



**Bureau
d'économie
théorique
et appliquée
(BETA)**
UMR 7522

Documents de travail

« L'innovation envisagée comme un processus de résolution de contradictions techniques, organisationnelles et cognitives »

Auteurs

Christophe Belleval, Christophe Lerch

Document de Travail n°2010 - 27

Décembre 2010

Faculté des sciences économiques et de gestion

Pôle européen de gestion et
d'économie (PEGE)
61 avenue de la Forêt Noire
F-67085 Strasbourg Cedex

Secrétariat du BETA

Géraldine Manderscheidt
Tél. : (33) 03 68 85 20 69
Fax : (33) 03 68 85 20 70
g.manderscheidt@unistra.fr
<http://cournot2.u-strasbg.fr/beta>



Nancy-Université
Université Nancy 2



L'INNOVATION ENVISAGÉE COMME UN PROCESSUS DE RÉOLUTION DE CONTRADICTIONS TECHNIQUES, ORGANISATIONNELLES ET COGNITIVES

Résumé

La conception innovante est considérée dans ce papier comme la résultante d'un processus de résolution dialectique de problèmes, qui débouche sur un ensemble d'arbitrages ou de contradictions. De ces dernières, découlent soit un blocage qui induit la remise en cause des objectifs initiaux, soit une solution inventive, i.e.: une innovation de rupture.

Nous distinguons trois dimensions qui interagissent dans ce processus: la technique, la cognition et l'organisation. Dans une première partie, nous étudions d'un point de vue théorique chacune de ces dimensions, tout en montrant quelles sont leurs possibles interactions. Dans une deuxième partie, nous relatons une étude de cas vécue au sein d'une agence spatiale: la remise en cause d'une innovation de rupture programmée, que nous interprétons au travers de notre corpus théorique.

Mots clés : apprentissage, cognition, innovation, conception, processus, organisation, contradiction, rupture stratégique, technologie.

1. INTRODUCTION

La conception de nouveaux produits est une activité éminemment stratégique puisqu'elle conduit dans certains cas les entreprises à réorienter leur trajectoire. Dans cet article, nous cherchons à identifier les facteurs susceptibles d'induire une telle rupture. Pour ce faire, nous mobilisons une ancienne tradition des sciences de l'ingénieur qui appréhende l'activité de conception d'une entreprise comme un processus de résolution de problèmes. Cependant, nous considérons que ce qui distingue les innovations de rupture des autres formes d'innovation réside dans le fait qu'elles nécessitent la résolution d'une catégorie particulière de problèmes impliquant des raisonnements dialectiques. De tels processus de résolution de problème, visent avant tout à dépasser des contradictions (Livingstone, Palich et Carini, 2002). C'est pourquoi ils sont susceptibles de faire émerger des résultats surprenants ou improbables si l'on se réfère à ce que l'entreprise a réalisé dans le passé.

La notion d'innovation de rupture renvoie à de multiples classifications d'innovation de produit maintes fois utilisées dans la littérature, notamment l'innovation radicale, ou encore l'innovation majeure.

L'innovation radicale introduit une discontinuité dans les performances du produit (Henderson et Clark, 1990), dans les caractéristiques de la technologie (Christensen et Rosenbloom, 1995; Gatignon et al., 2000), et celles de l'organisation (Damanpour, 1991). Elle s'oppose aux innovations incrémentales qui constituent une amélioration dans la continuité d'un paradigme technologique (Dosi, 1982). Les innovations radicales vont s'adresser à de nouveaux clients dans le cadre de marchés définis (Abernathy et Clark, 1985) ou faire émerger de nouveaux marchés (Christensen, 1997).

Mais rares sont les innovations qui génèrent des discontinuités sur les axes évoqués précédemment. O'Connor (2008), s'inspirant des travaux de Garcia et Calantone (2002), les qualifie de « Major Innovations ».

Nous appréhendons la notion d'innovation de rupture de manière similaire. L'innovation de rupture fait référence à une situation où une entreprise qui, au choix, révolutionne le concept qui sous-tend ses produits, emploie une nouvelle technologie qu'elle ne maîtrisait pas auparavant, restructure son organisation en vue d'appliquer une stratégie favorable à l'émergence de ce type d'innovations, ou crée un nouveau marché. La notion de rupture telle que nous l'appréhendons est donc relative à la situation initiale de référence. Comme le souligne O'Connor (2008), ce genre de discontinuité a pour effet d'augmenter l'incertitude relative dans plusieurs autres dimensions.

Mais existe-t-il une spécificité de l'activité de résolution de problème sous-jacente à la conception d'innovation de rupture ?

Bien que l'on ne puisse réduire la problématique de la conception d'un produit à cette seule question, un courant significatif de la recherche académique l'apparente à une activité de résolution de problèmes. Pahl et Beitz (1977) ont décrit un processus de conception en quatre étapes : investigation des besoins et planification, élaboration des concepts et identification des problèmes à traiter, proposition de solutions. Leur approche se réfère à une démarche qui invoque le principe de rationalité limitée à la Simon (1960). Il s'agit d'explorer un espace fini de manière méthodique: les solutions existent, il « suffit » de les trouver. Ils suggèrent cependant que les problèmes les plus difficiles à résoudre sont ceux dont les solutions sont inconnues, ou trop nombreuses pour pouvoir être toutes testées et enfin, ceux dont les objectifs sont en cours d'élaboration. Cependant il est mal aisé de distinguer dans leur conceptualisation un choix de rupture d'un compromis résultant d'un arbitrage dans un espace de solution existant. Cette démarche est de ce fait restrictive.

Or comme le suggèrent March et Simon (1979), en comparant activité programmée et activité de création de nouveaux programmes: « Quand un problème de choix consiste à sélectionner une ligne dans un ensemble de possibilités, les processus d'influence agissent en rendant une possibilité plus attrayante que les autres. Quand le choix est de l'ordre de l'alternative « changement-continuation », une grande part du processus d'influence consistera en une initiative, celle, en particulier, de suggérer des choix d'actions là où il n'en existait pas, soit pour résoudre un problème qui n'avait pas de solution, soit pour améliorer un programme existant même s'il était considéré comme satisfaisant. ». Les auteurs évoquent sans le décrire un processus de décision qui n'est pas guidé par les principes de la rationalité limitée.

Dans cette lignée, Le Masson, Weil et Hatchuel (2006) suggèrent que la conception serait moins l'art de rechercher des solutions au sein d'un espace prédéfini que celui de créer des nouveaux espaces de solutions. Si la rationalité limitée permet de conceptualiser la manière dont s'opère un choix dans un ensemble d'alternatives, elle serait impuissante à suggérer des choix d'actions là où il n'en existait pas. Il s'agit alors selon Hatchuel et Weil (2002) d'abandonner celle-ci au profit d'une rationalité qu'ils qualifient d'expansive. Leur théorie CK nous éclaire sur la manière de créer ces espaces nouveaux de solutions qui donneront naissance à l'innovation de rupture : la logique formelle ne permet pas toujours de sortir du cadre des solutions connues, il s'agit de mener des raisonnements dialectiques...

Depuis Socrate, nous connaissons les vertus du plan dialectique au sein duquel « la synthèse » permet de dépasser les contradictions de « la thèse » et de « l'antithèse ». Dès lors l'emploi de raisonnements dialectiques pour résoudre les problèmes de conception fait naturellement émerger un certain nombre de contradictions. La présence de contradictions est même considérée comme le signe qu'un changement révolutionnaire positif est possible (Ford et Ford, 1994).

La philosophie Altshuller (1984), promoteur de la méthode TRIZ, découle directement de la mise en application de ces principes : il ne s'agit pas à la manière de la logique formelle aristotélicienne

dont Simon est un héritier, d'analyser les contradictions émergeant dans un cahier des charges comme des incohérences, un manque de rationalité à corriger, mais au contraire de les considérer à la manière d'un dialecticien comme les aiguillons permettant de faire émerger des solutions créatives. La puissance de TRIZ résiderait dans les moyens de dépasser les contradictions techniques caractérisant les problèmes sous-jacents aux inventions prometteuses.

L'utilisation des raisonnements dialectiques dans le domaine de l'innovation n'est pas l'apanage des chercheurs en sciences pour l'ingénieur. Cohen, March et Olsen (1972), rompant avec le modèle de la rationalité limitée, affirmaient que les organisations innovantes fonctionnent comme des anarchies organisées au sein desquelles des coalitions d'acteurs poursuivent par intermittence des buts contradictoires. Plus récemment Smith et Tushman (2005) évoquaient l'idée selon laquelle les organisations les plus innovantes seraient celles qui sont capables de dépasser leurs contradictions stratégiques.

Nos travaux s'inscrivent dans la lignée de ceux qui considèrent que les entreprises les plus créatives, ou les plus innovantes, seraient celles qui sont capables de mettre en œuvre à la fois les principes de la logique formelle et ceux de la dialectique (Livingstone, Palich et Carini, 2002; Norman et al., 2004).

Une majorité des travaux que nous venons de citer définissent soit la conception comme le fruit d'un raisonnement individuel, soit considèrent l'entreprise comme un acteur collectif doté de mécanismes cognitifs comparables à ceux des individus (ce qui revient au même).

Ces représentations sont très simplificatrices dans la mesure où nous savons que les innovations sont le plus souvent le fruit d'un travail d'équipe qui mêle des compétences diversifiées, des logiques d'acteurs différenciées. Le modèle de l'inventeur solitaire n'est pas pertinent pour expliquer la manière dont sont créés les nouveaux concepts et les nouvelles technologies au sein des entreprises. Woodman, Sawyer et Griffin (1993) ont montré que la capacité d'une entreprise à inventer des solutions de rupture était le fruit d'interactions complexes respectivement entre les individus impliqués dans la résolution de problèmes, les groupes projet au sein desquels les individus ont des relations sociales, et l'organisation dans sa globalité. On invoque ici les problématiques d'interaction cognitive entre individus au sein d'un collectif, tout autant que celles liées à l'organisation.

Ainsi, non seulement la conception innovante invoque la dimension technique, mais aussi celles relatives à la cognition et à l'organisation. C'est pourquoi nous envisageons qu'une entreprise en quête de nouveaux espaces de solutions est susceptible de faire émerger des contradictions dans chacune de ces trois dimensions.

Le but de ce travail est de proposer une interprétation du processus de conception innovante comme un cheminement de résolution de problèmes pouvant se caractériser dans au moins trois

dimensions: technique, organisationnelle, et cognitive. Une telle conceptualisation serait susceptible non seulement de porter un diagnostic sur le déroulement passé de projets de conception de produits, mais aussi de permettre aux acteurs d'anticiper l'émergence de contradictions en révélant plus particulièrement les interactions entre ces trois dimensions.

Pour construire notre argumentation, dans une première partie théorique nous explorerons les différentes natures des contradictions qui émergent tout au long du cycle de vie d'un projet de rupture. De la résolution de problèmes, nous distinguons la dimension technique focalisée sur les contradictions émergeant dans la définition du produit et de la technologie qui le sous-tend. Puis nous évoquons la dimension cognitive qui pose la question de la coordination des représentations partielles et partiales des parties prenantes au projet. Enfin nous concluons sur la dimension organisationnelle qui nous permet d'aborder la problématique de l'adaptation de la structure organisationnelle à son environnement, et plus particulièrement à l'incertitude que génère le processus de conception innovante. Dans chacune de ces dimensions nous recensons quelques voies permettant de dépasser les contradictions.

Dans la deuxième partie, nous illustrons notre conceptualisation à travers l'évocation du cas d'une agence spatiale (le CNES) souhaitant développer un nouveau domaine d'activité au travers d'un programme innovant de microsatellites (dénommé Myriade). Alors que le CNES avait depuis longtemps prouvé sa capacité à mettre en œuvre des innovations incrémentales, certains promoteurs de ce programme souhaitaient susciter l'émergence d'innovations de rupture susceptibles de transformer sensiblement et durablement son mode de fonctionnement. Le domaine spatial est particulièrement adapté à l'illustration du rôle central des contradictions, dans la mesure où l'innovation de rupture est à la fois une nécessité, tout autant qu'une source de nouveaux problèmes susceptibles de remettre en question la fiabilité des matériels ainsi que la sécurité des missions. Ce cas illustre une situation mettant en évidence l'interdépendance des trois types de contradictions. La conception de microsatellites ne peut pas être circonscrite respectivement dans la dimension technique, cognitive ou organisationnelle. Une « solution » d'un problème dans une dimension est susceptible de générer des contradictions dans les deux autres. Et inversement la résolution d'un problème dans une dimension peut également bénéficier d'actions dans les deux autres.

Finalement nous concluons en présentant les enjeux en termes de gestion de l'innovation et proposons quelques pistes de réflexion pour de futurs travaux.

2. LA CONCEPTION INVENTIVE: UN PROCESSUS DE DÉCISION MULTIDIMENSIONNEL

Dans ce papier, nous souhaitons focaliser l'attention sur trois dimensions stratégiques au regard de la mise en œuvre d'un projet de conception, en particulier lorsque ce dernier provoque une rupture avec les pratiques de l'entreprise.

Premièrement, l'activité de conception implique la résolution de problèmes nécessitant le cas échéant de développer de nouveaux concepts de produits de nouvelles technologies. Nous désignons ce processus sous le terme de dimension technique de la conception. Deuxièmement, lorsque la conception concerne le développement de produits ou de projets complexes, elle nécessite l'implication d'un grand nombre d'acteurs aux compétences complémentaires. Pour que le processus de conception aboutisse à un résultat, il est nécessaire d'obtenir un niveau de cohérence minimal entre les représentations et les actions des acteurs impliqués dans le projet. Nous considérons la question de l'ajustement mutuel des représentations et des actions des acteurs comme la dimension cognitive de la conception.

Enfin, les actions des individus et des collectifs au sein de l'entreprise s'inscrivent dans des structures définies par des caractéristiques spécifiques en termes de départementalisation, de standardisation et de formalisation du travail, de réglementation... Nous désignons la question de la division et de la coordination du travail au sein de l'institution qui emploient les concepteurs par dimension organisationnelle du projet de conception.

2.1. LA DIMENSION TECHNIQUE DE LA CONCEPTION

Pour certains courants académiques et plus particulièrement au sein des sciences de l'ingénieur, on considère que l'activité de conception de nouveaux produits implique un processus de résolution de problèmes sous contraintes, que l'organisation a définis préalablement de son propre chef ou à la demande d'un client (Simon, 1960; Alexander, 1964; Pahl et Beitz, 1977; Smith et Eppinger, 1997). Selon Simon (Ibid.), la résolution de problèmes s'appuie sur les principes de rationalité limitée :

- la décomposition en sous-objectifs (« subgoal ») a pour but de simplifier le problème décisionnel et de le rendre opérationnel;
- le principe de satisfaction (« satisficing ») prévoit que les acteurs en charge de la décision établissent un niveau d'aspiration qui leur permettra de juger des différentes alternatives;
- la recherche d'information (« searching ») qui est stratégique dans ce processus porte non seulement sur l'ensemble des alternatives, mais aussi sur l'ensemble des conséquences liées aux décisions.

