



HAL
open science

L'échange génératif de technologies innovantes : engagement conceptif et conception de la valeur

Fabien Jean

► **To cite this version:**

Fabien Jean. L'échange génératif de technologies innovantes : engagement conceptif et conception de la valeur. Gestion et management. Université Paris sciences et lettres, 2016. Français. NNT : 2016PSLEM082 . tel-01719685

HAL Id: tel-01719685

<https://pastel.hal.science/tel-01719685>

Submitted on 28 Feb 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE DE DOCTORAT

de l'Université de recherche Paris Sciences et Lettres
PSL Research University

Préparée à MINES ParisTech

L'échange génératif de technologies innovantes : engagement conceptif et conception de la valeur

Ecole doctorale n°396

ECONOMIE, ORGANISATIONS, SOCIÉTÉ

Spécialité SCIENCES DE GESTION

Soutenue par Fabien JEAN
le 21 décembre 2016

Dirigée par Pascal LE MASSON et
Benoît WEIL

COMPOSITION DU JURY :

Mme. Maria ELMQUIST

Professeur, Chalmers University Of Technology,
Technology Management and Economics,
Examineur

M. Didier-François GODART

Directeur Innovation, Safran, Examineur

Mme. Sophie HOOGE

Maître assistant, Mines ParisTech, Centre de
Gestion Scientifique - I3 - UMR CNRS 9217,
Examineur

Mme. Marie-Anne LE DAIN

Professeur associée, Grenoble INP, Sciences
pour la conception, l'Optimisation et la
Production (G-SCOP), Rapporteur

M. Christophe MIDLER

Professeur, Polytechnique, Centre de
Recherche en Gestion (CRG), Président

M. Pascal LE MASSON et M. Benoit WEIL

Professeurs, Mines ParisTech, Centre de
Gestion Scientifique - I3 - UMR CNRS 9217,
Directeurs de thèse



THÈSE DE DOCTORAT

de l'Université de recherche Paris Sciences et Lettres
PSL Research University

Préparée à MINES ParisTech

L'échange génératif de technologies innovantes : engagement conceptif et conception de la valeur

Soutenue par Fabien JEAN le 21 décembre 2016

Dirigée par Pascal LE MASSON et Benoît WEIL

Ecole doctorale n°396

ECONOMIE, ORGANISATIONS, SOCIÉTÉ

Spécialité SCIENCES DE GESTION

COMPOSITION DU JURY:

Mme. Maria ELMQUIST
Professeur, Chalmers University Of
Technology, Technology Management and
Economics, Examineur

M. Didier-François GODART
Directeur Innovation, Safran,
Examineur

Mme. Sophie HOOGE
Maître assistant, Mines ParisTech, Centre
de Gestion Scientifique - I3 - UMR CNRS
9217, Examineur

Mme. Marie-Anne LE DAIN
Professeur associée, Grenoble INP,
Sciences pour la conception,
l'Optimisation et la Production (G-SCOP),
Rapporteur

M. Christophe MIDLER
Professeur, Polytechnique, Centre de
Recherche en Gestion (CRG), Président

M. Pascal LE MASSON et M. Benoit WEIL
Professeurs, Mines ParisTech, Centre de
Gestion Scientifique - I3 - UMR CNRS
9217, Directeurs de thèse

Mines ParisTech n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse. Ces opinions doivent être considérées comme propres à l'auteur.

REMERCIEMENTS

En premier lieu je souhaite remercier mes directeurs académiques de thèse Pascal Le Masson et Benoît Weil, qui m'ont donné l'opportunité de mener cette thèse mais qui l'ont aussi défendue lorsque des difficultés étaient rencontrées pour établir la Convention Industrielle de Formation par la REcherche (CIFRE). Etant donné tout ce qu'ils m'ont appris pour faire de moi un docteur, je leur suis très reconnaissant.

De la même manière je remercie mon encadrant industriel dans l'entreprise Safran, Didier-François Godart qui m'a accueilli dans sa direction au prix de nombreux efforts puisque la thèse ne s'inscrivait pas dans le processus standard du groupe. En intégrant exceptionnellement la direction de l'innovation réservée à des profils expérimentés, j'ai eu le privilège d'interagir avec des « figures » de l'aéronautique moderne. De plus, en alternance avec Laurent Deleville, ils ont fait plus que suivre les travaux, ils leur ont donné un ancrage fort dans l'entreprise.

Merci à mes encadrants !

Je remercie mon jury de thèse qui a largement dépassé sa mission première de décider de m'octroyer le grade docteur en sciences gestion. La lecture approfondie que Maria Elmquist, Sophie Hooge, Christophe Midler et Marie-Anne Le Dain ont faite de ce manuscrit m'a permis d'élaborer d'avantage et de clarifier la contribution théorique de la thèse défendue. Ainsi la ténacité dont j'ai fait preuve a été récompensée, notamment en soulignant l'originalité et la pertinence de la critique des Technology Readiness Levels (partie 4) qui connaissait de nombreux détracteurs avant qu'elle ne soit portée à maturité.

Merci aux membres de mon jury de thèse !

Je souhaite remercier les relecteurs du manuscrit qui ont largement contribué à la qualité de ce manuscrit final Milena Klasing-Chen, Sophie Hooge et Christine Jean. De plus toutes ces personnes m'ont soutenu d'une façon décisive. Je n'aurais pas pu prolonger un tel effort sans elles. Milena m'a donné les clefs d'un manuscrit pédagogique et la force de fournir cet effort pour le moins rébarbatif. Sophie Hooge, bien avant l'écriture m'a donné des occasions de présenter mes travaux à des étudiants, a critiqué constructivement mes travaux mais aussi a fait preuve de beaucoup d'empathie dans la mise en place difficile de la CIFRE. Christine Jean, a largement dépassé son rôle de mère déjà conséquent en vérifiant avec la plus grande efficacité et minutie la qualité du français de ce manuscrit.

Merci à mes relecteurs !

Je remercie le personnel du CGS, à la fois le secrétariat pour sa sympathie et sa disponibilité, les doctorants et les post-docs, les professeurs etc. Tous ont montré des qualités d'entre-aide remarquables. Je remercie aussi le personnel Safran de la direction de l'innovation, les experts sollicités par les explorations, les voisins de bureaux avec qui partager le déjeuner. Mon intégration n'a été possible que par la bonne volonté de ses personnes à mon égard.

Merci à mes collaborateurs !

Je remercie l'école des Mines, évidemment pour les contrats supplémentaires à celui de la CIFRE, pour la formation dont j'ai bénéficié, mais aussi pour tout le reste qu'elle m'a accordée, moi qui ne suis que poussière dans sa longue histoire.

Je remercie mon école précédente, les Arts et Métiers. Ma formation d'ingénieur a joué un rôle décisif dans la réussite de cette thèse. Jamais je n'aurais pu animer des ateliers entourés d'experts aussi pointus sans elle. De plus, il est arrivé que des personnes me fassent confiance en tant que gadz'art pour les besoins de cette thèse.

Merci à mes écoles !

Sommaire

INTRODUCTION	17
Positionnement et originalité de cette recherche.....	18
Problématique, cadre théorique et méthodologie.....	21
Thèse défendue et composition du manuscrit.....	24
PARTIE 1 – L’ECHANGE DANS L’INCONNU : LIMITE DES MODELES D’ACTION EN SITUATION D’ECHANGE DANS LES SCIENCES SOCIALES	33
Chapitre 1 – La direction de l’innovation Safran, une solution organisationnelle à la vallée de la mort	35
Chapitre 2 – Modélisation de l’échange, revue de quatre champs théoriques classiques se rapportant à ce modèle et questions de recherche	47
PARTIE 2 – CADRE ANALYTIQUE ET METHODOLOGIE POUR CONSTRUIRE UN MODELE D’ACTION COLLECTIVE : APPORTS DES THEORIES DE LA CONCEPTION ET DE LA RECHERCHE-INTERVENTION	73
Chapitre 3 – Cadre analytique et hypothèses de recherche	75
Chapitre 4 – Méthodologie de recherche	93
PARTIE 3 – ELABORATION D’UN MODELE D’ENGAGEMENT DE RESSOURCES D’EXPLORATION DANS L’INCONNU : L’ENGAGEMENT CONCEPTIF.....	105
Chapitre 5 – Les échanges dans l’inconnu chez Safran, une exception dans les modèles actuels d’engagement de ressources.....	107
Chapitre 6 – Proposition d’un modèle d’action : l’engagement conceptif.....	135
Conclusion de la partie 3 : quel substrat technique pérenne pour l’engagement conceptif chez Safran ?	152
PARTIE 4 – TECHNOLOGY READINESS LEVELS ET ENGAGEMENT CONCEPTIF : COMPATIBILITE ET LIMITES	157
Chapitre 7 – L’échelle Technology Readiness Levels (TRL), un outil pour échanger des technologies innovantes.....	159
Chapitre 8 – Mise à l’épreuve de l’échelle TRL pour l’échange dans l’inconnu : expansions des environnements et conception de valeur collective trop limitées.....	173
Conclusion de la partie 4 : Quels modèle et outil face aux limites de l’échelle TRL ?.....	195

PARTIE 5 – L’ENGAGEMENT CONCEPTIF : MODULER L’EXPANSION PAR LE RAPPORT TECHNOLOGIE-ENVIRONNEMENT	199
Chapitre 9 – Le formalisme C-K T / C-K E, modèle d’action aux expansions de la frontière Technologie-Environnement.....	201
Chapitre 10 – La méthode Pilotage de l’Exploration Par les Invariants Technologie et Environnement (PEPITE) et ses outils	229
Conclusion de la partie 5 : le modèle d’action pour l’échange dans l’inconnu, un modèle d’expansion de la frontière Technologie-Environnement	257
CONCLUSION GENERALE	261
Synthèse des résultats	262
Apports empiriques.....	266
Contribution théorique : dans l’inconnu vendeur et acheteur s’engagent dans la conception de la frontière entre des technologies et des environnements	268
Limites et perspectives	274
BIBLIOGRAPHIE.....	277

Liste des encadrés

Les notions introduites par la thèse font l'objet de définitions encadrées.

Encadré 1 : définition d'échange dans le connu et d'échange dans l'inconnu permise par une approche exploratoire du terrain.....	43
Encadré 2 : Hypothèses du modèle de l'échange intégrant l'inconnu adopté dans la présente thèse	47
Encadré 3 : Hypothèse sur la valeur conditionnant l'échange dans le modèle de l'échange intégrant l'inconnu adopté dans la présente thèse	48
Encadré 4 : Effets de l'exploration de dimensions supplémentaires dans notre modèle.....	49
Encadré 5 : Engagement simultané d'un vendeur et d'acheteurs dans l'exploration de technologies caloporteuses dans le cas caloducs - Les acteurs identifient les promesses qui les engagent dans l'atelier.....	141
Encadré 6 : Définition de l'engagement conceptif.....	142
Encadré 7 : Définition de la figure de concepteur de valeur collective que nécessite l'engagement conceptif.....	147
Encadré 8 : Définition d'une philosophie gestionnaire de convergence décisionnelle	148
Encadré 9 : Définition d'une philosophie gestionnaire de convergence générative	149
Encadré 10 : Conditions de l'engagement conceptif.....	150
Encadré 11 : Définition de la notion de frontière Technologie-Environnement et des stratégies d'expansion de celle-ci	213
Encadré 12 : Définition d'une technologie prétexte	246
Encadré 13 : Définition de besoin prétexte.....	249

Liste des figures

Figure 1 : Vallée de la mort entre Recherche et Développement (adapté de Markham <i>et al.</i> (2010))	18
Figure 2 : Positionnement de la direction de l'innovation Safran dans la vallée de la mort.....	20
Figure 3 : Schéma d'échanges entre la recherche, la direction de l'innovation et le développement.	39
Figure 4 : Modèle de l'échange marchand dans la pensée économique néoclassique (standard), adapté de (Keen 2009 et Walras 1874).....	51
Figure 5 : Les théories de la valeur utilisées dans les sciences de gestion, adapté de Bowman et Ambrosini (2002) – les surplus des acteurs sont connus pour procéder à l'échange.....	53
Figure 6 : Modèle du jalon décisionnel (<i>gate</i>) dans lequel le financement d'un projet est avalisé, d'après la littérature.....	55
Figure 7 : Le modèle divergent-convergent dans <i>design thinking</i> (Brown, Katz et Nicolaiëff 2010)....	61
Figure 8 : La théorie C-K – un formalisme dans lequel peut être représenté tout raisonnement de conception ou raisonnement dans l'inconnu – il comprend l'espace des concepts et celui des connaissances dont les expansions sont permises par les opérateurs $K \rightarrow C$, $C \rightarrow K$, $C \rightarrow C$ et $C \rightarrow K$ – il ne s'agit pas d'une méthode prescriptive mais le concepteur outillé d'un diagramme C-K ou même l'éditant pour concevoir dispose d'une réflexivité supérieure sur les actions qui lui sont possibles...	78

Figure 9 : Les interactions entre théorie et terrain de cette recherche-intervention	95
Figure 10 : Echanges entre Safran et un fournisseur dans le cas Thermoélectricité proposé par le département Achat de la société cliente du fournisseur – échanges de donnée et de propriété intellectuelle.....	109
Figure 11 : Portefeuille de concepts issus des DKCP avant et après un effort d’exploration - Six concepts ont été explorés alors que leur valeur demeurait indécidable suite aux DKCP dont trois dont la valeur positive a permis de procéder à un échange économique	110
Figure 12 : Evaluation de la fiche idée Thermoélectricité rédigée mais inexplorée suite au DKCP....	112
Figure 13 : Evaluation du projet Thermoélectricité lors du jalon de lancement de l’étude de faisabilité – l’exploration a amélioré le score sur les enjeux mais a révélé une faible maturité des technologies et à diminuer l’incertitude de l’évaluation (<i>confidence level</i> plus élevé).....	112
Figure 14 : Evaluation du projet Caloduc lors du jalon de financement de l’étude de faisabilité	113
Figure 15 : Hiérarchie de l’engagement proposé par Sarah Tavel sur les médias sociaux (traduite de l’anglais).....	131
Figure 16 : Le modèle hook d’engagement des utilisateurs	131
Figure 17 : Engagement de Safran (acheteur) dans l’exploration stimulé par un centre de recherche (vendeur, noté CdR) dans le cas Thermoélectricité avant la période de recherche-intervention (1/2)	136
Figure 18 : Engagement de Safran (acheteur) dans l’exploration stimulé par un centre de recherche (vendeur, noté CdR) dans le cas Thermoélectricité avant la période de recherche-intervention (2/2)	136
Figure 19 : Evaluation classique de l’acheteur débouchant à un calcul négatif de la valeur mettant fin aux explorations lors du cas Thermoélectricité	137
Figure 20 : La fiche idée Caloducs avant l’engagement d’un vendeur.....	139
Figure 21 : Engagement d’un expert connaissant une technologie alternative (vendeur) dans l’exploration stimulé par le rédacteur de la fiche idée Caloducs (acheteur)	139
Figure 22 : L’échelle TRL de la NASA (source www.nasa.gov ou (Mankins 2009)).....	161
Figure 23 : L’échelle Technology Readiness Levels (TRL) comme critères d’évaluation dans les échanges Safran	162
Figure 24 : La promesse d’un programme sans risque en adoptant des technologies de TRL élevé dans (GAO 1999)	165
Figure 25 : Jalons et évaluations TRL dans les procédures d’ingénierie des systèmes des agences américaines et de la direction de l’innovation Safran en fonction des TRL exigés – les TRL interviennent dans les phases exploratoires (Les processus des agences américaines comportent un à trois jalons suivants que nous n’avons pas représentés, iS0 est le jalon de lancement d’études de faisabilité, iS3 est le jalon de lancement de programme de développement dans les sociétés)	168
Figure 26 : Modélisation adoptée pour analyser l’évaluation TRL à un premier niveau et établir un test précis pour chaque condition de l’engagement conceptif	174
Figure 27 : Modélisation de l’évaluation TRL et tests à réaliser concernant sa compatibilité avec l’engagement conceptif.....	183

Figure 28 : Modélisation d'une hypothétique évaluation TRL vérifiant les conditions de l'engagement conceptif produisant des expansions des technologies et des environnements – la théorie C-K ne permet pas d'explicitier les relations entre les acteurs donc la condition sur le concepteur de valeur collective n'est pas représentée.....	184
Figure 29 : Modélisation de l'évaluation TRL réelle qui ne produit pas d'expansion des environnements la rendant incompatible avec l'engagement conceptif – celle sur le concepteur de valeur collective n'est pas représentée du fait de l'absence de modèle relationnel dans la théorie C-K	193
Figure 30 : Chaines de valeur de chaque entreprise d'un système de valeur d'après Porter (1990) .	202
Figure 31 : Exemples d'architecture d'aéronefs limitant le découplage entre conception des ailes et des moteurs (un des concepts de l'étude p-plane en haut, Joby S2 en bas)	203
Figure 32 : Exemple de déplacement de la frontière Technologie-Environnement	203
Figure 33 : l'éclairage, un exemple d'expansion $\Delta T/\delta E$ (adapté de Cautela et Simoni (2014))	205
Figure 34 : L'exploration de la fiche idée frein froid issue des DKCP de la direction de l'innovation Safran, un exemple d'expansion $\Delta T/\delta E$	206
Figure 35 : Le raisonnement <i>technology push</i> - méthode D^4 (à gauche) et méthode <i>reverse inventing</i> (à droite) (Gillier et Piat 2008, Glaser et Miecznik 2009)	207
Figure 36 : le miroir temporel des ondes, un exemple d'expansion $\delta T/\Delta E$	209
Figure 37 : Exploration de la fiche idée Thermoélectricité issue des DKCP de la direction de l'innovation Safran, un exemple d'expansion $\delta T/\Delta E$ (1/2).....	210
Figure 38 : Exploration de la fiche idée Thermoélectricité issue des DKCP de la direction de l'innovation Safran, un exemple d'expansion $\delta T/\Delta E$ (2/2).....	211
Figure 39 : Expansions de la frontière Technologie-Environnement dans notre ontologie invariante à trois dimensions	212
Figure 40 : C-K du collectif concepteur de technologies (C-K T) dans le cas Thermoélectricité d'après la présentation donnée par un fournisseur lors d'un premier atelier séparant l'exploration des technologies de celle des environnements – aucun échange avec les concepteurs d'environnements à ce stade	217
Figure 41 : C-K du collectif concepteur d'environnements (C-K E) dans le cas Thermoélectricité d'après la présentation donnée par une société lors d'un premier atelier séparant l'exploration des technologies de celle des environnements – aucun n'échange avec les concepteurs de technologies à ce stade	218
Figure 42 : Eléments constitutifs d'un C-K T et d'un C-K E dans divers situations	219
Figure 43 : C-K sur les technologies (C-K T) obtenu lors de la rencontre de concepteur de technologies et de concepteur d'environnements organisée par la direction de l'innovation dans le cas Caloducs	220
Figure 44 : C-K sur les environnements (C-K E) obtenu lors de la préparation d'un atelier conception innovante organisée par la direction de l'innovation dans le cas Caloducs.....	221
Figure 45 : L'exemple d'opérateur $K_E \rightarrow C_T$ donnant le concept d'échangeur conformant	224

