

Innovation produit et innovation organisationnelle : quel apport de l'ingénierie système ?

IOANA DENIAUD¹, JEAN-PIERRE MICAELLI², ERIC BONJOUR³

¹BETA UMR 7522 CNRS, UNIVERSITE DE STRASBOURG
61 av. de la Forêt Noire, 67085 Strasbourg Cedex, France
deniaud@unistra.fr

²UNIVERSITE DE LYON, INSA Lyon, UMR CNRS 5600 EVS
Campus La Doua LyonTech, Centre des Humanités, 1, rue des Humanités, F-69621 Villeurbanne cedex
jean-pierre.micaelli@insa-lyon.fr

³INPL / ENSGSI (Ecole National Supérieure en Génie des Systèmes Industriels)
Laboratoire ERPI, 8 rue Bastien Lepage, 54000 Nancy, France
eric.bonjour@ensgsi.inpl-nancy.fr

Résumé - Les entreprises doivent à la fois maîtriser le développement de leurs produits et lancer des produits innovants. Pour les aider à bien concevoir leurs produits, des méthodes d'ingénierie ont été regroupées sous le terme d'ingénierie système. Mais ces méthodes se focalisent surtout sur la conception routinière, sans prendre en compte les processus d'innovation. Dans cette communication, nous allons nous interroger sur la possibilité de l'ingénieur système à faire émerger l'innovation. Pour y répondre nous allons tout d'abord montrer l'importance de la prise en compte à la fois du domaine du produit et de celui de l'organisation. Par la suite nous proposons de nouveaux processus d'IS et nous montrons en quoi l'un de ses outils appelé « matrices structurelles de conception » peut être utile au manager pour explorer, séparément ou conjointement, des scénarii d'évolution des produits et des organisations.

Abstract - Companies must both control the development of their products and launch innovating products. To help them to design their products efficiently, design methods have been gathered and called "systems engineering". But these methods especially focus on the routine design, without taking into account innovation processes. In this paper, we will wonder about the possibility of the systems engineer to make the innovation emerged. To tackle this problem, firstly we will show that it is important to jointly study and manage the product domain and the organisation domain. Thereafter we will propose new systems engineering processes and will show how one of its tools called "design structure matrix" could be useful for the manager to explore, separately or jointly, new scenarios of products and organizations evolutions.

Mots clés – innovation, ingénierie système, matrices structurelles de conception.

Keywords – Innovation, Systems Engineering, Design Structure Matrix.

1 INTRODUCTION

De nos jours, un nombre croissant d'entreprises appartenant à des secteurs variés doit à la fois maîtriser le développement de leurs produits standard et lancer en continu des produits innovants [Baglin, 2007]. Pour répondre à cette exigence contradictoire, il leur faut maîtriser deux formes de conception : routinière et innovante [Le Masson et al., 2006]. La première consisterait à développer de façon efficace une variante d'un produit connu, en exploitant, dans le cadre de projets prédéfinis, des compétences existantes. La conception innovante s'opposerait à la conception routinière. Aucune des caractéristiques du produit voulu n'existerait avant le projet. Son déroulement serait imprévisible, dans la mesure où il reposerait uniquement sur des processus non-structurés, [Simon, 1981], donc exploratoires et « créatifs » [Joas, 1992]. De plus, il viserait autant à développer un concept de produit innovant qu'à produire les connaissances afférentes. Enfin, il mobiliserait des acteurs dont la cartographie de connaissances nécessaires serait impossible à réaliser complètement a priori. L'une des façons de gérer ces deux formes de conception (routinière vs. innovante) est dichotomique. Les structures organisationnelles dédiées à la conception innovante seraient

distinctes et distantes de celles consacrées à la conception routinière. Aux premières la créativité, l'activité menée dans le cadre de « communauté de savoir » [Cohendet, 2006] élargies, les relations étroites avec le monde de la Recherche. Aux secondes les projets et les processus détaillés et formalisés, les départements de bureaux d'études spécialisés et un management d'équipes projets focalisé sur la stricte division des tâches, sur la minimisation des coûts d'interface et sur la réduction continue des coûts de développement.

Si la distinction entre la conception innovante et la conception routinière est pertinente d'un point de vue analytique, d'un point de vue pratique, elle pose des problèmes d'articulation largement éludés. Comment faire en sorte qu'une conception d'abord innovante se routinise lorsque de nouvelles générations du produit doivent être développées ? Comment intégrer des innovations de composants dans le cadre d'une conception routinière visant au développement d'un système complet ? À l'inverse, comment intégrer des composants standard dans une innovation de système ? Comment expliquer pourquoi des acteurs affectés à une conception routinière soient capables d'innover ? Réciproquement, comment affirmer que telle ou telle entreprise est innovante alors qu'elle reproduit une même

configuration des processus et les mêmes routines organisationnelles [Pan, 2007] d'un projet à l'autre ?

La difficulté que nous avons de répondre à ces questions montre qu'une autre approche de la conception routinière et innovante est possible. Celle-ci peut reprendre le qualificatif « d'ambidextre » que des théoriciens du management confèrent à l'organisation, suite aux travaux de James March [1991] sur la coexistence, au sein de toute organisation, de processus « d'exploitation » et « d'innovation ». Cette notion d'ambidextrie est déjà utilisée dans le cadre de l'innovation, comme le montrent les exemples relatés dans une édition spéciale de la Revue Française de Gestion consacrée à ce sujet (Vol.34/187, 2008). La conception ambidextre repose sur l'idée que les conceptions routinières ou innovantes sont de nos jours confrontées à un même enjeu, qui est celui de la complexité. Or, pour maîtriser cette complexité [Hobday, 1998], des processus, des bonnes pratiques et des outils de conception ont été regroupés sous le terme de méthodes d'Ingénierie Système (IS). Ceux-ci ont été décrits dans des normes. Au regard des normes existantes, l'IS ne s'intéresse pas à la conception innovante. Toutefois, dans cette communication, nous allons nous interroger sur la possibilité du concepteur agissant dans le cadre de l'ingénierie système à faire développer une innovation. Pour y répondre nous allons tout d'abord montrer l'importance de la prise en compte, au sein de l'IS, de deux domaines de la conception fortement inter-reliés : le produit et l'organisation. Le domaine de l'organisation est souvent décomposé en deux sous-domaines : processus et acteurs. Ensuite, nous élargirons la palette des processus d'IS, de sorte à tenir compte des spécificités de l'innovation pointées par les théoriciens ou praticiens du domaine. Nous montrerons enfin en quoi l'un de ses outils, appelé matrices structurelles de conception (Design Structure Matrix, DSM) [Browning, 2001], peut être utile pour explorer, séparément ou conjointement, des scénarii d'évolution du produit et de l'organisation. Une illustration concernant la conception innovante automobile conclura cette présentation.

