les thèmes ou sous-thèmes correspondant à des domaines d'action de formation
Conception	Pour chaque thème ou sous-thème : 2. Définir les compétences à acquérir 3. Définir les compétences requises (ressources incorporées et ressources de l'environnement 4. Décomposer le domaine en actions de formation Pour chaque action de formation : 5. Définir les compétences à acquérir 6. Définir les compétences requises 7. Définir le mode d'apprentissage
Développement	Pour chaque action de formation : 8. Définir les tâches à accomplir dans le cadre du sous-processus de formation 9. Pour chaque tâche, spécifier l'acteur chargé de la formation (ressources incorporées et ressources de l'environnement) 10. Pour chaque acteur, vérifier si l'établissement possède les ressources nécessaires (humaines et matérielles), 11. Sinon procéder à leur recrutement ou à leur acquisition
Préparation de la mise en œuvre	• Cette dernière phase a pour objectif de définir le parcours de formation en procédant à l'ordonnancement des tâches. Une solution est proposée par O. Bistorin dans son mémoire de thèse [22]

5. RECOMMANDATIONS CONCERNANT LA DÉMARCHE PROPOSÉE

5.1 Préalable à la mise en œuvre du projet de conception

Il est indispensable, en plus de l'ingénierie des besoins, que le système de production de compétences soit illustré par une politique [19] comme la suivante :

- Définir et appliquer une **stratégie** innovante et compétitive ;
- **Gouverner** avec pragmatisme et efficacité tout en innovant sur le fond ;

- **Contrôler** en permanence la réalisation des tâches à réaliser ;
- **Améliorer en continu** le fonctionnement du système pour le rendre plus performant ;

Définir et appliquer une stratégie c'est :

- Définir la mission, la vision….
- Identifier les facteurs clés de succès ;
- Définir les modèles cause effet ;
- Identifier et spécifier les objectifs stratégiques ;
- Identifier et spécifier des plans d'actions : un des plans d'actions pouvant être la conception d'un parcours de formation innovant.

5.2 La formation, un service aux apprenants et aux entreprises

Le système de production de compétences se classe dans la catégorie des systèmes de production de service (servuction). Il est alors possible de réfléchir à l'utilisation des réflexions menées par le Comité Technique de l'AFIS « Services au profit des systèmes de systèmes - Ingénierie de Services » qui préconise notamment de considérer pour l'ingénierie trois cycles de vie (offre, prestation et utilisation) [30], [31], [32]. Nous les présentons tableau 4.

Tableau 4 : Offre, prestation et utilisation

Offre	Prestation	Utilisation
Recherche exploratoire	Recherche exploratoire	Recherche exploratoire
Conceptualisation	Conceptualisation	Conceptualisation
Développement	Contractualisation	Contractualisation
Mise en situation	Mise en situation	Mise en situation
Support	Mise en œuvre	Mise en œuvre
Évolution	Évolution	Évolution
Retrait de l'offre	Arrêt de la prestation	Arrêt de l'utilisation

Il est certain que la mise en œuvre d'une démarche inspirée de ces trois cycles consoliderait nos propositions.

5.3 Sur la performance du parcours de formation

Lors de l'élaboration du manuel « qualité » de l'École Nationale d'Ingénieurs de Metz, une réflexion a été menée avec le Directeur des Études et un Doctorant sur la performance du système de production de compétences [23], [24], une partie de cette analyse est proposée dans le tableau 5.

Tableau 5 : Les performances du parcours de formation

Niveau de progrès	Objectif	Niveau de maturité	Caractéristiques apprenants	Caractéristiques parcours
1	Obtention de résultats	Fonctionnement de base	Apprenants formés	Parcours orienté apprenants
2	Conformité	Défini, planifié et suivi	Apprenants formés conformément aux besoins exprimés	Parcours orienté apprenants et processus
3	Efficacité	Maîtrisé	Apprenants formés conformément aux besoins exigés	Parcours orienté processus cohérent
4	Efficience	Optimisé	Apprenants formés conformément aux besoins et tendances	Parcours orienté processus cohérent et adaptatif
5	Excellence	Amélioration permanente	Apprenants formés aux technologies innovantes	Parcours générant des améliorations

6. Conclusion

Dans cet article nous nous sommes interrogés sur les modalités d'utilisation de l'Ingénierie Système pour concevoir ou reconcevoir un programme de formation. Nous avons défini les établissements de formation comme un système de production de compétences. Dans ce contexte, le système de production de compétences doit être considéré comme un système de systèmes comprenant, entre autres, le système de formation. Nous avons analysé l'organisation du système de formation en utilisant sa décomposition systémique. Par analogie avec des approches de type chaîne de valeur, nous avons identifié l'ensemble des étapes permettant à un établissement de formation d'obtenir un avantage concurrentiel. Nous avons également analysé la notion de compétence avec ses composantes nécessaires à la réussite d'un projet. En nous basant sur ces différentes analyses nous avons proposé une démarche de conception d'une formation basée sur les modèles d'ingénierie système. Les différentes étapes du projet de conception ont été spécifiées : définition des objectifs, ingénierie des besoins, définition du référentiel (tâches et ressources). Nous avons spécifié les décisions à prendre lors des phases de préconception, conception, développement et préparation de la mise en œuvre. Enfin,

nous avons donné plusieurs recommandations nécessaires à la bonne application de la démarche proposée.

7. Bibliographie

[1] C. Pourcel, I. Filipas Deniaud, F. Marmier et D. Gourc : *Réflexions sur le Génie Industriel & l'Ingénierie Système* ; 11e Congrès International de Génie Industriel - CIGI2015, 26-28 octobre, Québec, Canada, 2015.