Figure 46 : L'exemple d'opérateur $K_T \rightarrow C_E$ donnant le concept de circuit de refroidissement pilotant les surfaces froides	225
Figure 47 : L'exemple d'opérateur $C_E \rightarrow K_T$ donnant le concept de technologies d'ailettes à géométrie variable	225
Figure 48 : L'exemple d'opérateur $C_T \rightarrow K_E$ donnant le concept chauffé par la chaleur excédentaire des équipements.....	226
Figure 49 : L'exemple d'opérateur $C_T \rightarrow K_E$ permettant un premier calcul de la valeur qui engagera les ressources dans l'exploration ultérieure pour élaborer le C-K E.....	227
Figure 50 : Supports de la réunion finale des explorations Frein froid et <i>Quick drop</i> (1/4) – ils sont fondés sur la théorie C-K sans distinguer d'invariant T ou E car ces explorations avaient lieu en début d'intervention.....	233
Figure 51 : Supports de la réunion finale des explorations Frein froid et <i>Quick drop</i> (2/4) – ils sont fondés sur la théorie C-K sans distinguer d'invariant T ou E car ces explorations avaient lieu en début d'intervention.....	234
Figure 52 : Supports de la réunion finale des explorations Frein froid et <i>Quick drop</i> (3/4) – ils sont fondés sur la théorie C-K sans distinguer d'invariant T ou E car ces explorations avaient lieu en début d'intervention.....	235
Figure 53 : Supports de la réunion finale des explorations Frein froid et <i>Quick drop</i> (4/4) – ils sont fondés sur la théorie C-K sans distinguer d'invariant T ou E car ces explorations avaient lieu en début d'intervention.....	236
Figure 54 : C-K E dont aurait pu bénéficier les explorations Freins froids et <i>Quick Drop</i> – séparer le raisonnement sur les environnements met en évidence d'autres aéronefs et d'autres équipements explorables à moindre coût car les compétences sont détenues par des sociétés Safran.....	237
Figure 55 : Forme des C-K utilisés pour engager successivement deux experts dans l'exploration Opérations air/sol qui partagèrent des connaissances importantes des technologies et permirent d'identifier une équipe experte des opérations aériennes chez Safran qui mobilisa ensuite ses ressources.....	238
Figure 56 : Brouillon d'arbre de C-K E transformé par les experts de 3 sociétés dans le cas Thermoélectricité (1/2)	239
Figure 57 : Brouillon d'arbre de C-K E transformé par les experts de 3 sociétés dans le cas Thermoélectricité (2/2)	240
Figure 58 : Brouillon d'arbre de C-K E transformé par les experts de 3 sociétés dans le cas Caloducs (le document a été modifié pour enlever son caractère confidentiel)	241
Figure 59 : Outil « arbre de valeur » recommandé à Safran pour que le pilote d'une exploration engage différents métiers dans l'exploration du value model d'un concept au stade de la créativité	242
Figure 60 : Canevas de conception de la proposition de valeur proposé par Osterwalder (2012) rempli avec un exemple de notre composition	242
Figure 61 : Méthodologie de cartographie des échanges marchands au sein d'un réseau de valeur en construction	243

Figure 62 : Les générateurs thermoélectriques, une technologie prétexte à différents niveaux d'engagement d'exploration de leur valeur dans différents environnements	246
Figure 63 : Les étapes de la méthode Pilotage de l'Exploration Par les Invariants Technologie et Environnement (PEPITE) afin de piloter la créativité du champ d'innovation au projet – elle est fondée sur la construction de la valeur par les expansions de la frontière Technologie-Environnement en fixant l'invariant Technologie ou Environnement	252

Liste des tableaux

Tableau 1 : Synoptique de la thèse	31
Tableau 2 : Les quatre situations dont rend compte notre modèle de l'échange intégrant l'inconnu – l'échange n'est réalisé que dans la première situation, les trois autres situations nécessitent des explorations pour parvenir à la première situation	49
Tableau 3 : Récapitulatif des limites des modèles d'échange de la littérature pour échanger dans l'inconnu	65
Tableau 4 : Les formalismes multi-acteur engendrés par la théorie C-K	80
Tableau 5 : Exemples de substrats techniques associés aux théories classiques	83
Tableau 6 : Figures d'acteur envisagées par les théories classiques.....	86
Tableau 7 : Philosophies gestionnaires des modèles des théories classiques	89
Tableau 8 : Cas empiriques mobilisés dans le manuscrit de thèse	99
Tableau 9 : Procédures d'évaluation de la maturité des technologies avec l'échelle <i>Technology Readiness Levels</i>	101
Tableau 10 : Synthèse des résultats proposés dans les parties suivantes	103
Tableau 11 : Phases des cas Thermoélectricité et Caloducs révélatrices d'une exception vis-à-vis des théories classiques	111
Tableau 12 : Evolution des arrangements sur les livrables du projet Innovation Thermoélectricité à mesure de l'exploration	116
Tableau 13 : Analyse des phases divergentes et convergentes du cas Thermoélectricité (1/2)	118
Tableau 14 : Analyse des phases divergentes et convergentes du cas Thermoélectricité (2/2)	118
Tableau 15 : Analyse des phases divergentes et convergentes du cas Caloducs (1/2).....	120
Tableau 16 : Analyse des phases divergentes et convergentes du cas Caloducs (2/2).....	120
Tableau 17: Différences dans la gestion d'attentes rationnelles et génératives - les secondes engagé des concepteurs (adapté de (Le Masson <i>et al.</i> 2011))	132
Tableau 18 : Evénements marquants dans le cas Thermoélectricité analysés pour établir les conditions de l'engagement conceptif.....	142
Tableau 19 : Evénements marquants dans le cas Caloducs analysés pour établir les conditions de l'engagement conceptif.....	143
Tableau 20 : Comparaison des concepts de récupération d'énergie.....	144
Tableau 21 : Tableau employé pour préparer l'atelier conception innovante dans le cas Caloducs – version de début de réunion c'est-à-dire sans les modifications apportées par les participants	145

Tableau 22 : Données empiriques mobilisées sur la composante substrat technique des conditions de l'engagement conceptif.....	146
Tableau 23: Données empiriques mobilisées sur la composante figure d'acteur des conditions de l'engagement conceptif.....	147
Tableau 24 : Données empiriques mobilisées sur la composante philosophie gestionnaire des conditions de l'engagement conceptif.....	149
Tableau 25 : L'échelle de <i>Business Readiness Levels</i> développé par la direction de l'innovation Safran (les définitions détaillées sont confidentielles).....	167
Tableau 26: Récapitulatif de l'évaluation TRL dans chaque procédure	181
Tableau 27 : Similitudes et différences entre les méthodes de conception <i>technology push</i> modernes et les <i>Technology Readiness Levels</i> - seules les premières génèrent des expansions des environnements	208
Tableau 28 : Exemples de concepts ayant bénéficié de retours d'experts inconnus	230
Tableau 29 : Le formalisme C-K T / C-K E, une contribution aux formalismes multi-acteurs de la conception – dans ce modèle la relation et l'objet échangé sont endogènes.....	272

Introduction

Sommaire de l'introduction

Positionnement et originalité de cette recherche	18
La vallée de la mort entre Recherche et Développement	18
Les échanges dans la vallée de la mort, une perspective originale	19
Le groupe Safran, un terrain propice à étudier ces phénomènes	20
Problématique, cadre théorique et méthodologie	21
La problématique d'échanger dans l'inconnu.....	21
Cadre théorique du raisonnement dans l'inconnu	22
Une recherche-intervention en partenariat CIFRE chez Safran	23
Thèse défendue et composition du manuscrit	24
Dans l'inconnu vendeur et acheteur s'engagent dans la conception de la frontière entre des technologies et des environnements.....	24
Composition du manuscrit - articulation des cinq parties	25

Ce manuscrit est un mémoire de thèse de doctorat en sciences de gestion. Nous l'introduisons en trois mouvements. Premièrement, nous présentons le positionnement de cette recherche dans la littérature et son ancrage empirique. Pour cela nous aborderons d'abord la notion de vallée de la mort entre Recherche et Développement, puis nous verrons qu'elle est peu étudiée dans la perspective de l'échange, enfin nous introduirons le terrain industriel pertinent que constitue le groupe Safran. Deuxièmement nous préciserons la problématique d'échanger dans l'inconnu, la nécessité d'un cadre théorique du raisonnement dans l'inconnu pour la traiter et l'intérêt d'adopter la méthode de recherche-intervention pour agir sur le terrain. Finalement nous synthétiserons notre thèse centrale et la logique argumentative en cinq parties de ce manuscrit.

Positionnement et originalité de cette recherche

Afin de positionner cette recherche dans la littérature nous abordons le manque de ressources que subissent les firmes pour innover appelé « vallée de la mort » entre Recherche et Développement. Nous présentons différentes approches du phénomène de vallée de la mort dans la littérature puis l'approche originale de l'échange adoptée dans cette thèse. Enfin nous présentons notre terrain de recherche à savoir la direction de l'innovation du groupe Safran, une entité organisationnelle créée pour enrayer ces phénomènes.

La vallée de la mort entre Recherche et Développement

Le transfert technologique de la recherche publique vers l'industrie ou des jeunes-pousses vers les grands groupes posent des difficultés majeures auxquelles la littérature de la fin des années 1990 fait référence dans la métaphore de la « vallée de la mort ». Markham (2002) employait cette même métaphore illustrée dans la Figure 1 pour décrire les difficultés que rencontrent les grands groupes industriels. L'auteur l'emploie pour suggérer que les entreprises disposent de ressources d'un côté de la vallée sous la forme d'expertise de recherche, de l'autre côté sous la forme d'expertise de commercialisation, mais subissent un manque de ressources entre les deux (Markham et al. 2010).

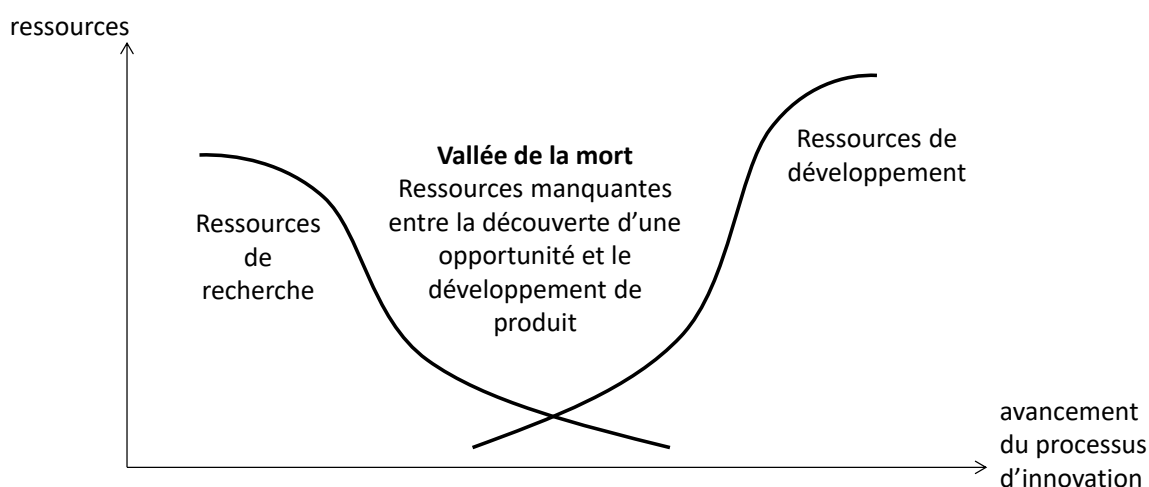


Figure 1 : Vallée de la mort entre Recherche et Développement (adapté de Markham et al. (2010))

Afin de traverser la vallée de la mort Markham (2002, 2004, 2010) souligne qu'il est nécessaire qu'un acteur s'empare du rôle informel de champion. Les champions sont des *leaders* informels qui émergent d'une façon erratique. Ils s'appuient sur des ressources critiques comme des experts et des sponsors. Les entreprises se dotent donc de dispositifs organisationnels rassemblant ces conditions. Par exemple les *fab labs* accélèrent le passage de l'idée au projet en donnant les moyens aux employés de rendre tangible leurs idées. Donc tout employé est invité à être champion de sa propre idée. Il peut accéder aux ressources du *fab lab* pour convaincre des sponsors avec un prototype. Par exemples on peut citer l'i-Lab d'Air Liquide, l'Innovation Hub de Thales, l'Atelier Innovation Service de Safran Aircraft Engines, le Creative Lab de Renault *etc.* En l'absence de *fab lab*, les employés accèdent parfois à des ressources de prototypage « en cachette » (Koch & Leitner 2008).

Le sponsor permet principalement d'obtenir un financement. Ainsi les grands groupes adoptent des structures d'investissement spécifiques à la vallée de la mort, par exemple l'*Innovation Nursery* du groupe Airbus (ancien EADS) (Steinhorst et Commin 2013), ou les directions de l'innovation de DCNS, RATP, SNCF, Valéo *etc.* Suivant la recommandation de Markham (2004), de telles structures adoptent des processus formels. Sur ce dernier point la recherche reste intense et les praticiens demandeurs de nouveaux modèles puisque les régimes d'innovation intensive continuent de s'accélérer (Midler, Minguet, Vervaeke 2009, pages 1 à 14).

Afin de produire des nouvelles connaissances sur ce phénomène qui a déjà été étudié, nous adoptons la perspective de l'échange.

Les échanges dans la vallée de la mort, une perspective originale

Dans la littérature, les approches de la vallée de la mort sont variées mais la logique d'échange n'est toujours qu'une conséquence secondaire des modèles et non pas le point d'entrée.

Une première approche de la littérature est de proposer des solutions organisationnelles aux difficultés de la vallée de la mort spécifiques à un secteur industriel (Aagaard et Gertsen 2011). Mais de nombreux principes sont valables dans de multiples secteurs. Les nouvelles technologies de prototypage comme la simulation numérique dans les années 1990 permettent de créer des nouvelles opportunités d'innovation (Thomke 2003). La formalisation du processus d'innovation pose des difficultés importantes dans les phases amont. Les modéliser comme un processus de décision requiert de considérer les échanges de connaissances aux interfaces entre l'environnement de l'entreprise et ses individus (Reid et Brentani 2004). Des approches à contre-pied de la formalisation des processus consistent à étudier le rôle informel que prennent les acteurs (Markham *et al.* 2010) ou à employer des jeux qui supportent les échanges de connaissances (Agogué, Levillain et Hooge 2015). Un autre objet d'étude est le contexte plus ou moins favorable que confère une entreprise à différents types de concepts, par exemple *market-pull* (usages, besoins du marché) et *technology-push* (technologies) (Elmqvist, Börjesson et Setterberg 2007). Ainsi les critères d'évaluation des idées préétablis nécessitent d'être régénérés pour permettre à des idées en rupture d'être développées (Elmqvist Segrestin 2007). Une autre recommandation consiste à intégrer dans un même processus

market-pull et *technology-push* dans les phases les plus en amont (Brem et Voigt 2009). La logique d'échange entre client et fournisseur étant bouleversée lorsque ces derniers participent à la conception, elle est un objet de recherche soit au niveau des échanges de connaissances (Le Dain et Merminod 2014) soit au niveau des échanges économiques aussi dits « marchands » (Midler, Garel et Kessler 1997). Cependant ces modèles se positionnent en phase projet, une fois la vallée de la mort passée car le projet dispose de ressources.

En conclusion la logique d'échange n'est modélisée qu'aux frontières de l'entreprise. Pourtant notre recherche s'ancre dans un terrain où la logique d'échange est prégnante au sein même de l'entreprise.

Le groupe Safran, un terrain propice à étudier ces phénomènes

Safran est un groupe de sociétés équipementières dans les secteurs de l'aéronautique et de la défense. Ces sociétés (filiales) sont dotées d'importants moyens de recherche avec des départements Recherche & Technologie (R&T) autofinancés à 64% ; elles déposaient 900 brevets en 2015. Elles comportent aussi un processus de développement structuré dans le référentiel programme du groupe afin de livrer les équipements dans les délais et les performances attendus, par exemple la propulsion des avions de ligne courts et moyens courriers de nouvelle génération.

En 2011, la direction de l'innovation du groupe est opérationnelle. Elle se positionne dans la vallée de la mort en pilotant des projets de démonstrateurs qui intègrent les technologies de pointe des départements R&T en préparation à un programme de développement à pleine échelle (Figure 2). La logique d'action est celle d'échange. Les sociétés dégagent un chiffre d'affaires au travers des programmes dont une partie est reversée à la direction de l'innovation via des cotisations. En échange, les sociétés reçoivent des concepts démontrés de la direction de l'innovation qui peuvent alimenter des nouveaux programmes. Mais ces démonstrations nécessitent des ressources humaines et des compétences. Elles sont empruntées aux départements R&T (pour la majeure partie) en échange de ressources financières cédées à nouveau par la direction de l'innovation.

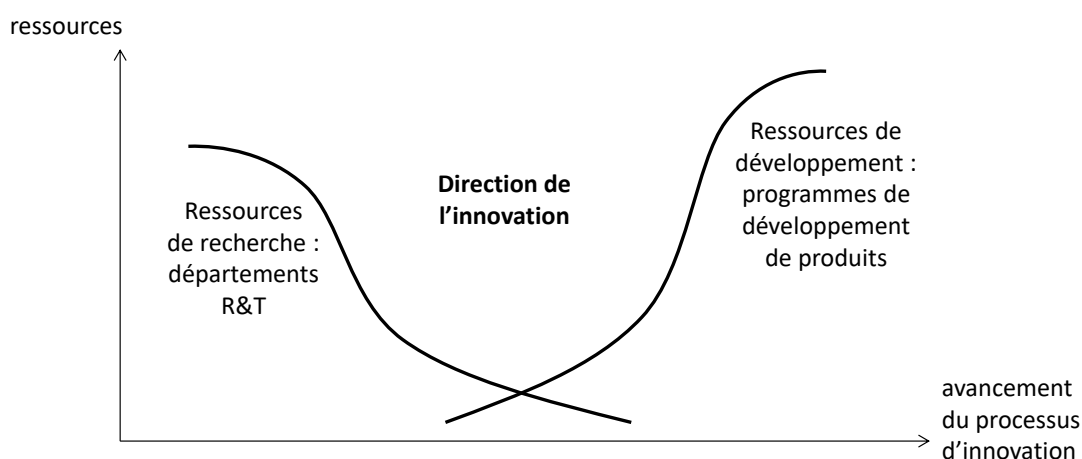


Figure 2 : Positionnement de la direction de l'innovation Safran dans la vallée de la mort

La direction de l'innovation Safran est donc un terrain en bonne adéquation avec notre positionnement et constitue une opportunité de recherche que nous détaillons à présent.

Problématique, cadre théorique et méthodologie

Nous avons décrit notre positionnement théorique sur les échanges dans la vallée de la mort des grandes entreprises et l'ancrage empirique de la thèse à la direction de l'innovation Safran. Leurs approfondissements simultanés mènent à identifier la problématique d'échanger dans l'inconnu. L'action collective nécessite alors une théorie du raisonnement dans l'inconnu et un cadre méthodologique adapté à l'action du chercheur sur celle-ci.

La problématique d'échanger dans l'inconnu

Les théories économiques sont fondées sur le modèle de l'échange marchand (Walras 1874, Servet 1993, Sapir 2002, Keen 2009). Il permet d'échanger des biens dont la nature est connue de tous les acteurs qui n'ont pas besoin d'avoir connaissance les uns des autres, limitant alors l'effort de coordination au prix (Testard 2001). Le calcul du prix est fondé sur les théories de la valeur à la fois anciennes et encore débattues (Orléan 2011, pages 28 à 33).

Lorsque l'objet échangé est en cours de conception, ce modèle présente la limite de ne pas tenir compte de l'effort de conception (Midler, Garel et Kessler 1997). Or ce biais est préjudiciable aux vendeurs qui perdent éventuellement leur investissement dans les pré-études nécessaires à répondre aux appels d'offre des acheteurs. Cependant, rémunérer l'acte de conception pourrait tourner à la défaveur des acheteurs par manque d'incitation à innover. Ainsi les échanges de la direction de l'innovation avec les sociétés du groupe Safran portent sur des produits dont la conception est en cours. Plus exactement, la direction de l'innovation pilote des projets de démonstrations de concepts afin de réduire les incertitudes empêchant les sociétés de les commercialiser. Mais un paradigme économique différent de l'échange de bien résout certaines limites théoriques, celui de l'échange de connaissances.

