

Méthode de conception des parcours de formation par réseaux de Petri

OLIVIER BISTORIN¹, THIBAUD MONTEIRO², CLAUDE POURCEL¹

¹ LGIPM – ENIM

Île du Saulcy 57045 Metz cedex 1, France

² LGIPM – Université Paul Verlaine de Metz

Île du Saulcy 57000 Metz, France

bistorin@enim.fr, thibaud.monteiro@loria.fr, claude-pourcel@wanadoo.fr

Résumé – Cette communication propose une approche originale d'ingénierie des systèmes de formation et notamment dans leur processus de conception des formations proposées. Grâce à la modélisation du processus opérationnel de formation, nous proposons une méthode fondée sur l'application des Réseaux de Petri et permettant de définir des parcours de formation cohérents et répondants aux objectifs d'optimisation du système de formation.

Mots-clés – Systèmes de production de services, Réseaux de Petri, modélisation UML, formation

I. INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, l'équipe Systèmes de Production (SdP) du Laboratoire de Génie Industriel et Production de Metz (LGIPM) centre ses activités de recherche sur les systèmes de production de services et plus particulièrement sur les systèmes hospitaliers et les systèmes de formation. En effet, ne nombreuses problématiques au sein de ces systèmes relèvent du génie industriel et c'est notamment le cas pour la constitution de parcours apprenants, véritables gammes de formation. Dans une première partie, nous rappellerons le contexte général des systèmes de formation. Nous expliquerons alors le rapprochement qu'il existe avec les méthodes et outils du génie industriel. Dans une troisième partie, nous présenterons la démarche générale nous ayant permis de proposer un modèle UML des processus opérationnels des systèmes de formation. Nous préciserons ainsi en quoi cette modélisation nous a conduits à proposer une méthode d'aide à la conception des parcours de formation en s'appuyant sur les réseaux de Petri. Enfin, nous présenterons nos conclusions ainsi que quelques perspectives de travaux.

II. CONTEXTE DES SYSTÈMES DE FORMATION

Bien former une population, c'est la préparer efficacement à évoluer dans la société actuelle mais surtout, c'est lui donner les outils nécessaires pour créer la société de demain. Il existe ainsi un lien fort entre le développement d'une nation et le niveau d'éducation de la population qui la compose. C'est pourquoi le budget alloué aux systèmes de formation par les nations est très important. Selon l'OCDE¹, chaque pays consacre en moyenne 6,28% du PIB à l'éducation [12]. En France, le budget national consacré à l'Éducation Nationale se porte à 84 milliards d'euros en 2009 alors qu'il était de 70,8 milliards d'euros en 2004. L'éducation représente de loin le plus gros budget de l'État puisqu'il constitue à lui seul le quart

du budget national général. Le tableau 1 illustre l'évolution du budget de l'Éducation Nationale entre 2004 et 2009 pour les différentes tranches du budget que sont l'enseignement scolaire, l'enseignement supérieur et la recherche [10] [11].

Table 1. Évolution du budget de l'Éducation Nationale en France entre 2004 et 2009

| | 2004 (Milliards d'€) | 2006 (Milliards d'€) | 2009 (Milliards d'€) |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Enseignement scolaire | 55,5 | 59,7 | 65,2 |
| Enseignement supérieur | 9,1 | 9,9 | 11,1 |
| Recherche | 6,2 | 6,8 | 7,7 |
| TOTAL | 70,8 | 76,4 | 84 |

Intégrant la notion de coûts importants de l'éducation, beaucoup de pays cherchent logiquement à rationaliser et maîtriser l'efficacité des systèmes de formation. En ce sens, ils sont soutenus par de nombreux travaux de recherche dans le domaine des sciences de l'éducation qui visent à augmenter la qualité sur l'axe pédagogique des systèmes de formation. Toutefois, hors des aspects purement pédagogiques, de nombreux facteurs contribuent à la performance de ces systèmes et notre communauté ne s'intéresse que depuis peu à ces derniers. En particulier, les aspects concernant l'offre de formation, ou encore les aspects structurels des systèmes qui permettent de conduire les formations à moindre coût et/ou moindre délai tout en maintenant un niveau de qualité élevé voire en contribuant à son augmentation. C'est dans ce contexte que s'inscrivent nos travaux.