La mise en application de ces principes influence de manière décisive la manière dont le processus de résolution de problème est conceptualisé. La résolution d'un problème de conception est le fruit d'un processus d'apprentissage visant à explorer un espace de solutions. La difficulté à trouver une

alternative satisfaisante (lorsque le problème est difficile à résoudre) pousse non seulement les acteurs à rechercher de nouvelles alternatives mais également à réviser leur niveau d'aspiration à la baisse.

De ce fait, la conception d'un produit est alors décomposable en une multitude de problèmes quasi indépendants. Selon le principe de la conception modulaire Sanchez et Mahoney (1996), à partir d'une architecture comprenant des interfaces standardisées, il est possible de travailler simultanément à la conception de tous les modules et d'envisager une très grande diversité de produits (ou de solutions).

De plus, ces auteurs soulignent qu'un tel processus permet de découpler l'apprentissage portant sur l'architecture du produit de celle réalisée sur les modules. Ainsi lorsque les concepteurs sont en charge de la conception d'un nouveau produit, on peut distinguer les évolutions incrémentales des produits qui se limitent exclusivement à l'évolution d'un ou plusieurs modules (sans remettre en question l'architecture) des évolutions radicales du produit qui supposent la remise en question de son architecture.

La difficulté de l'activité de conception ne réside pas uniquement dans l'activité de résolution de problème, mais également dans le travail de formulation de ces derniers. Les exigences ou les besoins des clients ne sont jamais directement interprétables en termes de problème technique à résoudre. Selon l'approche axiomatique d'Albano et Suh (1992), au départ, le client (ou son représentant à l'intérieur de l'entreprise) exprime un ensemble hiérarchisé de besoins, les performances souhaitées et les pré-requis qui sont traduits en une architecture fonctionnelle : il s'agit de décrire les fonctions du produit nécessaires à la réponse aux besoins des clients. Afin de donner corps à ces fonctions, il est ensuite nécessaire de faire des choix techniques constituant à terme une architecture physique. Enfin, cette dernière est elle-même à la source de la définition d'un ensemble hiérarchisé de procédés. Une des difficultés majeures réside dans la traduction des problèmes de conception d'un espace à un autre.

Pahl & Beitz (Ibid.) proposent de traiter ce processus de manière séquentielle en quatre étapes. Dans un premier temps (phase 1), la planification et la clarification des tâches vise à analyser le marché ainsi que la situation de l'entreprise; il s'agit de trouver et sélectionner des idées de produits et d'élaborer des listes de besoins et pré-requis qui constitueront une forme de cahier des charges. En deuxième phase, l'élaboration de concepts a pour but d'identifier l'essence des problèmes à traiter et d'envisager les principes de solutions; il s'agit également d'évaluer ces dernières en fonction de critères techniques et économiques: cette phase aboutit à un concept. Durant la troisième phase, le concept est traduit en une description qui aboutit à une maquette ou un prototype que l'on affine progressivement jusqu'à sa version stabilisée. En phase 4, la conception détaillée vise à élaborer le détail des spécifications des composants.

Chaque fois qu'il est possible d'exploiter un concept de solution, voire même une architecture de

produit existant le processus de conception s'en trouve grandement facilité. En effet lorsque les pré-requis et contraintes mettent en évidence un espace de solutions potentielles, la résolution de problèmes relève d'un mécanisme d'arbitrage ou de compromis. Par exemple, les arbitrages de la méthode QFD (Quality Function Deployment) (Akao, 1990), impliquent une capacité à pondérer les différents besoins des clients en fonction de leur degré d'importance (la valeur induite par la fonction) ou de priorité, ainsi qu'une capacité à évaluer le coût induit par la réalisation des différentes fonctions. Un tel processus est susceptible de donner naissance à une innovation incrémentale: les solutions existent, il s'agit de trouver celles qui sont le plus satisfaisantes.

Cependant comme le soulignent Pahl et Beitz (Ibid.), l'activité de conception rencontre un certain nombre d'obstacles susceptibles de freiner la résolution de problèmes. En premier lieu, les moyens nécessaires peuvent être inconnus. Ensuite, ces moyens peuvent être identifiés mais leur investigation systématique est impossible du fait d'un éventail trop large de possibilités. Enfin, les buts peuvent être vaguement ou mal définis; dans ce dernier cas, la recherche de solution implique un processus de délibération et de résolution de conflits jusqu'à la convergence vers une situation satisfaisante. La difficulté est d'autant plus grande que les caractéristiques du problème évoluent et que cette évolution est imprévisible. On caractérise ainsi les problèmes par leur complexité¹, l'incertitude² en amont (sur leur définition) et en aval (sur les solutions envisageables).

Le problème à résoudre change profondément de nature lorsque la résolution des contraintes exclut le recours à un arbitrage du fait de l'absence de solution connue au problème.

Selon Hatchuel et Weil (2002), dans cette situation l'activité de conception ne consiste plus à explorer un espace fini de solutions comme le préconise Simon, mais implique une expansion de cet espace (en d'autres termes la création d'un nouvel espace de solutions). Grâce à l'acquisition de connaissances nouvelles, on est alors susceptible soit de réaliser le concept tel qu'envisagé initialement (par exemple par un emploi de technologies nouvelles), soit ces nouvelles connaissances, peuvent conduire à reformuler le concept (voire l'objectif même du problème). Il est envisageable dès lors que des innovations de ruptures émergent d'un tel processus.

Pour Altshuller (1984), l'absence de solution à un problème est révélatrice d'une situation où les contraintes et les exigences du cahier des charges donnent naissance à des contradictions techniques ou physiques. Les problèmes de conception peuvent donc être explicités sous forme de telles contradictions.

La notion de contradiction résulte de l'idée qu'un conflit entre une exigence (ou une contrainte) A et une exigence (ou une contrainte) B ne sera résolu que par quelque chose qui ne sera ni A ni B, ni

1 Cette notion s'appuie sur la définition du système complexe, constitué d'un ensemble d'éléments interagissant mutuellement, aucun d'entre eux n'ayant sa propre autonomie; la cohérence se situe au niveau de l'ensemble, qui représente plus que la somme de ses éléments. A ce propos, on pourra se référer à Bausch (2002) et Le Moigne (1995).

2 L'espace du risque est un ensemble d'événements dans lequel chaque élément se voit associer une probabilité d'occurrence, celui de l'incertitude est un ensemble d'événements non caractérisé par une probabilité, celui du chaos relève de l'ignorance complète. Les systèmes complexes ont un comportement soit incertain soit chaotique.

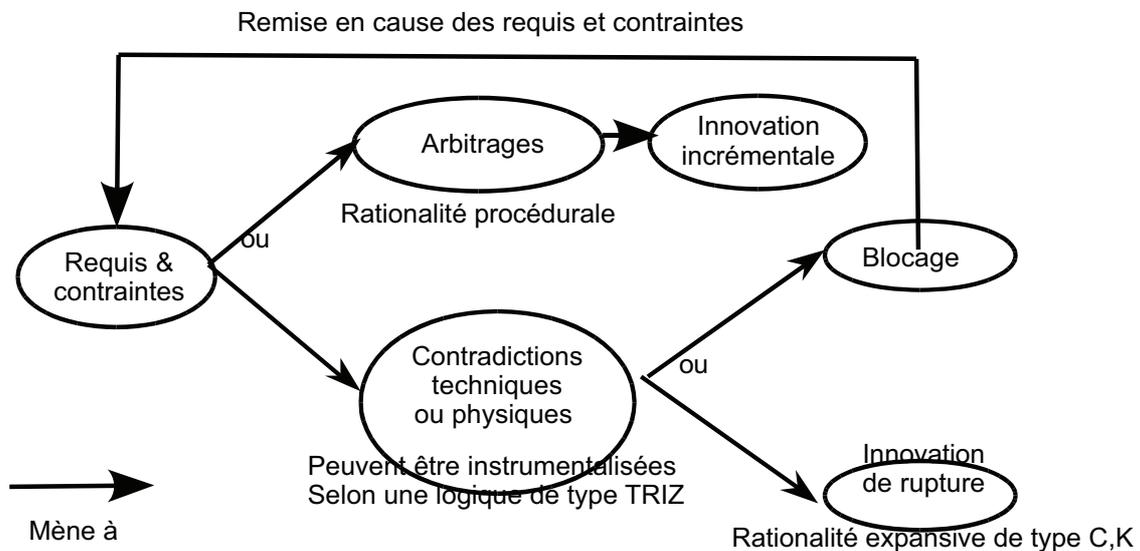
même un mélange des deux.

Selon Altshuller (1984), une contradiction technique fait référence à une situation où l'amélioration d'une caractéristique A conduit à la dégradation d'une caractéristique B, et réciproquement. (par exemple : la réduction de la masse d'un ordinateur embarqué à pour conséquence la réduction de sa puissance de calcul).

Les contradictions techniques peuvent elles-mêmes faire émerger des contradictions physiques. Une contradiction physique apparaît lorsqu'au moins l'un des éléments du système devrait adopter deux caractéristiques opposées (e.g: dur et mou, ou bien lisse et rugueux).

Il existe certaines contradictions qui possèdent un caractère insurmontable, réduisant à néant l'espace des solutions : elles induisent alors un blocage. Mais les contradictions, comme l'explique Altshuller (Ibid.) sont à l'origine de tensions créatrices. Selon les tenants de la méthode TRIZ, pour favoriser l'inventivité, il est souhaitable que le problème traité soit formulé sous forme de contradictions à surmonter qui peuvent alors déboucher sur une solution inventive qui ne se contente pas de réaliser un compromis.

Figure 1: Dimension technique: arbitrages et contradictions



Ainsi,
l'activité

de conception mélange un processus de résolution de problèmes bien identifiés ainsi que l'art de créer des espaces de solution radicalement nouveaux. Lorsque les concepteurs choisissent l'arbitrage, le résultat est susceptible d'aboutir à une innovation incrémentale (i.e.: une amélioration des solutions existantes): l'incertitude est relativement faible. Cependant, si les contraintes de départ aboutissent à la nécessité de dépasser des contradictions, le produit fini peut devenir radicalement innovant : le niveau d'incertitude lié au processus s'accroît (Figure 1). La conception cesse d'être un processus de résolution de problèmes suivant une rationalité procédurale à la Simon. La création de nouveaux espaces de solutions est alors appréhendée par Hatchuel et Weil comme une nouvelle forme de rationalité dite « expansive ». Toutefois, même en l'absence de contradictions techniques, les acteurs peuvent s'accorder sur une solution inventive en lieu et place d'une arbitrage technique. En résumé, les acteurs peuvent proposer au choix un arbitrage technique débouchant sur une innovation incrémentale, une solution inventive générant une innovation de rupture, ou faire face à une contradiction technique sans solution. Dans ce dernier cas, ils seront amenés à renégocier l'objectif ou les contraintes qui leur auront été assignés. La capacité des acteurs à négocier et à proposer une solution quelle qu'elle soit dépend notamment d'un certain nombre de facteurs cognitifs liés à chaque individu. En revanche, ce que les acteurs vont réellement proposer puis négocier est la résultante d'une stratégie qui leur est propre, issue non seulement de l'histoire et des traditions dont ils sont les dépositaires, des dynamiques de groupes avec lesquels ils interagissent, mais aussi des règles et des usages de l'organisation. Nous abordons l'aspect cognitif dans le paragraphe suivant.

2.2. LA DIMENSION COGNITIVE DE LA CONCEPTION

La recherche d'une solution technique nouvelle au travers de la mise en œuvre d'un processus de résolution de problème implique une production de connaissance à l'origine d'une dynamique d'apprentissage. Cet apprentissage est le plus souvent le fruit d'un processus collectif dans la mesure où la conception de produit fait appel à la collaboration de multiples acteurs d'autant plus spécialisés que le projet est complexe.

La multiplicité des acteurs pose la question de la coordination de représentations individuelles qui sont à la fois partielles (à cause de la division du travail) et partiales (les appréciations sur les solutions à mettre en œuvre peuvent être divergentes). Les caractères partiel et partial des représentations posent des problèmes de coordination de nature différente.

Tant que le processus de conception de nouveau produit s'appuie fortement sur l'expérience accumulée dans le passé, les individus agissent dans la continuité de leurs schémas d'interprétation. Le problème principal de la coordination consiste alors à permettre aux acteurs ayant des représentations partielles du problème à travailler ensemble.

On peut envisager par exemple que la coordination s'opère ex-ante grâce à des interfaces standardisées permettant de rendre le travail des différentes équipes de conception indépendante : c'est le principe de modularité. Pour Simon les « loosely coupling system » renvoient à l'idée de

décomposer la complexité d'un système pour mieux la contrôler. Concrètement la coordination est susceptible de s'opérer au travers :

- de plate-formes techniques : la définition préalable d'une architecture du produit, interface physiques permettant d'intégrer des modules, on décompose la conception en une somme de sous problèmes quasi-indépendants (Ulrich, 1994)
- de plate-formes organisationnelles : des outils de gestion centralisés, des règles ou des procédures communes, une hiérarchie commune permettent de d'économiser les coûts de transaction et d'accélérer le processus de conception (Sanchez et Mahoney, 1996) ,
- des plateformes cognitives : la définition de langages communs favorisant la communication entre les communautés de concepteurs (Langlois, 2002).

Une organisation développant de manière récurrente des innovations incrémentales aura donc tout intérêt à développer ces interfaces standardisées qui faciliteront la capitalisation de l'apprentissage et permettront de limiter les interactions entre les différents acteurs du processus de conception. Chaque expérience nouvelle permettra d'enrichir, de compléter les représentations, les théories de l'action des différents acteurs de la conception. Ce processus n'est pas sans lien avec l'apprentissage en boucle simple conceptualisé par Argyris & Schön. L'apprentissage en boucle simple fonctionne comme un mécanisme thermostatique ne remettant pas en cause les normes ou les objectifs organisationnels.

En revanche lorsque l'organisation s'engage dans un projet de rupture, l'exploitation de l'expérience passée s'avère moins aisée. Cette fois les connaissances nouvelles sont susceptibles d'entrer en contradiction avec les connaissances accumulées par le passé : les représentations partiales des acteurs entrent en conflit. On peut définir une telle situation comme une contradiction cognitive.

Dans cette situation, les interactions directes deviennent indispensables, la coordination doit s'opérer en temps réel tout au long du déroulement du projet. Il s'agit de permettre aux acteurs de la conception d'ajuster mutuellement leurs actions, leurs représentations, leurs stratégies de résolution de problèmes.

Plusieurs chercheurs ont souligné que les processus d'apprentissage étaient souvent défaillants, notamment March, montrant que les trappes de compétences, la surexploitation des routines, ou les contraintes de sentiers pouvaient freiner l'émergence de solutions innovantes. Les succès passés peuvent être donc être à l'origine des échecs présents. Inversement, Staw (1981), Baumard et Starbuck (2005), Wong, Yik et Kwong (2006), ont eux mis en évidence la difficulté de tirer les leçons des échecs passés...