2 L'INGENIERIE SYSTEME, UN CADRE SYSTEMIQUE

2.1 De l'ingénierie à l'ingénierie système

Dans le cadre d'un projet de conception, l'ingénierie consiste à comprendre le besoin d'un client et à développer une solution « satisfaisante » [Simon, 1981]. Les exigences ou besoins des clients ne sont jamais directement interprétables en termes de problèmes techniques à résoudre d'emblée. Il revient donc à l'ingénieur d'explicitier le besoin et de développer une solution dans un cadre organisationnel prédéfini par le manager de conception. Celui-ci peut être un responsable du projet, des équipes, des départements fonctionnels des bureaux d'études impliqués dans le projet, etc. Pour ce faire, l'ingénierie s'appuie sur des connaissances, des compétences dorénavant assez bien définies. Ces premières concernent des disciplines établies, telles que le génie mécanique, le génie logiciel, etc. Les compétences sont soit techniques, soit organisationnelles. Dans le premier cas, elles sont requises pour développer la solution (savoir expliciter un besoin, spécifier des exigences, développer des architectures fonctionnelles ou organiques, développer des modules, intégrer, etc.). Dans le second, elles visent à la structuration et au pilotage du projet, mais aussi des équipes, des départements, des métiers, etc. Enfin, l'ingénierie s'appuie sur différents outils consacrés à la formalisation du besoin du client (analyse fonctionnelle), à l'architecture (ex. DSM décrites ci-dessous, maquette numérique), au développement de tel ou tel constituant (ex. logiciel de calcul

par éléments finis), aux essais, à la sûreté de fonctionnement, au chiffrage, à l'organisation et à l'ordonnement de projet, à la gestion documentaire, etc.

Les formes prises par l'ingénierie changent selon les secteurs ou les époques. Le développement d'un éco-quartier diffère concrètement de celui d'un biosystème ou d'un système mécatronique. Malgré ces différences, il y a une tendance qu'on retrouve de nos jours dans la plupart des secteurs, à savoir la complexité [Hobday, 1998]. Si on se réfère au cadre de l'ingénierie, cela signifie que le produit à développer et l'organisation de sa conception gagnent en complexité. Par exemple, la conception de l'ensemble d'un système comme un véhicule (aéronef, véhicule de transport terrestre, navire de grande taille) et de ses modules multiphysiques suppose deux choses. D'abord, un rapprochement cognitif entre les ingénieurs qui ont des métiers différents (mécanicien, automaticien, électricien etc.). Ensuite, la coordination entre un grand nombre de métiers, de spécialités, de vues du produit, etc. Pour traiter de cette complexité conjointe du produit et de l'organisation de la conception, une forme particulière d'ingénierie a été proposée, qui est appelée ingénierie système (systems engineering). Née dans les années 1960 aux États-Unis, dans le secteur militaire, pour gérer les appels d'offres passés entre le Département d'État de la Défense (DOD) et ses multiples soumissionnaires, l'ingénierie système (IS) a connu depuis une large diffusion à de nombreux secteurs [Cook et Ferris, 2007]. L'ingénierie système a donné lieu à la constitution de communautés de savoir, par exemple l'International Council on Systems Engineering (INCOSE) ou l'Association Française d'Ingénierie Système (AFIS).

2.2 L'IS, un référentiel abstrait

L'IS présente une réelle unité conceptuelle, qui en fait, malgré son origine pratique, plus qu'un simple recueil de bonnes pratiques. Pour maîtriser le développement d'une solution globalement performante, c'est-à-dire susceptible de satisfaire les différentes parties prenantes qui interagiront avec elle au cours de son cycle de vie, il conviendrait, à suivre les promoteurs de l'IS :

- d'envisager la solution particulière, développée au cours du projet courant, comme la concrétisation d'un « système » [Meinadier, 1998], donc d'une entité abstraite ;
- de considérer ce système comme « semi-décomposable » [Simon, 1962, 1981]. Il peut être découpé en modules [Ullrich et Eppinger, 2000] répartis dans différentes strates : système, sous-système, etc. Et ce, jusqu'au composant atomique intéressant le concepteur courant, par exemple la pièce ;
- de développer la solution, en organisant le projet en blocs, qui sont autant de projets interdépendants. Ce développement est souvent représenté à l'aide du « cycle en V ». La descente du cycle consiste à détailler et à concrétiser le système, à le transformer en solutions détaillées. La remontée consiste en une intégration et une validation portant sur un périmètre fonctionnel de la solution de plus en plus large ;
- à mesure que la conception est maîtrisée, l'effort de conception se reporte sur l'amont du processus de conception, donc sur la branche descendante du cycle en V. Ce qui suppose que le manager et le concepteur deviennent capables de garantir la performance des processus de conception et d'anticiper ou de prévenir les principaux risques des futurs projets.

Pour être pratiquée, l'IS s'appuie sur différentes normes, sectorielles ou générales, comme l'ISO 15288, l'ANSI/EIA 632, l'IEEE 1220, etc. Ces normes présentent un ensemble de processus structurés et reflètent l'orientation de l'IS vers leur

contrôle opérationnel. Il s'agit en effet de suivre le référentiel pour en garantir l'efficacité (maîtrise des délais, des coûts de développement, etc.) et la conformité.