III. ANALOGIE ENTRE SYSTÈMES DE FORMATION ET SYSTÈMES DE PRODUCTION DE BIENS ET DE SERVICES

Les travaux présentés par Christian Clementz [5] en 2000 posent les premières réflexions permettant de mettre en évidence la forte analogie existante entre les systèmes de formation et les systèmes de production de biens et de services. Ces travaux de thèse proposent ainsi la dénomination « **systèmes de production de compétences** ».

Nos travaux ayant pour ambition de se focaliser sur l'aide à la conception des processus opérationnels des systèmes de formation, nous nous sommes attachés à décrire le processus de conception d'un ensemble de formations et établissons ainsi un parallèle avec la démarche de conception associée à un produit ou service dans le cadre des systèmes de production de biens et de services. En effet, en ce qui concerne la conception des processus opérationnels, nous considérons qu'il existe trois étapes distinctes que sont la conception du produit/process, la planification de la production et enfin l'ordonnancement. Chacune de ces étapes se retrouve effectivement au sein des systèmes de formation mais nécessitent tout de même une

¹ OCDE : Organisation de Coopération et de développement Économique

légère adaptation du vocabulaire utilisé. La figure 1 présente ce parallèle avec les systèmes de production de biens et de services.

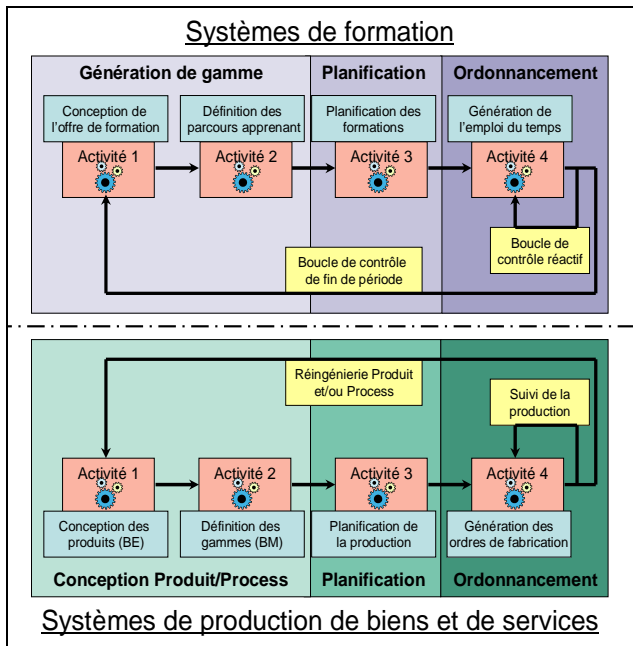


Fig. 1. Analogie systèmes de formation / systèmes de production de biens et de services

Cette analogie permet de préciser les quatre activités identifiées au cours du processus de conception. En premier lieu, il est nécessaire de définir les caractéristiques des formations que propose le système. Par la suite, une réflexion doit exister sur comment passer d'un niveau de compétences d'un apprenant au niveau de compétences associé à la formation proposée et défini lors de la première étape de conception précédemment évoquée. Cette étape consiste donc à définir les différentes gammes d'assemblage de compétences offertes par le système. Le parcours de formation étant constitué pour chaque apprenant, il incombe au système d'en planifier la mise en œuvre en fonction de ses ressources. Enfin, en dernier lieu, l'ordonnancement permet de terminer la spécification en proposant un ensemble de rendez-vous entre un ou plusieurs apprenants, une ou plusieurs ressources humaines et techniques. Ces rendez-vous forment l'emploi du temps qui doit respecter l'ensemble des contraintes du système (respect des gammes, disponibilité des ressources, etc.) en maximisant la performance (triptyque coût, délai, qualité).