Ces travaux indiquent qu'il n'est pas naturel pour les acteurs de remettre en question leurs représentations, leurs théories de l'action, leur comportement.

Une explication mise en avant par certains (Staw, 1981; Smith et Tushman, 2005; Wong, Yik et Kwong, 2006) pour expliquer ce phénomène serait la théorie de la dissonance cognitive de Festinger. La dissonance peut émerger lorsque plusieurs acteurs d'une même organisation portent des représentations ou des croyances qui ne sont pas compatibles, ou si une nouvelle information entre en contradiction avec les représentations des acteurs.

« Selon Festinger (1957), il y a dissonance cognitive lorsqu'un individu réalise que la réalité qu'il observe est différente de la représentation mentale qu'il s'en était faite. L'hypothèse fondamentale de Festinger est la suivante : la dissonance cognitive constitue un état pénible pour l'être humain, chez qui il existe un besoin de maintenir la plus grande consonance possible. Donc si un individu se trouve à entretenir des notions dissonantes, il en éprouve un malaise psychologique suscitant chez lui une tendance à la réduction de la dissonance et à la restauration de la consonance. En outre, l'individu s'efforce d'éviter les situations et informations susceptibles d'augmenter la dissonance. » (Boisard-Castelluccia, 2004).

Lorsqu'un tel un conflit cognitif émerge, les acteurs concernés sont susceptibles de refuser l'appropriation des informations, des connaissances, des représentations nouvelles, dans le but de sauvegarder leurs schèmes.

Tripsas et Gavetti (2000) montrent comment l'apparition de dissonances cognitives au sein de l'organisation peut ainsi affecter les décisions stratégiques en matière de conception et de commercialisation de produits. Avec le temps, les dirigeants développent un ensemble de croyances appelée « logique dominante » (Prahalad et Bettis, 1986; Prahalad et Bettis, 1995), ainsi que des compétences de base susceptibles de devenir des « rigidités de base » (« core rigidities »), dans le cas où un changement de paradigme technologique s'avère nécessaire (Leonard-Barton, 1992). Ces dissonances, qui se traduisent par une incapacité à remettre en cause un ensemble de croyances (Wheelwright et Clark, 1992), limitent l'apprentissage par l'action et freinent la capacité d'itération. Les sources de dissonance cognitive identifiées lors de la conception innovante trouvent leur origine dans :

- les croyances liées à l'incertitude sur un marché inexistant au moment de la prise de décision,
- les croyances relatives au potentiel de la technologie ou à sa faisabilité,
- les croyances et représentations liées à l'échec (Christensen, 1997).

La recherche d'une consonance peut cependant conduire les acteurs à changer leurs représentations, leurs croyances et leurs comportements. Nous sommes cette fois dans le cas d'une rupture de trajectoire telle que l'avaient envisagée Argyris et Schön (1978) en développant la notion de « double loop learning ». Ainsi, selon les caractéristiques de ces contraintes cognitives, la définition

des contraintes techniques liées au produit peut être plus ou moins amendée au fur et à mesure du déroulement du processus de conception. Dans un univers rigide, c'est le « dominant design » qui régnera sans partage (Henderson et Clark, 1990), alors qu'une organisation jeune sera moins limitée par un ensemble de croyances établies. Pour Gavetti et Levinthal (2000), le changement des représentations cognitives est un facteur important d'adaptabilité pour l'organisation, conclusion que nous pouvons étendre à la mise en œuvre d'un processus de conception innovant.

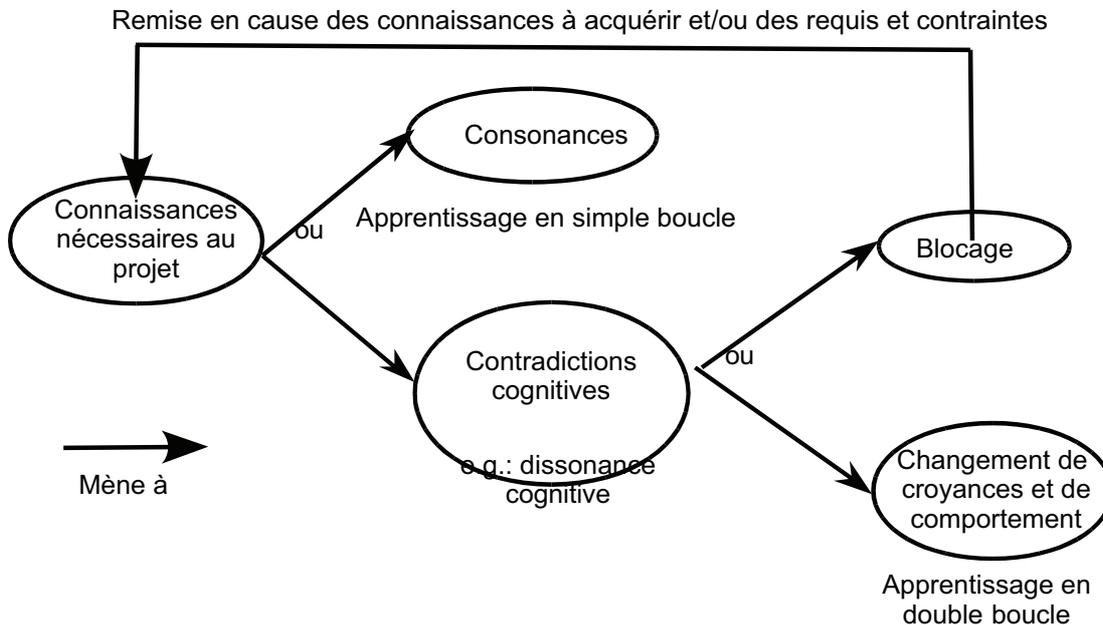
La possibilité de dépasser les contradictions cognitives au sein des organisations et en particulier des équipes de conception dépend en partie d'une part de la complexité cognitive des acteurs, d'autre part de la forme du leadership exercé au sein des équipes de conception. Burleson et Caplan (1998) mobilisent la notion de complexité cognitive, qu'ils définissent comme une capacité de l'individu à différencier ses constructions mentales, à les articuler et à les intégrer (organisation et interconnexion). Cette complexité cognitive n'est pas homogène dans tous les domaines de la vie de l'individu. On peut considérer que son évaluation se rapproche des distinctions entre expert et débutant pour une problématique donnée.

Quel est l'impact de ces considérations sur les processus de résolution de problèmes? Si l'on reprend une étude de Stiles (1978) citée par les mêmes auteurs, il est possible d'élaborer deux propositions. La première est que le spectre de solutions susceptibles d'émerger en vue de résoudre un problème donné est d'autant plus large que la complexité cognitive des individus impliqués est élevée. La deuxième qui en découle concerne le degré d'inventivité des solutions; pour favoriser l'émergence d'innovations majeures, il faudrait donc mobiliser des individus possédant certaines caractéristiques de complexité cognitive élevée, qui touchent non seulement à l'expertise technique, mais aussi à l'interaction sociale. Les auteurs notent cependant que la complexité cognitive ne saurait être une mesure des prédispositions et motivations d'une personne.

Ce qui apparaît comme décisif pour le leadership est la capacité à faire émerger les conflits au sein des équipes en privilégiant la participation critique au détriment de l'obéissance passive. L'étude de Blake et Mouton (1969) présente la gestion par le travail en équipe comme le seul mode de leadership susceptible de dépasser la contradiction inhérente à la coexistence des objectifs de production avec le besoin des acteurs. C'est en établissant des relations saines et matures avec les acteurs de l'équipe, en promouvant leur engagement, leur implication au travail que les objectifs organisationnels les plus élevés pourraient être atteints (notamment l'émergence de solution innovante). Plus récemment Smith et Tushman (2005) défendent l'idée selon laquelle les entreprises les plus innovantes doivent se doter d'une équipe de direction susceptible de dépasser les contradictions stratégiques. Il s'agirait de privilégier des leaders dotés de schèmes paradoxaux leur permettant d'appréhender plutôt que de fuir les tensions générées par ces contradictions, la gestion de ces contradictions s'opérant par la mise en œuvre de deux processus cognitifs distincts : la différenciation (permettant de faire émerger des stratégies différenciées, parfois en contradiction) et l'intégration (visant à identifier des synergies susceptibles de transcender la performance de

l'organisation). Smith et Tushman défendent les « Teamcentric Teams » (équipes centrées sur l'équipe par opposition aux équipes centrées sur les leaders) comme une organisation efficace pour attaquer de front les conflits et proposer des solutions pertinentes. Dans ce mode de leadership tous les membres de l'équipe jouent tour à tour le rôle d'avocats de leur projets individuels et celui d'intégrateur à la recherche de la performance globale de l'organisation.

Figure 2: Dimension cognitive: consonances et contradictions



L'activité
de

conception implique la mise en œuvre simultanée de processus cognitifs sensiblement différents. D'une part, il s'agit de permettre à des acteurs de se coordonner malgré le caractère partiel de leurs représentations. Cette coordination est parfois possible à travers la recherche de compromis ne remettant pas en question les théories d'action des différents acteurs.

Cependant lorsque les concepteurs optent pour la mise en œuvre d'une innovation de rupture, il est envisageable que les représentations des différents acteurs entrent en conflit, créant une contradiction entre les connaissances produites par l'activité de conception et les représentations existantes des acteurs. L'émergence d'une solution radicalement innovante requiert de la part des équipes de conception la capacité à dépasser les contradictions cognitives induites par l'activité de résolution de problème technique (Figure 2).

L'aptitude à gérer ces processus cognitifs différenciés nécessite des choix particuliers en termes de division et de coordination du travail. La question de la structure organisationnelle et de son évolution revêt alors une importance stratégique.

2.3. LA DIMENSION ORGANISATIONNELLE DE LA CONCEPTION

Comment l'organisation doit-elle s'agencer pour piloter au mieux un ou plusieurs processus de

conception innovants? Une part significative de tels processus sont gérés au travers de structures projet. Au sein de son portefeuille, la firme est susceptible non seulement de piloter des projets qui lui sont exclusifs, mais aussi de participer à des consortiums où celle-ci n'est qu'une des parties prenantes (Morris et Hough, 1987). Dans ce dernier cas, du point de vue du projet, la dite firme n'est qu'un acteur parmi d'autres, alors que pour la firme, le projet ne constitue qu'un élément de son activité (Midler, 1993a).

Les questions liées au pilotage du projet de conception, notamment l'articulation avec les métiers et le rôle du chef de projet sont essentielles et abondamment traitées dans la littérature spécialisée (cf. par exemple Midler (1993b); Zarifian (1993)).

Dans ce chapitre, nous nous intéressons particulièrement à la question suivante. Un projet de conception génère un niveau d'incertitude d'autant plus important qu'il implique le dépassement de contradictions techniques et cognitives. De ce fait, l'organisation est poussée à adapter sa structure à ce niveau d'incertitude. Par ailleurs, la firme peut être amenée à gérer simultanément plusieurs niveaux d'incertitude au sein de son portefeuille (dans le cadre de la nécessaire cohabitation entre d'une part l'exploitation qui génère des revenus, et d'autre part l'exploration qui ouvre des débouchés futurs).

La question de l'adaptation de la structure au niveau de l'incertitude est bien prise en compte par la théorie de la contingence et la théorie configurationnelle, au travers de la notion de « misfit » (i.e.: inadaptation).

La première envisage que la structure de l'organisation doit s'adapter aux facteurs de contingence environnementaux pour éviter qu'une inadéquation (« misfit ») croissante de la structure ne soit la cause d'une baisse de performance (Donaldson, 2001).

Une des premières contributions significatives éclairant la question de l'impact de l'incertitude sur la structure des organisations est le travail de Burns et Stalker (1961), qui montrent que le degré de stabilité de l'environnement externe (mesuré par le taux de changement dans les techniques scientifiques et le marché) influence la performance de l'organisation. Ainsi, les structures mécanistes (i.e.: complexes, formalisées et centralisées) seraient plus performantes dans des environnements stables, alors que les structures organiques (i.e.: où les responsabilités sont définies de manière assez large et la communication est fondée sur l'échange -latéral- d'information et la recherche de coopération informelle plutôt que sur les directives formelles -verticales-) seraient mieux adaptées aux environnements perturbés. Lawrence et Lorsch (1967) complètent ces travaux en affinant la notion d'incertitude. Au lieu de limiter cette dernière à de l'instabilité et de l'imprévisibilité, ces derniers introduisent la question de la complexité de l'environnement par le nombre de variables et leur degré de dépendance. L'incertitude résulte non seulement de l'instabilité, mais aussi de la complexité de l'environnement. Le résultat de leur expérimentation montre que l'incertitude n'a pas un impact homogène sur toute l'organisation. Elle a pour conséquence

d'augmenter la différenciation structurelle entre les départements (les activités de l'entreprise), notamment les activités de R&D, de production et de marketing. La différenciation des unités au sein de l'entreprise pose de redoutables problèmes de coordination. Dans les environnements les moins incertains, les conflits entre les unités faiblement différenciées peuvent être résolus à des niveaux relativement élevés par la hiérarchie. En revanche, la résolution de conflit entre des unités fortement différenciées doit être gérée de manière proche du terrain dans des environnements plus incertains. Cela implique la mise en œuvre de nouveaux moyens d'intégration. Les fonctions de chefs de projets, les cadres intégrateurs, les structures matricielles, les équipes pluri-fonctionnelles correspondent à ce besoin.

Duncan (1979) développe une mesure bi-dimensionnelle destinée à appréhender l'incertitude propre à l'environnement. On prend ainsi en considération son caractère statique ou dynamique (i.e.: le changement), simple ou complexe, ce qui débouche sur une heuristique des organisations adaptées à leur environnement. Ainsi, dans un environnement simple et statique où l'incertitude est faible et l'information à traiter relativement limitée, Duncan préconise la mise en place de structures fonctionnelles; à l'inverse dans une situation complexe et dynamique, alors que l'incertitude est élevée, l'entreprise doit traiter une quantité importante d'informations: l'auteur propose alors de mettre en œuvre des organisations mixtes fonctionnelles ou décentralisées, intégrant des relations latérales.

Bourgeois et Eisenhardt (1988) appréhendent l'incertitude à travers la notion d'environnement en évolution rapide (« high velocity environment »). Dans de tels contextes, la demande, la technologie et la concurrence évoluent suffisamment rapidement et de manière discontinue pour que l'information soit souvent imprécise, indisponible ou obsolète. Ce qui importe alors est la capacité à prendre rapidement des décisions qui nécessitent la mise à disposition d'importantes capacités de traitement de l'information. En effet, les décideurs se doivent d'envisager en permanence de nombreuses alternatives pour faire face à cette incertitude.

Ainsi, de nombreuses études caractérisent l'environnement par la complexité et l'incertitude. Néanmoins, on peut évoquer deux autres notions complémentaires. Ainsi, Daft et Lengel (1986) utilisent la notion d'environnement équivoque: il existerait de multiples interprétations conflictuelles de l'organisation, une situation très équivoque générant de la confusion. D'autres auteurs s'intéressent à la question de l'hostilité environnementale (par exemple Covin et Slevin (1989)). Les caractéristiques de l'environnement sont d'autant plus précaires que les acteurs sont hostiles et génèrent une concurrence intense qui limite les opportunités exploitables.