Les connaissances tacites ne s'échangent que via le marché du travail comme solution à leur mémoire, accumulation et transfert (Foray 2010, page 54). Par contre les connaissances explicites, c'est-à-dire ayant été codifiées dans un support, peuvent être échangées directement (Foray 2010). Cependant évaluer une connaissance, en fixer le prix, pose des difficultés théoriques majeures (Foray 2010, Teece 1998, Cañibano, Garcia-Ayuso et Sánchez 2000). Mais les entreprises parviennent tout de même à générer des bénéfices significatifs en cédant à l'extérieur des connaissances sous forme de licences ou de prise de parts dans la création d'une nouvelle entreprise (Chesbrough 2015). Inversement elles ont tout intérêt à offrir plus de valeur en faisant entrer dans leur frontière des connaissances extérieures. Précisément les projets pilotés par la direction de l'innovation Safran s'appuient sur les connaissances détenues par les sociétés mais aussi au-delà du groupe Safran. Par exemple les connaissances des clients tels que les compagnies aériennes ou les aviateurs sont très précieuses et nécessitent donc la participation de ces acteurs dans les projets. Des connaissances de

nouvelles technologies détenues à l'extérieur du groupe peuvent aussi avoir une valeur pour un projet dépassant les compétences détenues par le groupe. Ces connaissances réduisent les incertitudes ou les risques qui compromettent le développement d'un concept dans un programme.

Une autre façon d'employer des connaissances nouvelles ou provenant de l'extérieur consiste à formuler des concepts désignant des objets inconnus, qui n'existent pas encore. Bien qu'inconnus ils peuvent détenir des propriétés désirables leur conférant une valeur (Le Masson et Weil 2014). Les échanges de connaissances sont alors très utiles pour formuler des nouveaux concepts, mais sont-ils suffisants ? Est-il nécessaire à un acteur ayant formulé un concept de le partager afin d'obtenir des connaissances qui le rendront plus désirables ? Si c'est le cas comment cet échange doit-il être procédé et avec quels acteurs ? Ainsi la direction de l'innovation Safran, en plus de piloter des projets, pilote des dispositifs d'élaboration de nouveaux concepts à partir des connaissances de toutes les sociétés du groupe et de l'extérieur. Pour cela elle recourt à des concours d'idées, des démarches prospectives et à la méthode DKCP¹. En particulier suite à une démarche DKCP, l'action collective se fige : les fiches-idées sont laissées inexplorées, les échanges sont interrompus et elles semblent entrer dans une vallée de la mort. La direction de l'innovation risque donc de faillir à sa mission positionnée dans la vallée de la mort. La problématique à la fois académique et industrielle que nous traitons dans cette thèse est donc celle de l'échange dans l'inconnu : **quel modèle d'action collective pour échanger dans l'inconnu ?**

Pour traiter cette problématique, cette thèse adopte un cadre théorique adapté à l'inconnu.

Cadre théorique du raisonnement dans l'inconnu

Les théories classiques fournissent des modèles d'action collective dans l'échange que ne traitent pas l'inconnu ; elles sont donc limitées pour la problématique d'échanger dans l'inconnu. Ainsi l'échange marchand modélise l'échange d'un objet dont la nature est connue à des asymétries d'information près qui modifient le calcul de la valeur ; mais si l'objet est inconnu et requiert des apprentissages, ceux-ci ne peuvent pas être prescrits par ce modèle (Aggeri 2015). La décision dans l'incertain limite l'inconnu sur l'objet à des incertitudes progressivement réduites par une équipe projet permettant à chaque jalon d'obtenir un financement (Cooper 2006). Avant la mise en place d'une structure projet, la construction de la valeur aux interfaces entre l'environnement de l'entreprise, ses individus et son organisation n'est pas modélisée (Reid et Brentani 2004). La théorie acteur-réseau modélise l'enrôlement d'acteurs dans l'élaboration des échanges futurs avec des objets-frontières comme le modèle d'affaires, mais l'objet est pour cela largement connu, les échanges ne font que l'adapter aux contraintes locales (Eyquem-Renault 2011). Enfin le modèle divergence-convergence de la créativité modélise d'une part la génération d'un grand nombre d'idées par un nombre très variable d'individus

¹ *Definition Knowledge Concept Proposition*. C'est une méthode d'innovation souvent déployée à l'aide de consultants qui a été introduites par l'école des Mines et la RATP.

plus ou moins identifiés (divergence), et d'autre part la continuation des échanges pour les idées sélectionnées selon des critères connus (convergence) (Brown *et al.* 2010, Magnusson, Netz et Wästlund 2014).

Un modèle d'action collective pour échanger dans l'inconnu doit donc rendre compte du raisonnement des acteurs dans l'inconnu. La thèse se place alors dans le cadre des théories de la conception innovante, notamment la théorie C-K modélise la formulation de concepts inconnus et désirables relativement aux connaissances (Hatchuel et Weil 2002). Elles formalisent par des opérateurs les expansions des connaissances et des concepts. Cependant la théorie C-K traite le raisonnement d'un collectif unique. Or la perspective de l'échange requiert de distinguer au minimum deux acteurs. Les tentatives théoriques de modélisation à deux concepteurs se limitent à des acteurs connus (Szpirglas 2006, Gillier 2010) ou à la médiation par un environnement de travail (Kazakçı 2007). **L'enjeu pour les théories de la conception innovante est donc de parvenir à un modèle d'action collective qui génère non seulement des nouveaux concepts en explorant de nouvelles connaissances mais aussi des nouvelles relations entre des vendeurs et des acheteurs.** Pour cela la thèse construit un modèle qui s'appuie sur un mouvement de fond des théories formelles de la conception : elles construisent des adéquations entre des technologies et des environnements (Alexander 1964, Simon 1977, Shapiro and Voelcker 1989, Suh 1990, Braha et Reich 2003).

Une méthodologie permettant à la fois de produire de nouveaux modèles et de transformer la réalité des acteurs sur le terrain de la direction de l'innovation Safran est alors requise.

Une recherche-intervention en partenariat CIFRE chez Safran

Afin de produire des connaissances scientifiques et en même temps de venir en aide à l'entreprise Safran, la thèse nécessite une posture épistémologique permettant à la fois de modéliser la réalité des acteurs sur les terrains de recherche mais aussi d'agir sur cette réalité. Nous adoptons donc le cadre méthodologique de la recherche-intervention décrit par des auteurs comme Jean-Claude Moisdon (1984), Albert David (2000), Hatchuel et Molet (1986). Dans ce cadre méthodologique, la présence sans limite du doctorant dans l'entreprise grâce au statut CIFRE² facilite une collection abondante de données, l'élaboration collaborative des modèles avec les acteurs de terrain et l'expérimentation nécessaires à une recherche-intervention. Ainsi le doctorant a piloté l'exploration de cinq fiches-idées issues des DKCP dont deux ont abouti à une étude de faisabilité ; ce sont les explorations « Thermoélectricité » et « Caloducs ». L'exploration Caloducs est poursuivie en projet de démonstrateur au moment de l'écriture de ce manuscrit. Enfin un complément de données est trouvé dans les procédures d'agences gouvernementales américaines qui utilisent le même outil

² Convention Industrielle de Formation par la Recherche, la thèse en bénéficiait de septembre 2013 à septembre 2016.

d'évaluation de la maturité des technologies que Safran, à savoir l'échelle *Technology Readiness Levels*.

Les résultats intermédiaires de la thèse ont été mis à l'épreuve de la critique scientifique lors des conférences internationales IPDM³ en 2014, R&D Management, ICED⁴ et le SIG Innovation d'EURAM⁵ en 2015, enfin Publish-ed en 2016. Le présent manuscrit de thèse retravaille ces résultats en fournissant plus de détails sur les données empiriques et en employant des cadres formels plus précis. De plus il expose la thèse centrale défendue. A présent nous la résumons et exposons la logique argumentative du manuscrit pour la défendre.

Thèse défendue et composition du manuscrit

Les théories classiques étant inaptes à fournir un modèle d'échange dans l'inconnu, nous devons présenter une thèse alternative. Les théories de la conception innovante ne présentant pas de modèle à la fois de raisonnement dans l'inconnu et de relation, la thèse proposée doit fournir un enrichissement de ces théories. A présent nous résumons donc la thèse centrale défendue, c'est-à-dire l'idée nouvelle sur laquelle repose le modèle qu'élabore ce manuscrit, à savoir l'engagement de vendeurs et d'acheteurs dans la conception de la frontière entre des technologies et leurs environnements. Ensuite nous décrivons comment est composé le manuscrit pour élaborer ce modèle et démontrer cette thèse centrale.

Dans l'inconnu vendeur et acheteur s'engagent dans la conception de la frontière entre des technologies et des environnements

D'après les théories classiques, face à une proposition inconnue telle qu'une technologie prétendument innovante, les acteurs agissent en acheteurs en évaluant la technologie sur des critères qu'ils connaissent. L'effort de conception repose sur le vendeur de la technologie qui doit détenir les propriétés en adéquation avec les critères des acheteurs. Par exemple dans le cas Thermoélectricité avant l'intervention des chercheurs, l'exploration des applications dans les produits Safran de la technologie des générateurs thermoélectriques se terminait car elle présentait une évaluation négative sur le critère connu du bilan énergétique.

Or dans les expérimentations menées lors de cette recherche-intervention, les acteurs auparavant acheteurs agissent en concepteurs. En premier lieu les acheteurs agissent en concepteurs de nouveaux environnements des technologies (équipements de l'avion, architectures de l'avion...), mais de façon plus surprenante dans le cas le plus fructueux (Caloducs) ils agissent aussi en concepteurs de technologies (matériaux, échangeurs de chaleurs...). Réciproquement, les vendeurs

³ *International Product Development Management conference*

⁴ *International Conference on Engineering Design*

⁵ « *In-between* » *event of the Special Interest Group on innovation of the European academy of management*

concepteurs de technologies suggèrent des concepts d'environnements à explorer à leurs potentiels acheteurs.

L'aboutissement final de cette thèse est donc un modèle du pilotage de l'exploration d'une frontière conceptuelle entre des technologies et des environnements par un nouvel acteur, le « concepteur de valeur collective ». Ce type d'exploration lui permet de mettre en relation des acteurs pour concevoir cette frontière en prétextant des opportunités d'échanges marchands.

A présent nous présentons, comment est composé le manuscrit pour mener la démonstration de cette thèse centrale.

Composition du manuscrit - articulation des cinq parties

Ce manuscrit est composé de cinq parties. La première expose la problématique. La deuxième expose le cadre analytique et la méthodologie pour la traiter. Les parties suivantes présentent des résultats obtenus. La partie 3 fournit un composant du modèle d'action collective pour l'échange dans l'inconnu. La partie 4 emploie ces résultats pour tester l'outil dont dispose Safran et comprendre ses limites. La partie 5 présente nos résultats finaux. Ci-après nous synthétisons le contenu de ces parties.

Partie 1 – L'échange dans l'inconnu : limite des modèles d'action en situation d'échange dans les sciences sociales

Dans la partie 1, nous exposons l'ancrage empirique, le positionnement dans la littérature, la problématique de recherche et finalement son expression dans des questions de recherche. Nous commençons par présenter le groupe Safran et la direction de l'innovation. Elle a pour mission le pilotage de projets réalisant des échanges dans le connu mais de plus elle doit assurer le renouvellement de ces projets en formulant des concepts de nouveaux produits. Pour cela elle pilote des échanges dans l'inconnu sur trois terrains : les démarches DKCP, les concours d'idées et la démarche prospective. Cependant sur ces trois terrains la direction de l'innovation rencontre les difficultés respectives d'explorer les fiches-idées sélectionnées, d'obtenir des idées suffisamment élaborées et de sélectionner un grand nombre de champs d'innovation. Le chapitre 1 se conclut donc sur l'intention de modéliser ces échanges dont la gestion est différente du pilotage de projet.

Le chapitre 2 commence par proposer un modèle d'échange intégrant l'inconnu. Le modèle comprend le vendeur d'une technologie innovante et son acheteur qui procèdent à l'échange si la valeur est calculable et positive. La valeur est modélisée comme le résultat d'un calcul entre les propriétés de la technologie et les critères d'évaluation de l'acheteur. Ce modèle rend compte de quatre situations d'échange. Dans la première situation la valeur est calculable. Dans les autres situations, des propriétés de la technologie ou des critères de valeur ou les deux sont inconnus empêchant de calculer la valeur et donc de procéder à l'échange. Ensuite il dresse une revue de littérature des théories classiques évoquées précédemment qui établit leurs limites dans l'inconnu au regard de notre modèle d'échange. Nous revenons alors sur les terrains d'échange dans l'inconnu de la direction de l'innovation et nous confirmons qu'ils comportent les inconnus limitant les théories

classiques. Ce constat est plus prononcé pour les DKCP sur lesquels nous ciblons donc notre recherche-intervention. A ce stade la grille d'analyse suggérée par (Hatchuel et Weil 1990) permet de formuler des questions de recherche précises relativement à notre modèle

Q1 : Quel modèle d'action aux explorations de propriétés de la technologie et de critères d'évaluation rendant possible l'échange dans l'inconnu ?

Q2 : Quel substrat technique ?

Q3 : Quelles figures d'acteur ?

Q4 : Quelle philosophie gestionnaire?

Partie 2 – Cadre analytique et méthodologie pour construire un modèle d'action collective : apports des théories de la conception et de la recherche-intervention

Dans la partie 2, nous établissons un cadre analytique et une méthodologie pour traiter ces questions. Ainsi le chapitre 3 traite systématiquement chaque question de recherche en expliquant les apports de la conception innovante et en formulant une hypothèse de recherche. Concernant le modèle d'action, les théories de la conception innovante permettent de modéliser le raisonnement dans l'inconnu mais la relation entre vendeur et acheteur raisonnant dans l'inconnu est exogène à un ce modèle. La considération de l'ensemble des théories formelles de la conception permet alors de formuler **l'hypothèse d'un engagement de ressources (H1A) qui fournissent des expansions des connaissances des technologies et des environnements (H1B) en construisant la relation vendeur-acheteur (H1C)**. Concernant le substrat technique, la théorie C-K permet de diagnostiquer des effets de fixation⁶ d'outils et méthodes limitant l'exploration afin d'en proposer des nouveaux dépassant ces fixations. Nous formulons donc **l'hypothèse qu'il existe des substrats techniques qui préviennent la fixation et supportent l'exploration collective de l'inconnu dans la perspective de l'échange (H2)**. Concernant les figures d'acteur, des rares entreprises explorent temporairement la valeur générique des autres membres de réseaux complexes de valeur, de façon plus durable des collègues de l'inconnu organisent l'exploration collective. Nous formulons donc **l'hypothèse qu'un 3^{ème} acteur en plus de vendeur et acheteur est nécessaire à l'échange dans l'inconnu (H3)**. Concernant la philosophie gestionnaire, les théories classiques limitent à un calcul de la valeur sur le connu. Alors que l'identification d'inconnus-inconnus au mieux évite de dégrader la valeur, la philosophie mise en avant par les théories de la conception innovante consiste à créer de la valeur en régénérant ces dimensions. Nous formulons donc **l'hypothèse d'une philosophie inhibant le calcul spontané de la valeur éliminant ses dimensions inconnues (H4)**.

Le chapitre 4 décrit alors la méthodologie précédemment décrite pour explorer ces hypothèses. Il s'agit d'une recherche-intervention afin de proposer des modèles dont l'expérimentation bénéficiera directement à l'entreprise Safran, notamment à l'exploration de cinq fiches issues des DKCP. Deux d'entre-elles atteindront le stade d'étude de faisabilité dont une le dépassera. Les parties suivantes exposent et démontrent nos résultats sur chaque question de recherche (R1A, R1B, R1C, R2A...).

⁶ La fixation désigne « l'adhérence aveugle à un ensemble d'idées ou de concepts limitant les débouchés de la conception » (Jansson et Smith 1991)

Partie 3 – Elaboration d'un modèle d'engagement de ressources d'exploration dans l'inconnu : l'engagement conceptif

Les parties précédentes constataient que les fiches idées issues des DKCP Safran ne bénéficient d'aucune ressource pour les explorer car leur valeur est inconnue. La partie 3 établit le modèle d'engagement de ressources pour l'échange dans l'inconnu et ses conditions sur le substrat technique, les figures d'acteur et la philosophie gestionnaire. **D'abord le chapitre 5 constate après l'intervention que les fiches idées Thermoélectricité et Caloducs issues des DKCP ont bénéficié de ressources d'exploration bien qu'elles ne respectaient pas les conditions prescrites par les théories classiques** ; à savoir le surplus de valeur est connu (échange marchand), le concept est sélectionné suite à une évaluation positive (décision et créativité), un arrangement est stabilisé sur une dimension commune (acteur-réseau). **Nous étudions donc les théories de la conception innovante. Elles s'appuient systématiquement sur l'hypothèse que des ressources d'exploration nécessitent une promesse contractualisée qui n'est pas totalement vérifiée dans les cas Safran.**

Le chapitre 6 propose alors d'élaborer un nouveau modèle d'engagement de ressources à partir de l'hypothèse d'engagement conceptif émise par le modèle gestionnaire des attentes génératives. Il analyse avec la théorie C-K et le modèle de l'échange intégrant l'inconnu présenté au chapitre 1 des cas où des acteurs a priori vendeurs ou acheteurs s'engagent dans la conception de la valeur. **Nous définissons alors le modèle d'action collective d'engagement conceptif comme l'emploi d'une ressource (minimale) permettant d'engager des ressources supplémentaires en (1) explorant des dimensions de la valeur afin de leur conférer un statut logique positif et (2) identifiant des dimensions de la valeur inconnues (R1A).** Ensuite ce chapitre établit les conditions d'un tel modèle d'action collective sur la grille d'analyse de nos questions de recherche. Ainsi **des substrats techniques (Q2) supportant l'exploration collective des experts en prévenant des fixations anticipées sont nécessaires (H2 vérifiée).** Les cas incluent des brouillons de fiche idée, de tableau ou d'arbres de concepts de valeur client. Concernant les figures d'acteur (Q3) nous ajustons notre hypothèse de troisième acteur, **l'un des acteurs des collectifs vendeurs et acheteurs s'engage en avance de phase en vue de la préparation des échanges dans l'inconnu ; il est alors dit « concepteur de valeur collective » (R3A).** Enfin concernant la philosophie gestionnaire (Q4) nous affinons notre hypothèse d'inhibition du calcul sur des dimensions connues, **l'engagement conceptif nécessite d'abandonner la philosophie de « convergence décisionnelle » consistant à engager des ressources inaccessibles sur l'alternative de plus grande valeur au profit d'une « convergence générative » consistant à employer les ressources accessibles à augmenter la valeur de toutes les alternatives (R4A).**

A la fin de cette partie des limites subsistent. **La relation entre acteurs de l'échange (H1C) et le pilotage des expansions de connaissances des technologies et des environnements (H1B) restent exogènes au modèle.** De plus **nous possédons le cahier des charges du substrat technique mais il reste à fournir à Safran des outils systématiques et des méthodes reproductibles et pérennes (H2).**

Partie 4 – Technology Readiness Levels et engagement conceptif : compatibilité et limites

La partie 4 teste l'hypothèse que l'outil *Technology Readiness Levels* (TRL) employé pour engager des ressources chez Safran est adapté à l'échange dans l'inconnu. Le chapitre 7 propose d'abord de vérifier la pertinence d'étudier cet outil. **Dans le groupe Safran les TRL conditionnent les échanges entre recherche (R&T des sociétés), développement (programmes des sociétés) et conception innovante (direction de l'innovation).** Historiquement, les TRL apparaissent comme un langage de l'inconnu pour faciliter les échanges de technologies lorsque la conception du système est en cours. Les agences gouvernementales américaines (NASA, DOD, DOE) ont une à une adopté l'échelle TRL pour engager des ressources car elle fait la promesse d'un programme sans surcoûts ni retards. Leurs procédures recommandent d'employer l'échelle TRL au plus tôt dans les processus de conception. Elle est employée aussi dans les explorations Thermoélectricité et Caloducs. Ce chapitre confirme donc la pertinence d'étudier si l'application des TRL met en action l'engagement conceptif.

