

L'innovation vue comme le cheminement dans un réseau de contradictions techniques, organisationnelles et cognitives : le cas de la conception des microsatellites au CNES

Bellevall Christophe
BETA (CNRS UMR 7522), Strasbourg
MCF - Université Paris Descartes

Lerch Christophe
BETA (CNRS UMR 7522), Strasbourg
MCF - Université Louis Pasteur, Strasbourg
BETA, Pôle Européen de Gestion et d'Economie
61, avenue de la Forêt Noire, 67000 Strasbourg
lerch@cournot.u-strasbg.fr

Résumé

Dans ce papier, nous proposons de représenter les processus de conception innovants comme le cheminement dans un réseau de contradictions techniques, organisationnelles et cognitives. La conception de produits est un processus de résolution de problèmes impliquant des interactions entre plusieurs domaines. Cette conception va s'effectuer dans un cadre contraignant (généralement formalisé dans un cahier des charges), qui peut concerner non seulement les fonctionnalités du produit, mais aussi le déploiement et les moyens de l'organisation en charge de sa production, ou encore la technologie employée. Ces contraintes vont se révéler comme un élément moteur dans la finalisation du processus de conception. Cependant cette dernière prendra une orientation différente selon que les acteurs parviendront à résoudre le système de contraintes grâce à un arbitrage, ou en levant une ou plusieurs contradictions. Dans le cas contraire, on aboutit à un blocage pouvant déboucher sur la remise en cause du processus de conception. Certaines contradictions sont d'ordre technique et leur résolution est susceptible de donner naissance à un nouveau produit; d'autres sont d'ordre organisationnel (conflits organisationnels) et leur résolution ouvre la voie à une nouvelle division et coordination du travail. Le troisième type de contradiction est d'ordre cognitif (dissonances cognitives), leur résolution peut donner naissance à de nouvelles croyances ou de nouvelles représentations individuelles et collectives. En illustrant notre propos par une étude de cas portant sur un programme de microsatellites (Myriade, piloté par le Centre National d'Etudes Spatiales), nous montrons que ce mode de représentation a une portée praxéologique ; de plus, il permet de prendre en considération la diversité des situations tout en conservant la même structure au niveau de la démarche d'analyse. L'objet intermédiaire de nature théorique que nous développons ici permet de plus au chercheur de caractériser l'activité innovante, de l'abstraire, et d'instaurer un débat contradictoire avec ses pairs à propos d'études de cas.

Mots clés : innovation, conception, processus, organisation, technologie.

1. INTRODUCTION

L'évocation du concept d'innovation nous confronte à une très grande diversité de situations. Les domaines de l'innovation sont multiples. On distingue généralement l'innovation de produit, l'innovation de procédé et l'innovation organisationnelle. L'innovation peut concerner une fonction technique (dimension produit) qui est susceptible de répondre à des besoins nouveaux, mais également la base de connaissance (la technologie) qui préside à l'élaboration du produit, ainsi que les mécanismes de division et de coordination du travail (l'organisation) mise en œuvre pour concevoir et élaborer le produit.

Le degré d'innovation est lui-même variable. Comme le soulignent les écrits d'Henderson & Clark (1990) l'innovation varie entre deux pôles que l'on désigne par innovation incrémentale et innovation radicale. À une extrémité de ce continuum, l'innovation est le fruit d'une simple recombinaison des ressources existantes qui s'inscrit dans une dynamique de progrès : elle ne remet pas profondément en question la nature du produit, la technologie employée ou encore l'organisation qui préside à son élaboration. À l'autre extrémité, l'innovation qui s'inscrit dans une logique de rupture stratégique implique une remise en question profonde des savoirs et des pratiques passées.

Les moteurs de l'innovation diffèrent selon les cas. L'innovation peut être « poussée » par la technologie (Rosenberg, 1974) ou « tirée » par la demande (Schmookler, 1966). L'innovation est donc généralement le résultat d'un processus mettant en œuvre non seulement des activités appartenant à des départements comme la Recherche et Développement, la conception, le bureau des études ou des méthodes, mais également au service de fabrication, service de marketing, ou service après-vente.

Cette diversité de situation nous conduit à une situation paradoxale. Alors que nombre de stratégies s'accordent à penser que l'innovation constitue un facteur clé de succès pour la grande majorité des secteurs d'activité, lorsque nous sommes confrontés à une étude de cas réelle, le caractère innovant d'un projet, ainsi que son succès (ou son échec) sont difficiles à démontrer pour le chercheur. En effet:

- le caractère innovant d'un projet s'apprécie de manière contextuelle : concevoir un satellite en 5 ans peut être considéré comme nouveau alors que c'est une banalité dans le secteur automobile ;

- le résultat d'un projet innovant est grandement imprévisible. Il ne correspond pas nécessairement aux intentions de départ : d'où la difficulté de procéder à une évaluation ;
- une innovation réussie ne se transforme pas systématiquement en un succès industriel à court terme. La nouveauté peut même constituer un facteur pénalisant, il est souvent plus efficace économiquement d'exploiter les veilles recettes. Les critères économiques qui se concentrent sur le succès industriel rendent difficilement compte du caractère innovant du projet.

Il nous semble que pour résoudre ce paradoxe, nous devons encore progresser dans la compréhension de l'activité de conception qui est la source de l'innovation. Idéalement nous (théoriciens des organisations) devrions posséder un objet intermédiaire permettant de capter l'essence de l'activité innovante, de l'abstraire et d'instaurer un débat contradictoire avec nos pairs sur nos observations de terrain (parfois sujettes à controverse).

Nous possédons des modèles permettant d'abstraire le fonctionnement d'une activité récurrente de fabrication, mais plus nous nous éloignons du monde rassurant des activités programmables, plus nos modèles sont pris en défaut. Quels sont donc les invariants de l'activité innovante ?

Dans ce papier, nous proposons de faire un pas dans la direction de la modélisation de l'activité de conception. Plus précisément, nous proposons de représenter les processus de conception innovants comme le cheminement dans un réseau de contradictions techniques, organisationnelles et cognitives. Nous développerons notre thèse dans les paragraphes 2 et 3 du papier.

Nous illustrons notre propos dans le paragraphe 4 par l'étude d'un programme de microsatellites (Myriade, piloté par le Centre Nationale d'Etudes Spatiales). Nous analyserons au travers de notre représentation théorique les difficultés rencontrées tout au long de ce programme : pourquoi la mise en œuvre de Myriade a engendré un ensemble de difficultés presque insurmontables pour l'agence spatiale française, alors que la conception, la fabrication et l'exploitation de tels systèmes relèvent de technologies et pratiques pour la plupart éprouvées depuis longtemps (notamment au Naval Research Laboratory des Etats-Unis depuis les années 1960, et depuis les années 1980 chez SSTL, entreprise britannique). Nous explorerons ainsi le processus programme selon les trois axes mentionnés plus haut : le développement des contradictions techniques liées

aux spécifications du système, les conflits politiques liés aux changements organisationnels rendus nécessaires par un pilotage de projet spécifiquement contraint, et l'apparition de dissonances cognitives générées par les conflits de représentation entre l'ingénierie spatiale et les technologies à importer et à adapter¹.

Le mode de représentation que nous adoptons possède ainsi une portée praxéologique ; de plus, il permet de prendre en considération la diversité des situations tout en conservant la même structure au niveau de la démarche d'analyse.

2. DE L'ACTIVITE DE CONCEPTION

Que savons-nous sur l'activité qui structure les entreprises ? Les activités décrivent ce que l'organisation fait réellement. Une activité est un ensemble finalisé de tâches réalisées par un ou plusieurs individus en interaction, faisant appel à un ensemble homogène de compétences. Sa fonction est de créer de la valeur en produisant un output. Pour ce faire, elle consomme des ressources².

De ce point de vue, un des problème posé au gestionnaire consiste à orienter (piloter) les activités de l'entreprise de manière à s'assurer que la valeur qu'elles produisent dépasse le coût des ressources qu'elles consomment. Cependant la question du pilotage dépend de la nature de l'activité. On ne pilote pas une chaîne de fabrication comme un processus de conception créatif !

En effet, bien que les activités mises en œuvre dans les organisations ont un caractère récurrent, elles diffèrent selon leur caractère plus ou moins programmable : « il est plus ou moins difficile d'anticiper ce que l'organisation fera réellement ». La distinction entre activités programmables et activités non programmables apparaît en filigrane dans les travaux de March & Simon (1958)³.

Les auteurs distinguent dans leur ouvrage l'activité résolutoire « reproductrice » qui s'appuie sur l'expérience d'un acteur en charge de résoudre une série de problèmes récurrents et l'activité résolutoire « productrice » qui vise la fabrication de solutions nouvelles.

¹ Il n'est pas possible d'établir un lien de cause à effet uniquement selon une chronologie des événements, puisque l'on assiste à l'émergence simultanée des trois types de contradictions qui interagissent constamment. C'est pourquoi une représentation des processus liés à chacune des trois dimensions (technique, organisationnelle et cognitive) nous a paru cohérente et pertinente. C'est précisément l'analyse de ce cas qui nous a fait apparaître les limites d'un récit uniquement chronologique.

2. Cette définition de l'activité provient de la synthèse des travaux de : Bescos & Mendoza (1995), Bouquin (1997), Cooper & Kaplan (1988), Johnson (1990), Lorino (2001) et Mévellec (1992).

3. Cependant la distinction entre activités programmées et activités non programmées apparaît de manière explicite à la page 5 de « The new science of management decision » publié par Simon en 1960. Ces deux catégories d'activités sont présentées comme les deux extrémités d'un continuum

Parmi les activités programmables nombreuses sont celles dont la nature est assimilable à celle d'une **fonction** qui transforme d'une manière stable des inputs en outputs. Le pilotage, dans ce contexte, revient à définir les modalités d'exécution de l'activité qui sont les plus performantes. Ces activités programmables constituent, par exemple, la plupart des processus industriels de fabrication de masse (cf. processus structurés ; Lerch (1998)). En revanche, la conception implique nécessairement la mise en oeuvre d'activités non programmables.