Un certain nombre d'auteurs ont réalisé des synthèses portant sur la contingence. On peut ainsi se référer à Burton et Obel (1998) qui proposent un trame destinée aux diagnostics visant à mettre l'organisation de la firme en adéquation avec son environnement³. Mintzberg (1979) est à l'originel

3 Ainsi, Carroll et al. (2006) ont cherché à évaluer les inadéquations organisationnelles (« organizational misfits ») au

du courant configurationnel et synthétise les travaux des théoriciens de la contingence au travers de configurations assurant une cohérence interne des paramètres de l'organisation (structure simple, bureaucratie mécaniste, bureaucratie professionnelle, structure divisionnalisée, et adhocratie). Siggelkow (2001) évoque la nécessité de traiter simultanément ces deux niveaux de cohérence (« internal fit, external fit »): celle des paramètres de conception, celle des paramètres environnementaux.

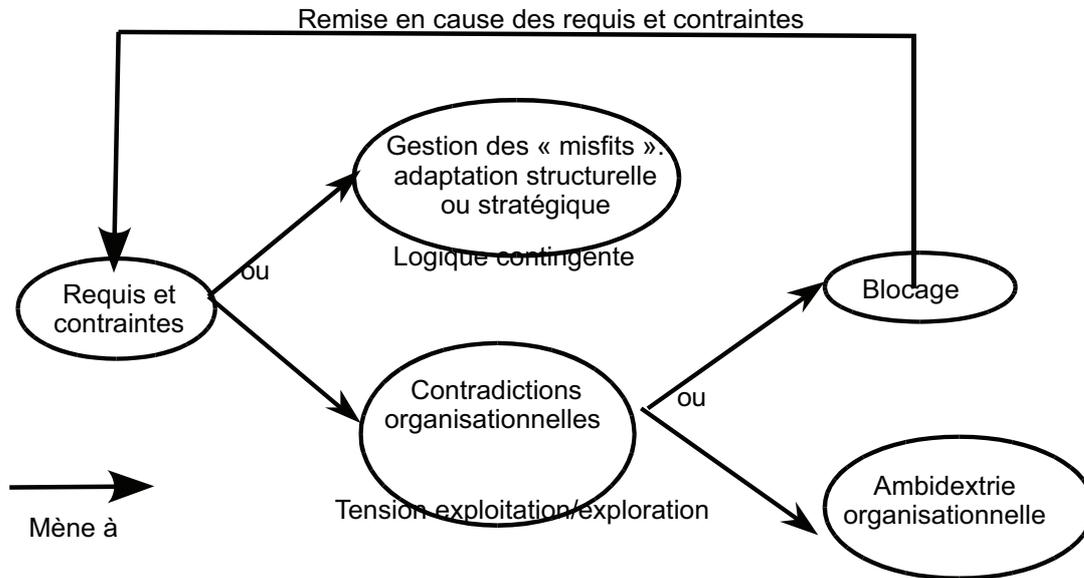
La conception d'une innovation de rupture induit l'augmentation de la complexité de l'organisation, puisque les processus qui lui sont associés sont distincts, comme nous l'avons montré dans le paragraphe précédent. De plus, cette innovation génère en elle-même sa propre incertitude. L'introduction d'une innovation de rupture conduit alors l'organisation à évoluer pour maintenir un niveau satisfaisant de performance. L'augmentation de l'incertitude et de la complexité conduirait plutôt l'organisation à évoluer vers moins de formalisation, plus de décentralisation, plus de complexité organisationnelle, des structures plus organiques (moins bureaucratiques), des mécanismes de coordination de type ajustement mutuel, cadre intégrateur, ou groupes transversaux.

Cependant, la mise en œuvre d'une innovation de rupture peut résulter de l'application d'une nouvelle stratégie qui cohabite avec celles existantes, générant ainsi une contradiction (Smith et Tushman, 2005). Ainsi, la firme peut être amenée à simultanément exploiter des marchés existant en vue d'assurer la performance de court terme (continuité des ressources financières), et mettre en œuvre des processus d'exploration permettant d'assurer son développement à long terme. L'obligation pour la firme de s'adapter dans le même temps à plusieurs degrés d'incertitude (i.e.: posséder à la fois les qualités d'une structure bureaucratique et celles d'une structure adhocratique) crée une contradiction organisationnelle. Afin de dépasser la tension générée par cette contradiction, les dirigeants sont alors amenés à imaginer des solutions organisationnelles inventives. Westerman, McFarlan et Iansiti (2006) proposent trois exemples qui illustrent des mécanismes de différenciation d'intégration destinés à dépasser de telles contradictions. Tushman et O'Reilly III (1996) développent un modèle d'organisation qu'ils qualifient d'ambidextre puisqu'il autorise la cohabitation de l'exploitation et de l'exploration. Premièrement la différenciation permet à chaque produit et chaque stratégie d'exister au sein de l'organisation grâce à l'allocation de ressources spécifiques, des configurations organisationnelles ad-hoc et des processus de décision spécifiques. Deuxièmement les mécanismes d'intégration permettent de créer des liens et des synergies entre les unités qui exploitent et celles qui explorent. Galunic et Eisenhardt (2001) considèrent que l'organisation modulaire est pertinente pour une firme multidivisionnelle souhaitant soit rapidement recombinaison des ressources de ses divisions dans le but de répondre à des conditions altérées d'activité, soit créer de la valeur en facilitant la cohabitation dynamique de communautés. Une telle

sein d'un projet innovant de la NASA. Le but de leur travail était de rendre cohérent l'organisation et la stratégie de la NASA; ils ont ainsi proposé des arbitrages visant à atténuer les inadéquations en simulant des scénarii d'évolution structurelle.

organisation serait ainsi capable de gérer des principes contradictoires (exploitation et exploration), les divisions de la firme étant indépendantes tout en développant des synergies, puisque la culture d'entreprise favorise à la fois la coopération et la concurrence entre divisions. La dynamique d'évolution de la firme s'appuie sur des règles favorisant le développement des divisions à succès, tout en assistant celles en difficulté. Siggelkow et Levinthal (2003) proposent de résoudre la contradiction en utilisant le principe de séparation dans le temps. Ils simulent le fonctionnement de trois types d'organisation: l'une centralisée, l'autre décentralisée, la troisième adoptant successivement les deux précédentes configurations. Cette dernière se révèle plus performante: dans un premier temps, la décentralisation temporaire permettrait à l'organisation d'échapper à ses trajectoires passées et d'en explorer de nouvelles; dans un deuxième, la centralisation favoriserait la coordination entre les divisions.

Figure 3: Dimension organisationnelle: adaptation et contradictions



La mise
en œuvre
d'une

innovation de rupture est une incitation à faire évoluer l'organisation de la firme. Une première hypothèse consiste à réaliser des arbitrages visant à atténuer les inadéquations avec l'environnement (cohérence externe). Cependant, cette innovation de rupture peut générer une contradiction organisationnelle (remise en question de la cohérence interne). Ce phénomène peut aboutir à un blocage si les dirigeants s'avèrent incapables de proposer des solutions organisationnelles inventives (Figure 3). Le changement organisationnel implique que l'on s'intéresse aux problématiques des mécanismes cognitifs susceptibles de le favoriser ou le freiner.

Dans ce chapitre, nous avons traité de l'émergence de contradictions, arbitrages et solutions inventives dans chacune des trois dimensions, technique, organisationnelle, et cognitive. De plus, notre développement a mis en évidence certaines de leurs interactions. La présentation de l'étude de cas va à présent nous permettre d'en révéler un certain nombre de mécanismes.

3. Le programme Myriade

3.1. UNE INNOVATION DE RUPTURE POUR LE CNES

En 1998 le CNES lança un grand projet visant à élargir son offre en créant une ligne de produits de micro-satellites : le programme Myriade. La désignation du projet faisait écho aux analyses prospectives de Jacques Blamont, alors responsable du CNES ; interrogé en 1995 par un journaliste de l'Express : « L'ère de la miniaturisation, des automates intelligents ne fait que commencer. La voie a été tracée par la sonde lunaire Clémentine, grand succès scientifique et technique en 1994, auquel j'ai été le seul Européen à participer, à la tête d'une équipe du CNES. Et cela nous mène vers la vraie révolution spatiale: l'avènement des constellations de petits satellites. Bientôt, de véritables myriades en orbite basse tourneront autour de la Terre. L'idée a pris naissance lors du projet reaganien de «Guerre des Étoiles». Le système GPS (Global Positioning System), 25 satellites, qui permet de déterminer à quelques mètres près la position des bateaux, est l'ébauche déjà opérationnelle de ces flottes de l'espace. »

Le concept de micro-satellites n'était pourtant pas nouveau. À la fin des années 50, le département américain de la défense avait déjà testé de tels systèmes. En 1979 l'Université de Surrey (Grande-Bretagne) avait démarré des études sur des petits satellites à prix compétitifs. Ils créèrent en 1985 the Surrey Satellite Technology Ltd (SSTL), une entreprise leur appartenant alors exclusivement. Au moment de l'avènement du programme Myriade, cette entreprise constituait la référence en matière de micro-satellites, ayant alors à son actif une quinzaine d'engins en orbite basse.

Le programme Myriade, traduisait la volonté du CNES de devenir un acteur majeur dans le domaine des micro-satellites. Mais l'offre à laquelle le CNES souhaitait s'attaquer se différenciait sensiblement de celle de SSTL. En effet, à cette époque les Britanniques, concevaient des micro-satellites dont la technologie était relativement rudimentaire: elle excluait la plupart des missions scientifiques requérant notamment la précision de pointage et la puissance de calcul. Pour sa part, le CNES souhaitait développer des satellites de 100 à 120 kg destinés à être lancés essentiellement en tant que charge secondaire par Ariane 5 ou sur des missiles nucléaires russes reconvertis, et prioritairement affectés à des missions scientifiques.

Il faut souligner que l'offre en matière de micro-satellites se voulait complémentaire des plateformes lourdes classiques, et n'avait donc pas pour ambition de se substituer à ces dernières. Cependant, certains voyaient dans Myriade une véritable innovation de rupture, estimant ce programme susceptible de révolutionner simultanément l'offre de satellite (rupture au sens de Christensen (1997)) ainsi que le paradigme dominant de production des satellites au CNES.

D'une part, cette offre devait constituer une évolution significative du rapport performance

technique – coûts; de ce fait de nouvelles opportunités s'offraient pour des missions scientifiques et des expérimentations technologiques. Le coût de revient devait être plafonné à 3 millions d'euros et le délai de réalisation ne pas dépasser deux ans (contre plusieurs centaines de millions d'euros et une dizaine d'années pour les satellites classiques). De plus, un atelier d'ingénierie simultanée serait créé pour l'occasion. La conception des satellites (hors charge utile) devrait s'appuyer sur une ligne de produits constituée d'un tronc commun et d'options (CNES, 1998). Un nouveau domaine d'activité s'ouvrait donc autant pour l'agence spatiale que pour les utilisateurs.

D'autre part, la mise en œuvre de ce programme supposait que le CNES opérât des évolutions majeures concernant le concept de satellite et la technologie qui la sous-tendait, l'organisation du travail et notamment la gestion des projets, la culture ou la théorie de l'action des acteurs parties prenantes.

Premièrement, les micro-satellites créaient des contraintes spécifiques en termes de masse, de coût et de délai réalisation qui conduisirent à repenser le concept même de satellite tel qu'il existait au CNES. La réponse à de telles contraintes impliquait également des choix technologiques innovants, et plus spécifiquement l'adaptation de technologies non spatiales (par exemple pour les composants électroniques tels que les processeurs).

Deuxièmement, ces nouveaux objectifs de performance conduisaient à repenser la gestion de projet (ingénierie simultanée), les méthodes de maîtrise des risques (redéfinition de nouveaux risques acceptables, tels que la tolérance de panne), la gestion de la qualité (qui devait ouvrir la voie à la « spatialisation » de certains composant « civils » initialement conçus pour des usages bien différents), les relations clients-fournisseurs. En particulier, l'accélération du cycle de développement nécessitait l'allègement du formalisme de gestion, la limitation de la documentation, et la standardisation des outils de conception.

Enfin, Myriade devait engager les acteurs impliqués dans une évolution de leurs théories de l'action (au sens d'Argyris et Schön (1978)). Il s'agissait de remplacer la philosophie « Mission Success First » qui privilégiait comme son nom l'indique la fiabilité et la robustesse des systèmes sur tous les autres aspects de la performance, par celle dite « Smaller, Faster, Better, Cheaper » inspirée de la politique menée par l'Administrateur de la NASA Dan Goldin dès le début des années 1990.

A partir de 1998, la Direction du CNES délégua à la Direction des Systèmes Orbitaux du Centre Spatial de Toulouse (CST) le pilotage de Myriade, qui créa au sein de sa Division Études et Développement une structure de programme spécifique. Il était convenu que cette dernière mobiliserait les ressources internes au CST (les compétences des métiers) tout autant que celle des industriels du secteur spatial ou non, au besoin grâce à des partenariats.

Par ailleurs la Direction Générale de l'Armement (DGA) choisit d'utiliser la plate-forme Myriade pour le développement de satellites militaires de démonstration technologique sous maîtrise d'œuvre industrielle de MMS (devenu depuis Astrium). Cet industriel devint partenaire du développement de la plate-forme et obtint d'utiliser ces technologies pour ses propres besoins commerciaux.

3.2. LA DÉMARCHE D'INVESTIGATION

En 1998, le Directeur de la Stratégie, de la Qualité et de l'Évaluation (SQE) du CNES et le responsable du programme Myriade, à l'instigation du Conseiller Scientifique du Président, signèrent un contrat de recherche de trois ans prévoyant qu'un chercheur suivrait déroulement du Programme. D'une part, celui-ci devait mener une étude sur la stratégie à mener en vue de favoriser l'innovation technologique et méthodologique. D'autre part, il observerait sur le terrain la mise en place du Programme, des nouveaux outils et des méthodes, l'évolution de l'organisation, des relations avec les entités fonctionnelles du CST et avec les industriels partenaires. L'objectif était de conceptualiser le pilotage de tels processus. Il s'agissait d'une recherche clinique, «interaction instituée entre le chercheur et son terrain d'étude» (Girin, 1981). La méthodologie était de type abductive (Koenig, 1993), procédant par «allers-retours entre des observations et des connaissances théoriques tout au long de la recherche» (Charreire et Durieux, 1999). Le chercheur a été immergé à temps partiel (plusieurs jours par mois en fonction de la charge de travail) au sein de l'agence spatiale. Les premiers mois se sont déroulés au siège du CNES dans le but de préparer l'étude au CST. Le chercheur jouait le rôle de candide (« curious visitor » au sens de Agar (1996)), où ce dernier devait collecter les données techniques et les notes internes (notamment des documents de travail, notes de service, synthèses de séminaires, et études techniques) ainsi que la littérature sur le sujet (publication d'actes de conférences spécialisées, documents de projets et rapports des laboratoires scientifiques responsables des charges utiles embarquées, livres). Le chercheur a également été amené à interviewer des responsables respectivement de la Direction des Programmes, de la Stratégie de la Qualité et de l'Évaluation, ainsi que le Conseiller Scientifique du Président, dans le but de comprendre l'organisation, les modes opératoires, et la répartition des responsabilités. Ces entretiens avaient également pour objectif de saisir la manière dont le programme Myriade s'élaborait, ainsi que l'opinion des principaux décideurs sur le Programme et son évolution. Puisque Myriade était localisé au CST, le chercheur s'est ensuite rendu sur place afin de rencontrer les responsables directement impliqués dans le programme (l'ancien responsable du Programme, son remplaçant qui sera à poste de 1998 à 2002, ainsi que la plupart des responsables de missions et des sous-systèmes au sein du Programme).