Cependant, ces normes, qui sont utilisées dans des cas de projets de conception complexes (aéronautique, astronautique, automobile, logiciel, etc.) ne s'intéressent pas à l'innovation de produit et à la façon de faire évoluer l'organisation de la conception pour développer les capacités à innover. Par exemple le processus de Gestion des Ressources Humaines de la norme l'ISO / IEC 15288 s'intéresse surtout aux compétences individuelles et requises du personnel impliqué dans le projet, et non à la structuration de compétences collectives utiles pour faire émerger des innovations de produits par rapprochement de métiers jusqu'alors distants. De même, l'innovation organisationnelle n'est pas prise en compte. Ces normes ne mentionnent pas des entités aussi importantes pour l'innovation que les communautés de savoir.

Malgré de telles limites, si l'hypothèse de l'ambidextrie de la conception est admise, se pose la question de savoir en quoi l'IS peut favoriser l'innovation. Pour essayer de répondre à cette question inédite, il convient de définir au préalable comment les théoriciens et les praticiens de l'IS abordent d'une façon intégrée les domaines de la conception, à savoir le produit et l'organisation (processus et acteurs).

2.3 Les domaines de l'IS

Par rapport à un projet de conception classique l'IS apporte la vue complémentaire de la décomposition du système à faire et ses répercussions sur le domaine organisationnel du projet. Ainsi sa décomposition organisationnelle peut être vue:

- sous l'angle fonctionnel (ce que fait le projet). La logique de processus (réseau d'activités) s'applique à chaque bloc-projet, donc à chaque constituant de l'arborescence du système ;

- sous angle organique (ce qu'est le projet). Le projet est structuré comme un ensemble d'entités organisationnelles en interaction (flux d'informations, de décisions, de transactions, etc., entre les acteurs) auxquelles sont allouées les activités du projet. Une activité est allouée à un acteur individuel (tel expert) ou collectif (telle équipe, voire tel sous-projet).

Dans un projet de conception, le « système à faire » et le « système pour faire » [Meinadier, 1998] sont mis sous tension. Chacun de ces systèmes peut être considéré du point de vue du problème (quoi faire ?) et du point de vue de la solution (avec quoi le faire ?). Concernant le système à faire (le produit), le problème correspond au domaine des besoins et des exigences. La solution renvoie au domaine des fonctions techniques, des paramètres et des composants. Concernant le système pour faire, le problème correspond au domaine des missions à remplir pour développer le produit solution. La solution organisationnelle recouvre les domaines des processus (que faire ? Quand ? Avec quelle séquence ? Etc.), des acteurs (avec qui ?) et des compétences (sachant faire quoi? Avec quel niveau de maîtrise ?).

Pimmler et Eppinger [1994] ont développé plusieurs travaux dans lesquels sont intégrés la définition du produit à réaliser (quoi faire ?), celle des processus à mettre en œuvre pour assurer cette tâche (comment faire ?) et des acteurs en charge des activités (qui le fait ?). Dès lors, comme le souligne Nightingale [2000], qui reprend une vieille intuition des économistes classiques, les exigences du produit à réaliser, les techniques, l'organisation et les connaissances sont corrélées. Il soutient que l'interaction entre les activités de résolution des problèmes techniques et l'organisation du processus de conception a un impact sur le nombre d'itérations dans le

projet de conception, donc sur sa performance opérationnelle exprimée en termes de qualité, coût, délais. Concevoir, c'est tout à la fois développer une solution (domaine du produit), réaliser des activités spécifiques (domaine du processus) et faciliter les interactions entre les acteurs de la conception (domaine des acteurs).

Tout en tenant compte des travaux précédents, nous détaillerons par la suite notre vision des domaines du produit et de l'organisation.

2.3.1 Domaine du « produit »

Comme son nom l'indique, l'IS est focalisée sur le système, et non sur telle ou telle solution particulière. Dès lors, le système est une représentation abstraite, à la fois fonctionnelle et structurelle. Elle est définie à partir de différents attributs, eux aussi abstraits, à savoir l'environnement externe du système, les parties prenantes qui interagiront avec lui, sa fonction de service, mais aussi son architecture fonctionnelle, les familles ou les lignées de solutions auxquelles il peut donner lieu, etc. L'ingénierie système oblige donc à prendre du recul par rapport à la solution courante. Elle oblige d'abord à la restituer dans son environnement, voire dans un sur-système. Elle conduit aussi à admettre que plusieurs solutions, synchroniques (famille de produit) ou diachroniques (lignée), peuvent concrétiser un même système. Elle oblige enfin à penser le produit comme un système semi-décomposable. S'il est réellement complexe, celui-ci présente une architecture intégrant de sous-systèmes dont le développement nécessite des compétences multiples et la contribution de nombreuses parties prenantes.

2.3.2 Domaine de l'« organisation »

Pour en rester à un niveau très général, l'organisation peut se voir comme une façon de diviser et de coordonner ce que font plusieurs acteurs. Dans le référentiel de l'IS, un acteur peut être concepteur opérationnel situé à telle ou telle strate du cycle en V, un acteur support (un spécialiste d'une méthode de conception donnée) ou un manager de l'organisation de conception (un chef de projet, un responsable d'équipe, etc.). Un acteur peut participer à trois types de structures organisationnelles:

- une unité fonctionnelle (département R&D, un bureau d'étude, etc.) ;

- une équipe projet, qui fait souvent intervenir plusieurs équipes mono-métier ;

- une communauté de pratiques.

Une unité fonctionnelle, une équipe projet ou une communauté se caractérisent par une façon spécifique de structurer et de développer des « compétences collectives » [Cohendet et al., 2006]. Le manager de la conception doit structurer le bureau d'études sous sa responsabilité. Il peut décider d'institutionnaliser une compétence collective sous la forme d'un département fonctionnel (par exemple, création d'un département "architecture fonctionnelle du contrôle-commande") ou sous la forme d'une équipe projet.

Le département est une forme d'organisation relativement stable avec des objectifs à moyen ou long terme, au sein duquel une compétence collective pérenne et normalisée s'instaure. Le plus souvent, les acteurs partagent une même spécialisation disciplinaire (génie électronique, génie mécanique, etc.).