Ces dernières impliquent, contrairement aux précédentes, une quête visant à la découverte d'actions ou des conséquences de l'action. Hoc (1987) définit ces d'activités de la manière suivante : « Les activités de résolution de problèmes relèvent d'un niveau de contrôle plus élevé de l'activité, celui nécessité par l'élaboration de procédures. Devant un problème, il ne suffit plus de déclencher une procédure toute faite, mais il faut mettre en oeuvre en quelque sorte des « méta-opérations » d'élaboration d'une procédure. Si l'on convient de dire que l'activité d'exécution est dirigée par une procédure (c'est-à-dire un système préalablement acquis d'opérations coordonnées en vue d'obtenir un certain type de but), on préférera parler de stratégie pour dénommer ce qui dirige une activité de résolution de problème ». (p. 42)

Certaines activités de résolution de problèmes (comme les activités ayant un objectif défini, mais nécessitant un diagnostic préalable à l'action) sont assimilables non pas à des fonctions mais à des **systèmes cognitifs**⁴. Bien que l'objectif de l'activité soit défini à l'avance, le nombre et l'interdépendance des paramètres qui influent sur le déroulement de l'activité sont tels qu'il devient difficile d'identifier les lois qui régissent les modalités d'exécution de l'activité (la fonction) : tout se passe comme si la mise en oeuvre de l'activité était chaque fois différente. Dans ce cas, le pilote qui se trouve dans un contexte de rationalité limité (au sens de Simon) n'a plus la possibilité de définir à l'avance ce que les membres de l'organisation doivent faire (c'est le domaine de compétence des employés). En revanche il peut améliorer l'efficacité de son organisation en influant sur la décomposition des objectifs, les informations et les connaissances utilisées par les acteurs pour définir les modalités d'exécution de leurs activités, ainsi qu'en améliorant les stratégies de recherche de ses informations. Certains processus de conception qui

4. Un système cognitif peut être défini de deux façons complémentaires. Selon Dumouchel (1992) un phénomène est cognitif au sens où l'entend l'école classique cognitiviste, parce qu'il est impossible de le décrire correctement sans faire appel à un vocabulaire intentionnel. Selon Pylyshyn (1984), un phénomène est cognitif si l'on peut transformer le cours des événements en modifiant de sens de l'information qui circule dans le système. « On dira alors d'un système qu'il est cognitif, s'il est cognitivement pénétrable et l'on dira d'un système qu'il est cognitivement pénétrable si l'on peut transformer l'information sémantique qui lui est accessible » (Dumouchel ; 1992, p. 478).

visent « simplement » à adapter un produit existant (avec une technologie existante) à la demande spécifique d'un client fonctionnent selon cette logique : c'est le cas des processus de conception modulaires (cf. processus semi-structurés ; Lerch (1998)).

Cependant les processus de conception les plus créatifs posent des problèmes radicalement différents de ceux évoqués précédemment. En effet, non seulement les modalités des activités les plus créatives ne sont pas programmables, mais les objectifs même de ces activités sont souvent en évolution durant le processus de conception.

Il est fréquent que les acteurs de ces processus de conception créatifs soient dotés d'une autonomie politique dans la mesure où ils participent à travers un processus de négociation à la définition des objectifs (cf. processus non structurés ; Lerch (1998)). A chaque nouvelle réalisation, les informations et les connaissances mobilisées (la technologie) sont susceptibles d'évoluer de manière sensible. Qu'est-ce que le pilotage d'un processus de conception créatif ? Pour répondre à cette question, il nous faut mieux comprendre l'essence de l'activité. L'activité ne peut être représentée par une fonction (des modalités d'exécution stable) ni par un système cognitif (un ensemble stable d'information et de connaissances à mobilisé). Nous suggérons en revanche que ce qui structure les activités de conception les plus créatives sont des interactions entre trois types de contradiction : techniques, organisationnelles et cognitives.

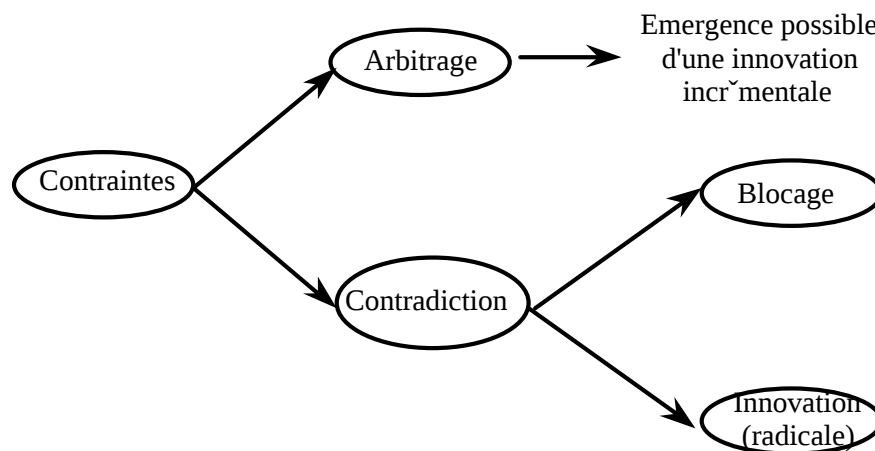
3. CONTRADICTIONS, ARBITRAGES OU BLOCAGES : VERS UN MODÈLE INSTRUMENTAL DE L'ACTIVITE DE CONCEPTION INNOVANTE ?

Selon l'approche axiomatique d'Albano et Suh (1992), le processus de conception de produits est un processus de résolution de problèmes impliquant des interactions entre plusieurs domaines. Le client exprime un ensemble hiérarchisé de besoins qui sont traduits en une architecture fonctionnelle. Cette dernière permet à son tour d'élaborer une architecture physique, qui est elle-même à la source de la conception d'un ensemble hiérarchisé de procédés.

Ce processus de conception de produit va donner naissance à des contraintes (généralement formalisées dans un cahier des charges) qui peuvent concerner non seulement les fonctionnalités du produit, mais aussi le déploiement et les moyens de l'organisation en charge de sa production, ou encore la technologie employée. Ces contraintes vont être un élément moteur dans le processus de finalisation du processus de conception. Cependant ce processus de finalisation

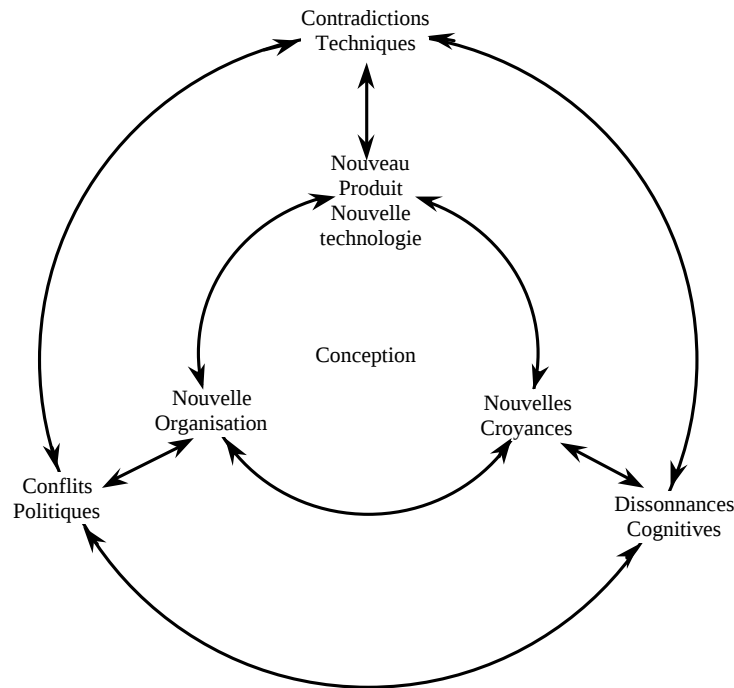
prendra une orientation différente selon que les acteurs en charge de la conception parviennent à résoudre le système de contrainte grâce à un arbitrage, ou en levant une contradiction.

Si leur résolution peut être obtenue par un arbitrage, la nouvelle conception peut alors exploiter une base de connaissances connue. L'arbitrage est susceptible de donner naissance à une innovation incrémentale⁵. Selon la vision de d'Hatchuel, Weil et Lemasson (inventeurs de la théorie CK) cette situation fait référence au contexte suivant : « les solutions étaient déjà là et il suffisait d'aller les chercher ». C'est en réalisant des partitions restrictives de l'espace des solutions que l'on parvient à identifier celle (ou celles) qui répondent aux contraintes.



Cependant, dans d'autres circonstances, les contraintes aboutissent à des contradictions excluant un arbitrage. Les contradictions résultent de l'idée qu'un conflit entre A et B ne sera résolu que par quelque chose qui ne sera ni A ni B, ni même un mélange des deux. Il existe certaines contradictions qui possèdent un caractère insurmontable, dans la mesure où elles réduisent à néant l'espace des solutions : nous sommes alors dans un contexte de blocage (qui peut lui-même aboutir à une redéfinition des contraintes de départ). Mais les contradictions, comme le montre Altshuller (1984) au travers de sa méthode TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving)⁶ sont à l'origine de tensions créatrices. Une solution inventive surmonte les contradictions, et ne se contente pas de réaliser un compromis. Pour reprendre la vision d'Hatchuel et Weil, les solutions n'existent pas au début, et l'activité de conception se doit de les élaborer non pas au travers d'une

exploration (d'un espace de solution) mais au travers d'une expansion de cet espace. Cette fois la définition même du concept « expansé » s'en trouve modifiée par un processus d'acquisition des connaissances⁷.



De notre point de vue, le concept de contradiction constitue un élément permettant de modéliser les activités innovantes en action dans les processus de conception non structurés. Cependant, comme nous l'avons déjà évoqué précédemment, les contradictions peuvent être de nature différente (cf. graphique ci-dessus) :

- certaines contradictions sont d'ordre technique (contradictions techniques ou physiques au sens de TRIZ) et leur résolution est susceptible de donner

5. Altshuller a défini cinq niveaux d'inventivité nécessitant une remise en question des bases de connaissances existantes : la solution apparente, l'amélioration mineure, l'amélioration majeure, le nouveau concept, la découverte. Cette échelle permet de classer les innovations en fonction de leur caractère plus ou moins radical.