Le chapitre 8 met à l'épreuve les TRL en les soumettant aux conditions de l'engagement conceptif (R1A) afin de déterminer pourquoi il n'a pas permis aux fiches idées des DKCP de bénéficier de ressources. La condition de substrat technique non fixant (R2A) implique que nous vérifions que les technologies, leurs propriétés, les environnements et leurs critères d'évaluation de passage de TRL sont en expansion. **Or les procédures et le cas thermoélectricité avant intervention montrent que les TRL fixent les environnements et leurs critères d'évaluation.** La condition d'acteur concepteur de valeur collective (R3A) implique que nous vérifions que la figure centrale de l'évaluation TRL s'engage dans la préparation des échanges et que cette préparation est de nature conceptive de valeur collective. **Or la figure centrale de l'évaluation TRL prépare les échanges mais pas en concevant** puisque chaque partie de l'échange a des critères TRL préétablis. La condition de philosophie de convergence générative implique de vérifier que les participants de l'évaluation TRL ont pour but d'augmenter le TRL de chaque technologie pour tous les environnements. **Effectivement les procédures insistent pour que les technologies soient toutes évaluées jusqu'à obtenir leur plan de maturation au TRL 6 pour tous les environnements (prototypes du système en compétition).** Le chapitre 8 conclut donc que **l'outil d'engagement de ressources TRL n'a pas permis aux fiches idées issues des DKCP de bénéficier de ressources d'exploration car il induit la fixation des environnements et de leurs critères d'évaluation à tous les acteurs.**

A la fin de la partie 4, nous avons ainsi précisé que **le pilotage des ressources d'une exploration favorisant les expansions des environnements (H1B) est critique et pourtant lacunaire chez Safran.**

Partie 5 – L'engagement conceptif : moduler l'expansion par le rapport Technologie-Environnement

La dernière partie, la partie 5, élabore un modèle de la double expansion Technologie-Environnement dans lequel la relation entre acteurs est endogène ainsi qu'une méthode et des outils pour le mettre en œuvre.

Le chapitre 9 construit le modèle de la double expansion Technologie-Environnement (H1B). **Il définit la notion de « frontière Technologie-Environnement » comme la limite conceptuelle entre la technologie conçue par son vendeur et l'environnement conçu par l'acheteur de la technologie.**

Trois stratégies d'expansion de cette frontière sont montrées en étudiant des cas. Le premier type d'expansion consiste à étendre la chaîne de conception en fixant les technologies et les environnements. Ensuite, l'expansion des technologies correspond plutôt aux méthodes *market-pull* dont les TRL étudiés dans la partie précédente et est favorisée par la fixation des environnements. Enfin l'expansion des environnements correspond aux méthodes *technology-push* modernes, elle est favorisée par la fixation des technologies. **Ce chapitre définit ensuite le « formalisme C-K T / C-K E » comme modèle d'action à ces expansions (R1B)**. Il s'appuie sur la séparation du raisonnement dans l'inconnu sur les technologies de celui sur les environnements ce qui permet de rendre compte des conditions de l'engagement conceptif. Il offre deux classes d'actions. Dans la première, le collectif ne distingue pas de vendeurs et d'acheteurs, il élabore soit le C-K T (expansions des technologies) soit le C-K E (expansions des environnements) ; les échanges dans l'inconnu se modélisent alors par les opérateurs de chaque C-K. Dans la deuxième classe d'actions, certains acteurs sont concepteurs de technologies et élaborent le C-K T et d'autres sont concepteurs d'environnements et élaborent le C-K E ; les échanges dans l'inconnu se modélisent alors par des nouveaux opérateurs entre le C-K T et le C-K E que nous définissons. **Les cas démontrent que le formalisme C-K T / C-K E favorise des interdépendances entre technologies et environnements qui mettent en relation des nouveaux acteurs pour concevoir (R1C)**.

Le chapitre 10 fournit des outils et une méthode fondés sur le formalisme C-K T / C-K E. En premier lieu, il montre des outils limités par l'absence de pilotage de l'invariant Technologie ou Environnement comme les représentations réalistes et les diagrammes C-K classiques expérimentés lors des premières explorations. Ensuite il montre des expérimentations d'outils fondées sur le formalisme C-K T / C-K E. **Des représentations de l'arbre de concepts du C-K E permettent de consolider les fonctions d'une technologie dans des environnements variés, d'explorer des nouveaux critères d'évaluation et d'affiner le seuil de critères déjà identifiés. Basés sur ces résultats, nous proposons donc à Safran l'outil « arbre de valeur » (R2B)**. Deux autres outils permettent d'approfondir les connaissances des environnements. **Enfin nous proposons la méthodologie « Pilotage de l'Exploration Par les Invariants Technologie et Environnement (PEPITE) » qui comporte six étapes (R2)**. Les cas Thermoélectricité et Caloducs fournissent des démonstrations plus ou moins fidèles de ces étapes que nous résumons comme suit.

1/ Champ d'innovation : PEPITE démarre d'un concept inconnu, désirable, dont la valeur n'est pas calculable. Il est généré par la méthode DKCP dans les cas de cette thèse.

2/ Identifier des concepts de technologies et d'environnements : le concepteur de valeur collective édite un C-K T et un C-K E ou du moins génère séparément des idées de technologies et d'environnements.

3/ Identifier des experts de technologies et d'environnements : Il s'agit d'engager dans la conception de la valeur des experts qui en identifient d'autres éventuellement plus pertinents. Dans le cas Caloducs, l'outil support était un tableau séparant les environnements et les technologies.

4/ Atelier conception innovante : **la réunion des experts met en relation des concepteurs initialement vendeurs ou acheteurs (R1C)**. Dans le cas Caloducs, le concepteur de valeur collective prétexte des technologies à acheter et des besoins à satisfaire pour réunir les experts identifiés à

l'étape précédente. Pendant l'atelier tous les acteurs conçoivent une plus grande variété de technologies et d'environnements.

5/ Exploration des concepts consolidés : Chaque concept consolidé comme une adéquation entre des technologies et des environnements est exploré d'une part sur la valeur dans les environnements avec l'outil arbre de valeur et d'autre part sur la démonstration des technologies.

6/ Jalon de début de projet : le jalon de lancement d'étude de faisabilité peut être préparé pour les concepts consolidés restant.

A la fin de la partie 5 nous avons donc exploré l'ensemble de nos hypothèses de recherches. De plus la direction de l'innovation Safran n'est plus démunie pour enrayer le phénomène de vallée de la mort qui persistait pour les échanges dans l'inconnu au début de cette recherche-intervention. Cependant nous n'avons expérimenté que quelques outils et qu'une méthode parmi tous ceux et celles imaginables avec le formalisme C-K T / C-K E.

La conclusion générale fait une synthèse de nos résultats. Ensuite elle revient sur la littérature pour présenter les contributions les plus pertinentes que la thèse apporte. Elle présente aussi l'apport empirique pour Safran et les perspectives plus larges. Enfin elle propose des limites qui pour certaines ouvrent des perspectives de recherche.

Récapitulatif

Le tableau suivant récapitule une dernière fois l'articulation des cinq parties avant d'entamer la partie 1.

Questions de recherche Partie 1	Littérature classique Partie 1	Hypothèses Partie 2	Résultats		
			Partie 3	Partie 4	Partie 5
Modèle d'action pour échanger dans l'inconnu ?	Echange marchand ; Décision dans l'incertain ; Intéressement ; Divergence-convergence	Engagement de ressources générant les expansions T-E et la relation	« Engagement conceptif » de ressources d'exploration	L'échelle TRL modèle d'échange de technologies limité dans l'inconnu	Formalisme « C-K T / C-K E » des expansions et de la relation vendeur-acheteur
Substrat technique ?	Monnaies et marchés ; VAN, TRI, diagramme bulle ; Objets-frontières ; Techniques de créativité	prévient la fixation	L'engagement conceptif nécessite que le substrat technique prévienne la fixation	Application de l'échelle TRL fixe les environnements et leurs critères d'évaluation	« Arbre de valeur », « technologies et besoins prétextes », méthode « PEPITE »
Figures d'acteur ?	Vendeur, acheteur et intermédiaire ; Equipe projet et décideur ; Alliés et détracteurs ; Développeurs et utilisateurs	3 ^{ème} acteur ni vendeur ni acheteur	L'engagement conceptif nécessite un acteur « concepteur de valeur collective »	La valeur TRL n'est pas collective et n'est pas conçue donc pas de concepteur de valeur collective	concepteurs de technologies, concepteurs d'environnements et concepteur de valeur collective,
Philosophie gestionnaire ?	Utilité ; Réduction d'incertitude ; Négociation ; Production d'idées	Inhiber la tentation du calcul	L'engagement conceptif nécessite une philosophie de « convergence générative »	TRL converge de façon générative : augmente le TRL de toute T dans tous les E	Convergence générative des technologies et des environnements

*TRL désigne *Technology Readiness Levels*

Tableau 1 : Synoptique de la thèse

Partie 1 – L'échange dans l'inconnu : limite des modèles d'action en situation d'échange dans les sciences sociales

La partie 1 élabore nos questions de recherche. Elle présente la direction de l'innovation du groupe Safran, sa logique d'échange avec les sociétés (filiales) du groupe, et les difficultés qu'elle rencontre lorsque les échanges se positionnent dans l'inconnu. Ensuite la modélisation et la revue de littérature permettent de formuler quatre questions de recherche précises concernant la problématique d'échanger dans l'inconnu.

Sommaire de la partie 1

Chapitre 1 – La direction de l'innovation Safran, une solution organisationnelle à la vallée de la mort 35

Présentation du groupe Safran : un groupe doté de puissants moyens en Recherche et en Développement..... 35

Présentation de la direction de l'innovation, une solution organisationnelle à la vallée de la mort..... 36

L'héritage du programme AMPERES..... 36

La mission de la direction de l'innovation 37

Un modèle d'action construit sur une logique d'échange en difficulté..... 38

Deux DKCP aux débouchés compromis par l'arrêt des explorations 39

Deux défis, des concours d'idées trop peu collaboratifs..... 41

Prospective, la difficulté de la sélection à son paroxysme..... 42

Synthèse : la difficulté d'échanger dans l'inconnu 42

Détails sur les échanges dans le connu 43

La Recherche et Technologie (R&T) et les séminaires R&T..... 43

Les projets Innovation coordonnés sur le modèle de la commande de livrable 44

Conclusion de chapitre 1 : l'absence de modèle d'action face à l'échange dans l'inconnu 44

Résumé de chapitre 1 46

Chapitre 2 – Modélisation de l'échange, revue de quatre champs théoriques classiques se rapportant à ce modèle et questions de recherche 47

Modèle général de l'échange intégrant l'inconnu 47

Hypothèses du modèle 47

<i>Quatre situations d'échange dont rend compte le modèle</i>	48
Revue de littérature pour préciser le modèle de calcul de la valeur et des explorations le rendant possible.....	49
<i>L'échange marchand : absence d'exploration et possibilité d'un calcul sur le connu</i>	50
<i>La décision : du calcul sophistiqué au graphique synthétique pour réduire les incertitudes sur la technologie</i>	54
<i>L'acteur-réseau : l'échange rendu possible par l'adaptation mutuelle</i>	57
<i>Créativité : des explorations limitées par les hypothèses sur l'objet et ses utilisateurs</i>	61
<i>Synthèse : absence de modèle d'action adapté à des situations d'échange avec objet et/ou acteur inconnu(s)</i>	64
Les terrains de la direction de l'innovation Safran, des situations d'échange dans l'inconnu en difficulté avec les théories classiques	66
<i>DKCP, le terrain prioritaire pour une intervention</i>	66
<i>Défis, des données pertinentes et un modèle qui pourrait être amélioré</i>	67
<i>Prospective, l'adaptation dynamique des modèles existants peut suffire</i>	69
Questions de recherche	70
<i>La question centrale du modèle d'action pour l'échange dans l'inconnu</i>	70
<i>La question du substrat technique pour l'échange dans l'inconnu</i>	70
<i>La question des figures d'acteur pour l'échange dans l'inconnu</i>	70
<i>La question de la philosophie gestionnaire pour l'échange dans l'inconnu</i>	71
Conclusion de chapitre 2 : une insuffisance théorique sur le modèle d'action aux explorations préalables à l'échange d'une technologie innovante	71
Résumé de chapitre 2	72

Chapitre 1 – La direction de l'innovation Safran, une solution organisationnelle à la vallée de la mort

La vallée de la mort est une métaphore pour désigner le manque de ressources dans la phase transitoire d'un projet de la recherche au développement (Markham *et al.* 2010). Par ailleurs de plus en plus d'entreprises ne se contentent plus des départements Recherche et Développement afin d'organiser les activités de conception ; elles adoptent en plus une direction de l'innovation (Le Masson, Weil et Hatchuel 2010). **La logique d'échange ne fait pas l'objet de questionnements ou de débats académiques tant que le projet comportant une activité de conception est interne à la firme.** Dans les modèles actuels de l'activité de conception innovante, elle permet face à la vallée de la mort de renouveler des critères d'évaluation des projets (Elmqvist et Segrestin 2007, 2009). Il faut que l'activité de conception dépasse les frontières de la firme, pour que la logique d'échange réapparaisse, nécessitant alors une profonde révision du modèle dit marchand (Midler, Garel et Kessler 1997). La littérature gestionnaire propose alors des modèles de relation client-fournisseur qui évite la confrontation entre conception et échange en se définissant sur d'autres dimensions (Le Dain, Calvi et Cheriti 2010).

Ce chapitre montre un cas d'entreprise s'étant dotée récemment d'une direction de l'innovation et dont le modèle d'action collective est fondé sur une logique d'échange pour des projets qui restent internes à l'entreprise. Ce chapitre donne donc les éléments de compréhension de ce cas qui remet en cause les frontières des modèles théoriques d'échange marchand et les modèles de l'activité de conception innovante. Le cas montre que des modèles basés sur une logique d'échange se heurtent à des difficultés lorsque l'action collective comporte des inconnus ; il est donc propice à une recherche-intervention. En effet la recherche-intervention veut produire des connaissances à la fois scientifiques et utiles à l'action grâce à la modélisation (David 2000). Ce cas est l'entreprise Safran dans lequel nous menions une recherche longitudinale grâce au dispositif CIFRE⁷.

Présentation du groupe Safran : un groupe doté de puissants moyens en Recherche et en Développement

Le groupe Safran est né de la fusion entre Snecma et Sagem qui a été opérée en 2005. Snecma était alors décentralisée en douze filiales la plupart ayant des activités de recherche propres dites Recherche et Technologie (R&T), Sagem était centralisée avec un seul centre de recherche pour les télécoms ou la biométrie. En 2015, Safran comptabilise 64% de recherche autofinancée soit plus de 2 milliards d'euros et près de 12 % du chiffre d'affaires. Le groupe déposait 900 brevets prioritaires cette même année. En 2013, le groupe était le second déposant de brevets français (645). Le groupe

⁷ Conventions Industrielles de Formation par la Recherche. Il s'agit d'un mode de subvention de l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie (ANRT) accordant un statut de salarié au doctorant.

est apparu cinq fois consécutives dans le classement *Thomson Reuters Top 100 Global Innovators* (Snecma en 2011 et 2012 puis Safran en 2013, 2014 et 2015).

Actuellement le groupe Safran est à la fin du développement du moteur d'aviation commerciale Leap. Il est commercialisé par cfm, une entreprise codétenue à 50/50 par Snecma groupe Safran et par General Electrics. En juin 2014, le journal *L'usine nouvelle*⁸ résumait l'importance du programme à la fois pour le groupe et relativement à toute industrie.

« Comme le CFM 56, le Leap représentera dans quelques années 25 % du chiffre d'affaires du groupe » écrivait l'hebdomadaire citant le directeur général délégué aux opérations de Safran.

« Avec GE, Snecma va devoir produire dès 2019 l'équivalent d'un moteur d'avion toutes les cinq heures, soit 1 800 par an. [...] Afin d'y parvenir, Snecma et GE mettent en branle un réseau de plus de 300 fournisseurs directs. Au total, 50 000 personnes s'échineront à produire ce moteur. »

« Ces nouveaux investissements [appareil de production] pour GE et Snecma s'élèvent à 800 millions de dollar » précisait au journal Cédric Goubet, directeur exécutif de CFM International.

Au sein du groupe Safran, notre recherche-intervention se concentre sur la direction de l'innovation que nous allons présenter.

Présentation de la direction de l'innovation, une solution organisationnelle à la vallée de la mort

Nous présentons la direction de l'innovation en deux temps, d'abord sa genèse puis sa mission qui se positionne à la vallée de la mort.

L'héritage du programme AMPERES

AMPERES (Avion Modulaire Plus ElectRiquE Safran) était un programme chargé d'optimiser les architectures et l'intégration des innovations dans les futurs « avions plus électriques », notamment dans le domaine de l'ensemble propulsif, des trains, des commandes de vol et de la gestion de l'énergie (Safran 2010). L'avion plus électrique est un concept justifié par les potentielles réductions de la consommation en kérosène, du coût de possession et de l'impact environnemental des aéronefs.

Démarré en 2007, AMPERES était doté d'un budget central pour financer de nombreux projets de développement d'équipements « électrifiés » (assurant leur fonction avec de l'énergie électrique plutôt qu'anciennement hydraulique ou mécanique). Le programme était porté par la maison mère

⁸ *Leap, moteur de la filière aéronautique* Par Olivier James - Publié le 30 juin 2014, à 23h59 sur www.usinenouvelle.com

car la modification des architectures électriques des avions empêchait de travailler en silos équipementiers : les sociétés devaient coopérer dans des projets transverses.

Lorsque la direction générale de Safran souhaite doter le groupe d'une direction de l'innovation, le programme AMPERES fournit une base fondatrice. La direction de l'innovation est donc officiellement opérationnelle en 2011. Elle sera dotée d'une équipe de de 6 à 7 pilotes de projets sans compter le doctorant CIFRE qui endossa partiellement ces fonctions durant la période de recherche. La direction de l'innovation adopte un processus de pilotage au jalon des projets (stage-gate).

La mission de la direction de l'innovation

Initialement la mission de la direction de l'innovation était de « jalonner et de piloter le passage de la recherche technologique à la mise sur le marché d'équipements et de systèmes »⁹. Cette mission, positionnée sur la vallée de la mort mais aussi le Développement s'est rapidement détachée de la composante Développement. Jamais la direction de l'innovation n'interviendra pour obtenir la certification d'un équipement ou dans le marketing opérationnel par exemple.

La recherche-intervention¹⁰ a permis au doctorant de constater que la mission qu'attribuaient ses membres à la direction de l'innovation a évolué au cours du temps. Cette définition de la mission variait avec le portefeuille de projets en cours. Elle est constituée de trois composantes dont le poids est ajusté :

1. transversalité : les projets nécessitent et impliquent plusieurs sociétés,
2. *business* : les projets débouchent sur des produits adressant de nouveaux marchés et non pas de la technologie. Ainsi la direction de l'innovation est très attentive à l'élaboration du *value model*, c'est-à-dire l'ensemble de la valeur créée pour le client.
3. démonstration : les projets terminent de façon à poursuivre des développements de produit à plein échelle à moindre risque

Alors que l'approche *Techno-Push*¹¹ du programme AMPERES suscitait de nombreuses propositions de la part des sociétés, la direction de l'innovation basculant dans « la rencontre d'une idée avec un marché » doit étoffer son portefeuille comprenant initialement uniquement des projets hérités d'AMPERES.

La direction de l'innovation a une activité de pilotage de la créativité en vue de générer des projets qu'elle pourra piloter même si en parallèle des projets sont déjà en cours. Elle formalise cette mission comme étant d' « identifier sur les plans techniques et commerciaux des produits et services en rupture afin d'agrandir le périmètre d'activité du groupe ». Trois méthodes sur lesquelles nous revenons dans la section suivante sont employées à cette fin :

⁹ Extrait de l'ordre de mission initial de la direction générale.

¹⁰ Le doctorant participait aux réunions de service et était chargé d'une synthèse mensuelle sur les projets.

¹¹ Nous employons les termes du directeur de l'innovation. La thèse développera une vision critique de cette interprétation de la notion de Techno-Push.

- La méthode DKCP (*Definition, Knowledge, Concept, Projects*) qui génère une stratégie de conception innovante et des projets est employée l'hiver 2012-2013.
- Les « défis » qui sont des concours d'idée ouvert à un réseau de participants définis ; le premier commence au printemps 2013.
- La prospective qui génère des scénarios d'évolution tendancielle ou en rupture de la mobilité aérienne mondiale ; elle démarrait plus tard début 2014.