[2] L. von Bertalanffy : *General System Theory: Foundations, Development, Applications* ; New York, 1968: George Braziller. *Théorie générale des systèmes*, Paris, Bordas (Dunod), 1973.

[3] N. Wiener : *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine* ; MIT Press, 1948.

[4] J. de Rosnay : *Le macroscope* ; Éditions du Seuil, 1975.

[5] J.-L. Le Moigne : *La théorie du système général, Théorie de la modélisation* ; Paris: Col. Systèmes-Décisions, Presses Universitaires de France, 1977.

[6] E. Morin : *Introduction à la pensée complexe* ; Paris, ESF, 1992.

[7] A. H. Simon : *The science of the artificial* ; MIT Press, Cambridge, MA, États-Unis, 1969.

[8] S. C. Cook et T. L. J. Ferris : *Re-evaluating systems engineering as a framework for tackling systems issues* ; Systems Research and Behavioral Science, 24(2), pp. 169-181, 2007.

[9] P. Cohendet, F. Créplet et O. Dupouët : *La gestion des connaissances. Firmes et communautés de savoirs* ; Éditions Economica, 2006.

[10] J.-P. Micaelli, I. Deniaud et E. Bonjour : *Conception ambidextre : Quels apports de l'Ingénierie Système ?*, Revue Génie Logiciel, n° 100, pp. 9-15, mars 2012.

[11] X. Boucher : *Gestion des compétences liée à la mise en œuvre de l'ingénierie concourante* ; Actes de la journée « Gestion des compétences et performance industrielle » tenue dans l'entreprise Automobile Citroën à Neuilly-sur-Seine, 1998.

[12] A. Jia : *Vers une meilleure gestion des ressources d'un groupe autonome de fabrication* ; Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université François Rabelais de Tours, 1998.

[13] M. Harzallah : *Modélisation des aspects organisationnels et des compétences pour la réorganisation d'entreprises industrielles* ; Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Paul Verlaine de Metz, 2000.

[14] G. Le Boterf : *L'ingénierie des compétences ;* Éditions d'Organisation, Paris, 1998.

[15] M. Porter : *Choix stratégiques et concurrence* ; Éditions Economica, Paris, 1982.

[16] M. Porter : *L'avantage concurrentiel* ; Inter Editions, Paris, 1986.

[17] O. Meier : *Diagnostic stratégique*, 4e édition ; Dunod, 2015.

[18] J.-Y. Colombel : *La cartographie des compétences systèmes* ; 3e convention interne Systematic Paris Région, France, 2013.

[19] C. Pourcel : *Stratégie, gouvernance et contrôle de la performance d'un établissement de formation* ; Actes de la 1ère Conférence Internationale des Systèmes de Formation, Carthagène des Indes, Colombie, 2007.

[20] J.-L. Le Moigne : *La modélisation des systèmes complexes ;* Collection AFCET Systèmes, Éditions Dunod, Paris, 1990.

[21] G. Fannuy : *Guide des bonnes pratiques en expression du besoin ;* Collection AFIS, Éditions Cépaduès, Toulouse, France, 2014.

[22] S. Fiorèse et J.-P. Meinadier : *Découvrir et comprendre l'ingénierie* système ; Collection AFIS, Éditions Cépaduès, Toulouse, 2012.

[23] C. Clémentz : *Modélisation des systèmes de production de compétences : apports à l'ingénierie pédagogique* ; Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Paul Verlaine de Metz, 2000.

[24] C. Pourcel et D. Gourc : *Modélisation d'entreprise par les processus*, Éditions Cépaduès, Toulouse, 2005.

[25] C. Pourcel : *Apport du génie industriel à la modernisation de l'outil de production* ; Communication prononcée au 1er congrès international de Génie Industriel, Châtenay-Malabry, France, 1986.

[26] C. Pourcel & GT AICOSCOP : *Aide à la conception de système de conduite de production* ; Communication présentée lors du 3e congrès International de Génie Industriel, Tours, France, 1990.

[27] D. Gourc et C. Pourcel : *AICOSCOP : principe, démarche et perspectives de développement* ; 2e congrès International Franco-québécois de Génie Industriel, Albi, France, 1997.

[28] O. Bistorin : *Méthodes et outils d'aide à la conception des processus opérationnels des systèmes de formation ;* Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Paul Verlaine de Metz, 2007.

[29] C. Pourcel : *Stratégie, gouvernance et contrôle de la performance d'un établissement de formation* ; Actes de la 1ère Conférence Internationale des Systèmes de Formation, Carthagène des Indes, Colombie, 2007.

[30] CT 3S_AI, *Projet service, fiche 2 : service au profit des systèmes de systèmes - Ingénierie de services* ; Note interne AFIS, Orsay, France, 2012.

[31] J.-L. Garnier, J.-M. Auzelle, M. Peyrichon et C. Pourcel : *Service Engineering Life-cycles* ; Conférence INCOSE 2012, Rome, Italie.

[32] J.-L. Garnier, J.-M. Auzelle, M. Peyrichon et C. Pourcel : *Ingénierie de Services* ; Revue Génie Logiciel, n° 104, pp. 47-55, mars 2013.

[33] C. Clémentz : *Manuel de management ENIM ;* Document interne, Metz, France, 2008.

[34] R. Renaud : *Contribution au pilotage des organismes de formation : application aux établissements de formation de l'enseignement supérieur ;* Thèse pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Paul Verlaine de Metz, 2008.