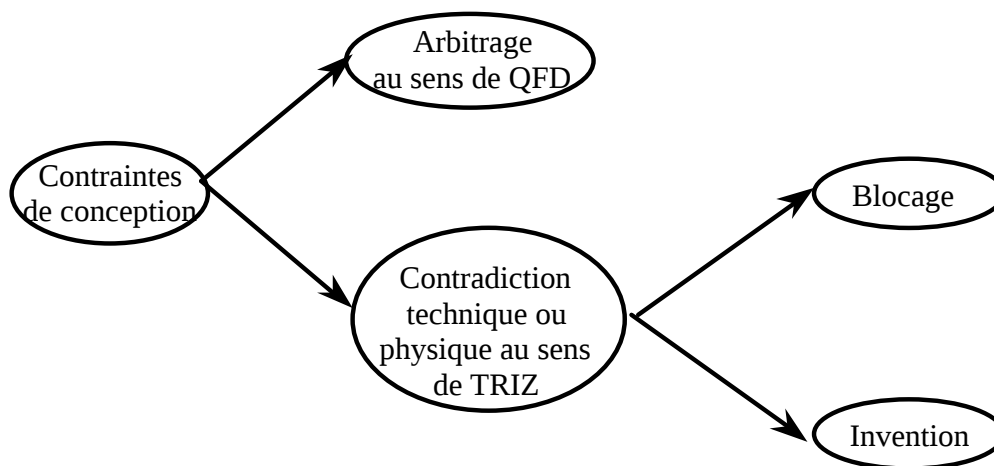
6. Contrairement à CK, TRIZ ne constitue pas une théorie de la conception ; l'enjeu de TRIZ n'est pas la modélisation de l'activité du concepteur, de l'acte de création en lui-même. TRIZ constitue en revanche une démarche et une méthode dont l'objectif est de permettre au concepteur de converger efficacement vers une solution inventive (Cavallucci, Kucharavy & Lutz 2002).

7. CK est une théorie de la conception et non une nouvelle théorie de la décision. Contrairement à la rationalité limitée d'Herbert Simon, l'innovation ne consiste pas « simplement » à explorer un espace fini (ou infini) de solutions dans lequel on finira par découvrir un choix satisfaisant, mais à créer une de solution nouvelle.

naissance à de nouveaux produits (C = Concept de la Théorie CK) ou de nouvelles technologies (K = Knowledge de la théorie CK)⁸;

- certaines contradictions sont d'ordre organisationnel (conflits organisationnels) et leur résolution peut donner naissance à une nouvelle division et coordination du travail;
- d'autres enfin sont d'ordre cognitif (dissonances cognitives) et leur résolution est susceptible de donner naissance à de nouvelles croyances ou de nouvelles représentations individuelles et collectives

3.1. CONTRADICTION TECHNIQUE ET INVENTION



La résolution de plusieurs contraintes peut conduire à des arbitrages comme cela est préconisé, par exemple, dans la méthode QFD (Quality Function Deployment) (Akao, 1990). Ces arbitrages 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.

8. Dans la théorie CK, l'activité de conception est modélisée (notamment, mais pas seulement) par des processus d'expansion entre l'espace des concepts (C) et celui des connaissances (K). Cependant comme l'indiquent les auteurs, l'expansion est une notion K-relative. En d'autres termes, elle dépend des connaissances du concepteur. La théorie CK est donc bien adaptée à la modélisation de l'activité de conception d'un individu. Mais lorsque l'on envisage plusieurs concepteurs participant à un processus de création, nous sommes alors dans un contexte de division du travail et de division des connaissances. C'est

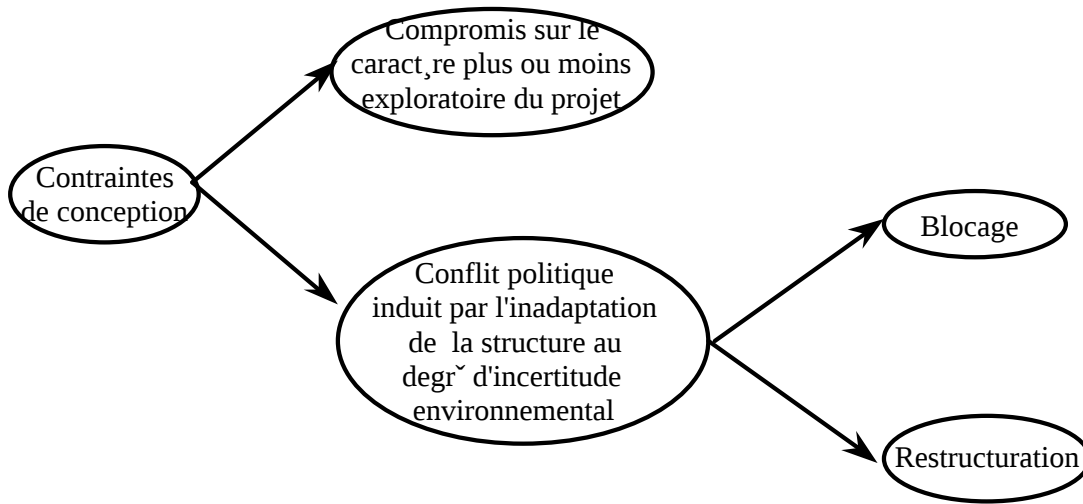
Mais selon les praticiens de la méthode TRIZ une véritable solution inventive émerge à partir de l'instant où le problème traité peut être formulé sous forme de contradictions et que ses contradictions peuvent être surmontées. Plus précisément, Altshuller définit deux niveaux de contradictions :

- les contradictions techniques : ici 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) Ce niveau de contradiction peut être levé par l'un des quarante principes innovants sur lesquels Altshuller a fondé TRIZ ;
- les contradictions physiques : elles apparaissent lorsqu'au moins l'un des éléments du système présente deux caractéristiques opposées : dur et mou, ou bien lisse et rugueux (par exemple une antenne de radio doit être courte pour limiter l'encombrement et longue pour faciliter la réception des ondes). Ce niveau de contradiction sera résolu par l'utilisation de onze principes de séparation tels que la séparation dans le temps, la séparation dans l'espace, la séparation entre un système et ses sous-systèmes, la séparation sous certaines conditions⁹.

pourquoi, il faut envisager la possibilité d'émergence de contradictions organisationnelles (problème de coordination entre concepteur) et cognitives (incompatibilité de représentations individuelles).

9. Nous ne pouvons développer ici en détail les modes de résolution des contradictions techniques et physiques. Le lecteur intéressé pourra se référer aux ouvrages d'Altshuller (1984 et 1996).

3.2. CONFLIT POLITIQUE ET RESTRUCTURATION ORGANISATIONNELLE



Le conflit organisationnel résulte généralement d'une tension entre les exigences environnementales et la structure existante de l'organisation. Des travaux comme ceux de Burns & Stalker (1961) ont montré que l'incertitude (qu'ils mesuraient par le nombre de changements nécessaires à l'adaptation de l'activité aux besoins du client¹⁰) avait un impact sur la performance des organisations. En particulier les configurations structurelles mécanistes étaient plus performantes dans des environnements stables, alors que les configurations organiques étaient plus performantes dans des environnements changeants.

Pour compléter cette analyse, il est intéressant également de se remémorer les travaux de Lawrence & Lorsch (1967) qui montrent que l'incertitude n'a pas un impact homogène sur toute l'organisation. D'après leurs études, l'incertitude 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. En effet, la nature de l'environnement auquel est confronté une entreprise est susceptible de varier d'un département à l'autre. Par exemple, il est possible d'organiser le système de production de manière bureaucratique, puisqu'il est généralement protégé des perturbations externes, à l'opposé du département commercial. La différenciation des unités au sein de l'entreprise pose de redoutables problèmes de coordination.

¹⁰ Cette caractérisation de l'incertitude nous semble par ailleurs trop réductrice. Pour un questionnement sur cette notion dans le cadre de projets de conception, voir Belval (2005a).

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.

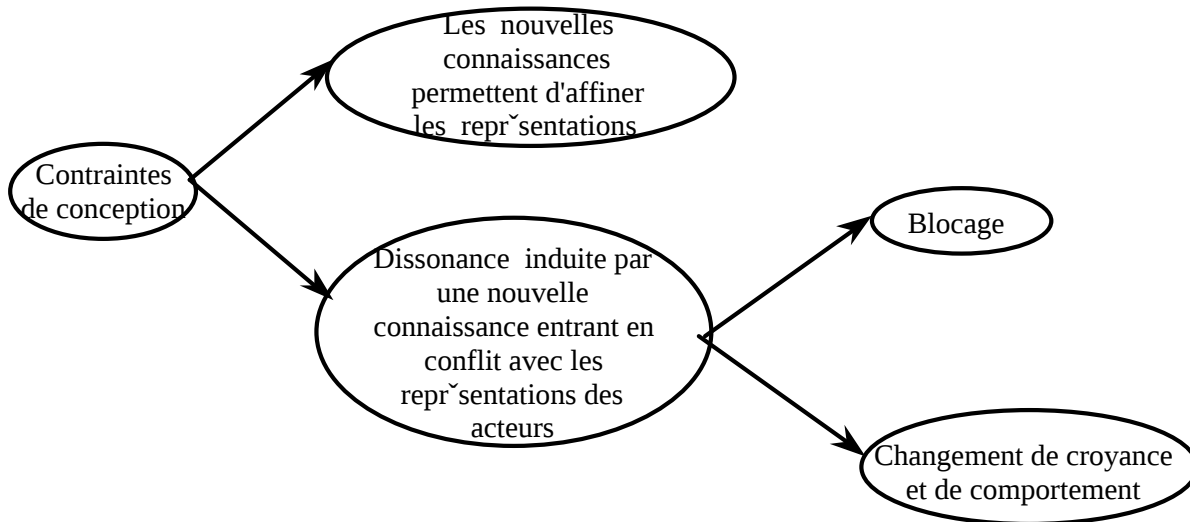
Les contradictions organisationnelles (conflits organisationnels) sont donc susceptibles d'émerger en raison :

- du caractère trop mécaniste de l'organisation (au sens de Burns et Stalker) en rapport à l'incertitude induit par le nouveau projet;
- d'erreurs de différenciations (unités trop ou pas assez différenciées au sein de l'organisation) ;
- d'erreurs de résolutions de conflit au sens de Lawrence et Lorsch (mauvaise adaptation des mécanismes d'intégration au degré de différenciation des unités).