Lorsque cette phase préliminaire fut achevée le chercheur passa l'essentiel de son temps de présence sur le terrain au sein de l'équipe Myriade; entre temps il était devenu un observateur initié (« initiate » au sens de Agar (1996)). A cette époque, son interlocuteur principal était le responsable du programme Myriade. Le chercheur était impliqué dans la vie de l'équipe comme un membre périphérique (Adler et Adler, 1987). A ce titre celui-ci a été régulièrement invité à participer en tant qu'observateur aux rencontres entre l'équipe Myriade et les départements du CNES (particulièrement la Direction des Techniques Spatiales – DTS – dont nous verrons qu'elle a joué un rôle crucial dans un épisode que nous relaterons plus en détail), les fournisseurs externes et les partenaires scientifiques. Le projet avançant il mena des entretiens semi structurés focalisés sur des

questions précises: notamment sur l'articulation entre les entités fonctionnelles du CST (qui regroupaient les métiers) et le Programme, le contrôle de gestion, l'assurance qualité et la gestion du personnel. Le chercheur avait régulièrement des échanges d'idées avec les membres de l'équipe à propos de certains problèmes spécifiques (par exemple sur les questions de transfert de technologie) ou sur des sujets plus généraux à caractère stratégique: ainsi furent débattues les questions de restructuration organisationnelle, de la modification du partage des responsabilités entre les métiers et le projet. De plus, le chercheur se rendait régulièrement au siège du CNES à la fois pour faire le point et pour aborder les thèmes plus stratégiques.

Par ailleurs, comme c'est l'usage dans ce type de recherche, un comité de pilotage de ce contrat fut mis en place. Ce dernier était composé du responsable du programme Myriade, du Directeur de la Stratégie, de la Qualité et de l'Évaluation, du conseiller scientifique du président du CNES et de deux chercheurs du même laboratoire, dont celui intervenant sur le terrain. Celui-ci organisait des rencontres régulières au cours desquelles il présentait l'avancée de son travail. Les conclusions provisoires étaient validées ou non, de nouvelles orientations étaient proposées si cela s'avérait nécessaire, jusqu'à ce que l'ensemble du travail fut approuvé en 2001. Le document final émanant du comité de pilotage valida les résultats de la recherche qui furent qualifiés de cohérents et pertinents, il clôtura ainsi cette première phase.

Lors du dernier trimestre 2001, le chercheur rencontra à nouveau le responsable de Myriade à Toulouse, et ceux-ci convinrent d'entamer une réflexion ainsi que les démarches en vue de mettre en œuvre un second contrat de recherche. On s'intéressait à l'époque au transfert de technologies, à la mise en place d'un programme de démonstrateurs technologiques pour les sous-systèmes de la ligne de produits, et à l'éventuelle commercialisation de cette dernière. Tout ceci fut remis en cause dès le début de l'année suivante. Premièrement le responsable du Programme Myriade décéda soudainement en janvier 2002. Deuxièmement, le CNES vivant une crise managériale et politique d'envergure, une partie de l'équipe de direction fut remplacée entre 2002 et 2003 et les priorités changées (cf. § Bilan provisoire à la fin 2009). Le nouveau responsable du Programme arrivé durant la même période stoppa net les projets de recherche envisagés auparavant. Le chercheur continua néanmoins à collecter les informations publiques disponibles sur le programme (ce qui constitua notre source essentielle d'information entre 2003 et 2006); il réalisa quelques entretiens non officiels dans le but de comprendre quelle était l'évolution du Programme. Ce travail intermédiaire donna lieu à des publications. Entre 2007 et 2008, le chercheur interrogea certaines personnes autrefois impliquées dans le Programme et toujours au CNES afin d'identifier quel était l'héritage du programme Myriade sur le fonctionnement et l'organisation de l'agence spatiale.

3.3. LE DÉROULEMENT DU PROGRAMME: QUELQUES ÉPISODES SIGNIFICATIFS

Comme il n'est pas possible de présenter de manière exhaustive tous les événements qui ont jalonné ce projet, nous avons choisi de focaliser notre attention sur quatre épisodes que nous

considérons comme cruciaux. Le premier épisode (1998) évoque le choix des pré-requis ainsi que des contraintes techniques initiales, alors que le second épisode aborde plutôt les aspects organisationnels. Dans le troisième épisode, nous évoquerons un conflit décisif portant sur les choix techniques concernant le calculateur de bord (1999-2001). Dans le quatrième épisode (2001-2002) nous expliquerons comment les requis et contraintes techniques de départ furent remis en question et comment le CNES reconsidéra sa stratégie de départ.

3.3.1. Le choix des pré-requis du système

L'objectif de l'introduction de cette nouvelle offre au sein du CNES était double. Premièrement en accroissant le nombre de projets et en réduisant leur délai de réalisation, il devenait possible à la fois de diminuer le coût de revient des satellites (économie d'échelle), tout en facilitant l'intégration des innovations technologiques notamment dans le domaine de la micro électronique, des télécommunications, et de l'informatique. Certains responsables du siège défendaient l'idée selon laquelle ces technologies pourraient ne plus être développées en interne, mais seulement adaptées. Par ailleurs, les choix technologiques étant généralement figés dès le début d'un projet, plus le cycle de conception-réalisation dure, plus grand est le décalage avec l'état de l'art en matière de technologies à un instant donné. C'est pourquoi la réduction des temps de cycle de conception était considérée avant tout comme un moyen de mieux synchroniser la conception des satellites avec le cycle de vie de ces technologies importées.

Deuxièmement, le conseiller scientifique du président du CNES jugeait que les expériences scientifiques bénéficieraient grandement des progrès en termes de miniaturisation. Or la communauté scientifique était requérante de projets de conception rapide et à bas coûts de micro-satellites afin de mettre en œuvre des expérimentations dont le résultat potentiel était plus aléatoire⁴. Ce type d'expériences était impossible à embarquer comme charge utile secondaire sur les plus grands satellites (et ceci pour des raisons techniques) et ne pouvait pas justifier la conception de grands systèmes très coûteux. Dans le futur le CNES profitant des potentialités du lanceur Ariane 5 souhaitait procéder à des lancements multiples de micro-satellites.

L'atteinte des objectifs énoncés dans le Dossier de Programme Myriade (CNES, 1998) impliquait de la part des ingénieurs participant au programme une capacité à imaginer des solutions techniques nouvelles, si l'on se réfère à l'état de l'art de l'époque (cf. Tableau 1).

⁴ Par exemple, la charge utile du satellite Demeter avait pour objet la détection d'éventuelles perturbations électromagnétiques présageant d'un séisme. Ce phénomène avait été suspecté lors de détections fortuites par des satellites militaires mais jamais prouvé: le résultat attendu des investigations était donc incertain.

Tableau 1 : comparaison des contraintes principales entre un projet spatial classique et Myriade, ces dernières étant rapprochées de l'état de l'art et du réservoir de compétences disponibles au CNES lors du démarrage de Myriade.

	Projet CNES de type SPOT (classique)	Spécification dans le Dossier de Programme Myriade	Etat de l'art	Disponibilités au sein du CNES des compétences nécessaires
Processus de conception	itératif	Parallèle (ingénierie simultanée)	Parallèle dans l'industrie hi-tech non spatiale	non
Composants et sous-systèmes électroniques	Sur mesure ou adaptés des systèmes militaires	Adaptés du secteur non spatial	Existe aux États-Unis	non
Fiabilité	redondance	Tolérance de panne	Existe aux États-Unis	non
Devis de masse	Non plafonné en pratique (limité à plusieurs tonnes par le lanceur)	Limité à 120 kgs	Existe aux États-Unis et en Grande Bretagne	3 microsatsellites réalisés
Volume du satellite	Limité par le lanceur	1 m ³	idem	Idem
Durée de vie opérationnelle	Minimum 5 ans, en pratique de 10 à 20 ans	Minimum 2 ans	idem	idem
Cycle conception - recette	De 5 à 10 ans	2 ans	Idem	idem
Effet de série	aucun	Création d'une ligne de produit modulaire	Plates-formes communes aux États-Unis	non

J. Blamont déclarait à ce propos : « Je sais qu'il est impossible de concevoir ces micro-satellites dans l'état de l'art des technologies maîtrisées actuellement par le CNES. Les ingénieurs devront faire appel à des technologies non spatiales et les adapter à leurs besoins. Il n'y a pas d'autres solution pour dépasser ce type de contradictions techniques ».

Le choix de réduire sensiblement la masse des satellites ainsi que le coût de développement ne facilitait pas l'atteinte d'une durée de vie opérationnelle et d'un niveau de performances techniques compatibles avec les exigences des expérimentations scientifiques spatiales. Un problème particulièrement crucial consistait à maintenir un niveau de fiabilité satisfaisant des équipements malgré la diminution de la masse. En effet, compte tenu du caractère particulièrement agressif du milieu spatial (radiations, variations de température, vibrations au lancement), et de la difficulté, voire l'impossibilité de tester les technologies in situ (contrairement à l'aéronautique), les concepteurs accordent une importance toute particulière à la fiabilité des sous-systèmes et composants. Ceux-ci sont soit développés sur mesure, soit adaptés de composants militaires. La culture « Mission Success First » provoque une inflation considérable des spécifications techniques, qui se traduisent par des besoins importants en terme de masse embarquée, de consommation électrique et de volume utilisé; la plupart des sous-systèmes critiques sont

démultipliés (redondance) et conçus avec des marges significatives (de 40% en moyenne, selon les entretiens que nous avons réalisés): dans la tradition des ingénieurs du CNES, un bon satellite est un gros satellite. Le Tableau 2 souligne de telles difficultés en montrant les dérivées entre certaines variables structurantes (ainsi qu'avec le coût du projet).

Tableau 2 : dérivées entre les principales variables liées à la conception d'un satellite

dy/dx		y			
		Masse volumique du système embarqué ($\rho = m/v$)	Performance technique (SCAO ⁵ et charge utile)	Durée de vie opérationnelle	Coût du projet
x	Masse volumique		+	+	+
	Performance technique	+		-	+
	Durée de vie opérationnelle	+	-		+
	Coût du projet	+	+	+	

Notons que SSTL prit contact avec le CNES pendant la phase de définition du programme, étant familiers de la mise en œuvre de la tolérance de pannes sur des engins de conception simple. Les dirigeants de SSTL pensaient pouvoir tirer parti d'une telle collaboration, dans la mesure où les compétences des deux institutions semblaient complémentaires. Toutefois, les ingénieurs du CST ne donnèrent pas suite à ces offres de partenariat.

3.3.2. La mise en place de l'organisation du programme

La plupart des responsables interviewés en 1998 étaient d'avis que l'organisation existante du Centre Spatial de Toulouse n'était pas adaptée aux contraintes spécifiques posées par le programme Myriade. A la fin de l'année 1998, les responsables de ce dernier présentèrent à la Direction du CNES un exposé mettant en évidence un certain nombre de tensions entre les pré-requis et contraintes du programme Myriade et l'organisation existante.

La critique principale concernait le processus de décision jugé trop complexe et trop long alors que chaque projet⁶ ne devait pas dépasser deux ans. Chacun des responsables des entités fonctionnelles du CST avait la possibilité d'exercer son droit de veto s'il considérait la décision non conforme.

C'est pourquoi les responsables du programme Myriade souhaitaient obtenir une plus grande autonomie de décision, préconisant l'adoption d'une organisation par projet (au sens de Midler 1993) dans laquelle le « acteurs métiers » seraient détachés de leur département pour être placés hiérarchiquement sous la direction du chef de programme. Dans cette configuration, chaque chef de projet posséderait une réelle capacité d'arbitrage et le pouvoir de trancher les conflits liés

5 S.C.A.O. : Système de Contrôle d'Attitude et d'Orbite.

6 Un projet par satellite sauf pour les constellations.

notamment à l'approvisionnement, l'optimisation du système à concevoir et l'allocation de ressource interne au projet, un deuxième processus d'arbitrage pouvant être mobilisé au niveau du programme. Même les relations avec les fournisseurs et partenaires extérieurs seraient sous la responsabilité du chef de programme.

Or, l'organisation du CST limitait l'autorité du responsable de programme en rendant nécessaire la recherche systématique du consensus avec les responsables des métiers (cf. Tableau 3). Par exemple, le choix d'un sous-système nécessitait l'accord de la Direction des Techniques Spatiales (DTS) tout autant que celle de la Politique Industrielle, et plus généralement la signature de près de dix-huit responsables d'entités du CST, processus qui ne durait pas moins d'un an et demi. La première s'intéressait aux performances techniques au regard de ses propres normes, la seconde favorisait avant tout les fournisseurs français et européens. Nous avons ainsi observé des conflits entre les acteurs projets intéressés avant tout à leur obligation de résultat, et ceux des métiers mus par des logiques différentes.

Tableau 3 : comparaison des contraintes organisationnelles relatives à des spatiaux classiques et à Myriade

	Projet CNES de type SPOT	Spécification dans le Dossier de Programme Myriade	Etat de l'art	Disponibilités au sein du CNES des compétences nécessaires
Articulation projet/métiers	Entre le projet géré par un coordinateur et le projet géré par un directeur avec chefs de projets métiers (Midler, 1993)	Idem (arbitrage prépondérant des métiers)	Projet sorti (Midler, 1993) et retour d'expérience métiers (Hobday, 2000)	Pas d'expérience du projet sorti
Choix des fournisseurs	Consensus avec la DTS ⁷ et la Dir. De la politique industrielle	Idem (pas de processus modifié)	Arbitrage par le chef de projet (Midler, 1993)	Pas d'expérience du projet sorti
Assurance qualité	Adaptée aux gros projets, processus de conception itératif, redondance, et durée de vie longue	Non modifiée (manque de plus celle liée au transfert de techno. non spatiale)	Problème non résolu dans le secteur spatial	Uniquement pour des projets classiques
Processus de transfert de technologies non spatiales	Non applicable	Pas organisé ex ante	Existe aux États-Unis et en Grande Bretagne	À créer
Application des procédures administratives en vigueur au CST	oui	Pas de régime d'exception (création de filiale CNES – industrie refusée)	Procédures adaptées aux délais de réaction et aux processus parallèles	Pas de réforme envisagée

Les responsables du CNES étaient bien conscients des problèmes évoqués, cependant certains souhaitaient éviter une configuration organisationnelle au sein de laquelle Myriade serait isolé, par exemple par la création d'une filiale de droit privé dotée de l'autonomie de décision, le CNES et les industriels partenaires étant associés. A travers la réussite de Myriade c'est toute l'organisation du CNES qu'ils souhaitaient voir évoluer vers une structure à la fois plus flexible et plus organique.