L'équipe projet est une forme d'organisation qui a une durée de vie limitée avec des objectifs à court ou moyen terme. Celle-ci est de plus en plus pluridisciplinaire, donc à cheval entre départements, voire entre une entreprise faisant l'intégration du

système et ses multiples fournisseurs. Les membres de l'équipe ont alors des compétences distinctes et complémentaires. Enfin, une communauté de pratique [Cohendet et al., 2006] est constituée par un groupe d'acteurs engagés dans la même pratique et communiquant régulièrement entre eux sur ce domaine de connaissance. Cette communauté peut être considérée comme un dispositif de coordination permettant à ses membres d'améliorer leurs connaissances et savoir-faire individuels à travers l'échange et le partage de concepts, d'expériences et de répertoires communs de ressources (guides méthodologiques). Pour les théoriciens des communautés, celles-ci sont rarement prédéfinies. Elles se construisent en même temps que se développent les pratiques communes de la communauté. De telles communautés peuvent se former à

l'intérieur des départements ou d'équipes projets. Elles peuvent également être transversales à l'organisation, voire entre plusieurs organisations [Cohendet, 2006]. C'est le cas de l'INCOSE, qui réunit des promoteurs de l'IS appartenant à différentes entreprises, différents pays, secteurs, etc. Le manager peut faciliter la création de communautés ou inciter les concepteurs à contribuer à leur vie. Enfin, l'Économie et le management de l'innovation pointent le rôle important que jouent de telles communautés dans l'émergence ou l'adoption de nouvelles idées.

Du point de vue statique, le cadre conceptuel concernant l'interaction entre les domaines produit et le domaine de l'organisation peut être représenté par le diagramme suivant (Figure 1).

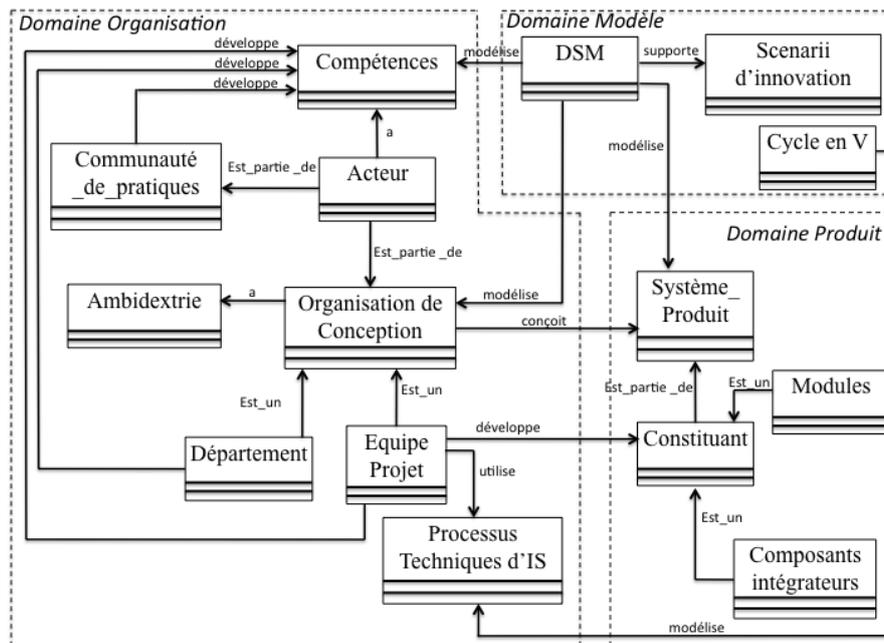


Figure 1. Interaction entre les différents domaines

Dans le § 2.1, nous avons indiqué que l'IS vise au contrôle des processus de la conception routinière. Lorsqu'il s'agit d'innover, il est clair qu'un tel contrôle ne peut être complet. Quel sera le nouveau résultat final ? Qui le produira ? Quand ? Grâce à qui ou à quoi ? Il est évident qu'aucune réponse fiable à ces questions ne peut être donnée avant l'aboutissement du projet d'innovation. Par ailleurs, la multiplicité des exigences de conception venant de nombreuses parties prenantes et de leurs relations augmente la difficulté pour réaliser un contrôle a priori des processus de conception [Bonjour et Dulmet, 2006]. Par exemple, ces exigences multiples mènent souvent à des contradictions non seulement techniques (liées au produit, par exemple être à la fois léger et rigide), mais aussi organisationnelles (être léger intéresse l'architecte, mais pas nécessairement le spécialiste de sécurité passive) [Belleval et al, 2010]. Comme le note le philosophe Hans Joas [1992], ce qui importe alors, dans le processus, c'est la dynamique par laquelle, à mesure qu'une activité se déploie, un horizon potentiel se redéfinit et des difficultés apparaissent. Réaliser un processus innovant ne revient donc pas à suivre, étape par étape, une procédure formalisée a priori, mais à être conscient qu'à chaque étape, le champ des possibles et des contraintes se voit redéfini. On retrouve ici « l'ambidextrie » [Tushman et O'Reilly, 1996] de la conception. Lorsqu'il s'agit d'avoir ce type d'approche non dichotomique de la conception routinière et innovante le vrai défi de l'IS est de maîtriser à la fois des

processus séquentiels et transversaux. Les acteurs devront être capables de résoudre certains problèmes par arbitrage voire de dépasser des contradictions qui peuvent se propager entre les domaines du produit et de l'organisation [Belleval et al, 2010]. Des outils sont nécessaires pour maîtriser une telle approche. L'un des outils susceptibles de présenter une telle qualité est la matrice structurelle de conception, ou DSM (*Design Structure Matrix*).