De telles contradictions peuvent aboutir à des blocages. C'est le cas lorsque l'on refuse tout changement organisationnel en préférant faire des compromis sur le caractère innovant du projet. On renonce alors à réaliser une innovation radicale, en choisissant de s'appuyer sur l'exploitation des compétences acquises (cette situation est bien illustrée par l'étude cas Myriade qui va suivre). En d'autres circonstances, le dépassement de ces contradictions aboutit à une restructuration des mécanismes de division et de coordination du travail¹¹. La restructuration organisationnelle ne doit pas être considérée comme une conséquence possible de l'innovation technique. Dans certains cas, elle constitue un objectif en soi. Dans le cas du programme de microsatellites du CNES, l'enjeu de l'innovation organisationnelle (se doter d'une organisation capable de concevoir des satellites en cinq ans au lieu des traditionnels vingt ans) était au moins aussi important que les enjeux techniques (la miniaturisation des satellites).

11. À ce propos de nombreux auteurs proposent des formes d'organisation susceptibles de résoudre les contradictions organisationnelles que nous avons évoquées. Voici quelques exemples : l'organisation matricielle de Galbraith (1971), l'organisation ambidextre de Duncan (1976), l'Adhocratie de Mintzberg (1982), les processus de conception parallèles (Garel & Midler, 1995), la firme créatrice de connaissance de Nonaka & Takeuchi (1995) l'organisation modulaire (Sanchez & Mahoney, 1996 ; Cohendet, Diani & Lerch 2005),...

3.3. DISSONANCE COGNITIVE ET CHANGEMENT DE CROYANCE



Dans les processus de production, la capacité de l'organisation à capitaliser de l'information et des connaissances joue un rôle décisif. Le mécanisme de mémorisation rend possible non seulement la conservation du système, le maintien de son identité, mais aussi l'apprentissage organisationnel. En effet, la "mémoire organisationnelle" ne s'assimile pas à une simple addition des mémoires individuelles permettant d'étendre mécaniquement la base de connaissances en fonction du nombre d'individus (membres de l'organisation). Elle joue un rôle au niveau de la cohérence de l'organisation (Loasby, 1989).

En focalisant l'attention sur la question de la cohérence, Loasby (1989) nous donne simultanément une explication de la survivance de l'identité organisationnelle, malgré le flux de départ et d'arrivée de ses membres¹². La mémoire joue un rôle de mise en cohérence interindividuelle, mais aussi inter temporelle de l'organisation. Dans son rôle de "cohésion sociale", la mémoire organisationnelle tend à rendre irréversible la trajectoire organisationnelle. Inversement, la capitalisation de l'information permet à l'organisation de s'adapter à son environnement. La "mémoire" est ici envisagée comme le support de l'apprentissage organisationnel.

Si l'on assimile la mémoire à un stock d'information, nous adoptons de fait une conception classique de l'apprentissage ; l'apprentissage est une fonction croissante de la quantité d'information stockée. En d'autres termes, le système ne dispose que d'une information incomplète sur le réel et il apprend par raffinement progressif de sa perception du monde, au fur et à mesure que s'opère la capitalisation. Or, nous pouvons envisager, contrairement à un simple mécanisme de stockage, qu'une nouvelle information puisse, soit confirmer, soit infirmer les informations précédentes : on évolue vers une problématique d'acquisition de connaissances. L'apprentissage organisationnel dépend cette fois non seulement de la quantité d'information stockée, mais aussi de la structure des informations¹³.

La combinaison de ces deux perspectives nous permet d'expliquer la coexistence de processus d'apprentissage incrémentaux (raffinement de la base de connaissances) et de ruptures de trajectoire (changement de la structure de la base de connaissances) au sein d'une même organisation.

La théorie de la dissonance cognitive de Festinger constitue une explication possible de la naissance d'une rupture de trajectoire. : « 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. » (Boissart-Castellucia, 2004).

La dissonance peut émerger lorsque plusieurs acteurs d'une même organisation ont des représentations ou de croyances qui ne sont pas compatibles, ou si une nouvelle information vient remettre en question les représentations des acteurs. Lorsqu'un tel un conflit cognitif émerge, les acteurs concernés peuvent refuser de prendre en compte les informations, les connaissances, les

12 A ce propos, le lecteur intéressé pourra se référer aux travaux d'Y. Clot (2005) qui portent sur l'articulation entre individus et collectifs de travail.

13. Par exemple la découverte de l'ornithorynque (animal ovipare à sang chaud allaitant ses petits, doté d'un bec, de quatre pattes palmées et couvert de fourrure) a pu conduire les biologistes à s'interroger sur la pertinence de leur système de classification des animaux, en particulier au niveau de la distinction : Oiseau Mammifère. La première description de l'animal qui est due à George Kearsley Shaw en 1799 fut considérée comme un canular par les scientifiques de son époque.

représentations nouvelles. Les individus conservent leurs propres représentations, leurs propres croyances, leur propre comportement. La consonance est obtenue par la stratégie de l'autruche : on ignore les signaux dissonants, il n'y a pas d'apprentissage, comme l'illustre notre étude de cas. Mais la recherche d'une consonance peut conduire les acteurs à changer leurs représentations, leurs croyances leurs comportements. Nous sommes cette fois dans le cas d'une rupture de trajectoire telle que l'avaient envisagée Argyris & Schön (1978) en développant la notion de « double loop learning ».

Au terme de ce travail théorique, nous pensons que tout processus de conception peut se représenter comme un cheminement dans un réseau de contradictions techniques, organisationnelles et cognitives. Nous allons illustrer l'intérêt de notre mode de représentation dans l'analyse du caractère innovant et du succès ou de l'échec d'un projet de conception, en utilisant ce mode de représentation pour éclairer le cas du projet de conception des microsattellites Myriade.

4. LE CAS D'UN PROGRAMME SPATIAL SCIENTIFIQUE

4.1. LE TERRAIN D'ETUDE

L'étude de cas présentée ici a été réalisée au sein d'un programme du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES). L'objet consistait en la réalisation d'une ligne de produits de microsattellites appelée Myriade, dont l'architecture générique (appelée ligne de produits) se voulait modulaire. Le déroulement de cette étude est fractionné en deux périodes. Dans un premier temps, de 1998 à 2001, le chercheur, agissant selon une méthodologie de recherche clinique (Girin, 1981) a participé à la fois au sein de l'équipe du programme, et en collaboration avec la Direction de l'Agence aux phases de démarrage, dont la mise en œuvre du cahier des charges¹⁴. Les ressources de cette recherche ont été, outre l'accès au dossier de programme et à l'ensemble des documents internes, la participation aux réunions de travail de l'équipe du programme durant la période, ainsi qu'à celles qui mobilisaient aussi bien les ressources internes du CNES (les métiers, notamment la Direction des Techniques Spatiales), que celles des partenaires projet industriels extérieurs au CNES ; des entretiens ont été réalisés avec l'ensemble des acteurs du programme à Toulouse, ainsi qu'à la Direction du CNES à Paris. Les différentes étapes de la démarche

abductive (allers-retours entre théorie et pratique sur le terrain) débutée en 1998 ont été étudiées, critiquées et réorientées successivement jusqu'à son point d'aboutissement en juin 2001 par une instance de contrôle (comité de pilotage) composée de chercheurs appartenant et n'appartenant pas au BETA¹⁵, de dirigeants du CNES, et du conseiller scientifique auprès du Président du CNES. L'ensemble de l'étude a été à ce stade validé dans sa cohérence et sa pertinence aussi bien du point de vue académique que praxéologique par cette instance (Belleval, 2001). Dans un deuxième temps, nous avons entrepris de mettre à jour ce cas, démarche justifiée par une rupture radicale ayant lieu au sein du CNES et de Myriade courant 2002. Nous nous sommes alors appuyés sur l'ensemble des données publiquement disponibles durant la période 2002-2006¹⁶. Nous avons de même utilisé le rapport de la Commission de Réflexion sur la Politique Spatiale Française (CRPS, 2003). Ce dernier trouvait sa justification dans la crise interne grave que le CNES traversait à cette époque, dont Myriade était emblématique¹⁷.

4.2. LE DEROULEMENT DU CAS

4.2.1. La genèse du concept

Les microsatellites ne sont pas à proprement parler un concept nouveau. Dès la fin des années 1950, le Département de la Défense américain avait réalisé l'expérimentation de tels engins. Le CNES en avait construit trois dans les années 1990. En Grande Bretagne, la société SSTL avait exploité une dizaine de ses microsatellites dès le milieu des années 1990. Aux Etats-Unis, se dessinait alors une réforme des programmes scientifiques dite « Faster, Better, Cheaper » (Belleval, 2002), dont l'idée consistait à augmenter la fréquence des missions, en diminuer le coût unitaire, et intégrer plus rapidement les dernières technologies disponibles. Le conseiller scientifique du Président du CNES, Jacques Blamont, arguait d'une part de la nécessité de tirer profit de la miniaturisation des composants électroniques, d'autre part de la possibilité de mettre à profit les capacités d'emport de charges auxiliaires du lanceur Ariane 5. En parallèle, des études

14 Appelé dans la terminologie du CNES « Dossier de Programme » (CNES, 1998). A noter que de dernier a été réalisé avant l'intervention du chercheur qui en a donc fait une interprétation ex post dans le cadre de la première période de cette étude de cas (1998-2001).

15 Bureau d'Economie Théorique et Appliquée, CNRS UMR 7522, Strasbourg, laboratoire dans lequel le contrat de recherche a été piloté.