On retrouve dans ce processus de conception deux types de projets d'ingénierie que sont :

- L'ingénierie de l'objet produit par le système opérant ;
 - L'ingénierie du système opérant en liaison avec l'ingénierie de l'objet.
- Elle consiste en la spécification des tâches, des acteurs et des processus chargés de la transformation de l'objet technique.

Cette typologie des projets d'ingénierie s'étend bien sûr à l'ingénierie du système d'information, l'ingénierie du système de management ou pilotage et enfin l'ingénierie du système de mesure/évaluation. Toutefois, ces trois derniers types de projets d'ingénierie ne concernent pas directement les travaux présentés dans cet article et ne seront donc pas développés. Les projets d'ingénierie des systèmes de production de bien et de

services s'appuient sur l'ingénierie système. L'AFIS² en propose la définition suivante [7] : « **Approche coopérative interdisciplinaire pour le développement progressif et la vérification d'une solution pour le système, équilibrée sur l'ensemble de son cycle de vie, satisfaisant aux attentes d'un client et acceptable par tous.** » Le cadre de l'ingénierie système impose une connaissance parfaite du système à étudier et c'est pourquoi nous présentons ici une modélisation des activités ayant trait au sein du processus opérationnel des systèmes de formation.

IV. MODÉLISATION DU PROCESSUS OPÉRATIONNEL D'UN SYSTÈME DE FORMATION

La modélisation que nous proposons se réalise à des niveaux de granularité différents. Dans un premier temps, nous modélisons l'ensemble des processus au sein du système de formation afin de définir de façon précise le périmètre des processus opérationnels. Une fois identifiés, nous modélisons en détail les activités, tâches, acteurs et compétences intervenant au sein de ces processus.

A. Modélisation générale d'un système de formation

Pour réaliser cette étape, nous avons fondé nos travaux sur la méthode de modélisation nommée MECI (Modélisation d'Entreprises pour la Conception Intégrée). Cette méthode de modélisation, constituée de deux méta-modèles (Modèle Tâches-Acteurs-Activités-Compétences – voir figure 2 – et vue interne d'une unité organisationnelle) [14], a démontré sa pertinence par son application à de nombreux cas industriels de systèmes de production de biens [15] mais également à des systèmes de production de services comme les systèmes hospitaliers [1]. Cette méthode de modélisation nous a permis d'établir une vue des processus et des liaisons interprocessus qui existent au sein d'un système de formation [2]. (Figure 3)