2.4 Les DSM

A la fin des années 70, des travaux au MIT (Massachusetts Institute of Technology) ont proposé d'utiliser les matrices structurelles de la conception (Design Structure Matrix : DSM). L'objectif était de modéliser différents domaines d'un projet de conception et ce, afin de modulariser le produit et d'améliorer l'efficacité du projet de conception en découplant et intégrant au mieux le travail des équipes. Des algorithmes ont été développés pour identifier l'architecture de chaque domaine séparément. Dès 1977, Galbraith soulignait la forte interdépendance entre l'architecture du produit et l'organisation du projet de conception. Récemment, Sosa et al. [2003, 2007] ont analysé cette interdépendance en se focalisant sur les effets de l'architecture du produit voulue par le concepteur (ex. l'architecte système) et sur les communications techniques entre les concepteurs. Des recommandations ont été formulées pour adapter

conjointement les architectures des différents domaines du projet.

Si la modularité paraît une voie très intéressante, Sosa et al. [2003] ont toutefois souligné que, dans la plupart des cas, ni le produit, ni le projet, ni les compétences ne sont totalement modulaires. On a souvent une architecture hybride composée à la fois de modules (groupements d'éléments fortement cohésifs) et d'éléments intégrateurs assurant la tenue de l'ensemble. Selon le domaine considéré, un élément peut être un constituant, une fonction du produit, une équipe, un département, une activité du projet, etc. Soulignons que la plupart des travaux consacrés aux matrices structurelles de conception sont ciblés sur l'usage opérationnel de cet outil. En quoi sert-il à améliorer le projet ? En quoi est-il utile pour planifier les ressources ? Pour répondre à ces questions, des algorithmes de regroupement ont été proposés. Notons que, quelle que soit la méthode utilisée, le renseignement de la matrice se fait toujours par des experts du domaine. Malgré son caractère formel, la DSM est aussi un outil qualitatif [Micaëlli et Bonjour, 2011]. À mesure que progressent les connaissances sur les DSM, la variété des matrices proposées par les auteurs croît [Browning et al., 2001]. Le tableau 1 en représente une typologie.

Tableau 1. Typologie DSM

Vue	Domaine	
	Système à faire : le produit	Système pour faire : l'organisation
Statique	DSM_Composants	DSM_Acteurs
Dynamique	DSM_Paramètres DSM_Fonctions	DSM_Processus

Trois types de DSM temporelles ont été identifiés [Browning, 2001]:

- une DSM Paramètres est utilisée pour modéliser les relations de précedence et les contraintes entre les paramètres et variables en conception. Elle permet d'optimiser les boucles de conception entre groupes de paramètres;
- une DSM_Fonctions permet de rapprocher les fonctions techniques qui ont des échanges importants de flux de matières, d'énergie ou d'informations ;
- une DSM_Processus permet de modéliser les précédences entre tâches au sein d'un processus et de minimiser les boucles de retours-arrières dans le projet.

L'objectif général lorsqu'on analyse une DSM temporelle est de réorganiser les éléments en ligne et en colonne de manière à réduire les retours en arrière [Kusiak et Wang, 1993]. Récemment, Vidal a proposé l'utilisation de telles DSM pour représenter les dépendances entre les risques dans un projet d'innovation et de rationaliser leur gestion [Vidal 2009].

Parmi les DSM statiques les plus utilisées, nous pouvons citer :

- une DSM_Composants permet de modéliser les interfaces entre les composants et de les regrouper en modules dans le but de minimiser les interfaces au sein du système.
- une DSM_Acteur permet de modéliser les interactions et efforts de coordination (flux d'informations) entre les acteurs dans une équipe de conception.

Les DSM statiques permettent d'identifier les architectures sous-adjacentes à un produit ou une organisation après l'utilisation d'un algorithme de clustering. Dans le cas d'une DSM composants, le but est de minimiser les interfaces entre sous-systèmes (ou modules) tout en maximisant les couplages internes au module. Dans le cas d'une DSM Acteurs, le but est de minimiser les efforts de coordination et d'intégration dans un projet par un découpage approprié des différentes équipes. La DSM_Composants et la DSM_Acteurs peuvent être conjointement utilisées pour organiser un projet et créer des équipes pluridisciplinaires dont la coordination sera facilitée par un nombre limité d'interfaces bien définies au niveau du système.

La famille des DSM peut s'étendre et aller au delà de celles recensées dans le tableau 1. Par exemple, jusqu'à présent, les DSM n'ont pas été utilisées pour regrouper des connaissances spécialisées selon leur proximité cognitive et permettre ainsi de repérer des compétences collectives pertinentes [Bonjour, 2008]. C'est donc sur la DSM_Compétences que nous voudrions nous focaliser dans la suite de cette communication. En effet, elles sont peu étudiées et permettent, si on redéfinit ce qu'est un processus d'IS, d'aider à manager la conception innovante.

3 MANAGER L'INNOVATION PAR L'INGENIERIE SYSTEME

3.1 Extension du champ de l'IS

Chaque projet de conception aboutit non seulement à la réalisation d'un nouveau produit, mais aussi à la génération de nouvelles connaissances [Simon, 1981]. Les spécialistes du management des connaissances (Knowledge Management, KM) insistent sur le fait que cette connaissance peut être capitalisée, c'est-à-dire structurée et enregistrée, pour être réutilisée pendant les futurs projets. Elle contribue alors à la routinisation de la conception. Ce pivot qu'est la capitalisation des connaissances explique en quoi il importe de coupler le management de la connaissance et le processus de conception innovante [Deniaud, 2007]. Cela permet de contrôler simultanément la dynamique de la connaissance (génération, structuration, mémorisation, réutilisation) et la dynamique de produit (innovation radicale créant une lignée, innovations incrémentales l'améliorant) [Le Masson et al., 2006]. La dynamique de la connaissance concerne autant l'individu apprenant que les collectifs et leurs routines (métiers, communautés, etc.). Les acteurs apprennent comment travailler ensemble. L'organisation entière apprend par l'exécution de processus, en particulier, d'IS pour ce qui nous concerne. La nouvelle connaissance permet de définir de nouveaux enjeux de conception (intégrer une nouvelle exigence, résoudre une contradiction entre exigences, développer une nouvelle architecture, intégrer un nouveau composant, etc.) et de nouvelles façons de faire (mettre en œuvre de nouveaux processus, créer de nouveaux collectifs, etc.).