16 Voir notamment le site Web du CNES.

17 Nous n'avons pas pu organiser d'entretiens complémentaires autres qu'officiels à partir de cette époque. En effet, le décès brutal du chef de programme Myriade en janvier 2002 a brutalement stoppé notre collaboration ; de plus, la direction a changé, et la gestion de crise a impliqué un « black-out » sur les informations sensibles, alors que sur la période précédente, nous avions eu un accès sans restriction à toutes les ressources disponibles. Nous proposons à la fin de ce papier une explication

de faisabilité avaient été effectuées par le Centre Spatial de Toulouse (CST) qui concluait à la faisabilité de telles plates-formes à vocation scientifique. Les chercheurs étaient demandeurs de systèmes à coût réduit et au cycle de conception accéléré, dans le but notamment d'effectuer des expérimentations aux résultats potentiels plus aléatoires : impossibles à embarquer en charge secondaire d'un satellite existant, elles ne pouvaient justifier la construction d'un gros satellite trop coûteux. De plus, la réduction des délais de réalisation de tels systèmes¹⁸ permet de mieux synchroniser leur processus de conception avec le cycle de vie de technologies non spatiales qu'il est possible d'adapter (notamment l'électronique, l'informatique et les télécommunications)¹⁹.

4.2.2. La stabilisation du concept : un accord sur le concept générique

Durant cette phase préliminaire, des études amont ont permis de définir le concept envisagé de microsatellite, et d'effectuer un choix des premiers projets, y compris le projet pilote destiné à devenir le support de la conception de l'ensemble de la ligne de produits. Les études techniques amont effectuées au CST ont permis de définir le cahier des charges technique, alors que le Comité des Programmes Scientifiques (CPS) choisissait dès 1998 une première série de quatre expérimentations à embarquer chacune sur un microsatellite.

L'étude des documents de l'époque, et notamment du Dossier de Programme qui synthétise les points précédemment évoqués (CNES, 1998), ainsi que les entretiens réalisés avec les responsables du programme, des métiers du CST, et de la Direction du CNES montrent qu'il existait initialement un consensus sur la capacité de l'agence spatiale française à mettre en œuvre

sur cette volonté d'« amnésie ». Néanmoins, nous possédons suffisamment de données pour évaluer des évolutions clés du programme, ainsi que le montre notamment l'Annexe.

18 Un projet spatial classique se déroule sur plusieurs décennies. Ainsi, il s'écoule entre cinq et dix ans entre le début des études et le lancement du satellite. L'exploitation du système ainsi mis à poste dure en moyenne une dizaine d'années, (SPOT 1, premier de la série des satellites d'observation de la terre développés par le CNES, ayant été opérationnel dix sept ans). L'unité de masse pour les satellites est la tonne. En 1996, le CNES a délégué à Alcatel le développement d'une plate-forme de minisatellites (Proteus) pour une poids total d'environ 500 kg. Néanmoins, le temps de développement n'a pas vraiment diminué, puisque le premier de cette série (Jason 1) n'a été lancé qu'en 2001.

19 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. L'arbitrage coût/risque est de ce fait peu usité: de tels systèmes sont conçus selon la logique du « design-to-requirements » (contraintes techniques figées par la charge utile – Belleval, 2005a) : on ne peut aisément fixer un plafond budgétaire ni compresser les délais de conception. De ce fait, la plupart des satellites ont une durée de vie effective bien supérieure à celle spécifiée dans leur cahier des charges. On fige des technologies dès le début du cycle de conception, ce qui revient à exploiter et maintenir dans les années qui suivent des sous-systèmes et logiciels complètement obsolètes. Dernière conséquence : la mise en œuvre de l'assurance qualité traduit l'importance accordée à la fiabilité: elle est fortement codifiée.

ce programme. Néanmoins, il n'y avait pas convergence de vue quant à son caractère innovant. On peut à cette époque classer les opinions des acteurs en trois catégories : ceux qui considéraient qu'il n'y avait pas de concept nouveau, et que la base de connaissances existante suffisait à traiter la question posée (c,k)²⁰ ; ceux pour qui le concept était nouveau, mais ne nécessitait pas la mobilisation de connaissances nouvelles (C,k). Enfin, ceux pour qui les ambitions techniques étaient relativement limitées (on visait une innovation technique incrémentale); en revanche ce programme serait pour les tenants de cette dernière thèse l'occasion d'introduire des changements décisifs au niveau organisationnel (réduction des délais) et cognitifs (intégration de technologies issues de développements non spatiaux) : la dominante serait alors de type (c,K). A noter que les lignes de fracture d'opinion ne couvraient pas les diverses entités fonctionnelles du CNES : dans une même direction, on pouvait trouver des individus ayant des avis diamétralement opposés à ce sujet²¹.

4.3. LE CHEMINEMENT ENTRE CONTRADICTIONS TECHNIQUES, ORGANISATIONNELLES ET COGNITIVES : L'EMERGENCE DES BLOCAGES

A travers une analyse du devenir des contradictions techniques, organisationnelles et cognitives sous jacentes à ce programme nous proposons ici quelques explications sur les difficultés majeures auxquelles ce programme a été confronté. Nous montrerons notamment que leurs sources sont à rechercher dans l'impossibilité de dépasser les blocages induits.

4.3.1. L'émergence des contraintes, contradictions et blocages dus aux contradictions techniques

Nous pouvons résumer ces contraintes de la manière suivante : « **Comment réduire de manière significative la masse et les coûts de développement du satellite tout en garantissant une durée de vie opérationnelle et une performance technique cohérentes au regard de la charge utile embarquée?** »

²⁰ Les majuscules indiquent ici le caractère mineur ou majeur des dimensions de concept (C) ou de connaissance (K).

²¹ A noter qu'aucun des acteurs rencontrés n'a considéré initialement que la mise en œuvre d'une architecture modulaire commune à l'ensemble des systèmes Myriade constituait une innovation radicale. Le tableau en annexe montre paradoxalement qu'il n'existait pas de précédent validé par l'expérience, malgré des tentatives aux Etats-Unis. Nous ne traitons pas dans cet article de la question de la faisabilité de la modularité appliquée à des systèmes complexes de petite série : ces deux contraintes peuvent générer une contradiction technique entre standardisation et adaptation des systèmes à chaque charge utile scientifique, les exigences de performance étant très pointues et idiosyncrasiques. Le lecteur intéressé pourra se reporter à Belleval (2005b).

Le Tableau 1 permet la comparaison des contraintes du projet Myriade par rapport à un projet spatial classique : bien que certaines institutions américaines soient familières des petits satellites à coût modéré, il n'en est pas de même au CNES.

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 microsattellites 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

Rapidement, il apparaît que les difficultés techniques posées par le projet Myriade sont nombreuses. Le Tableau 2 souligne quelques-unes d'entre elles en visualisant 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 ²² et charge utile)	Durée de vie opérationnelle	Coût du projet
x	Masse volumique		+	+	+
	Performance technique	+		-	+
	Durée de vie opérationnelle	+	-		+
	Coût du projet	+	+	+	

Ces contraintes ne peuvent faire l'objet d'arbitrage de type QFD, puisque les technologies en usage au CNES ne sont pas adaptées à la résolution du problème, et que celles nécessaires ne sont pas disponibles au sein de l'organisation. En réalité les contraintes techniques spécifiques aux microsatellites Myriade vont donner naissance à des contradictions techniques significatives.

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.

L'enveloppe des contraintes et les exigences de performance technique de la charge utile vont conduire alors le CNES à opter pour un transfert de technologies non spatiales, en particulier pour les composants et sous-systèmes liés à l'informatique et aux télécommunications.

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

Au terme de cette première phase (d'environ un an), un nombre croissant d'acteurs évolue progressivement vers l'idée que Myriade remet en cause la base de connaissances du CNES sans pour autant constituer une innovation de concept (c,K) ; d'autres estiment que la ligne de produits, la fréquence de mise en œuvre et les transferts de technologie rangent ce programme dans la catégorie (C,K).

Nous suggérons que le choix d'opter pour un transfert de technologies (ajouté aux contraintes techniques) va générer à la fois des contradictions cognitives et organisationnelles. Nous abordons à présent ces dernières.

4.3.2. L'émergence des contraintes, contradictions et blocages dus aux contradictions organisationnelles

Dans les projets « classiques » de conception de satellites, l'arbitrage coût/risque est peu usité. En effet ces systèmes sont conçus selon la logique du « design-to-requirements » (contraintes techniques figées par la charge utile – Belleval, 2005a) : on ne peut aisément fixer un plafond budgétaire ni compresser les délais de conception. De ce fait, la plupart des satellites ont une durée de vie effective bien supérieure à celle spécifiée dans leur cahier des charges. On fige des technologies dès le début du cycle de conception, ce qui revient à exploiter et maintenir dans les années qui suivent des sous-systèmes et logiciels complètement obsolètes.

Cependant, la nécessité de recourir aux technologies non spatiales les plus performantes va conduire le CNES, à rechercher une accélération significative du cycle de conception des satellites de manière à le rendre compatible avec celui des technologies de l'électronique, de l'informatique et des télécommunications : le programme Myriade prévoit la mise en œuvre de processus parallèles de conception système en ingénierie simultanée (atelier « μ CE »). Il y a donc lieu de créer une nouvelle organisation entre la structure programme, les métiers et les fournisseurs externes. Cette réforme de fonctionnement n'a pas été pensée avant le démarrage de Myriade. De plus, le cahier des charges préconise la mise en place d'un pilotage de projet en coût objectif. Or, si cette pratique est couramment mise en œuvre dans l'industrie non spatiale, elle n'a jamais été véritablement expérimentée avec succès pour des satellites scientifiques²³ (cf. Tableau 3).

23 Même si la NASA a clamé sa volonté d'appliquer des méthodes de type « design-to-cost » à des programmes scientifiques qualifiés de « Faster, Better, Cheaper - FBC » dans les années 1990, le plafond budgétaire a très rarement été invoqué pour

Tableau 3 : Etat de l'art et la disponibilité des compétences de pilotage de projet en coût objectif.

	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
Élaboration du budget	Maximisation des performances techniques par unité de coût (« design to requirements »)	Coût objectif (« design-to-cost »)	Coût objectif non maîtrisé pour les projets spatiaux	non
Suivi des coûts	Avancement des dépenses sans anticipation	Pas d'outil adapté au coût objectif: pas d'anticipation, pas de sanction en cas de dépassement	Coût objectif couramment appliqué dans l'industrie non spatiale	non

Ces contraintes en termes de coûts et de calendrier vont rentrer en conflit avec l'incertitude accrue générée par l'introduction de technologies non spatiales.