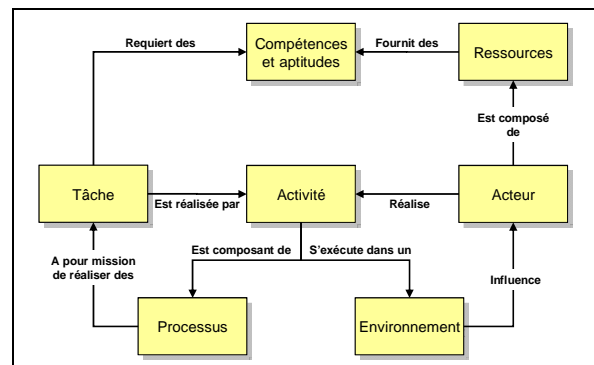


Fig. 2. Méta Modèle Tâches-Acteurs-Activités-Compétences

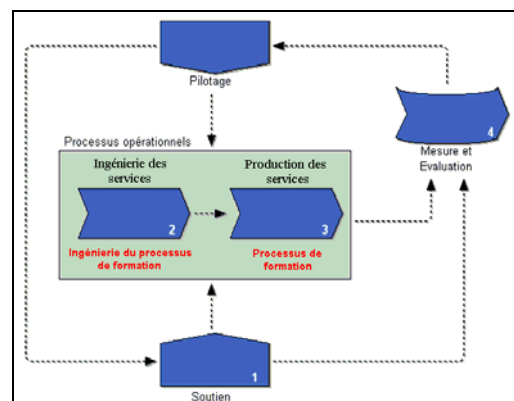


Fig. 3. Vue du système de formation selon MECI

² AFIS : Association Française d'Ingénierie Système

de leur formation le secteur de l'emploi, l'exigence des clients externes (organismes recruteurs) est constituée par la définition de référentiels de compétences métiers. La mission du système de formation réside alors dans la production d'apprenants ayant acquis un ensemble de compétences spécifique à leur future situation professionnelle. Ces portefeuilles de compétences sont plus communément désignés par le terme « référentiel métier ». Aussi, de nombreux secteurs d'activités ont développé des référentiels métiers que nous pouvons directement exploiter pour les définir comme cible de nos systèmes de formation. D'autres référentiels ont également été développés par d'autres organismes. On peut citer par exemple des référentiels comme le ROME de l'ANPE ou les référentiels VAE créés par les systèmes de formation eux-mêmes.

Nous positionnons nos travaux sur les systèmes de formation à vocation professionnalisante car comme nous venons de l'exposer, les référentiels de compétences cibles sont nombreux. En ce qui concerne les systèmes de formation existant en amont, on pourrait imaginer que, comme dans le cadre des chaînes logistiques, le système de formation amont est fournisseur du système de formation en aval mais le constat que nous avons fait est que cela relève de l'utopie et que chaque système fonctionne en vase clos affectant ainsi gravement la cohérence des parcours de formation sur l'ensemble de la vie d'un individu.

Ayant identifié les référentiels de compétences à atteindre, il nous faut donc nous interroger sur comment le système de formation permettra à un élève quelconque d'atteindre ce référentiel : Quel sera son parcours ?

B. Création du parcours de formation par apprenant

Afin de pouvoir constituer le parcours apprenant à réaliser pour un apprenant pour une formation, il est fondamental de connaître les précédences qui peuvent exister entre compétences. Ainsi, à partir du référentiel de compétences à atteindre, du référentiel de compétences possédées par l'apprenant et enfin du graphe de précédences entre compétences, nous sommes en mesure de constituer le parcours apprenant adéquat et le plus adapté à la situation. La figure 10 présente ainsi une synthèse de la démarche proposée permettant d'offrir à un apprenant Y le parcours apprenant lui permettant d'obtenir le référentiel de compétences associé à la formation X. [3]

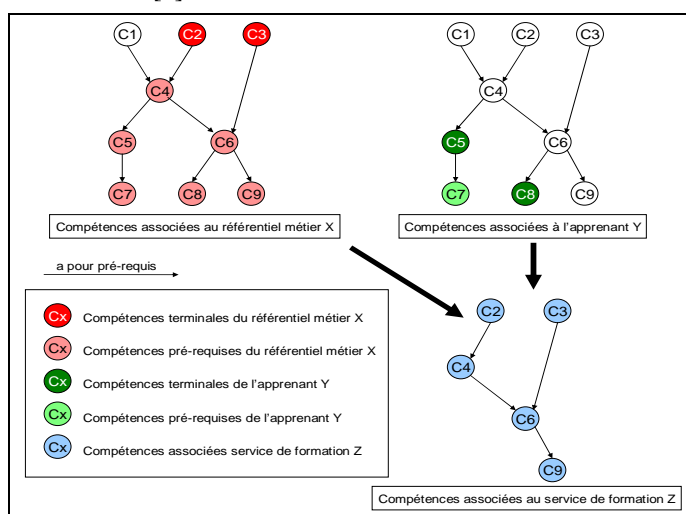


Fig.6. Constitution de la gamme de formation à partir des référentiels métiers et apprenant

Afin de pouvoir réaliser les trois étapes décrites ci-dessus, nous avons fait le choix de développer un outil informatique pour la génération de la gamme de formation. Ainsi, dans un premier temps, cet outil permet la description du graphe de précédences général permettant ainsi de formaliser toutes les précédences existantes entre toutes les compétences pour lesquelles le système de formation prévoit un processus de formation. Cet outil prend la forme d'une base de données dont le modèle de données relationnel s'appuie sur le modèle UML que nous avons présenté auparavant. Grâce à la description du graphe de précédences général, l'outil informatique permet de repérer toutes les compétences pré-requises associées aux compétences terminales d'un référentiel métier ou d'un référentiel apprenant. Enfin, la dernière étape permet le calcul des compétences à transférer dans le cadre d'un service de formation adapté à l'apprenant pour le référentiel métier sollicité.