Le Directeur SQE déclara ainsi : « Une telle décision [de filialisation] aurait pour conséquence d'isoler Myriade du reste du CNES, ce qui empêcherait les changements organisationnels au sein de l'agence spatiale. Ultérieurement il s'en trouverait pour expliquer que même si l'expérience de Myriade s'avérait être un succès, elle ne pourrait pas être généralisée, restant une exception. Le programme Myriade doit être au contraire un moyen de pousser l'ensemble de l'organisation du CNES à évoluer. »

7 Direction des Techniques Spatiales de Toulouse, en charge des métiers de l'ingénierie système des satellites.

Il fut donc décidé que Myriade devrait s'insérer dans la structure existante du CST.

3.3.3. L'épisode du calculateur de bord

Comme nous l'avons évoqué précédemment, la résolution de certaines contradictions techniques impliquait de faire appel à des technologies non spatiales.

Par exemple, les technologies disponibles au CNES ne permettaient pas de répondre aux contraintes de masse et de volume spécifiées pour le calculateur embarqué. La masse maximale de ce sous-système était restreinte à moins de 10kg pour une puissance limitée à 10W⁸. Les Tableaux 4, 5 et 6 donnent une idée de l'écart en termes de performance et de coût de revient.

Tableau 4: Comparaison des performances de calculateurs embarqués (« on-board computers » – OBC) sur des missions de type SPOT, une plate-forme SpaceBus4000 d'ASPI, sur des mini et des microsattellites - Source : CNES.

	Mission de type SPOT	SpaceBus 4000	Mini-satellite	Micro-satellite
Dimension LxIxH (mm)	542 x 246 x 256	2x 285 x 265 x 240	700 x 236 x 265	130 x 200 x 160
Masse (kg)	16	2 x 10 kg	28	3
Puissance requise (W)	De 22 à 36 W	Environ 46 W	De 30 à 60 W	Environ 6 W
Puissance de calcul	1 à 2 x 760 Kips	8 Mips	1 Mips	10 Mips
Capacité RAM	1 Mo	254 Mo	375 Mo	125 Mo
Capacité ROM	16 Ko	2 Mo	256 Ko	3 x 1 Mo (vote)
Processeur	31750	ERC 32	31750	T805

Tableau 5: Comparaison des performances et coûts des mémoires de masse embarquées sur le microsattellite Demeter et sur une mission de type SPOT – Source : CNES.

⁸ Par rapport à une plate-forme de type Spot 5 qui constituait la référence en matière de technologies mises en œuvre au CNES en 2000, il fallait réduire le poids du calculateur d'un facteur 4, sa consommation d'un facteur allant de 4 à 6, augmenter sa puissance de calcul par 7, sa mémoire par 125, et diviser son coût par 10.

Caractéristiques	Demeter	Mission de type SPOT
Capacité mémoire	8,64 Gbits utiles minimum (option pour 16 Gbits)	9,06 Gbits utiles
Débit d'entrée (De) et de sortie (Ds)	De : 5 Mbits/s (option 10 Mbits/s) Ds : 16,8 Mbits/s	De : 2 x 25 Mbits/s Ds : 2 x 25 Mbits/s
Masse – Dimensions	Masse : 1,5 kg Dimension : 220 x 115 x 63 mm ³	Masse : 37 kg Dimension : 641 x 330 x 233 mm ³
Consommation	Veille : 2 W Ecriture <u>et</u> Lecture : 6 W	Veille : 28 W Ecriture <u>ou</u> Lecture : 50 W
Coût de développement (phases A, B, C et D hors évaluation des composants)	Environ 578 k€	Environ 5,9 M€

Tableau 6: Impact sur les performances et les coûts de revient de l'utilisation de composants commerciaux et de l'application d'une assurance qualité allégée sur le développement d'un émetteur récepteur de bande S - Source : CNES.

Caractéristiques	Micro-satellite Myriade	Satellite STENTOR
Emetteur	400 Kbits/s – 2 WRF	750 Kbits/s - 6WRF
Récepteur	20 Kbits/s – 120 dbm	4 Kbits/s – 122 dbm
Masse	1,1 kg	3,1 kg
Dimensions	160 x 120 x 40 mm ³	284 x 197 x 110 mm ³
Coût	Environ 29 K€	Environ 380 K€

Il en était de même pour le système de télécommunications à haut débit. Ce problème avait d'ailleurs été identifié en amont, puisque le Dossier de Programme (CNES, 1998) évoquait la nécessité d'adapter des composants commerciaux développés en dehors du secteur spatial⁹. Certes plus performants, les études techniques amont avaient montré qu'ils étaient nettement plus vulnérables aux agressions du milieu spatial. Ils étaient donc susceptibles de dégrader la fiabilité du

⁹ Souvent appelés en anglais « CoTS »: Commercial off The Shelf.

système, et l'on devait modifier notamment l'architecture du ordinateur pour y introduire la tolérance de panne tout en réduisant les redondances. De tels choix déviaient radicalement des pratiques du CST et donc du « dominant design » (Henderson et Clark, 1990).

Les conflits se cristallisèrent autour du ordinateur. Principalement, les ingénieurs de la DTS contestaient la faisabilité d'un tel cahier des charges: « Cela ne peut se faire avec les contraintes d'assurance qualité que nous pratiquons ». « On ne peut lancer un satellite sans s'assurer de son bon fonctionnement ». « Nous garantissons à l'utilisateur des conditions d'opérations ainsi qu'une durée de vie ». Ils refusèrent alors de collaborer à sa mise au point sans modification des spécifications. La progression de leur argumentation est édifiante. Récit des échanges: « Le ordinateur est mal dimensionné; en tenant compte de nos standards de conception, il faut y placer des redondances et des marges: dans ce cas, sa taille et sa consommation augmenteront de manière significative, et il n'est pas question d'envisager de telles performances ». Réponse du responsable de Myriade au vu des estimations chiffrées: « C'est impossible, le ordinateur prendrait presque tout le volume du satellite, et sa consommation serait trop élevée pour assurer un fonctionnement à l'ensemble du système en orbite ». Réponse des ingénieurs de la DTS: « C'est donc que la plate-forme est mal définie; il faut la redimensionner à la hausse ». Double argumentation donc de la part de la DTS qui d'ailleurs trouva un allié de fait dans les laboratoires du CNRS responsables des expérimentations embarquées: les requis de la charge utile (obligation de résultat) justifiaient le maintien en l'état des processus de conception et de validation; de ce fait, le système devait s'adapter à la charge utile scientifique et non l'inverse. Deux points de vue incompatibles s'affrontèrent, l'un porté par le responsable de Myriade, l'autre par le directeur de la DTS¹⁰ et son équipe. Or, le premier disposait d'une carte à jouer: un jeune ingénieur partie prenante de Myriade parvint à mettre au point un prototype de ordinateur qui répondait aux requis initiaux sans l'aide de la DTS (en faisant appel à des composants non spatiaux). La mise au point de la tolérance de panne rendit l'utilisation de composants civils acceptable pour le ordinateur embarqué. Cette invention¹¹ remet en question les pratiques établies des acteurs légitimés par leur ancienneté au CST.

Le succès de cette invention ne mit pas fin à la contestation. La compétence et donc la légitimité des ingénieurs du CST sont le produit de leur pratique des projets spatiaux classiques au cycle long (l'âge moyen des employés du CST est de plus de 45 ans en 2000). il était de même logique de leur part de vouloir conserver un actif immatériel chèrement acquis depuis la création du CNES en 1961. Comme l'ont montré nos entretiens, une majorité des ingénieurs étaient fermement convaincus que leurs contraintes revêtaient un caractère suffisamment idiosyncrasique pour justifier des développements internes, et disqualifier des technologies et pratiques venues d'autres industries. Le

10 Ce dernier confirme sa position lors d'une téléconférence à laquelle le chercheur assiste en 2000.

11 De nature relative, puisque cette technologie est à l'époque déjà déployée, notamment aux Etats-Unis. Depuis sa création, les ingénieurs du CNES sont en relation constante avec leurs homologues américains ; ils ont ainsi pu bénéficier, soit de transferts de technologies spatiales, soit d'échanges plus informels, ou encore mettre en œuvre des coopérations bilatérales (par exemple sur le satellite Topex-Poseidon). A noter que ces échanges ont considérablement diminué depuis le début 2002, en raison de la politique américaine à présent très restrictive en ce domaine.

monde « extérieur » (non spatial) était vraiment considéré comme trop différent pour y accorder une attention autre que théorique.

De ce fait, la mise en œuvre de Myriade heurta frontalement les représentations d'une grande partie des acteurs du CST. Ces derniers refusaient simplement d'accepter que la solution technique proposée était pertinente: « Nous construisons des satellites qui fonctionnent ». La résistance ferme des ingénieurs de la DTS ne sera pas emportée par un arbitrage du Directeur général du CNES, celui-ci refusant de trancher. Le Directeur de la DTS put ainsi mettre son veto.

Cet épisode est emblématique de toute une série d'incidents qui se succédèrent jusqu'à paralyser le programme.

3.3.4. Épilogue

Entre 2000 et 2001, un groupe d'ingénieurs appartenant majoritairement à la DTS commença ouvertement à contester la pertinence du programme Myriade. Cette opposition se développa non seulement au sein de toutes les entités fonctionnelles du CST qui était en relation avec le programme, mais également au sein même de l'équipe chargée de mettre en œuvre le programme Myriade. Par exemple en 2001, un audit interne montra qu'il existait un nombre significatif de postes d'ingénieurs vacants au sein de Myriade, les autres unités refusant la ré-allocation de leur propre personnel.

En 2002, le décès du chef de programme accéléra le processus qui allait aboutir à une réorientation stratégique du programme. Son remplacement prit plusieurs mois, ce qui ne manqua pas de perturber encore plus le calendrier de réalisation. La multiplication des conflits, le refus du directeur général du CNES d'arbitrer les conflits aboutirent à un blocage quasi-total. Par ailleurs, le CNES vivait à la même période une crise grave qui fut diagnostiquée dans un rapport d'expertise (CRPS, 2003): retards en cascade, dépassements budgétaires sur de nombreux programmes, sur-programmation déconnectée des moyens humains et des budgets disponibles. Le Directeur Général fut donc remplacé et son successeur réorganisa complètement le portefeuille de programmes. La nouvelle direction de l'agence annula une part significative des projets de micro-satellites Myriade et donna la priorité à la réussite du satellite prototype Demeter.

3.3.5. Bilan provisoire à fin 2009

Bien que le programme soit en cours, il est possible de faire un bilan provisoire des réalisations à ce jour¹². De l'avis de l'ensemble des utilisateurs scientifiques et militaires, les satellites mis en œuvre à ce jour sont des succès opérationnels¹³. On pose un regard nettement plus critique sur l'innovation technologique. Alors que celle-ci constituait un des objectifs formulés dans le Dossier de

12 Le lecteur intéressé pourra se reporter au site Web du CNES pour plus de détails sur les missions réalisées ou en cours.

13 Voir par exemple le site du LPCE, laboratoire du CNRS en charge de l'expérience Demeter:
<http://demeter.cnrs-orleans.fr/dmt/index.html>

Programme (CNES, 1998), beaucoup au CNES considèrent que la seule innovation réside dans la taille de la plate-forme et son coût unitaire réduit. Certes, le cycle de développement des satellites est nettement inférieur à celui d'un gros satellite, mais il reste très supérieur à ce qui était formulé dans le Dossier de Programme. Selon le Directeur des Systèmes Orbitaux (DSO) du CST alors interviewé en 2003, aucune innovation significative n'a été intégrée dans Myriade (et notamment pas l'autonomie à bord ni la tolérance de panne), puisque finalement, la priorité a été donnée à la bonne exécution des missions et aux bonnes relations avec les laboratoires responsables des charges utiles, quitte à ne pas respecter les budgets et le calendrier initialement prévus.

Par ailleurs, de l'aveu de certains responsables du CNES que nous avons rencontrés en 2007 et 2008, Myriade n'a pas fait évoluer de manière significative le fonctionnement de l'organisation générale de l'agence spatiale, alors qu'il s'agissait d'un des objectifs affichés dans le Dossier de Programme. En revanche, de manière plus limitée, le retour d'expérience de l'atelier d'ingénierie simultanée (« μ CE ») de Myriade a permis de faire évoluer les études amont au CST. Bien que les requis de Myriade aient été sensiblement différents des processus de conception classiques, c'est donc le programme qui a dû s'adapter aux modes opératoires du CST et non l'inverse.

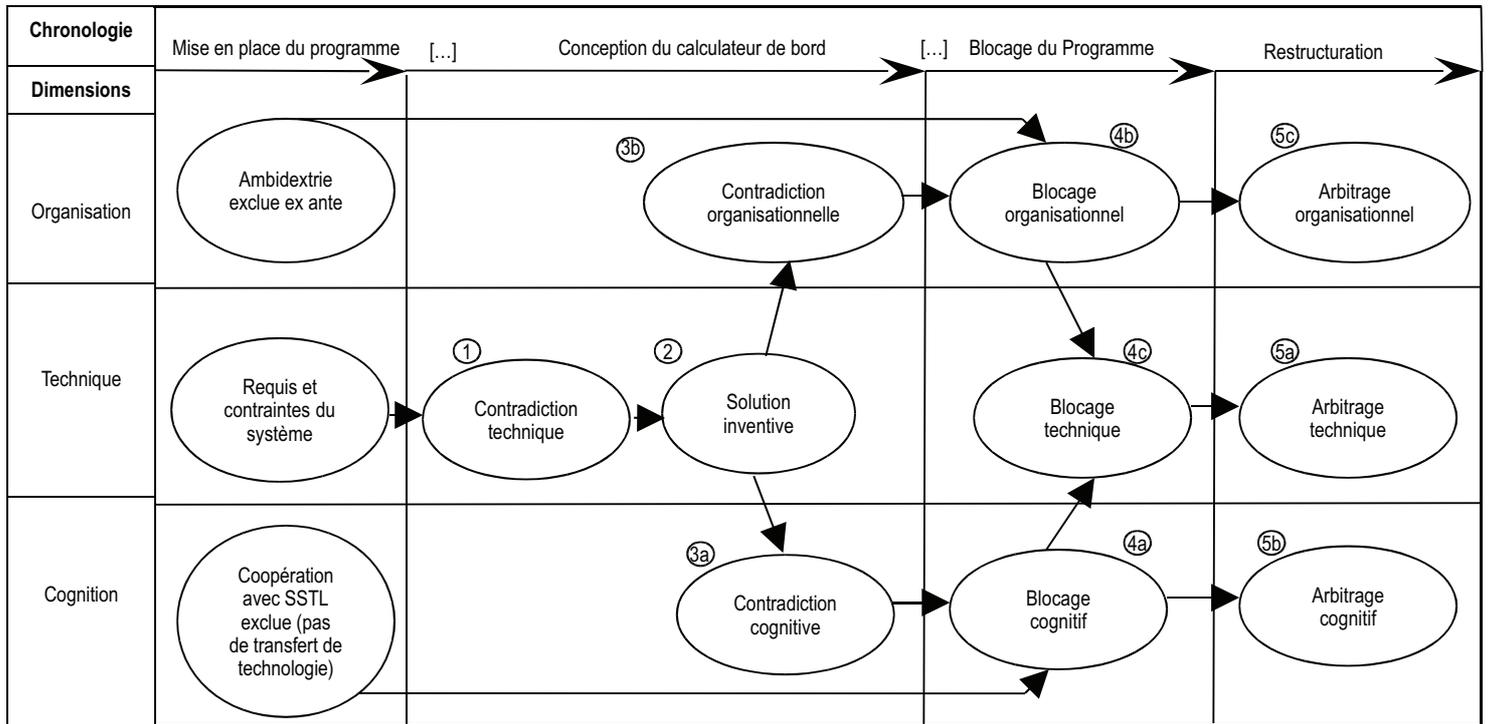
Systèmes fiables, importantes marges de conception qui leur confèrent une durée de vie très supérieure au cahier des charges, conservatisme technologique, importants dépassements budgétaires et calendaires: ce sont tous les ingrédients que l'on retrouve dans la conception de satellites classiques mis à part la taille. Selon Jacques Blamont, le CNES a engendré des « micro-Spots ». Nous allons tenter de comprendre pourquoi.