De début 2014 à début 2015 peu de concepts sont en cours de maturation vers le premier jalon de lancement de projet alors que les sociétés du groupe sollicitent la direction de l'innovation pour financer plusieurs projets par ailleurs. Ces projets sont stratégiquement pertinents mais impliquent rarement plusieurs sociétés. Nous constaterons alors durant cette phase que le facteur de risque pour la stratégie de la société demandeuse prend le dessus dans l'appréciation des projets sur le critère de transversalité (comme il l'était à l'époque d'AMPERES). Sans faire l'objet d'une nouvelle formalisation, ses membres se réfèrent à la dimension du risque pour évoquer la mission de la direction de l'innovation.

Dans une dernière phase terminant début 2016, trois projets issus des DKCP sont financés par la direction de l'innovation. Le contexte organisationnel favorise une réduction du portefeuille de projet de la direction de l'innovation. Les projets non transverses en priorité, puis les projets non débouchant à court terme dont deux issus des DKCP sont alors arrêtés. La mission de la direction de l'innovation est ensuite redéfinie pour céder le pilotage des projets en cours aux sociétés. Pour ces projets et ceux à venir au sein des sociétés, elle pilotera des *Proof Of Concept (POC)*. Ce sont des démonstrations non pas de l'ensemble d'un nouveau produit mais de « briques » critiques. Cependant elle conserve la dimension identification de nouveaux produits et adoptera donc une méthode et des outils issus directement de cette recherche.

Connaissant la mission de la direction de l'innovation, il nous faut préciser le modèle d'action collective qu'elle adopte pour la conduire.

Un modèle d'action construit sur une logique d'échange en difficulté

La figure ci-après récapitule le modèle d'action de la direction de l'innovation basé sur les échanges avec la recherche et le développement. Les sociétés dégagent un chiffre d'affaires au travers des programmes dont une partie sert à cotiser à la maison mère. Le budget de la direction de l'innovation est donc issu de ces cotisations. En échange les sociétés reçoivent des concepts démontrés de la direction de l'innovation qui peuvent alimenter des nouveaux programmes. Mais ces démonstrations nécessitent des ressources humaines et des compétences. Elles sont empruntées aux départements R&T (pour la majeure partie) en échange de ressources financières cédées par la direction de l'innovation.

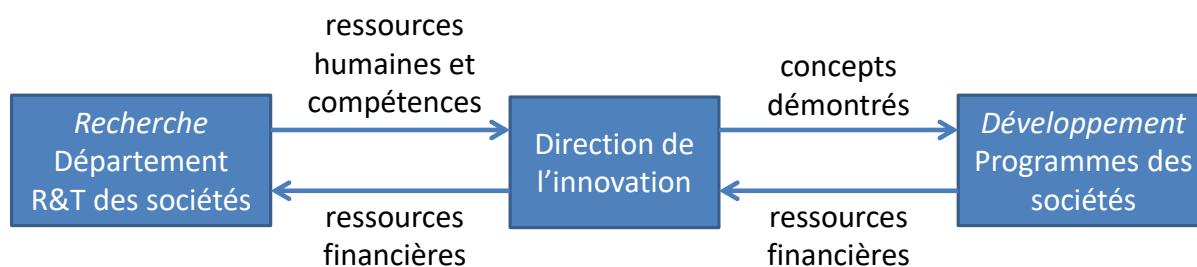


Figure 3 : Schéma d'échanges entre la recherche, la direction de l'innovation et le développement¹²

Si ce modèle est tout à fait fonctionnel dans les phases projet, sa mise en place lors de l'identification et la construction de nouveaux projets posent des difficultés majeures. Dans les prochains paragraphes, nous revenons donc sur le déploiement des méthodes DKCP, défis et prospective déjà évoquées pour remplir la mission de génération de projets de la direction de l'innovation Safran.

Deux DKCP aux débouchés compromis par l'arrêt des explorations

Nous présentons d'abord la méthode DKCP en toute généralité puis la difficulté rencontrée par la direction de l'innovation Safran pour explorer des propositions inconnues une fois l'intervention des consultants terminée.

Présentation de la méthode DKCP

DKCP est une méthode de mise en pratique de la conception innovante dans les entreprises en général déployée par des consultants¹³. Elle génère des concepts en rupture porteurs de potentielles nouvelles lignées de produits dits « champs d'innovation ». La méthode est née de la généralisation par les chercheurs de l'école des Mines de séminaires conduits à la RATP qui lui donnèrent le nom KCP pour *Knowledge, Concept, Propositions*¹⁴. Le Masson, Weil et Hatchuel (2014) expliquent que c'est une « linéarisation » de la théorie C-K (voir chapitre 3 p77 du présent manuscrit pour une présentation de cette théorie) ; le nom de la méthode correspond à ses trois phases. Dans la phase K, les acteurs partagent des connaissances afin de préparer l'émergence de concepts novateurs. Dans la phase C, les acteurs génèrent des concepts originaux à partir de concepts « projecteurs ». Dans la phase P, ils élaborent et agrègent ces concepts en une stratégie de conception.

Les lettres DKCP désignent les phases de la méthode : *Definition, Knowledge, Concept, Projects*. En effets des entreprises comme la SNCF¹⁵ ou des consultants explicitent la phase de définition tant elle

¹² Ce schéma fut élaboré en deux temps. D'abord durant le mois de novembre 2013 une collaboration du doctorant avec les membres de la direction de l'innovation déboucha sur plusieurs schémas assez complexes. Le présent schéma a été proposé par le doctorant et a été validé par la direction de l'innovation lors de sa finalisation à l'écriture de ce manuscrit.

¹³ Le doctorant a eu l'occasion d'interagir avec neuf consultants dont trois impliqués chez Safran.

¹⁴ Le doctorant a eu l'occasion d'interroger le responsable en charge à l'époque, George Amar, que pour la lettre d'information de la chaire Théories et Méthodes de la Conception Innovante.

¹⁵ Sollicité pour un support méthodologique de l'exploration, le doctorant accompagnait une des sociétés du groupe qui se rendait dans les bureaux de la SNCF pour prendre connaissances de leur expérience sur les DKCP.

est critique. Cette phase définit le thème, les connaissances explorées en phases K et identifie les membres du collectif. D'après Arnoux (2013, p216) ce dernier comporte une équipe d'animation, un groupe de travail (phase P), un groupe de travail élargi (phases K et C) et un comité de pilotage. La SNCF ajoute à cette liste un sponsor, on peut considérer qu'il s'agit du président-directeur dans le cas de Arnoux (2013, p180). En renommant la phase P « projets », la méthode bénéficie d'une meilleure visibilité puisque les entreprises reconnaissent le management de projet qu'elles pratiquent abondamment. Cependant, un entretien avec un consultant nous indiquait que parvenir à organiser des projets est une étape supplémentaire conséquente par rapport à la formulation de propositions. En effet, dans le cas de la société du groupe Safran Turbomeca¹⁶ une telle transition organisationnelle s'étala sur deux années¹⁷ et nécessitait un nouveau modèle théorisé par Arnoux (2013). D'après l'auteur, la phase P élargissait le collectif Turbomeca à d'autres sociétés du groupe Safran afin d'intégrer des nouvelles connaissances (p226). Les DKCP pilotés par la direction de l'innovation intégraient toutes les sociétés du groupe dès les phases K. Nous présentons ces DKCP dans le paragraphe suivant et les difficultés qu'ils présentèrent.

La difficulté d'explorer les propositions issues des DKCP pilotées par la direction de l'innovation Safran

Dans une première phase de cette recherche d'octobre 2012 à février 2013, la direction de l'innovation pilotait deux DKCP impliquant 25 et 39 participants du personnel Safran et 10 membres de l'équipe de pilotage composée par moitié de consultants.

Dans une deuxième phase d'avril 2013 à début 2014, des concepts issus du DKCP sont explorés pour qu'ils atteignent la maturité exigée au premier jalon de financement des projets de démonstration. L'équipe de pilotage des DKCP a été dissoute et l'intervention des consultants a pris fin. Pour un concept donné, très peu de participants voire aucuns ne sont identifiés comme compétents sur un concept. L'organisation ne suit aucun schéma existant, elle fait justement l'objet de l'intervention des chercheurs.

Entre ces deux phases, Safran faisait face à une interruption totale des explorations. En février 2013, la réunion de tous les participants clôturait l'intervention des consultants et de l'organisation de type DKCP. Elle exhibait aussi 15 concepts qui pourraient devenir des projets de démonstration. Sur chaque concept des responsables d'équipes de recherche validaient la volonté d'affecter des ressources aux concepts afin de prendre part aux projets. Chaque concept s'est donc vu affecté un pilote et devait de plus faire l'objet d'une fiche idée standardisée. Un outil collaboratif intranet était créé afin de faciliter l'élaboration collective de ces fiches idées mais il ne fut pas utilisé et les

Auparavant il assista aux présentations qu'elle donnait dans le cadre de la chaire TMCI et de l'option Ingénierie de la Conception (IC) de l'école des Mines.

¹⁶ Désormais Safran Helicopter Engines.

¹⁷ D'après un entretien du doctorant avec le responsable de Turbomeca, de plus Arnoux (2013) évoque : « En résumé, la méthode collaborative de conception innovante a amené une trentaine de personnes à collaborer sur un sujet de conception innovante de l'entreprise de mars 2009 à novembre 2011. » (p227)

fiches furent au mieux rédigées par leur pilote seul. 1 fiche faisait déjà l'objet d'un projet mais fut rédigée à titre d'exemple, 1 fiche fut rapidement portée à un nouveau projet et 2 rattachées à un projet existant mais dans les deux cas les projets sont portés par une seule société, 1 fiche fut rajoutée proactivement par une société et fera l'objet d'un projet rapidement aussi, 3 fiches ne furent ni rédigées ni explorées ensuite, 8 fiches furent rédigées mais restèrent ensuite à l'abandon jusqu'à l'intervention du doctorant en avril 2013¹⁸.

Notre recherche-intervention porte principalement sur les idées issues des DKCP. Cependant le dispositif CIFRE permet de collecter des données supplémentaires sur les défis qui montrent une difficulté un peu différente, celle de l'élaboration des idées générées.

Deux défis, des concours d'idées trop peu collaboratifs

Présentation des défis

En complément des DKCP, la direction de l'innovation lança un défi à un réseau de 300 salariés de diverses sociétés du groupe. Ils étaient invités à produire le plus d'idées possible sur un thème donné, certaines seraient sélectionnées par la direction de l'innovation sur les critères de l'implication de plusieurs sociétés, de l'originalité, de la faisabilité, de la valeur pour les clients de Safran et enfin de la pertinence vis-à-vis du thème. L'exercice fut répété en 2015 sur un autre thème.

La difficulté d'obtenir des idées suffisamment élaborées

Une fois qu'un certain nombre d'idées a été soumis de façon masquée, la direction de l'innovation a rendu visible les idées à tous les participants afin qu'il y ait élaboration collaborative sur la plateforme intranet. Cela a échoué car il n'y eut aucune interaction dans les deux défis¹⁹. La direction de l'innovation a ensuite procédé à l'évaluation et la sélection.

Pour le premier défi, 10 idées furent sélectionnées. Elles ont été regroupées en deux thèmes et une réunion de type atelier créatif a été organisée pour chaque thème. Elles comprenaient des participants et des membres de la direction de l'innovation dont le directeur et le doctorant²⁰. Suite à cela une idée fut portée à un projet de démonstration. Elle avait été brevetée par son auteur et faisait preuve d'une élaboration nettement supérieure. Les autres idées préconisaient l'usage de technologies sans décrire un produit ou décrivaient un produit dont la faisabilité était très rapidement remise en question.

Pour le deuxième défi, aucune idée ne fut retenue. Le contexte donnant à ce défi une priorité moindre que le précédent ne favorisait pas l'organisation d'ateliers créatifs. Cependant, une fois le

¹⁸ Ce portefeuille est analysé dans la partie 3.

¹⁹ Pour le deuxième défi, le doctorant avait proposé un processus afin de favoriser l'élaboration collaborative contenu des résultats déjà obtenu à cette époque. Ce processus avait été amélioré au cours de plusieurs réunions avec des membres de la direction de l'innovation. Il ne put être expérimenté faute de moyen informatique et de ressources humaines et n'est donc pas présenté dans ce manuscrit.

²⁰ Ces réunions seront analysées dans la partie 5.

contexte stabilisé, le doctorant obtenait confirmation qu'il n'y avait pas lieu de poursuivre l'exploration de ces idées qui n'étaient pas originales par rapport aux travaux de prospectives à l'origine de ce défi et décrits ci-après. Pourtant elles étaient parfois issues de séances de brainstorming internes aux sociétés organisées spécifiquement à l'occasion du défi.

Nous allons voir un dernier cas qui présente la difficulté de la sélection, celui de la prospective.

Prospective, la difficulté de la sélection à son paroxysme

Présentation de la démarche prospective

La direction de l'innovation menait une démarche de prospective sur le thème de la mobilité aérienne. De janvier 2014 à janvier 2015, la direction de l'innovation élaborait des scénarios prospectifs avec l'aide d'un cabinet spécialisé. Ils n'étaient pas considérés comme des prédictions de l'avenir mais comme les vecteurs propres de l'espace dans lequel définir la mobilité aérienne du futur. Ces scénarios rédigés furent ensuite condensés en courtes présentations comme supports à des réunions de type ateliers créatifs afin de générer des champs d'innovation. Les participants comprenaient du personnel des sociétés.

La difficulté de sélectionner des champs d'innovation

En mars 2015, plus de 300 champs d'innovation étaient considérés. Leur évaluation démarrait afin qu'une sélection restreinte soit explorée pour générer des projets. Les critères d'évaluation étaient élaborés pendant deux mois puis l'évaluation effective prenait un mois en impliquant six acteurs. Ces acteurs étaient compris dans la direction de l'innovation, la direction de la stratégie et la direction des affaires internationales (toutes trois de la société mère Safran). L'été 2015, la nouvelle direction de la R&T et de l'innovation prend connaissance des travaux et donne son soutien mais exige aussi que le processus soit plus formalisé. Début 2016, un tel processus est décrit et la sélection est recommencée en impliquant un panel de 45 personnes internes et externes au groupe.

Synthèse : la difficulté d'échanger dans l'inconnu

Ces trois terrains montrent que des premiers échanges précèdent les projets. Ils sont possibles avec les sociétés qui engagent des ressources dans les exercices de génération d'idées proposés par la direction de l'innovation (DKCP, défis et prospective). Cependant cet engagement est largement insuffisant à parvenir à des échanges ultérieurs correspondant aux phases projet. Une vallée de la mort réapparaît entre ces exercices de créativité et les phases projet à cause de l'inconnu. Pour la direction de l'innovation, il n'est pas possible de débloquer un budget sans disposer d'un minimum d'informations assurant sa bonne utilisation. Pour les sociétés, ces idées représentent un gain inconnu, il est donc difficile de leur dédier des ressources humaines qui sont déjà pleinement utilisées par les programmes et les travaux de R&T qu'ils suscitent. De plus les ressources humaines les plus compétentes à évaluer ou à élaborer une idée ne sont pas identifiées.

A ce stade, notre connaissance du terrain nous permet de signaler que la logique d'échange n'est pas la même dans l'inconnu (exercices de créativité et montages de projets) et dans le connu (projets établis).

Echanges dans le connu : structure projet dans laquelle des acteurs des sociétés opèrent des travaux financés par la direction de l'innovation dont le pilotage mène à la démonstration d'un concept pour son développement à pleine échelle par une société.

Echanges dans l'inconnu : élaboration collective d'idées qui comportent des inconnus empêchant la mise en place d'une structure projet tels que la valeur de l'idée ou la ressource permettant de l'évaluer ou de la faire progresser.

Encadré 1 : définition d'échange dans le connu et d'échange dans l'inconnu permise par une approche exploratoire du terrain

Afin de compléter cette définition et de mieux comprendre la logique d'échange, nous fournissons plus de détails sur les échanges dans le connu opérés par la direction de l'innovation.

Détails sur les échanges dans le connu

Nous décrivons des échanges procédés avec succès mais dont l'inconnu est moindre. D'abord nous décrivons les feuilles de routes de Recherche et Technologie (R&T) qui s'appuient sur des compétences existantes et des projets largement définis. Ensuite nous décrivons les projets Innovation pilotés par la direction de l'innovation et dont la logique d'échange est matérialisée dans des commandes de livrable.

La Recherche et Technologie (R&T) et les séminaires R&T

Une analogie aux terrains décrits auparavant mais dans le connu est d'après nous les séminaires R&T²¹ organisés par la R&T. Chaque société du groupe dispose de son propre département R&T. Il existe une direction de la R&T afin de répartir l'enveloppe budgétaire globale, d'éviter les travaux en doublon et enfin de favoriser les apprentissages d'une société vers une autre. Ce dernier objectif atteint son point culminant lors des séminaires. Il s'agit d'atelier d'une journée rassemblant des experts de toutes les sociétés sur un thème. Les experts présentent à tour de rôle des compétences techniques mises en œuvre et leurs limites puis identifient des feuilles de route technologiques communes. L'aboutissement est donc la définition des échanges futurs : le travail à fournir par les R&T des sociétés en échange des ressources financières de la direction de la R&T.

²¹ Plusieurs séminaires ont été organisés pendant cette recherche. Le doctorant a assisté à l'un de ces événements. Ils sont appelés TechDay mais ce terme désigne aussi des séminaires organisés par les achats avec des fournisseurs. Nous n'employons pas ce terme pour éviter la confusion.

Les projets Innovation coordonnés sur le modèle de la commande de livrable

Présentation générale des projets Innovation

L'échange dans l'inconnu produit des concepts de produits qui se voudraient ensuite démontrés dans les phases d'études de faisabilité, de définitions de démonstration puis de travaux de démonstration. A la fin des études de faisabilité, il ne doit plus subsister d'inconnus radicaux tels que la fonction du produit, les marchés adressables ou les technologies critiques mises en œuvre. Ces attributs définissant le produit étant connus, les ressources sont employées à la réduction des risques. Pour cela, chaque concept bénéficiant d'un budget de la direction de l'innovation fait l'objet d'une organisation de type projet : la direction de l'innovation est maître d'ouvrage, une société est maître d'œuvre. La société maître d'œuvre a une quantité de travail de démonstration importante et commercialisera le produit. Cependant, et c'est la caractéristique fondamentale des projets Innovation au début de cette recherche (voir mission de la direction de l'innovation ci-précédent), un projet Innovation nécessite des travaux d'autres sociétés du groupe impératifs à sa réussite.

La coordination des projets par des commandes de livrable

Ces travaux des sociétés impliquées font l'objet de livrables à fournir à la société maître d'œuvre. Elle-même formalise ses propres travaux dans des livrables. La définition des livrables permet de segmenter le budget alloué et de mettre en paiement les travaux réalisés dans le cadre du projet avec la plus grande justesse. Ainsi les livrables font l'objet d'une commande passée par la direction de l'innovation aux sociétés, ou des sociétés entre elles. Ce dispositif a largement fait ces preuves sur le critère de la bonne coordination des acteurs. Si nous l'observons dans le cas des projets Innovation, il était utilisé entre entités du groupe Snecma bien avant la fusion avec Sagem (voir la présentation du groupe).

Le modèle de l'échange marchand mis en difficulté

Comme le souligne la littérature sur le co-développement (Midler, Garel et Kessler 1997), un tel dispositif reste fondé sur le modèle de l'échange marchand alors qu'il s'agit moins d'échanger des biens que du travail de conception. De même chez Safran, les projets Innovation suivent le modèle de l'échange d'un livrable pour une contrepartie financière alors que la connaissance permettant de définir ce livrable est réduite. Une motivation importante de la présente thèse est donc que cette littérature a montré l'importance des révisions nécessaires au modèle de l'échange marchand sans parvenir à un nouveau modèle satisfaisant pour des inconnus plus radicaux comme les terrains de la direction de l'innovation Safran. Ces terrains sont donc l'opportunité scientifique de parvenir à un nouveau modèle mais aussi à sa réalisation sociale.