Toutes ces opérations sont réalisées à partir d'un algorithme de calcul développé à partir du système de gestion de bases de données (ici ACCESS). Le langage utilisé pour cet algorithme est le SQL (Structured Query Language), langage de haut niveau utilisé pour le traitement des requêtes au sein des bases de données relationnelles.

Par une application de cet algorithme au référentiel métier puis au référentiel apprenant, on dispose donc des deux portefeuilles de compétences associés à ces deux référentiels. A partir de ces informations, il est ainsi possible de déterminer quelles sont les compétences à acquérir par un apprenant pour posséder à l'issue, un référentiel métier donné. C'est là encore l'outil informatique que nous avons développé qui réalise ce travail et établit ainsi autant de gammes de formation que d'apprenants.

Ainsi, le système de formation est en mesure de spécifier une gamme de formation adaptée aux attentes de deux de ses clients : les apprenants et les organismes recruteurs. Certaines étapes pouvant être traitées en parallèle, ce portefeuille de compétences à acquérir admet une grande flexibilité par rapport notamment à l'ordre d'exécution des processus de formation permettant l'acquisition des compétences.

À ce niveau, les outils analytiques ne peuvent répondre à notre besoin et nous avons dû nous tourner vers la simulation. Afin de doter le système de formation d'un outil de simulation des différentes gammes de formation acceptables, nous nous tournons vers les réseaux de Petri à ressource partagée [6]. Ce choix est guidé par deux éléments :

La première raison est qu'il existe de nombreuses solutions satisfaisant aux contraintes de précédences imposées par le système. Aussi, nous devons proposer une batterie de solutions acceptables afin que chaque système de formation puisse valoriser, en fonction de ses besoins ou de ses contraintes, chacune de ces solutions et se positionner sur une d'elles. Ainsi, les réseaux de Petri à ressource partagée, permettent une modélisation des conflits structurels et effectifs. Et offrent ainsi la possibilité d'un traitement probabiliste pour les opérations validant au même moment les critères de précédences. Ne favorisant pas une transition (début d'apprentissage d'une compétence) plus qu'une autre, nous obtiendrons une solution totalement aléatoire respectant uniquement les contraintes de précedence entre compétences imposées par le graphe de précédences général que nous avons décrit précédemment. Il est aussi possible de générer l'ensemble des solutions admissible par l'élaboration par cheminement avant ou arrière du graphe d'atteignabilité. Ce

cheminement peut donner l'ensemble des séquences de franchissements permettant d'aller du marquage initial au marquage final désiré. Ces séquences donnent ainsi les étapes nécessaires pour un apprenant pour atteindre les compétences désirées en tenant compte de son acquis initial. Cependant cette recherche s'appuie sur la génération du graphe d'atteignabilité. Aussi seuls des problèmes de petites tailles pourront être analysés suivant cette démarche.

La seconde raison qui nous oriente vers les réseaux de Petri est qu'ils permettent de simuler le déroulement séquentiel ou simultané d'actions sous contrainte de ressources [8]. Or, pour simuler le parcours dédié à un apprenant, il est évident que ce dernier constitue la ressource critique de ce parcours puisque sa disponibilité est nécessaire pour le déroulement de toutes les activités.

Cherchant à conserver notre approche similaire à celle utilisée pour le traitement des systèmes de production de biens et de services, nous choisissons donc de représenter chaque processus d'acquisition de compétences à travers un Réseau de Petri T-temporisé, celui-ci permettant d'intégrer la durée nécessaire à l'acquisition d'une compétence.