Dans le cas de Myriade, le budget de chaque projet est plafonné, ce qui signifie donc une durée de vie limitée et une performance technique plafonnée. Cependant, ces satellites sont conçus pour des missions scientifiques : les performances techniques et la durée de vie minimale sont figées par les caractéristiques de l'expérimentation embarquée. Il n'y a pas nécessairement de contradiction si le budget est plafonné de manière réaliste. Pour ce faire, il est nécessaire d'évaluer précisément le coût potentiel de l'ensemble des sous-systèmes de la nomenclature (Gautier, 2003). Or, ce chiffrage précis est rendu impossible par l'introduction de nouvelles technologies ni testées ni validées, et par le caractère de prototype de chaque mission scientifique. Comme le réservoir de compétences en matière de pilotage de projet en coût objectif est alors inexistant au CNES, la question de l'allocation de ressources aux projets ne pourra qu'être imparfaitement traitée, avec pour conséquence d'importants dépassements budgétaires très en amont du programme (cf. Annexe).

annuler un projet en dépassement (Belleval, 2005a). Le flou des données publiées sur les coûts de tels projets (il n'est pas rare de trouver plusieurs versions se contredisant), ainsi que le silence des responsables des programmes scientifiques récents sur cette question tend à infirmer l'hypothèse qu'il existe un savoir-faire en ce domaine. En revanche, il est incontestable que ces programmes FBC ont permis à l'agence spatiale américaine d'accélérer les cycles de conception et de diminuer les coûts unitaires des systèmes. On peut même affirmer que cette démarche FBC a largement inspiré les concepteurs de Myriade.

Comme nous l'avons vu précédemment, Burns et Stalker (1961) puis Lawrence et Lorsch (1967) montrent qu'une organisation trop mécaniste est susceptible d'entraver le changement induit par le nouveau projet : selon leur théorie, un accroissement de l'incertitude devrait conduire l'organisation à opter pour une structure organique décentralisée dotée de nombreux mécanismes d'intégration horizontaux. Les Tableaux 4 et 5 soulignent que le fonctionnement du CNES qui est à cette époque plus proche d'une configuration bureaucratique centralisée hiérarchisée²⁴, n'a pas adapté son organisation à la spécificité du Programme Myriade.

Tableau 4 : 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 ²⁵ 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

24 Cette organisation classique fonctionnelle est régie par une prolifération de règles : les entités ne sont pas autonomes. Une telle configuration n'empêche pas, bien au contraire, le comportement stratégique des acteurs qui peuvent tenter d'altérer le fonctionnement de cette bureaucratie, ainsi que le montrent Crozier et Friedberg (1977). C'est précisément l'un des phénomènes auxquels nous allons assister lors de la mise en œuvre de Myriade.

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

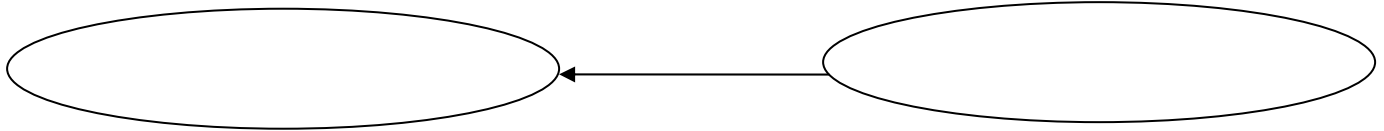
Tableau 5 : Comparaison des processus d'arbitrage selon le type de projet piloté au CNES

	Projet CNES de type SPOT	Spécification dans le Dossier de Programme Myriade	Etat de l'art
Processus d'arbitrage des conflits générés par des routines existantes	consensus	Non spécifié (par défaut: consensus)	Le chef de projet (en projet sorti)
Processus d'arbitrage sur demandes de modifications de l'organisation par la structure programme	Non applicable	Inexistant	Décision par la hiérarchie jusqu'à la direction générale (Midler, 1996)

La maîtrise des délais de conception et du budget impliquent un processus de décision au niveau de chaque projet et en tout cas du programme. Autrement dit, l'organisation la mieux adaptée est celle du projet sorti (Midler, 1993), où les métiers détachent des spécialistes qui dépendent hiérarchiquement du chef de projet: ce dernier possède une réelle capacité d'arbitrage et le pouvoir de trancher les conflits liés notamment à l'approvisionnement, l'optimisation du système à concevoir et l'allocation de ressource interne au projet; il gère de même les relations avec les fournisseurs et partenaires extérieurs. Or, l'organisation du CNES autorise au mieux un projet géré par un directeur auxquels sont adjoints des chefs de projet métiers dont la voix est prépondérante. L'autorité du chef de projet est ainsi limitée par la recherche systématique du consensus avec les métiers. Par exemple, le choix d'un sous-système nécessite l'accord de la Direction des Techniques Spatiales tout autant que celle de la Politique Industrielle. La première s'intéresse aux performances techniques au regard de ses propres normes (et non pas celle du programme), la seconde favorise avant tout les fournisseurs français et européens. Nous avons ainsi observé des conflits entre les acteurs projet intéressés avant tout à leur obligation de résultat, et ceux des métiers mus par des logiques différentes.

Myriade remet en question la division du travail et le mode de coordination du CST; le modèle génératif du CNES se voit ainsi remis en cause sous l'angle organisationnel, puisque les contraintes imposent la création de mécanismes de coordination non hiérarchiques, tout autant qu'un arbitrage de la Direction en cas de conflit non résolu.

•



Or, les acteurs extérieurs au projet vont refuser un tel changement organisationnel, et la Direction Générale s'abstenir de prendre position²⁶. Ce blocage organisationnel apparaît dès 1999, en particulier lors des réunions de travail entre direction du programme et responsables métiers, auquel l'un des deux auteurs de cette contribution a pu assister.

Puisque les principaux acteurs refusent de changer l'organisation, ils renoncent à la volonté qu'ils ont eux-mêmes exprimée lors de la définition initiale du concept (traduit dans le Dossier de Programme) d'accélérer le processus de conception ; cette contradiction génère une des deux principales dissonances cognitives, l'autre étant induite par le transfert de technologies. Elle constitue ainsi une étape clé dans la remise en cause du concept à la base de Myriade.

4.3.3. Le rôle et la nature des dissonances cognitives

Les difficultés liées à la mise en œuvre d'un processus de transfert de technologies vers l'agence spatiale peuvent s'expliquer ainsi. : il faut en premier lieu investir dans l'acquisition de compétences en vue de créer une réelle capacité d'absorption (Cohen, Levinthal, 1990) ; cela passe selon Constant (1980) par le recrutement de jeunes ingénieurs qui sont au fait des dernières technologies, mais qui n'ont pas encore approfondi leur savoir-faire en le restreignant à un spectre étroit : ils sont à la périphérie des connaissances de l'organisation, et donc plus réceptifs

²⁶ Nous ne traitons pas, dans le cadre de cet article, des questions liées au rôle du leadership dans les remises en cause de type stratégique, qui renvoient à une problématique différente.

aux questions de transfert de technologies, mais leur capacité opérationnelle est encore faible. Or, cette question n'a pas été traitée ni dans le cadre de Myriade, ni en amont au sein des métiers.

Ce manque va probablement encourager l'apparition de dissonances cognitives entre les représentations issues de la sphère de l'ingénierie spatiale que véhiculent les ingénieurs du CNES, et celles issues de l'extérieur. En effet, il existe une forte tradition d'ingénierie qui s'appuie à la fois sur le temps d'acquisition des compétences par la pratique sur les projets spatiaux classiques (l'âge moyen des employés du CST est de plus de 45 ans en 2000), et par la volonté de conserver un actif immatériel chèrement acquis depuis la création du CNES en 1961. Comme l'ont montré nos entretiens, une majorité des ingénieurs sont fermement convaincus que leurs contraintes sont suffisamment idiosyncrasiques pour justifier des développements internes, et disqualifier des technologies et pratiques venues d'autres industries. Le monde extérieur non spatial est vraiment considéré comme trop différent pour y accorder une attention autre que théorique. Cette représentation de deux mondes limite très fortement les possibilités de faire évoluer chez les ingénieurs confirmés du CST leur système de représentation. La mise en œuvre de Myriade va heurter frontalement les représentations d'une grande partie des acteurs du CST.

On assiste à une contestation ouverte à la fois sur le concept et sur la remise en cause de la base de connaissances. Le processus de transfert de technologies est récusé dès le début par la Direction des Techniques Spatiales du CST. Le conflit se cristallise entre autres sur le calculateur embarqué, la DTS réfutant le bien fondé de son cahier des charges. Selon cette dernière, il est impossible à l'époque de concevoir un calculateur ayant de telles performances techniques. De ce fait, ses responsables en viennent à mettre en cause la faisabilité même des systèmes Myriade, et donc du concept tel que défini initialement. Par là même, ils contredisent ouvertement l'idée que ce programme puisse être géré dans une structure de type projet sorti, et revendiquent son pilotage. Or, la direction de Myriade va employer un jeune ingénieur qui va réussir à mettre au point un tel sous-système à tolérance de panne en adaptant des technologies et des composants non spatiaux. Ici la dissonance cognitive est issue de la croyance véhiculée par les ingénieurs du CST en l'incompatibilité du modèle technologique civil avec celui de la technologie spatialisée. L'élément nouveau qu'introduit ce jeune ingénieur, qui travaille non pas à la DTS mais au sein même du Programme Myriade, est la mise au point de la tolérance de panne qui rend l'utilisation