Les processus de management de l'IS devraient pouvoir gérer la dynamique cognitive que nous venons d'expliquer. Sous réserve d'une analyse plus approfondie, le tableau 2 liste ainsi les extensions de l'IS utiles pour rendre ce référentiel en partie adapté à la conception innovante. Étendre explicitement l'IS à l'innovation suppose d'en revisiter les concepts, les modèles, les processus et les outils logiciels. Il faut apprécier ce qui, dans l'IS, est suffisamment robuste pour traiter d'aspects habituellement associés à l'innovation.

3.2 Innovation potentielle du produit par l'IS

Le tableau 2 permet d'envisager différents types et périmètres d'innovation.

Si on se focalise sur le domaine « produit » et si on suit la branche descendante du cycle en V, on peut ainsi imaginer des innovations portant :

- sur le mode d'intégration du produit dans son environnement, donc sur son interface (ergonomie, biodégradabilité, adaptabilité, capacité suggestive d'action, etc.) ou sur de nouvelles parties prenantes ;
- sur son architecture d'ensemble (intégration, distribution de fonctions, etc.) ;
- sur ses constituants (perfectionnement de constituants existants, nouveaux types de plateformes, d'enveloppes, de réseaux, etc.).

En suivant la branche remontante du cycle en V, on peut aussi imaginer des innovations produites lors de l'intégration ou de la validation. C'est le cas si des synergies entre modules développés séparément peuvent être trouvées de façon

opportuniste. C'est aussi le cas si des incompatibilités apparaissent et supposent, pour être levées, de développer des solutions nouvelles.

Si on se focalise sur les processus, on peut constater que de nouveaux axes organisationnels peuvent être développés, pour produire de l'innovation dans le domaine :

- encourager la création de communautés de pratiques pour faire évoluer les compétences (individuelles et collectives) des acteurs ;
- réorganiser le bureau d'étude pour permettre l'émergence de compétences nouvelles qui seront nécessaires pour les projets futurs.

Enfin, pour ce qui concerne les acteurs et leurs compétences, à ce jour imparfaitement pris en compte, nous allons proposer l'utilisation d'un nouveau type de DSM pour envisager différents scénarii d'innovation relatifs à la dynamique des compétences. Pour illustrer ce point, nous nous appuyons sur une étude de cas.

Tableau 2. Vers l'IS pour la conception innovante

Domaine concerné	IS actuelle	IS pour la conception innovante
Produit	L'ingénierie système identifie les besoins exprimés par les parties prenantes.	L'ingénierie système se focalise sur l'usage spontané des utilisateurs.
	Les exigences concernent des aspects fonctionnels et non fonctionnels, les performances et les interfaces du système.	Les exigences indiquent des axes d'innovation requis (résolution des contradictions techniques), des comportements dynamiques (effets sur la trajectoire technologique : incrément, verrouillage, rupture).
	Le système produit a plusieurs architectures fonctionnelles candidates. L'architecture fonctionnelle retenue est justifiée.	Les limites technologiques ayant abouti à l'abandon d'une architecture doivent être définies (comme une spécification pour une innovation potentielle) et capitalisées.
	Le système produit s'incorpore dans des classes de solutions prédéfinies.	Le système produit est à la convergence de lignées et ouvre des lignées potentielles.
	La validation de la solution repose sur des critères fonctionnels.	La validation de la solution repose aussi sur des critères de socialisation et de reconnaissance de l'innovation (nouveau et pertinence, fertilité, pérennité, etc.).
Processus	Les processus sont répliqués d'un projet à l'autre.	Les processus comprennent de la variation, source d'innovation.
	Les processus pris en compte par l'IS sont d'affaire, managériaux, supports ou techniques.	Les processus pris en compte par l'IS sont aussi partenariaux (ex. cartographie des acteurs de l'innovation), patrimoniaux (ex. financement de l'innovation, protection de l'invention, développement des compétences stratégiques), voire politiques (ex. processus de soutien à l'innovation).
	Un processus décrit des séquences et des itérations locales aboutissant à un résultat prédéfini. Le projet doit forcément aboutir.	Un processus peut décrire une exploration tâtonnante ou partiellement structurée, aboutissant à une impasse imprévue (acceptation de l'échec) ou à une innovation majeure.
Acteurs	Les entités organisationnelles de l'IS sont les équipes d'ingénierie, avec généralement, une équipe système coordonnant des équipes métiers.	Elles sont aussi le projet d'exploration, l'équipe pluridisciplinaire <i>ad hoc</i> pour une résolution de problèmes, la communauté de savoir.
	La gestion de projets vise la réalisation des objectifs opérationnelles et l'amélioration continue vise à accroître la maturité et la capacité des processus routiniers.	La gestion des organisations de conception vise à développer leur capacité d'exploration et d'innovation. Les contours des équipes, des communautés sont redéfinis.

3.3 Dresser des scénarii d'innovation organisationnelle : un cas

Ce cas est relatif au bureau d'études d'un constructeur automobile français [Micaëlli et Bonjour, 2011]. La mission de son bureau d'études est de développer les organes du véhicule.

Ceux-ci concernent le groupe motopropulseur (qu'il soit essence, Diesel, hybride ou électrique), la liaison au sol (châssis compris) et les éléments d'adaptation (réservoir, tuyau d'échappement, etc.). Compte tenu de leur coût de développement ces organes ont une durée de vie de plusieurs décennies. Concevoir ces systèmes suppose donc de

développer non une solution unique, mais une famille ensuite adaptée à plusieurs plates-formes, modèles ou générations de véhicules. Ces organes sont produits en masse, pour un marché mondial. Depuis 1997, ce bureau d'études de plus de 5 000 concepteurs est structuré selon les principes de l'ingénierie système. Selon les projets, ses activités couvrent une partie plus ou importante du cycle en V.