Aussi, on peut considérer que le processus d'acquisition d'une compétence peut être représenté par cinq types places qui sont :

- Cxa : Le marquage de cette place représente le fait que la compétence x reste à acquérir ;
- Cxc : Le marquage de cette place représente le fait que la compétence x est en cours d'acquisition ;
- Cxr : Le marquage de cette place indique que la compétence x a été acquise ;
- Ed : Le marquage de cette place représente le fait que l'apprenant ou l'élève est disponible ;
- Cyr : Cette place indique que la compétence y est un pré-requis pour l'obtention de la compétence x.

La Figure 7 présente la mise en place de ces places au sein du Réseau de Petri évoqué.

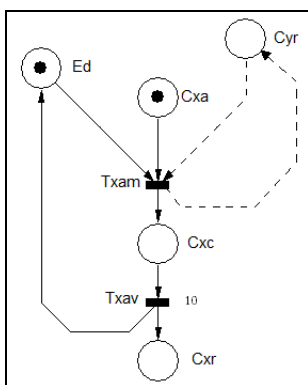


Fig.7. Réseau de Petri unitaire associé au processus d'acquisition d'une compétence

De la même manière, on peut repérer sur la Figure 11 que deux transitions existent en amont et en aval de la place Cxc :

- Txam : Le tir de cette transition implique le passage d'un jeton de Cxa vers Cxc et déclenche ainsi le processus d'acquisition de la compétence ;
- Txav : Le tir de cette transition implique le passage d'un jeton de Cxc vers Cxr et représente ainsi la fin du processus d'acquisition de compétence. C'est cette transition qui est temporisée. Cette temporisation représente le temps nécessaire au processus

d'acquisition pendant lequel la place Cxc devra rester active. Ici le temps nécessaire à l'acquisition de la compétence x demande 10 unités de temps.

Au réseau de Petri présenté sur la Figure 11, nous pouvons associer les matrices d'incidence reflétant l'impact sur les places du tir des différentes transitions. Nous présentons les matrices d'incidence amont (Pré) et aval (Post) au Tableau 2.

Tableau 2. Matrice d'incidence du RdP associé au processus d'acquisition d'une compétence

| Pré | Cxa | Cxc | Cxr | Ed | Cyr |
|------|-----|-----|-----|----|-----|
| Txam | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Txav | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

| Post | Cxa | Cxc | Cxr | Ed | Cyr |
|------|-----|-----|-----|----|-----|
| Txam | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Txav | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |

Ainsi, nous pouvons constituer un réseau de Petri permettant la simulation du déroulement d'un parcours de formation particulier. Grâce au marquage initial, nous pouvons spécifier le référentiel de compétences à atteindre par le marquage des places Cxa, ainsi que le référentiel de compétences possédées par l'apprenant grâce au marquage des places Cxr (l'apprenant possède déjà la compétence). On peut donc illustrer l'exemple présenté sur la figure 9 en constituant le RdP associé à ce service de formation pour un apprenant. La figure 8 représente le réseau de Petri ainsi obtenu.