Conclusion de chapitre 1 : l'absence de modèle d'action face à l'échange dans l'inconnu

Nous avons décrit les difficultés rencontrées par la direction de l'innovation Safran dans sa mission d'identifier des produits en rupture. Elle nécessite de parvenir à définir les échanges entre la

direction de l'innovation et les sociétés alors que leur objet est inconnu. Ces difficultés mettent en défaut le modèle de l'échange marchand matérialisé dans le dispositif de commandes de livrable. Le prochain chapitre devra donc proposer un modèle révisant suffisamment celui de l'échange marchand pour rendre compte des difficultés liées à l'inconnu. Il devra aussi relire la littérature dans la perspective de ce nouveau modèle. Enfin il devra proposer des questions de recherche étant donné l'état de l'art et une méthode de recherche.

Résumé de chapitre 1

Le groupe Safran est un groupe de sociétés équipementières dans les secteurs de l'aéronautique et de la défense historiquement dotées d'importants moyens en recherche et en développement. En 2011, le groupe créait sa direction de l'innovation afin de piloter des projets de démonstration de produits à la charnière recherche-développement dits « projets Innovation ». **Ces projets établissent des échanges intermédiaires entre la recherche (départements R&T des sociétés) et le développement (programmes des sociétés) en positionnant la direction de l'innovation dans la vallée de la mort.**

Afin d'initier de tels projets, la mission de la direction de l'innovation incorpore l'identification des produits en rupture afin d'agrandir le périmètre d'activité du groupe. Elle s'est déclinée en trois terrains : deux DKCP, deux « défis » (concours d'idées internes), et une démarche prospective. **Ces terrains réalisent des premiers échanges limités. Les DKCP débouchent sur des fiches idées mais l'exploration s'interrompt et la majorité de ces fiches stagnent immédiatement après leur rédaction.** Les défis rencontrent des difficultés à générer des idées élaborées. La démarche prospective fait face à la difficulté de sélectionner parmi un grand nombre de champs d'innovation. Les projets de démonstrateurs procèdent des échanges dans le connu. Pour caractériser DKCP, défis et prospective, **nous définissons les échanges dans l'inconnu comme l'élaboration collective d'idées qui comportent des inconnus empêchant la mise en place d'une structure projet. Ces inconnus portent sur la valeur de l'idée ou la ressource permettant de l'évaluer ou de la faire progresser.**

Pourtant il existe des dispositifs de définition et d'opération des échanges avec les sociétés (séminaires R&T, commandes de livrables) mais dans les faits ils ne fonctionnent que lorsque l'inconnu est moindre. Les échanges en phase projet restent fondés sur des échanges marchands alors que la littérature mettait en perspective des difficultés de ce modèle lorsque la conception est en cours. Il est donc nécessaire de modéliser ces phénomènes d'échange en rendant compte des difficultés introduites par l'inconnu.

Chapitre 2 – Modélisation de l'échange, revue de quatre champs théoriques classiques se rapportant à ce modèle et questions de recherche

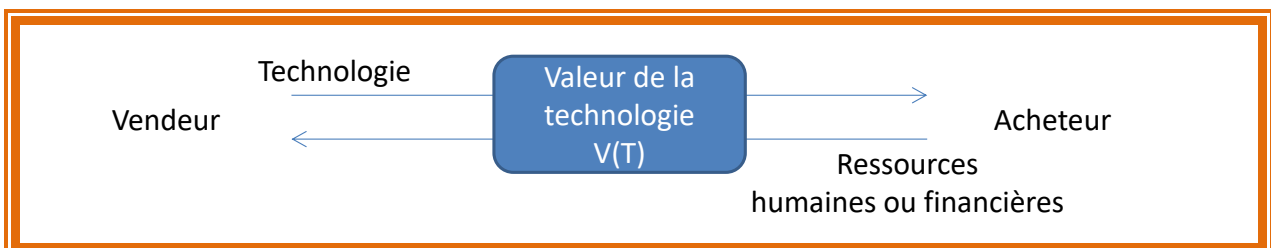
Dans le chapitre précédent nous mettons en avant les difficultés rencontrés sur trois terrains d'échange dans l'inconnu pilotés par la direction de l'innovation Safran. Dans la logique de la recherche-intervention²², ce chapitre propose une modélisation afin de caractériser ces difficultés et donner un nouveau cadre aux acteurs pour penser l'action collective dépassant ces difficultés. Cette modélisation donne une grille de lecture pour chercher dans la littérature les contributions théoriques les plus pertinentes pour caractériser les terrains d'échange dans l'inconnu Safran.

Modèle général de l'échange intégrant l'inconnu

Dans le but de caractériser les difficultés à échanger dans l'inconnu rencontrées par Safran, nous proposons de modéliser le phénomène d'échange dans l'inconnu. Nous décrivons les hypothèses du modèle puis les situations d'échange dont rend compte le modèle en conséquence.

Hypothèses du modèle

Notre modèle d'échange (voir encadré suivant) comprend deux acteurs : le vendeur et l'acheteur d'une technologie. Vendeur et acheteur peuvent être respectivement des départements R&T des sociétés et de la direction de l'innovation, ou de la direction de l'innovation et des programmes conformément aux échanges chez Safran. On considère qu'il y a échange si et seulement si deux flux sont réalisés entre ces acteurs : une technologie est cédée par le vendeur à l'acheteur et l'acheteur cède des ressources financières ou humaines en contrepartie. La notion de technologie est adéquate car les départements R&T exécutent le processus de démonstration technologique²³. De plus les concepts démontrés par la direction de l'innovation ne sont pas encore des produits. Le modèle se veut robuste à différentes natures de ressources engagées par l'acheteur : il peut financer le travail de l'acheteur ou bien mobiliser ses propres ressources humaines. L'échange est procédé si la quantité de ressources que doit engager l'acheteur est en adéquation avec le besoin qu'il a de la technologie ; l'échange est donc conditionné par la valeur de la technologie.



Encadré 2 : Hypothèses du modèle de l'échange intégrant l'inconnu adopté dans la présente thèse

²² Nous la définirons au chapitre 4

²³ D'après le référentiel Safran

La valeur est calculée en fonction des critères d'évaluation de l'acheteur. En décrivant la mission de la direction de l'innovation, nous avons décrit les critères transversalité, business et démonstration pour les projets Innovation. La prospective met en avant la difficulté d'élaborer des critères dans l'inconnu. DKCP et défis montrent plutôt une difficulté à élaborer des idées à évaluer. Nous tenons compte des deux phénomènes par le formalisme décrit dans l'encadré ci-dessous.

L'échange est conditionné par la valeur de la technologie

$V(T) > 0 \Leftrightarrow$ échange réalisé

$V(T) < 0 \Leftrightarrow$ échange avorté

$V(T)$ inconnue \Leftrightarrow action d'échanger indécidable, acquisition d'information nécessaire

On pose

$\vec{T} = \begin{pmatrix} P_p \\ \vdots \\ P_q \end{pmatrix}$ où les P_j désignent les propriétés de la technologie du vendeur.

$\vec{V} = \begin{pmatrix} V_n \\ \vdots \\ V_m \end{pmatrix}$ où les V_i désignent les critères de valeur pour l'acheteur.

La valeur est connue si et seulement si il existe au moins une dimension notée d commune à \vec{V} et à \vec{T} permettant un calcul de la forme $V(T) = f(V_d; T_d)$

Encadré 3 : Hypothèse sur la valeur conditionnant l'échange dans le modèle de l'échange intégrant l'inconnu adopté dans la présente thèse

Ayant décrit les hypothèses du modèle de l'échange adopté dans la présente thèse, nous pouvons décrire ses conséquences en termes de situations d'échange modélisables.

Quatre situations d'échange dont rend compte le modèle

En conséquence de ces hypothèses, quatre situations d'échange peuvent être distinguées. Nous les expliquons une par une puis nous précisons l'effet de l'exploration d'une nouvelle dimension ce qui généralise le modèle à des situations d'évaluations plus ou moins complexes.

Explication de chaque situation

Dans la première situation la technologie détient une propriété dans la même dimension que le critère d'évaluation de l'acheteur. La valeur est donc calculable et l'action d'échanger décidable.

Dans la deuxième situation, l'acheteur dispose de critères d'évaluation mais la technologie ne dispose d'aucune propriété. La technologie peut être radicalement inconnue et l'acteur vendeur non identifié.

Dans la troisième situation, le vendeur dispose d'une technologie mais l'acheteur ne dispose d'aucun critère d'évaluation. L'acteur acheteur peut être non identifié.

Dans la quatrième situation, les acteurs disposent d'une technologie avec des propriétés et des critères d'évaluation mais ils ne peuvent pas être exprimés dans une dimension commune permettant le calcul.

Le tableau encadré suivant récapitule ces situations.

situation	Statut de $V(T)$	Condition d'échange	Actions sur T et E
$\begin{Bmatrix} P_1 & V_1 \\ \cdot & \cdot \end{Bmatrix}$	décidable	Echange non réalisé tant que $V(T) < 0$	Adaptation endogène/exogène de du vendeur ou de l'acheteur
$\begin{Bmatrix} \cdot & V_1 \\ \cdot & V_2 \end{Bmatrix}$	indécidable	Evaluation impossible sans exploration	Le vendeur explore P_1, P_2 ou les deux
$\begin{Bmatrix} P_1 & \cdot \\ P_2 & \cdot \end{Bmatrix}$	indécidable	Evaluation impossible sans exploration	L'acheteur explore V_1, V_2 ou les deux
$\begin{Bmatrix} P_1 & \cdot \\ \cdot & V_2 \end{Bmatrix}$	indécidable	Evaluation impossible sans exploration	Le vendeur explore P_2 ou l'acheteur explore V_1 ou les deux

Le caractère « . » signale l'inconnu

Tableau 2 : Les quatre situations dont rend compte notre modèle de l'échange intégrant l'inconnu – l'échange n'est réalisé que dans la première situation, les trois autres situations nécessitent des explorations pour parvenir à la première situation

Effets de l'exploration d'une dimension supplémentaire

Enfin si le tableau précédent ne représente que deux dimensions, les situations réelles peuvent être plus complexes. Nous devons donc expliquer les conséquences de l'exploration d'une dimension supplémentaire dans chaque situation.

- L'exploration d'une dimension supplémentaire asymétrique, c'est-à-dire uniquement de la propriété d'une technologie ou uniquement de critère d'évaluation ne modifie pas le calcul.
- Si par contre les acteurs parviennent à explorer symétriquement une dimension supplémentaire,
 - dans la première situation, cela modifie le calcul à la fois dans la technique de calcul qui doit tenir compte de cette nouvelle dimension et dans le résultat
 - dans les autres situations, cela permet le calcul et donc rend l'action d'échanger décidable

Encadré 4 : Effets de l'exploration de dimensions supplémentaires dans notre modèle

Par analogie avec le raisonnement de récurrence en mathématique, notre modèle est donc valable pour des situations d'évaluations avec un grand nombre de dimensions.

Nous sommes donc dotés d'une modélisation de l'échange qui rend compte des difficultés rencontrées par Safran dans l'inconnu : explorer des nouvelles dimensions de la valeur et les intégrer dans un calcul. Nous proposons donc une revue de littérature à la recherche de contributions théoriques sur ces deux points.

Revue de littérature pour préciser le modèle de calcul de la valeur et des explorations le rendant possible

Nous concentrons nos efforts sur quatre champs théoriques des sciences sociales qui nous semblent les plus pertinents :

- L'échange marchand : c'est le modèle dans lequel le concept de valeur prend ses racines. Nous verrons que notre modèle présente des grandes similitudes avec l'échange marchand mais la différence majeure est que dans ce dernier l'exploration est exogène.
- La décision dans les processus d'innovation face à l'incertain : prendre la décision collective de procéder ou non à l'échange se jalonne pour étaler l'engagement de ressources à mesure que les incertitudes sont réduites.
- L'acteur-réseau en situation d'innovation : vendeur et acheteur ne sont pas des individus mais un réseau d'acteurs intéressés soit de vendre soit d'acheter.
- La créativité dans l'activité d'innovation : ce champ théorique préconise le modèle divergent-convergent afin de structurer l'échange d'idées par une phase de génération et une phase de sélection.

Nous allons donc revoir chaque champ en trois temps : d'abord sa présentation en faisant ressortir le modèle d'action collective, ensuite le calcul de la valeur du modèle, enfin les explorations de propriétés de technologies et de critères d'évaluation du modèle.

L'échange marchand : absence d'exploration et possibilité d'un calcul sur le connu

Le champ théorique de l'échange marchand est le fondement des sciences économiques. On y retrouve les théories de la valeur qui expliquent le phénomène de la valeur d'échange observé sur tous les types de marchés.

Présentation du modèle de l'échange marchand

Steve Keen (2009) explique que les marchés mondiaux actuels sont majoritairement organisés selon le modèle d'échange néo-classique proposé par Walras (voir figure ci-après). En témoigne aussi l'attribution récente du prix de la Banque de Suède en sciences économiques en mémoire d'Alfred Nobel à Jean Tirole (Aggeri 2015). D'après Léon Walras (1874, pages 48 à 49), un individu 1 possède un bien (A) et souhaite acquérir un bien (B), un autre individu 2 possède (B) et souhaite acquérir (A). Ce modèle correspond à celui proposé en début de chapitre si on considère (A) = *la technologie innovante* et (B) = *ressources humaines ou financières*. Les acteurs peuvent convenir d'un échange direct de (A) contre (B) à condition qu'ils aient connaissance l'un de l'autre et de leur désir d'acquisition. Cette condition forte est relaxée par l'introduction de marchés intermédiaires qui permettent à 1 d'acquérir (B) contre une somme d'argent P_b (achat) et de céder (A) contre une somme d'argent P_a (vente) et inversement pour 2. La monnaie est donc pensée comme un numéraire relaxant certaines contraintes de l'échange direct sans le dénaturer.

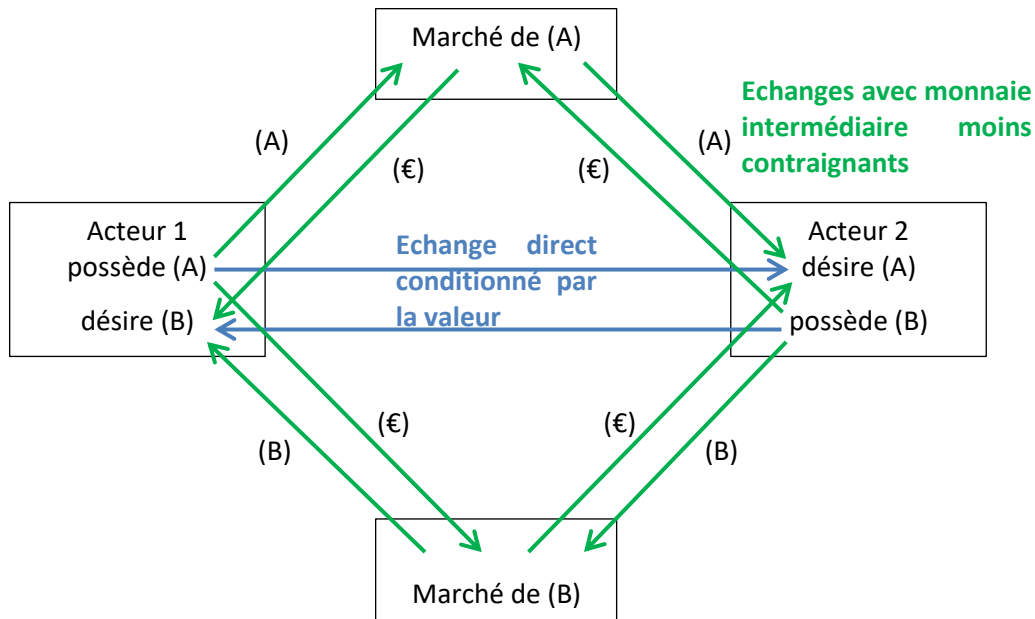


Figure 4 : Modèle de l'échange marchand dans la pensée économique néoclassique (standard), adapté de (Keen 2009 et Walras 1874)

Comme le rappelle Alain Testart (2001), l'échange marchand suppose que les acteurs sont déjà disposés à vendre et à acheter mais sont étrangers l'un à l'autre. L'auteur décrit donc l'échange marchand comme conditionné par les relations qu'ont les biens entre eux alors que l'échange non-marchand est conditionné d'abord par les relations d'amitié entre personnes. Mais en sociologie, anthropologie et économie de la régulation des auteurs soutiennent que cette modélisation de l'échange marchand entre acteurs inconnus est une dénégation erronée des rapports sociaux nécessaires à l'échange (Servet 1993, Sapir 2002, Orléan 2011). Les théoriciens classiques et néo-classiques de l'échange marchand fondent donc leur modèle sur l'échange direct selon deux hypothèses :

- la valeur d'un bien échangé est objective et intrinsèque à ce bien, cette hypothèse est appelée « valeur-substance » (Orléan 2011, pages 28 à 33) ;
- la monnaie naît des seuls inconvénients d'une absence d'intermédiaire lors du développement des relations marchandes, cette hypothèse est appelée « mythe du troc primitif » ou encore « fable du troc » (Servet 2001).

La première hypothèse s'inscrit dans les théories de la valeur. La notion de valeur permet d'exprimer la deuxième condition de l'échange direct : admettons qu'individus 1 et 2 se rencontrent, 1 n'acceptera de céder son bien (A) à 2 que s'il lui confère une valeur inférieure à (B) et inversement pour 2. Basée sur une valeur-substance comme la quantité de travail nécessaire pour produire les biens (Smith, Ricardo, Marks) ou leur utilité et rareté (Walras), 1 et 2 procéderont à l'échange unitaire que si (A) et (B) ont une valeur égale ou dans des quantités m de A et n de B qui maximisent l'utilité des parties de l'échange. Dans l'exemple néo-classique de Léon Walras, le rapport des valeurs est égal au rapport des raretés (Walras 1874, page 82).

Cette valeur-substance, intrinsèque et non pas subjective, détachée de toute monnaie, trouve ses fondements dans le mythe du troc. Jean-Michel Servet (2001) développe la thèse qu'en l'absence de théorie de la valeur, l'évaluation des contreparties échangées adoptait une approche monétaire²⁴, or la monnaie était l'instrument du pouvoir politique. Les théories de la valeur fondées sur l'échange direct permettent alors à la pensée économique qui aspire à une utopie égalitaire (valeur-travail) ou libérale (utilité et rareté) de penser un ordre social régi par les relations d'intérêts plutôt que par les relations hiérarchiques.

Par ailleurs, le mythe du troc perd de son crédit lorsque l'échange direct est dans des sociétés modernes (Sapir 2002, Taurand 1986). Jacques Sapir (2002) analyse sur la base de cas russes qu'il existe cependant un échange direct en dehors des crises inflationnistes, qui coexiste avec l'échange monétaire, et qui contribue à la thèse que la monnaie est incomplète dans ses fonctions et l'échange direct moins inefficace et obsolète que dans la pensée économique. De plus, Jean-Michel Servet (1993) se référant aux travaux de Karl Polanyi apporte l'argument que les anciennes civilisations d'Égypte, de Chine, de Mésopotamie et Inca avait développé une « économie en nature », basée sur l'échange direct, bien que la monnaie eut été connue.

Récemment, André Orléan (2011, pages 170 à 182) conceptualise la monnaie comme un bien dont la liquidité est supérieure plutôt que comme intermédiaire ce qui correspond à notre modèle.