3.4 Extension des DSM vers une DSM compétences

Pour traiter ce cas, il a fallu étendre la famille des DSM présentée dans le tableau 1. Nous avons ainsi créé une DSM_Connaissances. Le but est de cartographier et de structurer les métiers de la conception, pour fournir une aide à une réorganisation des métiers ou à l'identification de communautés de pratiques basées sur un métier lorsque changeant :

- les fonctions du produit ;
- les techniques utilisées dans les solutions ;
- les méthodes de conception.

Pour construire une DSM_Connaissances, une méthode a été suivie. Sans en détailler les bases formelles, celle-ci comprend quatre étapes :

- lister l'ensemble des tâches à réaliser ;
- déterminer la proximité cognitive entre chaque tâche en estimant les connaissances ou les méthodes partagées par les acteurs ;
- construire la matrice DSM numérique correspondante ;
- appliquer un algorithme de regroupement (clustering) pour faire ressortir des groupements de tâches.

Ces renseignements sont obtenus par des entretiens avec des directeurs, chefs de projets et experts du périmètre de conception étudié. Comme nous l'avons indiqué, la DSM reste donc un outil qualitatif. La Figure 2 montre une DSM de taille réelle, construite avec l'aide d'experts. Pour des raisons de confidentialité, celle-ci a été floutée. Cette DSM montre des modules correspondant à des champs disciplinaires requis pour concevoir un groupe motopropulseur hybride, et donc, par incidence, les regroupements d'individus susceptibles de constituer, au niveau du constructeur ou de la filière automobile, un métier. A titre d'exemple, les compétences suivantes ont été regroupées dans un même module concernant des expertises visant à réduire les émissions polluantes en respectant les réglementations Euro VI : conception de la fonction dépollution, modélisation de la chimie de la combustion, sous-traitance filtre à particules et catalyseur, sous-traitance des sondes, spécification des Carburants.

Chacun des managers de conception interrogés a un intérêt à utiliser une DSM_Connaissances. Le manager peut s'en servir pour institutionnaliser un module de connaissance sous la forme d'un département. Ceci est vrai s'il contribue à la construction de compétences stratégiques pérennes de l'entreprise [Bonjour et Micaëlli, 2010]. Il peut s'en servir de façon exploratoire, pour favoriser la création d'une communauté de pratiques rapprochant différents métiers jusqu'alors jugés totalement disjoints. L'expert de tel ou tel discipline peut utiliser la DSM_Connaissances pour cartographier la communauté de pratique élargie qu'il pourrait constituer.

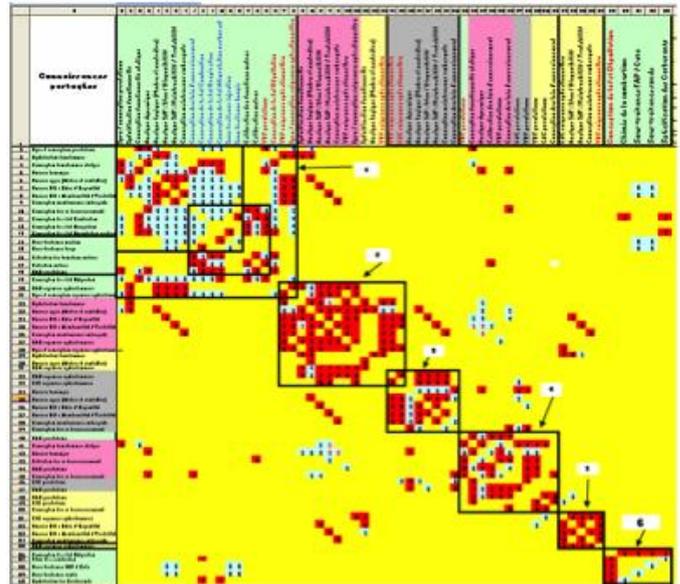


Figure 2. Matrice DSM-connaissances

La DSM présentée en figure 2 permet de repérer les proximités cognitives entre certaines tâches en termes de connaissances. Elle montre aussi les connaissances :

- spécialisées, c'est à dire présentes dans un seul module ;
- d'interface, car assurant la liaison entre deux champs de connaissances (connaissances partagées, trajectoire professionnelle possible entre métiers) ;
- intégratives, car visant à l'intégration d'un ensemble de connaissances élémentaires [Bonjour et Micaëlli, 2010] (ce qui peut correspondre à un niveau d'expert dans le métier).

Au delà de l'aspect cartographique ou organisationnel, cette DSM_Connaissances permet d'envisager certaines dynamiques requises ou induites par tel ou tel projet d'innovation. C'est ainsi que cinq scénarii peuvent être envisagés, en prenant en compte les changements induits par des modifications opérées dans d'autres DSM (paramètres, fonctions, etc.). Il s'agit :

- 1) d'un scénario de perfectionnement d'un composant ou d'un sous-système. L'innovation conduit à une élévation du niveau de la compétence présente dans le module, si bien que des innovations incrémentales localisées peuvent être produites, donnant lieu éventuellement à des brevets. La matrice garde sa configuration initiale, mais les modules tendent à se densifier ;
- 2) d'un scénario d'intégration locale, par lequel un composant tend à devenir un véritable sous-système, avec donc plusieurs disciplines, connaissances, voire métiers, intervenant sur un même objet, par exemple une fonction, dans le cas présent. La matrice comprend un nombre réduit de modules devenus plus gros. Le manager doit alors faciliter la constitution et le développement de communautés de pratique ;
- 3) d'un scénario de désintégration par lequel des modules perdent en cohésion. C'est le cas des architectures full hybrid d'un véhicule tous-terrains. Les moteurs entraînant les roues arrière étant électriques, il n'y a plus de liaison mécanique à l'aide d'un axe avec le train avant ;
- 4) d'un scénario d'intégration système. On voit alors se dissocier et apparaître de nouvelles connaissances intégratives. Dans l'automobile, c'est le cas de l'acoustique ou de la mécanique vibratoire qui, concourant à l'agrément global du véhicule, interagissent avec l'ensemble des autres connaissances. Une innovation incrémentale consisterait en une standardisation des relations entre cette connaissance intégrative et celle des modules spécialisés ;

5) d'un scénario d'adoption. Une nouvelle compétence est introduite dans la matrice, si bien que sa taille s'accroît. On le voit à cet exemple, l'IS et l'un de ses outils particuliers, à savoir les DSM, peuvent procurer une réelle utilité pour manager l'innovation.