4 INTERPRÉTATION DU CAS

Notre étude de cas montre que les choix stratégiques qui permettent ou non à une organisation de mettre en œuvre une innovation de rupture ne sont pas circonscrits dans une seule dimension. Nous pensons au contraire que ce sont les interactions entre les dimensions techniques, organisationnelles et cognitives qui génèrent l'émergence de la plupart des contradictions qui influent sur l'orientation stratégique du projet. En d'autres termes, il n'existe pas de choix stratégiques purement techniques organisationnels ou cognitifs: il faut au moins prendre en compte simultanément ces trois dimensions.

Le cheminement du programme Myriade entre les différents types de contradictions met effectivement en évidence les étapes clé qui ont empêché l'émergence d'une offre de rupture (cf. Figure 4).

Figure 4: interactions entre les trois dimensions lors du déroulement du Programme Myriade.



En premier lieu, les spécifications du système introduisent des contraintes nouvelles en termes de masse, de délai de conception et de coûts. Ces contraintes, ne pouvant être résolues par un arbitrage à partir de la technologie disponible au CST, aboutirent à l'émergence de contradictions techniques (1)¹⁴. Plus précisément, dans le cas du calculateur les contraintes de réduction de masse et de

¹⁴ La numérotation fait référence à celle utilisée en Figure 4.

puissance électrique entrèrent en contradiction avec celles d'augmentation de puissance de calcul. Cette contradiction technique n'a pas donné lieu à un blocage dans un premier temps. En effet, les ingénieurs du programme Myriade réussirent à élaborer une solution inventive (2) résultant de l'adaptation de technologies non spatiales. A cette étape on pouvait espérer que la conception du système aboutirait.

Cependant, alors que le problème technique semblait résolu, l'option technologique proposée allait engendrer une autre contradiction, cette fois dans la dimension cognitive : les représentations individuelles et collectives de la communauté des ingénieurs du CNES étaient de ce fait remises en question (3a).

La nouvelle technologie, et l'orientation stratégique « Faster Better Cheaper » qui la sous-tend étaient trop éloignées des modèles mentaux et de l'expérience des ingénieurs du CST qui défendaient la logique « Mission Success First ». De plus, aucune préparation en amont sous la forme par exemple d'une coopération avec SSTL n'avait été mise en œuvre en vue de préparer le terrain à ces nouvelles pratiques. Les ingénieurs de la DTS refusèrent alors les solutions proposées par l'équipe Myriade, manifestant ainsi un blocage cognitif (4a).

Le fonctionnement pathologique de l'organisation n'apparaît qu'au stade de ce blocage. En amont, les conflits entre les représentations partiales des acteurs manifestaient seulement un signe fort que Myriade constituait bien une rupture susceptible de faire évoluer de manière significative les connaissances et les pratiques des ingénieurs du CNES.

On peut cependant noter qu'une part significative des dysfonctionnements on résidé dans l'absence de leadership adapté au pilotage de ce programme, tant au sein du CST qu'à la Direction du CNES: notamment l'instauration de structures et processus d'arbitrage des conflits à tous les niveaux hiérarchiques jusqu'au Directeur Général. Midler (1993a) a ainsi montré leur rôle central dans le succès du projet pilote Twingo, et de son instrumentation lors de la mutation de Renault dans les années 1990.

De telles structures n'étant pas mobilisées pour Myriade, les conflits remontèrent alors jusqu'au Directeur Général, mais ce dernier refusa d'arbitrer, laissant la liberté aux différents responsables du CST d'exercer leur droit de veto.

Ce blocage souligne en creux l'existence d'une troisième contradiction cette fois de type organisationnel. Le CNES est une structure bureaucratique orientée vers l'exploitation de solutions technologiquement maîtrisées. Son orientation « Mission Success First » privilégie des processus de conception linéaire et cloisonnés impliquant de nombreuses boucles de rétroaction coûteuses en temps. Or, avec Myriade, on se proposait de développer une structure organique orientée vers l'exploration de solutions technologiquement nouvelles. Cette orientation impliquait des processus

de conception simultanés, particulièrement réactifs et intégrés.

Cette contradiction organisationnelle (3b) résultait de l'obligation pour le CST de gérer simultanément des processus de conception maîtrisés, et celui de Myriade dont le caractère était nettement plus exploratoire, la cohabitation des deux générant des niveaux différenciés d'incertitude.

Or en refusant d'emblée l'idée de créer une unité organisationnelle autonome pour Myriade, les responsables du CNES se privèrent d'une option qui aurait permis de dépasser cette contradiction par l'ambidextrie organisationnelle. Il aurait été possible de différencier les deux types de conception par nature distincts et de créer des mécanismes d'intégration permettant de profiter des synergies entre les deux domaines d'activité selon les principes de Tushman et O'Reilly III (1996).

Cette option étant écartée, il était inévitable que les deux logiques d'exploitation et d'exploration rentrassent en conflit l'une avec l'autre. On aboutit alors à un blocage organisationnel (4a). La combinaison de ce dernier avec le blocage cognitif déboucha sur un blocage technique, la DTS imposant son veto.

Dans le but de restaurer la maîtrise des processus, le nouveau Directeur Général du CNES décida in fine de restreindre les ambitions du programme et d'assurer l'obligation de résultat envers la communauté scientifique qui s'était engagée dans la réalisation de charges utiles embarquées, en particulier sur le premier satellite Demeter; celui-ci reçut la priorité d'affectation des moyens. Les performances envisagées initialement sur le système furent revues à la baisse, les contraintes allégées (arbitrage technique – 5a): notamment l'allongement du délai de conception, la limitation du recours aux technologies non spatiales, le desserrement de la contrainte de coût. La réalisation du programme s'effectuerait selon les procédés connus et validés au CST (arbitrage cognitif - 5b), et l'organisation du CST ne serait pas changée (arbitrage organisationnel – 5c).

CONCLUSION

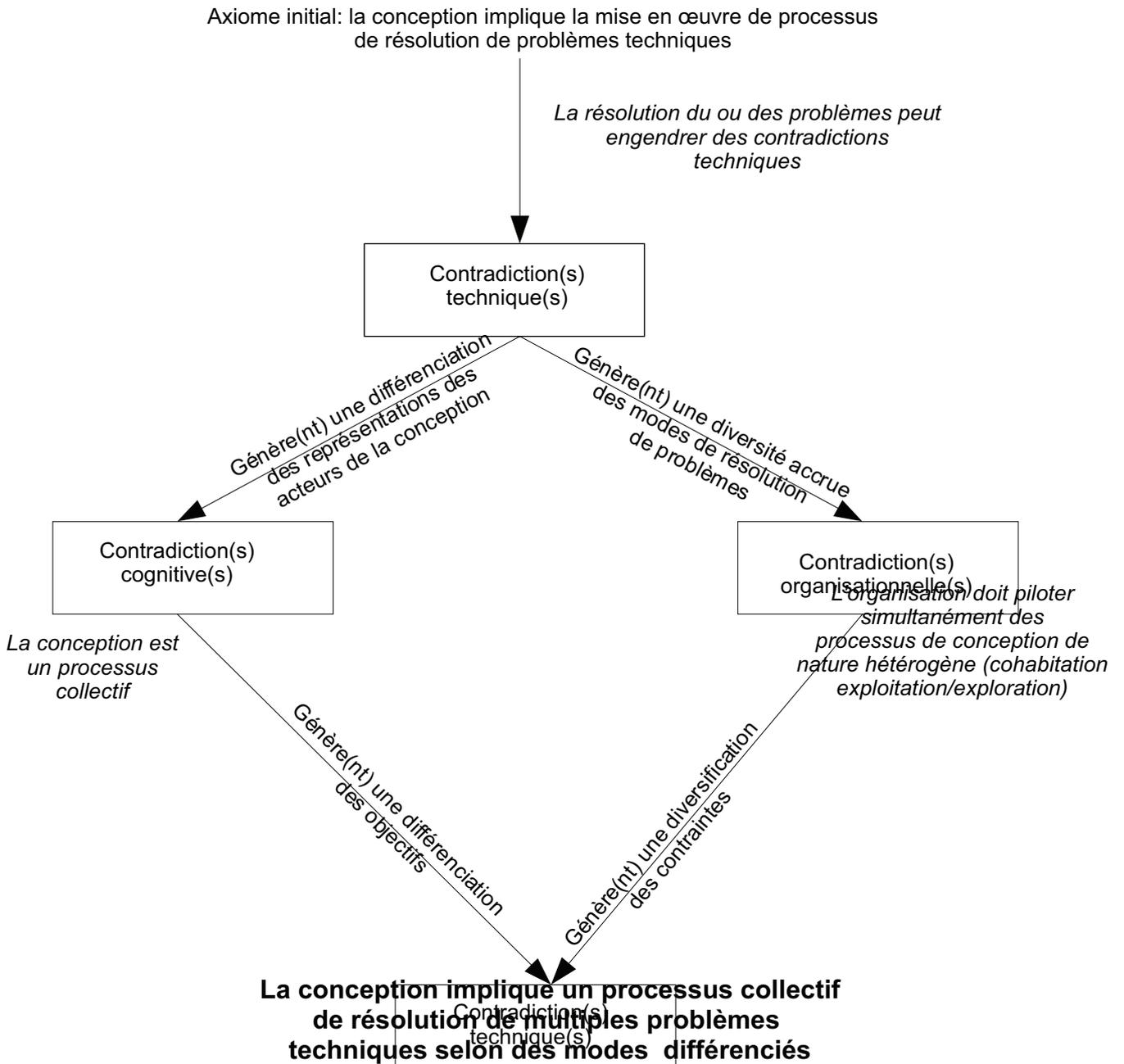
Notre travail tire profit d'une longue tradition d'ingénierie qui présente la conception de produit comme un processus de résolution de problèmes, bien que l'on ne puisse réduire cette activité à cette seule question. Nos développements théoriques ainsi que notre expérience de terrain mettent en évidence, d'une part, que cette activité de résolution est de nature collective et donc qu'elle conduit à confronter des acteurs ayant des représentations différentes d'un même problème. D'autre part, nous soulignons que les entreprises sont susceptibles de gérer simultanément une multitude de problèmes selon des modes de résolution différenciés.

Nous avons montré dans un premier temps que la résolution d'un problème pouvait nécessiter le dépassement de contradictions techniques. Or nous soutenons que leur dépassement ne se limite pas

à la remise en question des technologies et des concepts de produits maîtrisés par l'entreprise. Lorsque les concepteurs orientent leur attention vers des choix techniques en rupture avec leur pratiques passées, la distance cognitive entre les acteurs en charge de la conception est susceptible d'augmenter : cette différenciation des représentations peut alors aboutir à l'émergence de contradictions cognitives au sein de l'équipe projet. Par ailleurs, les choix de rupture technique sont susceptibles de générer un besoin en terme de différenciation structurelle au sein de l'entreprise, à partir du moment où la nature des problèmes techniques traités par l'entreprise nécessite des modes de résolution différenciés. Une telle situation peut aboutir à l'émergence de contradictions organisationnelles au sein de l'entreprise.

Lorsque l'entreprise ne parvient pas à dépasser les contradictions cognitives qui émergent au sein de ses équipes de conception, les divergences non surmontées au sein du processus de conception sont susceptibles de provoquer une différenciation des objectifs techniques que s'assignent des communautés ayant des représentations différentes. Dans le même ordre d'idées, le non dépassement des contradictions organisationnelles peut être à l'origine d'une diversification et d'une différenciation croissante des contraintes structurant l'activité de conception. La combinaison de l'augmentation de la différenciation des objectifs et des contraintes auxquelles sont soumis les concepteurs risque fort de renforcer les contradictions techniques, cognitives et organisationnelles pour aboutir finalement à un blocage où la seule issue consiste bien souvent à renoncer au choix de rupture (cf. Figure 5).

Figure 5: synthèse des liens entre contradictions techniques, organisationnelles et cognitives



Une entreprise qui désire orienter son activité de conception vers des innovations en rupture avec ses pratiques passées est nécessairement confrontée à l'apparition de contradictions. En effet, si on exclut les cas où le cahier des charges a été élaboré sans cohérence ou pertinence, l'émergence de contradictions peut être le signe que l'activité de conception s'éloigne de l'exploitation des compétences et des solutions maîtrisées en interne. Cependant la conception ne peut pas être circonscrite dans une seule des dimensions technique, cognitive ou organisationnelle. Il existe ainsi des interactions fortes entre elles. Leur maîtrise constitue l'un facteur clé de succès.

Du point de vue des équipes projet, la maîtrise des conflits et des dissonances cognitives est une variable essentielle. A un niveau macroscopique l'entreprise doit gérer la coordination des objectifs et des contraintes multiples qu'elle soumet à ses équipes de concepteurs.

Notre travail de conceptualisation a pris en compte le cycle de conception à partir de la résolution de problèmes déjà spécifiés dans un cahier des charges. Il nous paraît essentiel de nous intéresser dans de futurs développements à la formulation des objectifs et des contraintes initiaux, ainsi que sur le processus de leur négociation continue tout au long du cycle de conception/réalisation, questions que nous n'avons pas abordées ici faute de place. De même, on cherchera le lien qui peut exister entre ces négociations et les interprétations variées du succès ou de l'échec de tels projets.