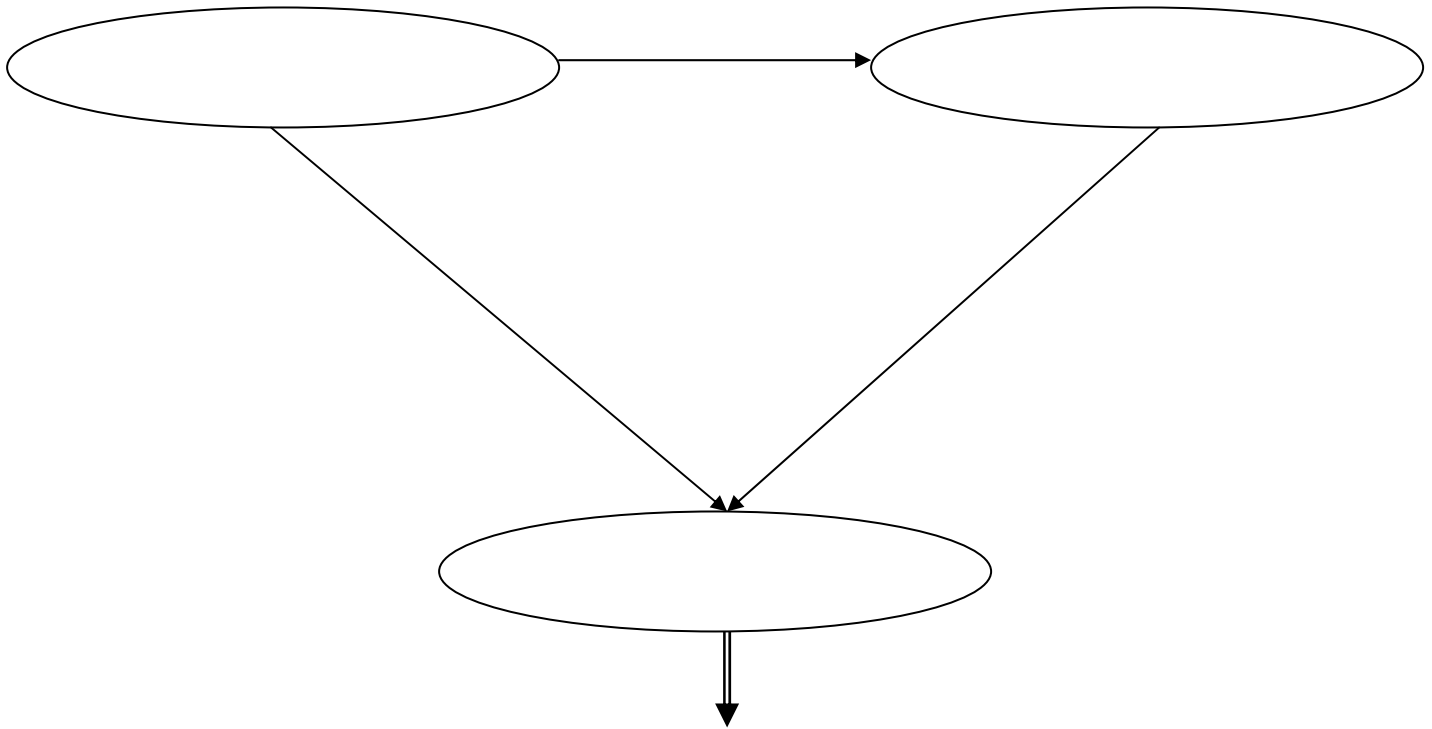
de composants civils acceptable pour un calculateur embarqué. Cette invention²⁷ remet en question les pratiques établies des acteurs légitimés par leur ancienneté au CST. Selon le principe de la dissonance cognitive, elle à l'origine d'une souffrance insupportable qui les conduit finalement à refuser d'accepter une telle possibilité. Loin d'aplanir les difficultés, la résolution de cette contradiction technique va constituer le point de départ de nombreux conflits politiques entre la direction du programme et les différents métiers du CST.

4.4. LA REMISE EN CAUSE DU CONCEPT ET DES CONTRAINTES INITIAUX

En 2001, ces incessants conflits provoquent de multiples retards du fait des défauts de coordination. Ainsi, un audit effectué à cette époque révèle que de nombreux postes d'ingénieurs ouverts à la mutation au sein de la structure Myriade n'ont pu être pourvus, les autres directions retardant ces mouvements de personnel.

Le décès accidentel début 2002 du responsable du programme Myriade précipite les événements. Privée de direction de programme pendant de nombreux mois, alors que les métiers du CST refusent non seulement de faire évoluer leur pratiques de management de projet, mais aussi les processus de transfert de technologie, la base de connaissances tant technique qu'organisationnelle ne peut plus évoluer. C'est donc le concept qui est mis en cause. Celui-ci est tenu de s'aligner sur l'organisation, les pratiques et les connaissances existantes du CNES, d'autant plus que ce dernier connaît une grave crise et voit son directeur général remplacé en 2003 (Belleval, 2006); compte tenu des retards en cascade et des dépassements budgétaires sur de nombreux autres programmes, celui-ci en annule un certain nombre et exige des résultats sur le reliquat, en particulier sur le premier microsatellite Demeter. Ce dernier est finalement lancé en 2004 avec plus de trois ans de retard. D'autres projets de microsatellites sont reportés, voire annulés. Le tableau en annexe compare les objectifs et contraintes initiaux avec la mise en œuvre effective.

27 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.



4.5. SYNTHÈSE

La remise en cause des attendus initiaux du Programme Myriade résulte d'un double renoncement : premièrement, les acteurs clés (qui ont le pouvoir de décision et d'arbitrage) se refusent à dépasser les contradictions organisationnelles ; Deuxièmement, les mêmes renâclent devant les contradictions cognitives. Finalement, ils perdent ainsi les moyens cognitifs et organisationnels de résoudre les contradictions techniques. On abandonne progressivement toutes les contraintes de départ du cahier des charges : on concevra un satellite classique, dans un délai classique, avec une technologie classique. Comme l'explique Jacques Blamont, les satellites Myriade sont devenus des « micro-SPOT », i.e. : les mêmes qu'avant en plus petits. Ainsi, s'est effectuée une amélioration marginale aussi bien de la base des connaissances que de celle des concepts. Les dissonances cognitives tant du point de vue technique qu'organisationnel ont

généralisé des conflits politiques qui ont bloqué les processus réellement innovants souhaités au départ. Le tableau en annexe illustre de même la relativité du caractère innovant des technologies mobilisées. Alors que certaines sont déjà mises en œuvre notamment aux Etats-Unis, elles n'ont pu l'être dans le cas de Myriade. On note qu'il n'y a pas d'amélioration significative sur la question du respect du budget et du calendrier. La ligne de produits a été abandonnée, en raison de la difficulté à créer un processus institutionnalisé de transfert de technologies, et au vu des résistances internes et des coûts induits : les satellites Myriade restent des systèmes fortement individualisés, loin de la volonté initiale de développer une architecture modulaire.

5. CONCLUSION

Notre travail trouve son origine dans la quête de critères permettant au chercheur en gestion d'évaluer le degré d'innovation lié à un projet de conception. Pour ce faire, l'objet intermédiaire de nature théorique que nous avons développé ici lui permet de caractériser l'activité innovante, de l'abstraire, et d'instaurer un débat contradictoire avec ses pairs à propos d'études de cas. Nous représentons ici les processus de conception innovants comme le cheminement dans un réseau de contradictions techniques, organisationnelles et cognitives, issues d'une part des contraintes propres au projet (cahier des charges), et d'autre part de l'environnement de réalisation (organisation, réservoir de compétences disponibles, représentations mentales des acteurs). Le refus de surmonter les blocages induits peut conduire à la remise en cause de tout ou partie des objectifs liés au projet. Ainsi, le caractère innovant d'un tel processus de conception doit s'apprécier de manière contextualisée.

Nous avons illustré notre propos en interprétant au travers de notre canevas théorique le cheminement et les résultats d'un programme de microsattellites du CNES. Grâce à la richesse du cas Myriade, nous avons pu explorer les trois dimensions de notre réseau de contradictions. Notre mode de représentation nous a permis de focaliser notre attention sur les facteurs clés de succès de l'innovation, à savoir la capacité de l'organisation à surmonter les contradictions qui jalonnent le cycle de vie du projet. Nous défendons le point de vue selon lequel il est toujours possible de représenter un processus de conception même fortement idiosyncrasique sous la forme d'un réseau de contradictions.

Nous avons entamé dans cette contribution la question des invariants de l'activité innovante. Il nous paraît important d'approfondir le thème de la conceptualisation des contradictions, en particulier celles liées à l'organisation et la cognition. Il sera probablement utile à l'avenir d'utiliser des dispositifs permettant de mesurer le degré de dissonance cognitive, la différenciation des unités, le caractère mécaniste (ou organique) des structures. Nous avons en particulier constaté que les dissonances cognitives étaient apparues à la frontière de communautés de pratique, particulièrement à propos de la question des transferts de technologies²⁸. Nous envisageons d'élargir la question des contraintes liées à l'environnement à des études de terrain où plusieurs organisations doivent se coordonner, comme c'est généralement le cas pour les projets de taille et de complexité significatives.

RÉFÉRENCES

- Albano, L. D., & Suh, N. P. (1992), Axiomatic approach to structural design. *Research in Engineering Design*, 4(3), 171-183
- Altshuller G. (1984), *Creativity as an Exact Science: the theory of the solution of inventive problems*, Gordon and Breach Publishers.
- Altshuller G. Altshuller H. & Shulyak L. (1996), *And Suddenly the Inventor Appeared: TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving*, Technical Innovation Center.
- Akao, Y., ed. (1990): *Quality Function Deployment*, Productivity Press, Cambridge MA
- Argyris C. & Schön D.A. (1978), *Organizational learning : a theory of action perspective*, Addison-Wesley Publishing Company.
- Belleval C. (2001), *Le Pilotage des Grands Projets de Haute Technologie dans une Organisation Centrée sur ses Compétences de Base – Le Cas des Programmes Spatiaux - Application à la Ligne de Produits Microsatellites (Myriade) du CNES*, Thèse pour le Doctorat en Sciences de Gestion, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France.
- Belleval C. (2002), Faster Conception of Radically Innovative Systems: the Strategic and Organizational Challenge for Space Agencies, *The Journal of Space Policy* 2002 18(3), pp. 215-219.
- Belleval C. (2005a), Un Modèle de Gestion Prévisionnelle des Grands Projets de Haute Technologie Pilotés en Coût Objectif , *Comptabilité Contrôle Audit*, vol. 1 tome 11., pp. 79-96.
- Belleval C. (2005b), L'Arbitrage Modularité – Intégration au Sein des Grands Projets de Haute Technologie , présenté à la journée du BETA 2005 et au Congrès AIMS 2005.
- Belleval C. (2006), De la Remise en Question des Pratiques de Gestion des Grands Projets de Haute Technologie d'État à celle des Missions du Maître d'Ouvrage : le Cas d'un Programme Spatial : *Management International*, Numéro spécial en l'honneur de Fernand Amesse 2006 tome 10, pp. 55-64.
- Bescos P.L. & Mendoza C. (1995), *Le management de la performance*, Editions Comptables Malesherbes.