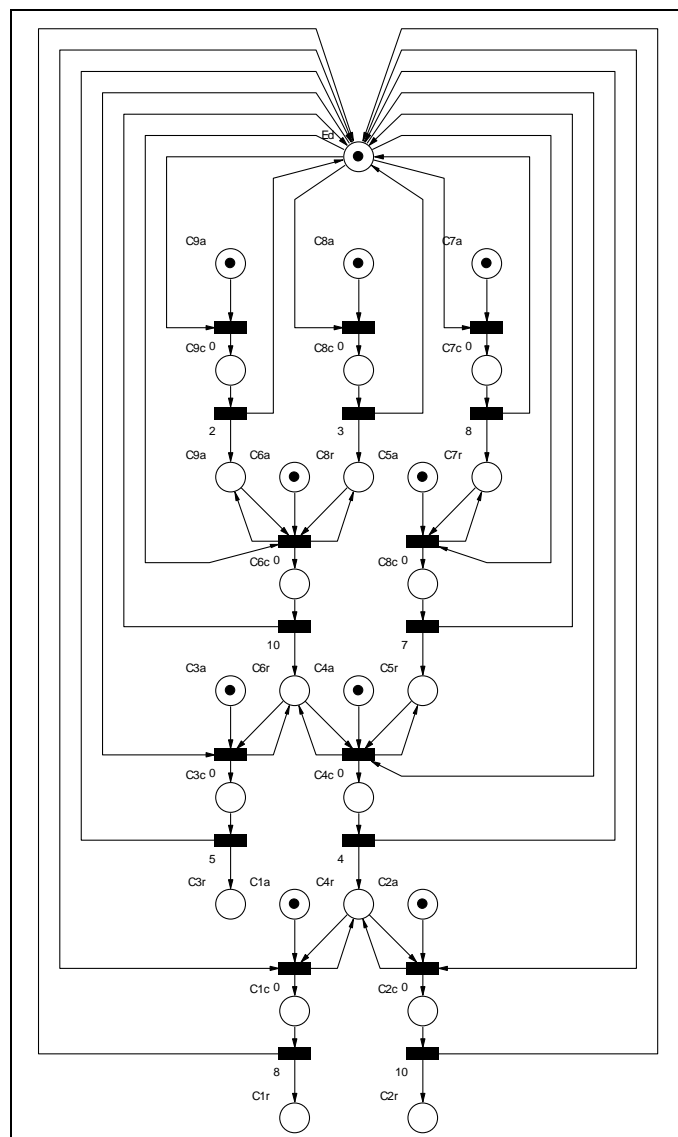


Fig. 8. Représentation graphique du réseau de Petri associé à l'exemple de la figure 9

Toutefois, les outils graphiques de simulation par RdP sont très limités en termes de nombre de places et de transition. Ainsi, nous avons choisi de développer un programme permettant de simuler toute une batterie de parcours et ainsi proposer un panel de solutions respectant les contraintes et objectifs présentés. L'instrumentation a été réalisée à l'aide du progiciel Labview® permettant une scrutation des données à l'intérieur de la base de données présentée précédemment. Cet ensemble de solutions acceptables ainsi généré permet de faire face à la multitude de parcours à traiter en simultanéité et ainsi maximiser les chances de trouver une solution complète permettant le fonctionnement global du système de formation. Ces travaux permettant la spécification des parcours apprenant doivent faire partie intégrante de la démarche générale d'aide à la conception des processus opérationnels.

VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons présenté dans cette communication plusieurs voies pour l'aide à la conception des processus opérationnels du système de formation. Aussi, à partir d'une modélisation détaillée des tâches, acteurs, activités et compétences au sein du processus opérationnel de formation, nous avons proposé une méthode outillée reposant sur les réseaux de Petri pour la constitution des gammes de formation. La partie que nous avons présentée ici est incluse dans une démarche intégrée plus générale comme l'illustre la figure 9. L'intégralité de cette démarche permet de rendre les systèmes de formation plus cohérents dans leur offre de services mais également plus réactifs en réduisant le délai de conception d'une formation structurée. [4]

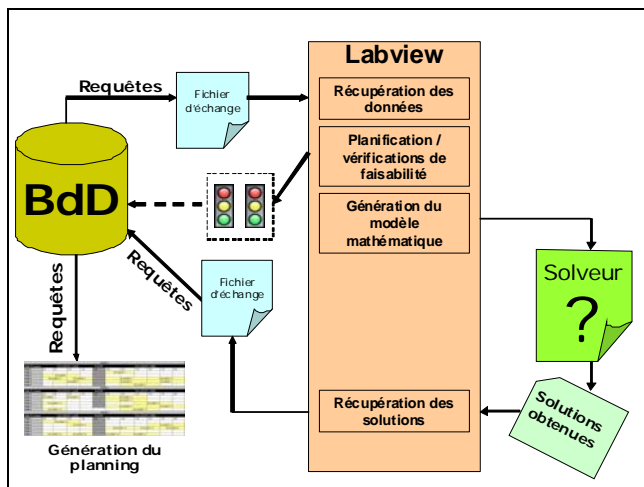


Fig. 9. Démarche globale associée aux outils

La génération de gammes de formation par le biais des Réseaux de Petri permet ainsi de garantir des services de formation fortement personnalisés tout en optimisant la mutualisation des moyens mis en œuvre. Cela permet aux systèmes de formation de relever le défi de la personnalisation de masse comme l'a rencontré l'industrie dix ans plus tôt.