Calcul de la valeur dans l'échange marchand

La valeur d'échange diffère de la valeur d'usage et là où Adam Smith et David Ricardo ne considèrent que la première pour modéliser l'échange, Karl Marx constitue sa théorie du surplus à partir de la dialectique entre les deux mais les confondra parfois de façon erronée afin de considérer la quantité de travail fourni dans la production du bien comme valeur absolue et objective (Keen 1993). Chez Walras une certaine subjectivité de la valeur est admise, appelée utilité marginale, cependant c'est un commissaire-priseur (initialement humain mais aujourd'hui informatique) qui annonce les prix une fois qu'il les a calculés de façon à satisfaire objectivement toutes les parties (Orléan 2011, pages 68 à 79). Nous pouvons donc souligner que l'échange nécessite que la valeur soit connue. Afin d'expliquer les phénomènes de capture et de création de la valeur, Bowman et Ambrosini (2002) fournissent une synthèse des théories de la valeur que nous reprenons dans la figure ci-dessous. Le surplus de l'acheteur est la différence entre la valeur d'usage et la valeur d'échange ; le surplus du vendeur est la différence entre la valeur d'échange et les coûts ; en l'absence de surplus connu un acteur refuse de procéder à l'échange. Dans notre modèle d'échange intégrant l'inconnu, une valeur positive indique que les deux acteurs perçoivent un surplus mais il ne détaille pas la répartition.

²⁴ Jean-Michel Servet citant Karl Polanyi explique que la civilisation égyptienne avait développé une économie basée sur l'échange direct adoptant des taux d'échange dit divins, puis au moyen-âge Saint Thomas D'Aquin se consacre au juste prix et enfin les fondateurs de l'économie en tant que science moderne comme Richard Cantillon utilisent « l'unité de compte, donc la monnaie » à défaut de théorie de la valeur.

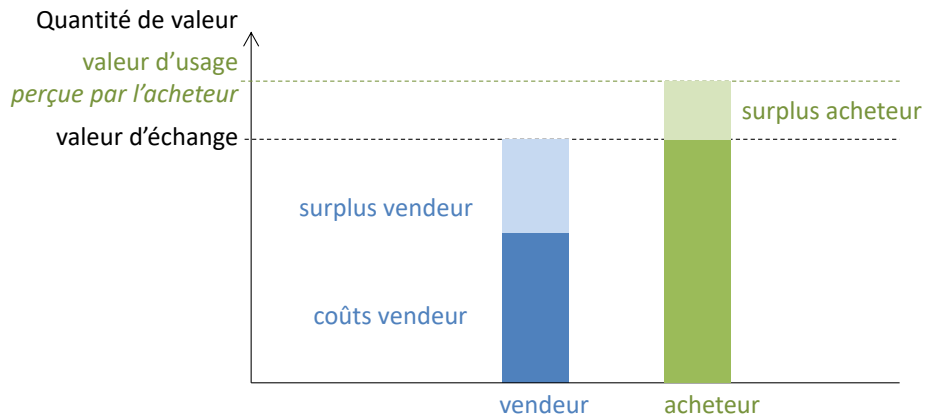


Figure 5 : Les théories de la valeur utilisées dans les sciences de gestion, adapté de Bowman et Ambrosini (2002) – les surplus des acteurs sont connus pour procéder à l'échange

Notre modèle est proche de celui du transfert technologique, plus généralement conceptualisé dans l'échange de connaissance. Les connaissances posent des difficultés supplémentaires au calcul de la valeur. Il est d'autant plus difficile d'attribuer un prix à une connaissance que le vendeur n'y renonce pas, que l'achat est unique et qu'une connaissance ne peut pas être évaluée sans avoir été acquise (Foray 2010, pages 14 à 15). La revue de littérature de Cañibano, Garcia-Ayuso et Sánchez (2000) établit que les connaissances d'une entreprise font partie des actifs intangibles qui doivent être pris en compte dans la valuation d'une entreprise nécessaire à son acquisition. Elles posent de grandes difficultés en comparaison aux actifs tangibles ; des nouvelles techniques de calcul sont donc nécessaires afin de réduire la différence entre les montants payés par les acquéreurs d'entreprises et leur valeur comptable. L'échange marchand nécessite donc que la valeur soit connue pour procéder à l'échange, mais cette connaissance peut faire l'objet d'erreurs constatées après l'échange.

Avant de pouvoir être échangée, une connaissance (technologique) doit être codifiée (hors transfert des personnes qui est encore plus coûteux) (Teece, Pisano et Shuen 1997). Le coût de codification d'une connaissance peut être significatif (Foray 2010). Si la codification d'une connaissance a un coût, une valeur doit le contrebalancer. Au sein de la firme, intuitivement les acteurs attachent plus d'importance à la connaissance créée par les succès dans l'incertain que par les échecs alors que cette deuxième a une valeur (Teece 1998). A l'extérieur de la firme, des externalités (contreparties) peuvent être engendrées. Celles-ci peuvent être pécuniaires (la majeure partie de la valeur est traduite en flux monétaire mais jamais la totalité à cause de la propriété de non-contrôlabilité de la connaissance) ou non (pas de compensation monétaire). Ces externalités correspondent à la contrepartie de l'acheteur lui permettant d'acquérir la technologie dans notre modèle (pécuniaire = financière, non pécuniaire = ressources humaines).

De même que la codification, la production de connaissances a un coût et étant donné qu'il est impossible de capter toute la valeur d'une connaissance, l'investissement est difficile à justifier. L'usage par ces acquéreurs doit donc être payant (Foray, page 65) ce qui peut être le cas dans notre modèle.

De même que les économistes classiques et néo-classiques ont recherché à objectiver la valeur des biens tangibles, Dominique Foray (2010) utilise la notion de *rendement social* afin d'objectiver la valeur des connaissances. Elle est le résultat du cumul de toutes les valeurs que les individus lui ont attribuées par association avec leurs propres connaissances. La valeur est donc connue de tous les acteurs de l'échange dans le modèle de l'échange marchand.

L'exploration : un phénomène exogène au modèle de l'échange marchand

L'asymétrie d'information peut induire des biais dans le calcul de la valeur. La confiance permet alors de procéder à l'échange malgré le risque d'opportunisme des acteurs (Guenif 2000, Mangematin 1998). L'acquisition d'information n'est pas considérée. Lorsque la qualité du bien est incertaine, elle est approximée par le pays d'origine du bien, la confiance institutionnelle permet donc d'éviter d'avoir à acquérir des informations aux consommateurs (McQuade, Salant et Winfree 2010). Franck Aggeri (2015) soutenait que l'hypothèse d'asymétrie d'information revient à minorer les phénomènes d'apprentissage et de production de connaissances de phénomènes gestionnaires, et qu'elle décrit un cas particulier où les connaissances et les règles du jeu (de l'échange) sont connues et stabilisées.

Pour conclure sur ce champ théorique, rappelons que Midler, Garel et Kessler (1997) décelaient une révision profonde des relations économiques entre firmes fondées classiquement sur l'échange marchand dans la mise en œuvre du co-développement. Depuis les années 1950, les constructeurs automobiles concevaient puis achetaient des pièces élémentaires du véhicule qui se devaient conformes au cahier des charges à leur réception. Mais dans les années 1990 les constructeurs commençaient à confier la conception de sous-systèmes aux équipementiers de premier rang alors que la contrepartie monétaire restait toujours fondée sur le bien matériel conçu. La production immatérielle de la conception est généralement non valorisée ; le constructeur rémunère le fournisseur par le prix des sous-ensembles qu'il lui achète. Ce biais est préjudiciable aux équipementiers qui perdent éventuellement leur investissement dans les pré-études nécessaires à répondre aux appels d'offre des constructeurs. Cependant rémunérer l'acte de conception pourrait tourner à la défaveur des constructeurs par manque d'incitation des équipementiers à innover. Le modèle de l'échange marchand ne rend donc pas compte de l'activité d'exploration de connaissances. Nous allons voir le modèle décisionnel qui pourrait adresser ce point dans la mesure où il a été appliqué dans les processus d'innovation.

La décision : du calcul sophistiqué au graphique synthétique pour réduire les incertitudes sur la technologie

Une fois que les acteurs ont mutuellement connaissance des intentions d'échanger, ils doivent prendre la décision de procéder à l'échange ou d'avorter l'échange. La revue des théories de la décision fait l'objet de livres entiers. Nous ne présentons donc que les contributions les plus pertinentes au regard des terrains de Safran : la décision dans l'incertitude dans les processus d'innovation.

Présentation du modèle décisionnel de l'échange

Dans le cas d'innovation de rupture, les phases amont dites « *Fuzzy Front-End* » du processus nécessitent une approche à la fois environnementale, individuelle et organisationnelle pour être appréhendables avec le modèle de la décision (Reid et Brentani 2004). Plus précisément, les décisions ont lieu lors d'échanges d'information aux interfaces environnement-individu dite *boundary*, individu-organisation dite *gate-keeping*, et organisation-projet dite *project*.

Pour les phases suivantes, Robert Cooper (2006) distingue deux processus complémentaires pour innover. Le processus de développement des technologies et le processus de développement des produits²⁵. Tous deux ont pour modèle une succession de stades (*stages*) et de jalons (*gates*). Chaque jalon franchi est une décision de type *Go/Kill* selon l'auteur qui est prise par l'ensemble des parties prenantes. La revue de littérature de Gopalakrishnan et Damanpour (1994) distingue trois approches pour démarquer les stades de ces processus. Dans l'approche départementale, les changements de stades correspondent au passage de main d'un département à un autre. Dans notre modèle le département amont est le vendeur et le département aval est l'acheteur. Dans l'approche activité, chaque étape est une liste d'activités, notamment la forme matérielle donnée à l'innovation, la technique de prototypage. Enfin l'approche décisionnelle correspond aux jalons (voir figure ci-dessous). Dans notre modèle c'est la décision d'acheter par le financeur du projet et celle de vendre par l'équipe projet. Se référant à Rogers (1983) et Saren (1984), les auteurs rappellent qu'un avantage clef de l'approche décisionnelle est qu'elle établit des critères explicites d'évaluation.

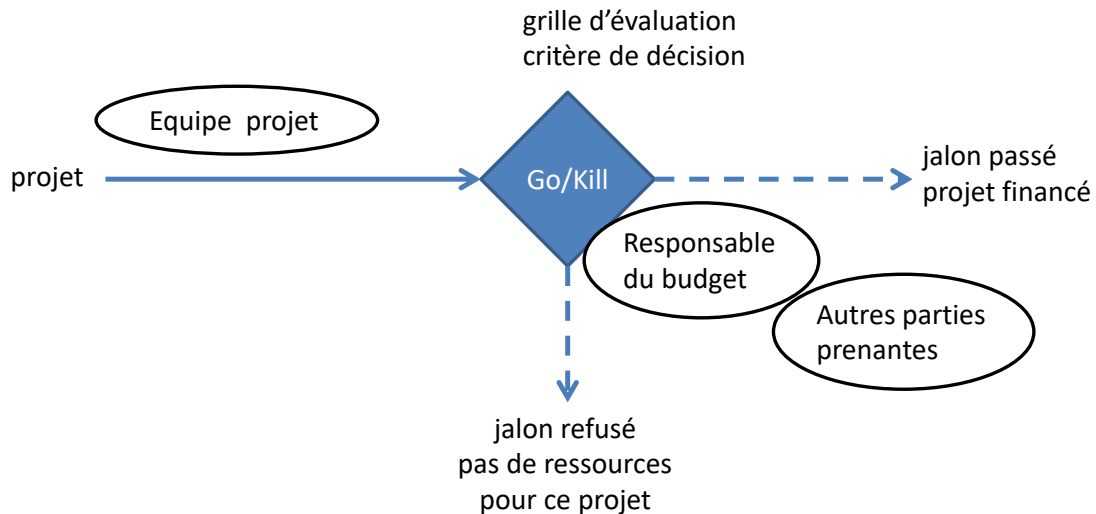


Figure 6 : Modèle du jalon décisionnel (*gate*) dans lequel le financement d'un projet est avalisé, d'après la littérature

²⁵ Illustrons avec le cas de Safran : chaque société est dotée d'un département R&T qui opère le processus de maturation des technologies (équivalent développement des technologies) et de programmes qui développent les produits.

Calcul de la valeur intuition ou complexe et outillé

Dans les phases de *fuzzy front-end*, à chaque interface une décision est prise basée sur une évaluation de l'information (Reid et Brentani 2004). Ainsi à l'interface environnement-individu, l'intuition de l'individu (acheteur) lui permet de sélectionner celles constituant des nouveaux besoins de marchés ou des nouvelles voies technologiques.

La revue de littérature de Krishnan et Ulrich (2001) pourrait laisser penser que notre modèle d'échange s'applique de façon égale au processus de développement des produits et au processus de développement des technologies : « une représentation utile d'un produit est un vecteur d'attributs (exemples, vitesse, prix, fiabilité, capacité) ». Cependant, une spécificité du processus de développement des technologies est que le produit qui intègrera la technologie et le marché sont inconnus (Cooper 2006). La conséquence est d'ampleur pour notre modèle : les critères d'évaluation d'un processus ne s'appliquent pas à l'autre. Alors qu'en développement de produit, l'acheteur exige un *business case* ou un plan commercial, cela n'est pas pertinent en développement de technologies. Des critères financiers comme la Valeur Actualisée Nette (VAN) ou le Retour sur Investissement (RI) peuvent « tuer » des technologies à cause de l'inconnu et non pas des raisons tangibles. L'auteur préconise des *scorecards* qualitatives avec des critères tels qu'adéquation avec la stratégie actuelle, levier stratégique, faisabilité technique, faisabilité commerciale et profits. Les deux processus s'appuient sur des critères standards dont des outils de représentation intégrée comme les diagrammes bulles facilitent la synthèse au décideur. Le manque d'information inhérent aux nouvelles technologies induit une incertitude sur la cotation de la technologie sur ces critères. Il faut donc se référer à des formalismes de décision dans l'incertitude dont Wald, Raiffa et Savage sont des contributeurs remarquables (Le Masson, Weil et Hatchuel 2015) : la valeur est calculée comme une espérance de gain fonction des probabilités des états du monde. Cependant, malgré l'usage d'outil de représentation synthétique et la connaissance du raisonnement probabiliste, l'indécidabilité perdurait chez Safran. Le modèle décisionnel considère donc des critères d'évaluation connus sur lesquels la technologie fait l'objet d'incertitudes qui sont réduites progressivement.

L'exploration limitée à la réduction d'incertitudes sur les propriétés de la technologie

A l'interface individu-organisation, le partage de l'information venant de l'environnement dans l'organisation construit la valeur (Reid et Brentani 2004). Dans les phases suivantes, toute cette littérature fait l'hypothèse qu'une équipe projet existe. Des premiers échanges suivant notre modèle ont donc été réalisés grâce à la construction de la valeur mais ce champ théorique ne décrit pas ce processus mis à part la reconnaissance de deux types d'opportunité, soit technique soit commerciale. Ces premiers échanges sont pourtant critiques sur les terrains Safran.

D'après Cooper (2006), la séparation du développement des technologies et du développement des produits permet au premier un caractère plus exploratoire. Produits et marchés sont inconnus mais plutôt que de fournir un modèle à leur exploration, l'auteur prescrit des critères d'évaluation qui permettent une évaluation malgré ces inconnus. Le modèle décisionnel considère donc des critères préétablis d'évaluation de la part de l'acheteur qui n'a plus besoin de mener des explorations.

Dans les théories formelles de la décision dans l'incertitude, l'acquisition d'information permet de préciser la densité de probabilité de certains états du monde (Le Masson, Weil et Hatchuel 2015). Dans notre modèle cela signifie qu'on réduit l'écart-type d'une propriété incertaine de la technologie. Cette acquisition d'information est rendu possible par l'expérimentation que Thomke (2003) modélise par un cycle à quatre étapes à savoir concevoir (les concepts et les idées à tester), construire (un prototype, un algorithme...), lancer (mettre en fonctionnement le prototype, lancer la simulation numérique...) et analyser (synthèse des observations, établir les liens de cause à effet). La contribution de l'auteur pour les théories de la décision est une modélisation des paramètres d'expérimentation (fidélité de l'expérimentation, coût, durée d'une itération, capacité, stratégie parallèle ou série, rapport signal/bruit) maximisant l'information acquise et minimisant le coût (Thomke et Fujimoto 1999 ; Thomke et Bell 2000 ; Thomke 2003, p99). L'expérimentation permet de résoudre des problèmes sur la technique ou sur le marché (Thomke et Bell 2000), cependant les cas d'apprentissage les plus détaillés par l'auteur ne montrent pas de renouvellement des critères d'évaluation. Ainsi dans le cadre de la conception d'un bateau de course les critères de la trainée hydrodynamique et de la résistance sont stables (Thomke 2003, pages 92 à 113). Pour la conception de services offerts par une banque, la sélection des concepts à expérimenter est faite sur les critères du financement, de l'adéquation stratégique, du cas d'affaire et de l'impact sur les clients, ensuite la valeur des concepts testés dépend de la satisfaction des clients et de la croissance de chiffre d'affaires générée.

En conclusion sur ce champ théorique, le vendeur est soit un individu soit une équipe projet. Il réduit les incertitudes sur les propriétés des technologies vendues en contre partie du financement de l'acheteur. L'acheteur est le responsable du budget du portefeuille dans lequel le projet s'inscrit. Les phases intermédiaires de constitution de l'équipe ne sont pas traitées donc les acteurs sont connus. Nous allons donc étudier le champ théorique de l'acteur-réseau dont on peut s'attendre une théorie de la formation des collectifs vendeurs et acheteurs.

L'acteur-réseau : l'échange rendu possible par l'adaptation mutuelle

Nous avons vu que des auteurs critiquaient les hypothèses de l'échange marchand, notamment la suffisance des relations entre les biens et regrettent la dénégation des relations sociales (Servet 1993, Sapir 2002, Orléan 2011), ces dernières sont l'objet de recherche de la sociologie. Les modèles décisionnels soulignent la transition de l'individu à un collectif d'individu constituant l'organisation pour les échanges les plus amonts du processus d'innovation (Reid et Brentani 2004). En sociologie de l'innovation, les théories acteur-réseau ont largement étudié ce phénomène produisant le modèle de l'intéressement par opposition à celui de la diffusion dominant dans les champs théoriques précédemment revus.

Présentation du modèle de l'intéressement

Récemment ces théories montraient que dans l'entrepreneuriat technologique, la capitalisation d'une jeune-pousse²⁶ est le résultat de la transaction entre entrepreneurs et investisseurs qui échangent des ressources financières contre des prises de participation (Eyquem-Renault 2011, p276). Akrich, Callon et Latour (1988) décrivent les raisons qui motivaient ces théories : « ce dont nous avons tous besoin, pour progresser dans l'art de gérer les innovations, c'est d'une meilleure compréhension des mécanismes par lesquels celles-ci réussissent ou échouent afin d'élaborer quelques principes qui servent de guide à l'action ». Les auteurs insistent sur la dualité entre les détracteurs et les alliés d'une innovation. Même les premiers peuvent être utiles à l'action collective : « Mettre en cause, comme l'expression le dit, c'est chercher des explications et dégager des règles pour l'action ». Mais fondamentalement, le modèle que propose les auteurs se résume à « l'art d'intéresser un nombre croissant d'alliés qui vous rendent de plus en plus fort ». Ainsi dans notre modèle, le vendeur d'une technologie intéresse des acheteurs en acceptant l'adaptation mutuelle de la technique et de son environnement et en enrôlant les bons porte-paroles. Star et Griesemer (1989) ou Pohl, Styhre et Elmquist (2009) regrettent la primauté d'un acteur central dans les théories acteur-réseau (souvent entrepreneur, manager ou scientifique). Ils rappellent que la sociologie a montré la non nécessité d'un consensus entre les acteurs pour qu'ils coopèrent.

Demil et Lecocq (2015) soulignent que la théorie acteur-réseau est plus une méthodologie de recherche qu'une théorie puisqu'elle permet peu de prédire des faits. Ainsi des auteurs produisent des modèles gestionnaires en observant le terrain avec ces théories. Lorsque des auteurs étendent la notion de décision à l'établissement d'une grande variété d'attributs du produit (Krishnan et Ulrich 2001), les théories acteur-réseau permettent de rendre compte de la variété des acteurs impliqués dans ces décisions prises en dehors des réunions de jalon (Christiansen & Varnes 2007, Koch & Leitner 2008). Koch et Leitner (2008) modélisent la démarche des employés qui contournent les processus pour promouvoir et élaborer leurs idées secrètement. Christiansen et Varnes (2007) proposent l'approche processus réseau (« *network process perspective* ») dont nous retenons que les documents dont le chef de projets doit assurer la complétion pour convoquer les réunions de jalon sont des points de passage plus importants que les réunions elles-mêmes.