4 CONCLUSION

Cette communication a voulu présenter un travail exploratoire concernant les synergies entre deux domaines supposés disjoints, à savoir celui de l'ingénierie système et de l'innovation. Dans une vision dichotomique de la conception, celle-là est supposée ne concerner que la conception routinière, alors que la conception innovante présenterait des caractéristiques opposées. Si la notion de conception ambidextre est admise, alors il convient d'apprécier comment coupler l'une à l'autre. Pour ce faire, après avoir présenté le cadre de l'IS et un outil particulier, les DSM, nous avons montré qu'un tel couplage est possible. La façon, abstraite, de penser le produit en IS permet de séparer le système, qui est unique, des solutions dans lesquelles il se concrétise, qui sont multiples, et donc nouvelles. De même, la cartographie des processus de l'IS est fort utile pour définir les processus, managériaux, techniques, supports, à la base de ce macro-processus qu'est la conception innovante. Enfin, l'Économie et le management de l'innovation mettent l'accent sur des entités, comme les communautés, les connaissances partagées, qui peuvent être prises en compte dans une IS dédiée à la conception innovante. Bien évidemment, les pistes présentées dans cette communication demeurent exploratoires. Le champ de l'IS continue à se développer, avec un extension de ses applications et donc du nombre de ses promoteurs, théoriciens ou praticiens. Tout aussi mouvant est le champ de la conception innovante. Si le dialogue et le couplage entre l'IS et l'innovation paraissent aussi bien pertinents que prometteurs, force est de constater qu'il n'en est qu'à sa toute première étape.

5 REFERENCES

- Baglin, G., Bruel, O., Garreau, A., Greif, M., Kerbache, L., Delft, C., (2007) Management industriel et logistique, conception et pilotage de la supply Chain, Ed. Economica.
- Belleval, C., Deniaud, I., Lerch, C., (2010) Modèle de gestion des problèmes dans un projet de conception: le cas de la conception des microsattellites. *Revue Française de Gestion Industrielle*, 29(4), pp.31-47.
- Bonjour É., (2008) Contributions à l'instrumentation du métier d'architecte système : de l'architecture modulaire du produit à l'organisation du système de conception. Mémoire HDR. Besançon, Université de Franche-Comté.
- Bonjour, E., Micaëlli, J-P. (2010) Design Core Competence Diagnosis: A Case from the Automotive Industry. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 28, pp. 71–74.
- Bonjour, E., Dulmet, M. (2006) Pilotage des activités de conception par l'Ingénierie Système. Ingénierie de la conception et cycle de vie du produit, (sous la direction de Roucoules L., (éd.), Hermès, janvier, pp. 85-105.
- Browning, T-R. (2001) Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: a review and new directions. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48, pp. 292–306.
- Cohendet, P., Créplet, F., Dupouët, O., (2006) La gestion des connaissances. Firms et communautés de savoirs, Ed. Economica.
- Cook, S.C., Ferris, T.L.J., (2007) Re-evaluating Systems Engineering as a Framework for Tackling Systems Issues. *Systems Research and Behavioral Science*, 24(2), 169-181.
- Deniaud, I., (2007) Performance evaluation in innovating design. Towards an integrated model. *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, 5 (2).
- Hobday, M. (1998) Product complexity, innovation and industrial organisation, *Research Policy*, 26, pp.689-710.
- IEEE 1220, 2005. IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process.
- ISO/CEI 15288, 2002. Systems Engineering – System Life Cycle Processes.
- Joas, H., (1992) La Créativité de l'agir. Paris, Éditions du Cerf.
- Kusiak A., Wang J., (1993) Efficient organizing of design activities, *Int. J. of Production Research*, 31, pp. 753–769.
- Le Masson, P., Weil, B., Hatchuel, A. (2006). Les processus d'innovation. Conception innovante et croissance des entreprises, In *Stratégie et management*, A. David, Hermès, Paris. 471 p.
- March, J., (1991) Exploration and exploitation in organizational learning, *Organization Science*, 2(1), pp. 71-87
- Meinadier, J.P., (1998) Ingénierie et intégration des systèmes, Hermes.
- Micaëlli, J-P., Bonjour, E. (2011) Are Skill Design Structure Matrices New Tools for Automotive Design Managers?, In *New Trends and Developments in Automotive Industry*, M. Chiaberge (Ed.), InTech, Chapter 15, pp. 255-264.
- Nightingale, P., (2000) The product-process-organisation relationship in complex development projects, *Research Policy*, 29, pp. 913-930.
- Pan, S.L., Pan, G., Chen, A.J.W., Hsieh, M.H., (2007) The Dynamics of implementing and managing modularity of organizational routines during capability development: Insights from a process model, *IEEE Trans. Eng. Manage.*, 54, pp. 800–813.
- Pimmler, T.U. and S.D. Eppinger, (1994) Integration Analysis of Product Decompositions. *Proceedings of the ASME Design Theory and Methodology Conference*, 68, pp. 343-351.
- Simon, H.A. (1962) The Architecture of Complexity, *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106(6), pp.467-482.
- Simon, H.A. (1981), *The Sciences of the Artificial*, MI Press, 2nd edition.
- Sosa, M.E., Eppinger, S.D., and Rowles, C., (2003) Identifying modular and integrative systems and their impact on design team interactions, *Transactions of the ASME Journal of Mechanical Design*, 125, pp. 240-252.
- Tushman, M. and O'Reilly III, C., (1996) Ambidextrous organizations: managing evolutionary and revolutionary change, *California Management Review*, 38(4), pp. 8–30.
- Ulrich, K-T., Eppinger, S-D., (2000) *Product Design and Development*, New York, McGraw-Hill.
- Vidal L-A., (2009) Thinking project management in the age of complexity. Particular implications on project risk management, PhD Ecole Centrale de Paris.