Ces travaux ouvrent la voie à quelques perspectives. La démarche globale que nous proposons et qui s'enrichit de l'étape de planification ne s'étend pas, pour le moment, à la résolution du problème d'ordonnancement général car les méthodes de résolution exactes sont très vite limitées de par la taille du problème. Aussi, nous souhaitons explorer d'autres méthodes de résolution heuristiques de type Branch and Bound par exemple. D'autres pistes sont à explorer et par exemple, une réflexion détaillée sur la transmission des référentiels entre systèmes de formation pour imaginer qu'un référentiel de

compétences terminales d'un système de formation peut constituer le référentiel de compétences initiales d'un autre système de formation. Parmi d'autres perspectives, il serait intéressant d'envisager une réflexion sur la définition et le déploiement d'une stratégie au sein des systèmes de formation. La mise en œuvre de cette stratégie pourrait entre autres s'appuyer sur la démarche que nous proposons afin de lui conférer la réactivité nécessaire.

RÉFÉRENCES

- [1] Artiba A, Briquet M., Colin J., Dontaine A., Gourc D. et Pourcel C., Modélisation d'établissement de santé, 2^{ème} Conférence francophone en Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers, Mons, France, 9-10 septembre 2004
- [2] Bistorin O., Méthodes et outils d'aide à la conception des processus opérationnels des systèmes de formation, Thèse de Doctorat de l'Université de Metz, France, 12 décembre 2007.
- [3] Bistorin O., Monteiro T. et Pourcel C., Modélisation du parcours apprenant dans un système de production de compétences, 6^{ème} Conférence Francophone de Modélisation et Simulation, MOSIM 06, Rabat, Maroc, 3-5 avril 2006
- [4] Bistorin O. et Monteiro T., Problème d'emploi du temps dans un système de formation « à la carte », 8^{ème} Congrès International de Génie Industriel, CIGI 09, Bagnères de Bigorre, France, 10-12 juin 2009
- [5] Clementz C., Modélisation des systèmes de production de compétences : apports à l'ingénierie pédagogique, Thèse de Doctorat de l'Université de Metz, France, 15 décembre 2000
- [6] David R. et Alla H., *Du Grafset aux réseaux de Pétri*, 2^{ème} édition revue et augmentée, éditions Hermès, Paris, 1992
- [7] Groupe de Travail Ingénierie Systèmes, *Glossaire de l'ingénierie systèmes*, <http://www.afis.fr>, France, 2004
- [8] Haas P. et Schedler G, Stochastic Petri Nets with Timed and Immediate Transitions, *Communication in Statistics., Stochastic Models*, Vol. 5, No. 4, pages 563-600, Canada, 1989
- [9] Le Boterf G., *Construire les compétences individuelles et collectives : Agir et réussir avec compétence*, 4^{ème} édition, Éditions d'Organisation, Paris, 2006
- [10] Ministère de l'économie et des finances, *Loi de Financement Intérieur 2006*, Paris, 2006
- [11] Ministère de l'économie et des finances, *Loi de Financement Intérieur 2009*, Paris, 2009
- [12] OCDE, *Regards sur l'éducation 2008*, 2008
- [13] Object Management Group, *Unified Modeling Language, specifications v2.1.1*, International organisation, 2008
- [14] Pourcel C. et Gourc D., *Modélisation d'entreprise par les processus : activités, organisation & applications*, Cépaduès éditions, Toulouse, 2005
- [15] Pourcel C. et Gourc D., La méthode MECI, Actes de l'École de Printemps sur la Modélisation d'Entreprise, École des Mines d'Albi Carmaux, Albi, France, 2002