RÉFÉRENCES

Abernathy, W. & Clark, K. (1985). Innovation: Mapping the winds of creative destruction, *Research Policy* 17(1): 3-22.

Adler, P. & Adler, P. (1987). *Membership Roles in Field Research*. Sage Publications.

Agar, M. (1996). *The Professional Stranger – An Informal Introduction to Ethnography*. Academic Press.

Akao, Y. (1990). *Quality function deployment: Integrating customer requirements into product design*. Cambridge MA: Productivity Press.

Albano, L. & Suh, N. (1992). Axiomatic approach to structural design, *Research in Engineering Design* 4: 171–183.

Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. Harvard University Press.

Altshuller, G. (1984). *Creativity as an exact science: The theory of the solution of inventive problems*. New York: Gordon and Breach Publishers.

Argyris, C. & Schön, D. (1978). *Organizational learning: A theory of action perspective*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company.

Baumard, P. & Starbuck, W. (2005). Learning from failures: Why it May Not Happen, *Long Range Planning* 38(3): 281-298.

Bausch, K. (2002). Roots and Branches: A Brief, Picaresque, Personal History of Systems Theory, *Systems Research and Behavioral Science* 19(5): 417-428.

Blake, R. & Mouton, J. (1969). *Building a Dynamic Corporation through Grid Organization Development*. Addison-Wesley Publishing Company.

Boisard-Castelluccia, S. (2004). Les effets de la dissonance cognitive sur l'apprentissage individuel. Un cas d'application : la diversité démographique des équipes dirigeantes. Papier présenté à

Congrès de l'AGRH, .

Bourgeois, L. & Eisenhardt, K. (1988). Managing New Product Definition in Highly Dynamic Environments, *Management Science* 44(11): 816-835.

Burleson, B. & Caplan, S. (1998). Communication and Personality: Trait Perspectives. Dans , éd. McCroskey, J.; Daly, J.; Martin, M. & Beatty, M., *Cognitive Complexity*. Hardcover.

Burns, T. & Stalker, G. (1961). *The management of innovation*. London: Tavistock.

Burton, R. & Obel, B. (1998). *Strategic organizational diagnosis and design: developing theory for application*. Kluwer Academic Publishers, second edition.

Caroll, N.; Gormley, T.; Bilardo, V.; Burton, R. & Woodman, K. (2006). Designing a new organization at NASA: an organization design process using simulation, *Organization Science* 17(2): 202-214.

Charreire, S. & Durieux, F. (1999). Explorer et Tester. Dans *Méthodes de Recherches en Management*, éd. Thiétard, R. & coll., .: Dunod.

Christensen, C. (1997). *The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail*. Boston: Harvard Business School Press.

Christensen, C. & Rosenbloom, R. (1995). Explaining the attacker's advantage: Technological paradigms, organizational dynamics, and the value network, *Research Policy* 24: 233-257.

CNES (1998). *Dossier de Programme Microsatellites*. Paris: Document interne.

Cohen, M.; March, J. & Olsen, J. (1972). A garbage can model of organizational choice, *Administrative Science Quarterly* 17(1): 1-25.

Covin, J. & Slevin, D. (1989). Strategic Management of Small Firms in Hostile and Benign Environments, *Strategic Management Journal* 10(1): 75-87.

CRPS (2003). *Commission de Réflexion sur la Politique Spatiale Française, Rapport*. France: Ministère de la Recherche.

Daft, R. & Lengel, R. (1986). Organizational information requirements, media richness and structural design, *Management science* 32(5): 554-571.

Damanpour, F. (1991). Organizational innovation: a meta-analysis of effects of determinants and moderators, *Academy of Management Journal* 34(3): 555-590.

Donaldson, L. (2001). *The contingency theory of organizations*. Sage Publications.

Dosi, G. (1982). Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change, *Research Policy* 11(3): 147-162.

Duncan, R. (1979). What is the right organization structure? Decision tree analysis provides the

answer, *Organizational Dynamics* : 59-80.

Festinger, L. (1957). *A theory of cognitive dissonance*. Stanford: Stanford University Press.

Ford, J. & Ford, L. (1994). Logics of identity, contradiction, and attraction in change, *Academy of Management Review* 9(4): 756–785.

Galunic, D. & Eisenhardt, K. (2001). Architectural innovation and modular corporate forms, *Academy of Management Journal* 44(6): 1229-1249.

Garcia, R. & Calantone, R. (2002). A Critical Look at Technological Innovation Typology and Innovativeness Terminology: A Literature Review, *Journal of Product Innovation Management* 19: 110-132.

Gatignon, H.; Tushman, M.; Anderson, P. & Smith, W. (2000). A structural approach to assessing innovation: construct development of innovation types and characteristics and their organizational effects. Document de travail , INSEAD Working Paper. .

Gavetti, G. & Levinthal, D. (2000). Looking forward and backward: cognitive and experimental search, *Administrative Science Quarterly* 45: 113-137.

Girin, J. (1981). Quel paradigme pour la Recherche en Gestion, *Economies et Sociétés, série Sciences de Gestion* 2(XV) 10-11-12.

Hatchuel, A. & Weil, B. (2002). La théorie C-K : Fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception. Papier présenté à , .

Henderson, R. & Clark, K. (1990). Architectural innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms, *Administrative Science Quarterly* 35: 9-30.

Koenig, G. (1993). Production de la Connaissance et Constitution des Pratiques Organisationnelles, *Revue de Gestion des Ressources Humaines* 9: 4-17.

Langlois, R. (2002). Modularity in technology and organization, *Journal of Economic Behavior & Organization* 49(1): 19-37.

Lawrence, P. & Lorsch, J. (1967). *Organization and environment: managing differentiation and integration*. Boston: Harvard Business Scholl Classics.

Le Moigne, J.-L. (1995). *Les Epistémologies Constructivistes*. PUF.

Leonard-Barton, D. (1992). Core capabilities and core rigidities: a paradox in managing new product development, *Strategic Management Journal* 13 (Special Issue): 111–125.

Le Masson, P.; Weil, B. & Hatchuel, A. (2006). *Les processus d'innovation: conception innovante et croissance des entreprises*. Lavoisier.

Livingstone, L.; Palich, L. & Carini, G. (2002). Promoting creativity through the logic of contradiction, *Journal of Organizational Behavior* 23: 321-326.

- March, J. & Simon, H. (1979). *Les organisations*. Dunod.
- Midler, C. (1993b). Introduction : Gestion de Projet, l'Entreprise en Question. Dans *Pilotage de Projet et Entreprises – Diversités et Convergences*, éd. Giard, V. & Midler, C., I:17-34. ECOSIP, Gestion, Economica.
- Midler, C. (1993a). *L'auto qui n'existait pas. Management des projets et transformation de l'entreprise*. InterEditions, Paris.
- Mintzberg, H. (1979). *The structuring of organizations*. Englewood Cliffs.
- Morris, P. & Hough, G. (1987). *The Anatomy of Major Projects – A Study of the Reality of Project Management*. Wiley & Sons.
- Norman, M.; Palich, L.; Livingstone, L. & Carini, G. (2004). The role of paradoxical logic in innovation: The case of Intel, *Journal of High Technology Management Research* 15: 51-71.
- O'Connor, G. (2008). Major Innovation as a dynamic Capability: A Systems Approach, *The Journal of Product Innovation Management* 25(3): 313-330.
- Pahl, G. & Beitz, W. (1977). *Engineering design. A systematic approach*. London: Springer.
- Prahalad, C. & Bettis, R. (1986). The dominant logic: a new linkage between diversity and performance, *Strategic Management Journal* 7(6): 485–501.
- Prahalad, C. & Bettis, R. (1995). The dominant logic: retrospective and extension, *Strategic Management Journal* 16(1): 5–14.
- Sanchez, R. & Mahoney, J. (1996). Modularity, Flexibility, and Knowledge Management in Product and Organization Design, *Strategic Management Journal* Vol. 17, (Special Issue: Knowledge and the Firm): 63-76.
- Siggelkow, N. (2001). Change in the presence of fit: The rise, the fall, and the renaissance of Liz CLAIRBORN, *Academy of Management Journal* 44(4): 838–857.
- Siggelkow, N. & Levinthal, D. (2003). Temporarily divide to conquer: Centralized, decentralized, and reintegrated organizational approaches to exploration and adaptation, *Organization Science* 14(6): 650-669.
- Simon, H. (1960). *The New Science of Management Decision*. New York and Evansten: Harper & Row Publisher.
- Smith, R. & Eppinger, S. (1997). A predictive model of sequential iteration in engineering design, *Management Science* 43(8): 1104-1120.
- Smith, W. & Tushman, M. (2005). Managing strategic contradiction: a top management model for managing innovation streams, *Organization Science* 16(5): 522–536.
- Staw, B. (1981). The escalation of commitment to a course of action, *Academy of Management Review* 6(4): 577-587.

- Stiles, W. (1978). Verbal response modes and dimensions of interpersonal roles: A method of discourse analysis, *Journal of Personality and Social Psychology* 36(7): 693-703.
- Tripsas, M. & Gavetti, G. (2000). Capabilities, cognition and inertia: evidence from digital imaging, *Strategic Management Journal* 21(10/11): 1147–1161.
- Tushman, M. & O'Reilly III, C. (1996). Ambidextrous organizations: managing evolutionary and revolutionary change, *California Management Review* 38(4): 8–30.
- Ulrich, K. (1994). The role of product architecture in the manufacturing firm, *Research Policy* 24(3): 419-440.
- Westerman, G.; McFarlan, F. & Iansiti, M. (2006). Organization Design and Effectiveness over the Innovation Life Cycle, *Organization Science* 17(2): 230-238.
- Wheelwright, S. & Clark, K. (1992). *Revolutionizing product development*. New York: The Free Press.
- Wong, K.; Yik, M. & Kwong, J. (2006). Understanding the emotional aspects of escalation of commitment: The role of negative affect, *Journal of Applied Psychology* 91(2): 282-297.
- Woodman, R.; Sawyer, J. & Griffin, R. (1993). Toward a theory of organizational creativity, *The Academy of Management Review* 18(2): 293–321.
- Zarifian, P. (1993). L'Incomplétude de l'Organisation par Projet et le Rôle des Exploitants dans l'Industrie de Masse Flexible. Dans *Pilotage de Projet et Entreprises – Diversités et Convergences*, éd. Giard, V. & Midler, C., VIII:217-243. ECOSIP, Gestion, Economica.

Documents de travail du BETA

- 2010–01 *The Aggregation of Individual Distributive Preferences through the Distributive Liberal Social Contract : Normative Analysis*
Jean MERCIER-YTHIER, janvier 2010.
- 2010–02 *Monnaie et Crise Bancaire dans une Petite Economie Ouverte*
Jin CHENG, janvier 2010.
- 2010–03 *A Structural nonparametric reappraisal of the CO₂ emissions-income relationships*
Theophile AZOMAHOU, Micheline GOEDHUYS, Phu NGUYEN-VAN, janvier 2010.
- 2010–04 *The signaling role of policy action*
Romain BAERISWYL, Camille CORNAND, février 2010.
- 2010–05 *Pro-development growth and international income mobility: evidence world-wide*
Jalal EL OUARDIGHI, mars 2010.
- 2010–06 *The determinants of scientific research agenda: Why do academic inventors choose to perform patentable versus non-patentable research?*
Caroline HUSSLER, Julien PENIN, mars 2010.
- 2010–07 *Adverse Selection, Emission Permits and Optimal Price Differentiation*
Mourad AFIF, Sandrine SPAETER, mars 2010.
- 2010–08 *The impact of ambiguity on health prevention and insurance*
Johanna ETNER, Sandrine SPAETER, mars 2010.
- 2010–09 *Équité du plaider coupable : une analyse économétrique dans trois tribunaux de grande instance français.*
Lydie ANCELOT, mars 2010.
- 2010–10 *Networks, Irreversibility and Knowledge Creation.*
Patrick LLERENA, Muge OZMAN, mars 2010.
- 2010–11 *Les clusters et les réseaux comme fondements de la dynamique d'innovation dans l'industrie biopharmaceutique*
Marc Hubert DEPRET, Abelillah HAMDOUCH, avril 2010.
- 2010–12 *Large-scale risks and technological change: What about limited liability?*
Julien JACOB, Sandrine SPAETER, avril 2010.
- 2010–13 *Innovation and Development. The Evidence from Innovation Surveys*
Francesco BOGLIACINO, Giulio PERANI, Mario PIANTA, Stefano SUPINO, avril 2010.
- 2010–14 *Cooperative provision of indivisible public goods*
Pierre DEHEZ, juin 2010.
- 2010–15 *Implications de l'imperfection des marchés financiers pour la politique monétaire*
Meixing DAI, juin 2010.

- 2010–16 *Bank lending networks, experience, reputation and borrowing costs.*
Christophe J. GODLEWSKI, Bulat SANDITOV, Thierry BURGER-HELMCHEN, juin 2010.
- 2010–17 *Les déterminants individuels des absences au travail : une comparaison européenne.*
Sabine CHAUPAIN-GUILLOT, Olivier GUILLOT, juin 2010.
- 2010–18 *Fiscal policy efficiency and coordination : The New Open Economy Macroeconomics Approach.*
Gilbert KOENIG, Irem ZEYNELOGLU, juillet 2010.
- 2010–19 *Financial market imperfections and monetary policy strategy.*
Meixing DAI, juillet 2010.
- 2010–20 *Analyse multidimensionnelle de l'insertion professionnelle des étudiants de bac+5 : approche par les parcours de formation et le capital social.*
Philippe CORDAZZO, Magali JAOUL-GRAMMARE, juillet 2010.
- 2010–21 *Monetary and fiscal policy interactions with central bank transparency and public investment*
Meixing DAI, Moïse SIDIROPOULOS, septembre 2010.
- 2010–22 *The Joint Effect of Technological Distance and Market Distance on Strategic Alliances*
Muge OZMAN, septembre 2010.
- 2010–23 *External constraint and financial crises with balance sheet effects*
Meixing DAI, octobre 2010.
- 2010–24 *Spécificités cognitives des conseils d'administration et performance des entreprises : Etude empirique sur les entreprises du CAC 40*
Houda GHAYA, Gilles LAMBERT, novembre 2010.
- 2010–25 *Syndicalisation et croissance économique : y a-t-il une exception française ?*
Magali JAOUL-GRAMMARE, Isabelle TERRAZ, novembre 2010.
- 2010–26 *Quelques réflexions sur la réévaluation du yuan.*
Meixing DAI, novembre 2010.
- 2010–27 *L'innovation envisagée comme un processus de résolution de contradictions techniques, organisationnelles et cognitives.*
Christophe BELLEVAL, Christophe LERCH, décembre 2010.
-

La présente liste ne comprend que les Documents de Travail publiés à partir du 1^{er} janvier 2010. La liste complète peut être donnée sur demande.
This list contains the Working Paper written after January 2010, 1st. The complet list is available upon request.