28 Néanmoins, une difficulté prévisible consistera à définir ces communautés de pratique en tant qu'objet d'étude sur le terrain.

- Boisard-Castellucia S. (2004), « Les effets de la dissonance cognitive sur l'apprentissage individuel. Un cas d'application : La diversité démographique des équipes dirigeantes », *Congrès AGRH*, 1er au 4 septembre, Montréal.
- Bouquin H. (1997), *Comptabilité de gestion*, 2ème édition, Editions Syrey.
- Burns, T. & Stalker, G.M. (1961), *The Management of Innovation*. Tavistock, London.
- Cavallucci D., Kucharavy D. & Lutz P. (2002), converging in problem fomulation : a differnt path in design, *Proceedings of Design Engineering Technical Conferences* from Septembre 29 – October 2, 2002 Montreal, Canada.
- Clot Y. (2005), « Le Développement du Collectif : Entre L'individu et l'Organisation du Travail », in (Teulier, Lorino et al., 2005), *Entre Connaissance et Organisation : l'Activité Collective – l'Entreprise Face au Défi de la Connaissance – Colloque de Cerisy*, La Découverte – Recherches.
- CNES (1998), *Dossier de Programme Missions Microsatellites*, document interne.
- Cohen W.M., Levinthal D.A. (1990), “Absorptive Capacity : a New Perspective on Learning and Innovation”, *Administrative Sciences Quarterly*, Vol. 35.
- Cohendet P., Diani M., Lerch C. (2005), Stratégie modulaire dans la conception. Une interprétation en termes de communautés, *Revue Française de Gestion*, N° 158, septembre-octobre, pp. 121-143.
- Constant II, E. W. (1980), *The Origins of the Turbojet Revolution*, The Johns Hopkins University Press.
- Cooper R. & Kaplan R.S. (1988), How cost accounting distorts product costs, *Management Accounting*, avril, pp. 20-27.
- Crozier M., Friedberg E. (1977), *L'Acteur et le Système*, Seuil.
- CRPS (2003), Commission de Réflexion sur la Politique Spatiale Française, Rapport, 15 janvier.
- Dumouchel P. (1992), Systèmes sociaux et cognition dans ANDLER D. (ed.) : *Introduction aux sciences cognitives*, Editions Gallimard., pp. 472-488.
- Ducan R. (1976), The ambidextrous Organization : Designing Dual Structures for Innovation in Kilmann R., Pondy L. & Slevin D., *The Management of Organization Design : Strategies an Implementation*.
- El Mhamedi A., Lerch C. & Sonntag M. (1997), Modélisation des activités et des processus des système de production : une approche interdisciplinaire, *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, Vol. 31, n°4, juin, pp. 669–693.
- Galbraith J.R. (1971), *Matrix Organization Designs: How to Combine Functional and Project Forms*, Elsevier.
- Garel G. & Midler C. (1995), Conception et transversalité: concurrence, processus cognitifs et régulation économique, *Revue Française de Gestion*, n°107, juin-juillet-août.
- Gautier F. (2003), *Pilotage Economique des Projets de Conception et Développement de Produits Nouveaux*, Paris: Economica.
- Girin, J. (1981), Quel paradigme pour la Recherche en Gestion , *Economies et Sociétés, série Sciences de Gestion* num. 2, vol XV, num. 10-11-12.
- Johnson H.T. (1990), Professors, customers, and value : bringing a global perspective to management accounting education, dans Turney P.B.B. (ed.), *Performance excellence in manufacturing and service organizations*, proceedings of the third annual management accounting symposium, San Diego, California, march 1989, Sarasota, American Accounting Association, pp. 102-110.



- Hatchuel A. (1996), Théories et modèles de la conception , *Cours d'ingénierie de la conception*. Paris, Ecole des Mines de Paris.
- Hatchuel et Weil (2002), La théorie C-K : Fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception , *colloque Sciences de la conception*, Lyon 15-16 mars.
- Henderson R.M., Clark K.B. (1990), Architectural innovation: The reconfiguration of existing systems and the failure of established firms. *Administrative Science Quarterly*, vol. 35, 9-30.
- Hobday M. (2000), The Project-Based Organisation : an Ideal Form for Managing Complex Products and Systems ?", *Research Policy*, vol. 29, pp. 871-893.
- Hoc J.M. (1987), *Psychologie cognitive de la planification*, Presses Universitaires de Grenoble.
- Lambert G. & Lerch C (1999), Normes et codification : une étude des référentiels ISO 9000 , *Revue Française de Gestion Industrielle*, Vol. 18, N°4, pp. 63-80
- Lanoux B., Lerch C., Benezech D. & G. Lambert (2003), Système documentaire de l'assurance qualité et structure des processus : comparaison de deux cas d'implantation de l'ISO 9000, *Systèmes d'Information et Management*, N°4, Vol. 8, pp. 61-85.
- Lawrence & Lorsch (1967), *Organization an Environment*, Harward Business Scholl Classics.
- Lerch C. (1998), Une Nouvelle Représentation du Contrôle du Contrôle Organisationnel : Le pilotage des processus , *Thèse de Doctorat de Sciences de Gestion*, Université Louis Pasteur, Strasbourg, février.
- Loasby B.J. (1989), Organisation, competition, and the growth of knowledge, dans Langlois (ed), *Economics as a process*, Cambridge University Press.
- Lorino P. (2001), *Méthodes et pratiques de la performance*, Les Editions d'Organisation.
- Lorino P. (2005), « Théorie des Organisations, Sens et Action », in (Teulier, Lorino et al., 2005), *Entre Connaissance et Organisation : l'Activité Collective – l'Entreprise Face au Défi de la Connaissance – Colloque de Cerisy*, La Découverte – Recherches.
- March J & Simon H.A (1958), *Organizations*, John Wiley and sons, New York.
- Mevellec P. (1992), Qu'est-ce qu'une activité ?, *Revue Française de Comptabilité*, n° 238, octobre, pp. 54-55.
- Midler C. (1993), L'Acteur Projet : Situations, Missions, Moyens, in (Giard, Midler et al.), *Pilotage de Projet et Entreprises – Diversités et Convergences – ECOSIP*, Gestion, Economica.
- Midler C. (1996), *L'Auto Qui N'Existait Pas : Management de Projet et Transformations de l'Entreprise*, InterEditions.
- Mintzberg H. (1982), *Structure et dynamique des organisations*, Les Editions d'Organisation.
- Nonaka I.& Takeuchi H. (1995), *The knowlegde-creating company : how Japanese companies create the dynamics of innovation*, Oxford University Press.
- Pylyshyn Z. (1984), *Computation and Cognition*, MIT Press, Cambridge Mass.
- Rosenberg N. (1974), Science, Innovation and Economic Growth , *Economic Journal*, 84, pp. 90-108.
- Sanchez R., Mahoney J. (1996), Modularity, Flexibility, and Knowledge Management in Product and Organization Design, *Strategic Management Journal*, vol. 17 (Winter Special Issue), p. 63-76.
- Schmookler J. (1966), *Invention and Economic Growth*, Harvard University Press.
- Simon H.A. (1960), *The new science of management decision*, New York & Evansten, Harper & Row Publisher.

ANNEXE A : SYNTHÈSE DES OBJECTIFS ET CONTRAINTES DU CAHIER DES CHARGES INITIAL DE MYRIADE (APPEL DOSSIER DE PROGRAMME – CNES, 1998), DU DEGRÉ D'INNOVATION PAR RAPPORT À L'ÉTAT DE L'ART DE L'ÉPOQUE, ET DES RÉSULTATS OBTENUS

	Degré d'innovation des requis par rapport			Résultats
	aux États-Unis	au reste de l'Europe	aux pratiques antérieures du CNES	
1: <i>jamais expérimenté</i>				
2: <i>sporadiquement ou tentative en cours</i>				
3: <i>pratique courante</i>				
1- Système et sous-systèmes				
1.1. système				
Dimensions et masse	3	2	2	respectées
Conception modulaire de la ligne de produit	2	2	1	abandonnée (essentiel sur mesure sauf segment sol)
1.2. sous-systèmes et composants				
Adaptation de composants non spatiaux	2	2	2	avec difficultés (source de retards et surcoûts)
Tolérance de panne	2	2	1	non évaluée ici
Autonomie avancée à bord	3	1	1	abandonnée
Puissance de calcul embarquée et stockage des données (10 Mips, 1 Gbits)	3	2	1	atteints
2- Méthodes et processus				
Atelier d'ingénierie simultanée	2	1	1	non évalué dans le cadre de cette étude
Transfert de technologies non spatiales	2	2	1	sur informatique et télécommunications
Base de données de composants non spatiaux pour la ligne de produits	?	1	1	abandonnée (uniquement à la demande)
3- Organisation basée projet	3	1	1	conflits avec les métiers ⇒ retards et surcoûts
4- Calendrier				
Cycle de vie conception – mise à disposition (2 ans), 1er satellite en 2001	2	1	1	1er satellite (Demeter) lancé en juin 2004
Fréquence des projets (2 par an)	1	1	1	2ème (Parasol) en décembre 2004
5- Budget inférieur à 8 M€ par satellite	2	2	1	Dépassement de plus de 50% dès 2000

Commentaires: La comparaison avec les précédents permet d'apprécier le caractère réaliste des requis du Dossier de Programme Myriade. En dehors de la fréquence de deux missions par an voulue initialement, toutes les innovations proposées ont déjà été validées aux États-Unis. Il existe quelques précédents en Europe (essentiellement chez SSTL au Royaume-Uni) pour l'adaptation de composants et technologies non spatiales, ainsi que pour la tolérance de panne et la puissance de calcul embarquée. Les satellites Myriade sont plus complexes que ceux de SSTL, mais nettement moins que leurs équivalents américains, en particulier lorsqu'on envisage le sous-système d'autonomie à bord. En résumé, les systèmes, sous-systèmes, méthodes, processus et organisation envisagés ne sont réellement innovants que par rapport aux pratiques antérieures du CNES.