Calcul de la valeur autorisée par un objet-frontière entre acheteur et vendeur

Dans notre modèle, un détracteur est un acteur dont la valeur de la technologie est négative, pour un allié elle est positive. Tel que théorisé par Akrich, Callon et Latour (1988), le vendeur (Edison, le manager de 3M) étend son réseau d'acheteurs notamment en enrôlant des vendeurs (orateurs, collaborateurs). Bien qu'étudiant un terrain de nature différente d'un grand groupe industriel, Star et Griesemer (1989) évoquaient un *modus operandi* commun car tous les acheteurs n'auront pas les mêmes critères de valeur ou bien acheteurs et vendeurs n'ont pas naturellement de dimension commune sur laquelle propriétés de la technologie et critères de valeur font sens. Ainsi les orateurs

²⁶ Terme français pour *start-up*

sont des vendeurs capables de traduire les propriétés de la technologie dans les critères de l'acheteur mais de plus les objets-frontières permettent d'établir cette dimension commune. Ainsi Koch et Leitner (2008) indiquent que l'employé vend formellement son idée de technologie au décideur avec un prototype qu'il a confectionné informellement avec des collaborateurs préalablement intéressés. Eyquem-Renault (2011, chapitre 6) observe des objets qui explicitent le calcul : « la traduction du business model maquette en business model économique appelée business plan (économisation de la proposition de valeur et qualification de la structure des coûts) ramène à une dimension inchangée depuis des décennies permettant le calcul (post-money value et pre-money value). ». Une fois qu'une dimension commune est établie, les théories acteur-réseau préconisent l'adaptation mutuelle entre vendeur et acheteur par la négociation qui « stabilise un arrangement acceptable à la fois par les acteurs humains (utilisateurs, négociants, réparateurs,...) et par les entités non-humaines (électrons, tubes, batteries...). » (Akrich, Callon et Latour 1988). Nous devons donc étudier précisément comment cette dimension stable est obtenue dans ces théories.

L'exploration limitée à la négociation sur une dimension commune de la valeur

D'après Akrich, Callon et Latour (1988) « Intéresser et transformer sont les deux faces d'une même réalité », ce qui peut laisser entendre des révisions importantes des propriétés de la technologie et des critères de valeur. Mais cette notion de transformation radicale est délaissée pour l'adaptation : « Adopter une innovation c'est l'adapter ». Ainsi dans l'invention du post-it ou de la souris, le prototype convainc ses détracteurs sans modifications radicales des technologies prototypées. Encore récemment ces théories insistent sur la nécessité du vendeur (porteur de projet entrepreneurial) d'apprendre les critères de l'acheteur (problèmes de l'investisseur) plutôt que d'explorer la technologie (Eyquem Renault 2011, p305).

Encore une fois les objets-frontières jouent un rôle clef. D'après Christiansen et Varnes (2007), les documents exigés (*templates*) pour convoquer les réunions sont des objets-frontières. Comme vu pour le modèle de la décision, ces documents permettent d'évaluer la technologie. Les auteurs décrivent la nécessité d'intéresser les acteurs humains et non-humains comme les moyens d'essais de la technologie qui permettent d'obtenir les informations exigées, mais les transformations radicales, la découverte de nouvelles propriétés qui forceraient les acheteurs à modifier leurs critères d'évaluation n'est pas leur objet d'étude (Christiansen et Varnes 2007, Koch et Leitner 2008).

Autre exemple, le modèle d'affaires d'une jeune-pousse est un objet-frontière qui rend compte de deux niveaux d'échange : (1) la mobilisation de l'acteur autour de l'objet performe un premier niveau d'échange, (2) l'objet permet le prototypage des échanges de valeur futurs (Eyquem-Renault 2011, p116). La notion d'objet-frontière de Star et Griesemer (1989) implique que l'objet soit « suffisamment plastique pour s'adapter aux besoins locaux et aux contraintes des différentes parties les employant, mais aussi suffisamment robuste pour maintenir une identité robuste au travers des sites ». Ainsi le modèle d'affaires s'adapte localement et l'auteur propose un modèle à trois dimensions (maquette, exemple et économique) dont le dosage traduit l'adaptation. Le modèle d'affaires reste aussi suffisamment robuste pour s'inscrire dans le thème commun de la création de

valeur. Le modèle d'affaires maquette et économique représentent le projet entrepreneurial final et complet alors que le modèle d'affaires exemple ne représente que des caractéristiques génériques (Eyquem-Renault 2011, section 3). Ainsi le modèle triptyque rend compte de l'adaptation de la présentation qui est faite de la technologie mais pas du tout des explorations de ses propriétés au profit de l'enrôlement d'acteurs : « La plasticité du business model, et notamment les variations dans le dosage entre éléments narratifs et de calcul dans les différents documents, favorise son adaptation aux différents publics identifiés. ».

Ces adaptations de la présentation permettent de réaliser le premier niveau d'échange en vue de définir les échanges futurs : « Les rencontres, qu'elles aboutissent ou non à l'enrôlement des partenaires, provoquent en retour des modifications du business model. Celui-ci évolue et contribue à l'exploration collective du marché pour la technologie innovante » (page 180)

Les explorations faites pour définir les échanges futurs ne sont alors que des adaptations locales (p185) comme l'adaptation de modèles d'affaires typiques pour définir le projet entrepreneurial (p227). On pourrait argumenter que ces modèles d'affaires typiques sont explorés par l'entrepreneur, qu'il peut chercher des exemples plus ou moins originaux, mais ce n'est pas la question de recherche des auteurs. Même lorsque l'entrepreneur travaille à la réorientation du business plan (pages 140-141), il faut avoir en tête que le business plan est un critère d'évaluation standardisé des investisseurs.

Poursuivant l'effort théorique des théories acteur-réseau et de la notion d'objets-frontière, la notion d'objet intermédiaire a été mobilisée sur le terrain de la conception sur lequel on peut s'attendre à des transformations radicales (Vinck 2009). La notion permet de rendre compte de la mise en forme de connaissances. En tant que représentation et traduction, l'objet-intermédiaire véhicule « les fragments d'une nature à propos de laquelle la connaissance est en cours de construction ». Par exemple, les objets-intermédiaires de type « *brouillon* » facilitent l'intégration des connaissances dans une action coopérative. Mais ces propriétés très intéressantes ne font pas modèle d'action à l'exploration. De tels objets ouverts plutôt que fermés, médiateurs plutôt que commissionnaires, sont reconnaissables comme tels par déduction en observant les interactions entre les acteurs (Mer, Jeantet et Tichkiewitch 1995, Boujut et Blanco 2003). Nous cherchons plutôt à prescrire les interactions qui permettent d'explorer des nouvelles propriétés de la technologie et des nouveaux critères de valeur. Donc nous retenons de la notion (1) que l'usage de documents au statut de brouillons est favorable à l'exploration, (2) que l'étude de ces objets pourra renseigner nos questions de recherches car elle permet de révéler et de caractériser les échanges entre les acteurs.

En résumé, nous montrions déjà dans notre article IPDM 2014 une confusion entre conviction et engagement dans le modèle de l'intéressement. Dans le modèle de l'échange proposé dans ce chapitre, cette confusion se clarifie : les théories acteur-réseau prévoit des premiers échanges qui permettent la stabilisation de propriétés de la technologie et des critères d'évaluation connus. Il ne s'agit pas d'explorer de nouvelles propriétés de la technologie ou des nouveaux critères d'évaluation qui transforment radicalement le calcul.

Créativité : des explorations limitées par les hypothèses sur l'objet et ses utilisateurs

Nous observons que les consultants employaient des techniques de créativité durant les DKCP Safran. De plus les acteurs au sein de la direction de l'innovation se réfèrent abondamment aux notions de créativité, de génération d'idée ou de management des idées pour situer DKCP, défi et prospective dans le processus d'innovation. Non content d'être déjà sollicité sur le terrain, le champ théorique de la créativité souvent assimilé à la génération d'idées pourrait fournir un modèle à la génération de propriétés de la technologie et de critères de valeur.

Présentation du modèle divergence-convergence

Pensée divergente et convergente ont été mises en avant par Guilford (1956). En effet dans son modèle de la structure de l'intellect l'auteur décrivait six opérations dont la production convergente et la production divergente (Comrey, Michael et Fruchter 1988). Mednick (1962) contribua à diffuser ces notions en les appliquant à la résolution de problème (Finke, Ward et Smith 1992, p183). Enfin les techniques de créativité et méthodes managériales ont retenu le modèle divergence-convergence, notamment *design thinking* qui est adopté par de nombreuses entreprises au moment de l'écriture de cette thèse²⁷. La pensée divergente est moins naturelle dans un environnement industriel que la pensée convergente, il existe donc un courant de recherche dévoué à la favoriser. A ce stade nous nous appuyons sur les définitions et le schéma suivants.

« [...], l'objectif de la pensée divergente est de multiplier les options pour créer des choix. »

« La pensée convergente est un moyen pratique pour trancher entre plusieurs alternatives »

(Brown, Katz et Nicolaïeff 2010, p69)

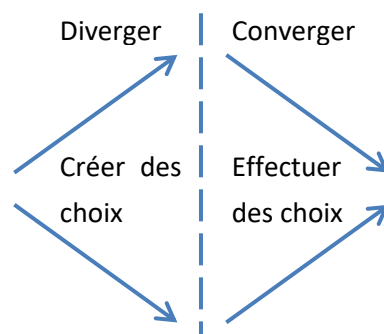


Figure 7 : Le modèle divergent-convergent dans *design thinking* (Brown, Katz et Nicolaïeff 2010)

Précisons que d'autres modèles existent comme le modèle *Geneplore* de Finke, Ward et Smith (1992, chapitre 2). Cependant sa diffusion dans l'industrie est négligeable par rapport au modèle divergent-

²⁷ Nous nous appuyons sur les observations de la chaire Théorie et Méthodes de la Conception Innovante de l'école des Mines dans laquelle s'inscrit cette thèse mais aussi de l'Association Française d'Ingénierie Système rapportées à l'occasion de rencontres scientifiques organisées par l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie.

convergent. La convergence est opérable par le moyen d'outils décisionnels (Eris 2003, 2006), nous appellerons cela convergence décisionnelle. Une conséquence du modèle divergent-convergent est qu'un nombre plus élevé d'idées (de choix) générées par la pensée divergente augmente la probabilité d'obtenir une idée réellement bonne (un choix profitable) (Brown *et al.* 2010, p69). La quantité d'idées était considérée comme une mesure de la créativité dans les années 1970 (Legardeur 2009, p56 ; Goldenberg et Mazursky 2002, p33). Le champ théorique de la gestion des idées (*idea management*) étudie donc les spécificités gestionnaires liées à un grand nombre d'idée venant d'utilisateurs ou d'experts, notamment au processus de sélection des idées (Magnusson 2003).

Calcul de la valeur modifié par les connaissances sur l'usage de la technologie

La sélection des idées nécessite leur évaluation. Elle peut se faire sur des critères préétablis tels qu'originalité, faisabilité et valeur pour l'utilisateur ; ces trois critères précis ont été utilisés pour des idées de services mobiles (Magnusson 2009), de produits alimentaires (Poetz et Schreier 2012), ou d'interface utilisateur (Gillier, Piat et Kazakçi 2014). L'approche *design thinking* recommandent les critères faisabilité (fonctionnel et réalisable), viabilité (économique), désirabilité (pour les consommateurs) pour évaluer toute idée de produit. Brown *et al.* (2010, p19) justifient ces critères parce qu'ils permettront au produit de se vendre auprès du grand public (ils prennent l'exemple des consoles de jeu-vidéo). Ces critères peuvent donc être ceux de l'acheteur dans notre modèle s'il s'agit d'idées de technologies. Mais les idées évaluées peuvent aussi désigner l'usage d'une technologie donnée (Magnusson 2003, 2009). Brown *et al.* précisent que la pondération des critères faisabilité, viabilité, désirabilité est variable selon le contexte. Une idée d'usage est donc le contexte qui permettra de combiner habilement ces trois critères. Dans notre modèle, l'usage permet donc de déterminer la technique de calcul de la valeur d'une technologie avec des critères invariants.

Mais la communauté scientifique n'est pas unanime sur ce point : choisir des critères implique le risque d'oublier des aspects importants dans l'évaluation et leur combinaison reste une difficulté (Magnusson 2009, Magnusson, Netz et Wästlund 2014). Face aux difficultés d'évaluer une idée sur des critères préétablis, Magnusson, Netz et Wästlund (2014) ont expérimenté l'évaluation holistique intuitive. Elle consiste à demander à un expert de mettre une note à une idée sans lui préciser les critères de son évaluation, il est libre d'en identifier. Il s'agissait d'idées de services mobiles générées par des utilisateurs de téléphones mobiles. Un résultat surprenant est la nécessité pour les experts évaluateurs de générer des scénarios pour « faire usage de leur expérience » et pour « réfléchir à comment évaluer l'idée en relation avec certains critères ». Les chercheurs ont identifié cinq critères utilisés par les experts : originalité, faisabilité, valeur pour l'utilisateur, adéquation stratégique et profitabilité. Ces critères se retrouvent aussi dans les modèles décisionnels, notamment dans les *scorecards* proposées par Cooper (2006) (voir section précédente). L'évaluation holistique intuitive n'explore donc pas de nouveaux critères de valeur mais permet une liberté dans la technique de calcul.

L'exploration de connaissances nécessaire mais exogène au modèle

L'expérience de Magnusson, Netz et Wästlund (2014) est tout à fait surprenante. Les suggestions d'idées par un grand nombre de participants permettent de mobiliser des connaissances importantes à un coût très faible. Plus exactement il s'agit de connaissances sur les usages. De plus les experts évaluateurs mobilisaient encore des connaissances supplémentaires pour générer des scénarios. Mais l'exploration de ces nouvelles connaissances ne génère pas des nouveaux critères d'évaluation. Donc cette expérience nous renseigne sur la vaste quantité de connaissances requises par le calcul de la valeur à critères d'évaluation donnés. On peut faire l'hypothèse que cette quantité importante rend encore plus difficile l'identification de nouveaux critères de valeur. Ces connaissances sont obtenues en demandant des idées aux acteurs appropriés : les utilisateurs *ordinaires* ont des connaissances sur l'usage, les développeurs professionnels dans l'entreprise ont la connaissance sur la technologie, seuls les *lead-users* disposent des deux types de connaissances (Von Hippel 1986).

Fondamentalement, l'approche *design thinking* conçoit des produits dont les propriétés doivent répondre aux besoins des utilisateurs. Les besoins sont explorés en observant les usages d'utilisateurs extrêmes qui ne sont pourtant pas les clients prévus initialement. A ces fins Brown *et al.* (2010) insistent sur les sciences comportementales et l'empathie. Donc le critère d'évaluation « désirabilité » regroupe un ensemble de critères qui sont explorés pour chaque nouvel échange. De même le critère « fonctionnalité » s'explore. Les propriétés des produits qui répondent aux besoins sont explorées avec des techniques de prototypage très en amont et itératives (Brown *et al.* 2010, pages 91 à 96). Parfois ils permettent d'apprendre aussi sur le besoin en prototypant notamment des expériences (Buchenau et Fulton Suri 2000 ; Brown *et al.* 2010, pages 102 à 103). Michael Schrage (1996) fournit un exemple simple pour illustrer le phénomène. Discutant autour d'un prototype de tube de dentifrice, l'auteur du prototype et son client découvrent la propriété de « *suckback*²⁸ » associable à une certaine technologie de tube. Le client peut alors formuler un critère d'évaluation qui est le « niveau de *suckback* ». Le prototypage permet alors d'explorer une nouvelle dimension de la valeur.

Le champ théorique de la créativité a donc repéré la nécessité d'explorer des nouvelles connaissances. Mais comme le soulignait Robert Cooper (2006), dans le processus de développement de technologies, les clients et le marché sont inconnus. Il n'est donc pas possible d'observer des utilisateurs extrêmes, de faire preuve d'empathie ou de leur demander des idées d'usages, ils n'existent pas encore. Autrement dit les réponses fournies par ce champ théorique s'appuient sur l'hypothèse que la technologie est directement à l'interface avec des utilisateurs. Il semble alors impossible d'explorer des critères environnementaux comme l'émission de particules par les moteurs d'avions, ou des critères d'interfaçage entre systèmes techniques comme les interférences aérodynamiques entre le moteur et l'aile d'un avion, ou tout autre critère non émis par un

²⁸ "Suckback refers to the way the tube pulls back the toothpaste into the tube after the user stops squeezing it" (Schrage 1996, p5)

utilisateur. Pourtant de tels critères d'évaluation entraînent des surcoûts très importants lorsqu'ils sont explorés pendant les phases de développement, donc trop tard pour avoir été inclus dans la planification d'un programme.

Enfin, on peut déplorer que l'exploration de nouvelles connaissances ne soit pas théorisée dans un modèle d'action facilement reproductible en situation d'action collective. Le modèle divergent-convergent est même en désaccord avec ce principe. Ozgur Eris (2003) associe la divergence à des questions génératives et la convergence à des questions de raisonnement approfondi. Ce sont les deuxièmes qui permettent d'acquérir des connaissances. Pourtant des nouvelles connaissances sont nécessaires à générer des propriétés de technologies et des critères d'évaluation, donc la convergence précéderait la divergence mais le modèle convergent puis divergent n'est pas discuté. Mis à part que des équipes pluridisciplinaires favorisent la créativité donc aussi la divergence (Pavie *et al.* 2015, chapitre 2 p33 ; Kelley 2007, chapitre 5), ce champ théorique étudie les conditions de la divergence sans référence aux connaissances. Il précise comment des ressources cognitives d'acteurs peuvent être employées à opérer la pensée divergente dans un milieu comme l'entreprise où le modèle décisionnel est dominant. Drazin *et al.* (2000) définissent la créativité comme l'engagement psychologique d'une personne dans une activité créatrice. D'après Finke, Ward et Smith (1992, p18), l'engagement dans une activité créatrice implique des cycles de génération de structures préinventives (divergente) puis leur exploration (différent de décision). Les auteurs précisent les conditions d'un tel engagement. D'abord il faut privilégier l'attention « *defocused* » plutôt que « *focused* » (p186 se référant à Martindale (1981)). Ensuite il faut utiliser le jeu (*playfulness*), c'est à dire que les participants aient l'opportunité de s'engager dans des jeux combinatoires et des explorations amusantes en évitant d'orienter la tâche comme un problème (p36 se référant à Lieberman (1977)). Si ces conseils ciblent des études en psychologie, l'entreprise peut retenir que le jeu favorise la pensée divergente au même titre qu'Eris (2003, 2006) propose de s'assurer que le concepteur engage sa pensée divergente en posant certains types de questions dites génératives.

Nous avons donc fait un état de l'art pour l'échange dans l'inconnu sur le dernier champ théorique classique. Nous allons proposer une synthèse englobant tous les champs.

Synthèse : absence de modèle d'action adapté à des situations d'échange avec objet et/ou acteur inconnu(s)

Nous avons revu chaque champ théorique séparément. Le tableau suivant récapitule les situations d'échange dont la littérature dans son ensemble fournit un modèle d'action. Il met en avant que les modèles d'action proposés par la littérature font l'hypothèse de situations d'échange où l'inconnu est restreint tant sur l'objet que sur les acteurs. Cependant, on remarque que les classes d'actions sont très différentes ce qui explique que même sans tenir compte de l'inconnu les modèles d'action collective dans la perspective de l'échange peuvent être d'une grande variété.

Situations d'échange		Champ théorique			
		Echange marchand	Décision	Acteur-réseau	Créativité
Inconnu sur l'objet échangé	{P _i V _i } La valeur est connue	Les théories de la valeur permettent un calcul très précis (sauf échange de connaissances) sans relation entre acteurs	L'échange est nivelé et réitéré à chaque jalon avec des couples (P _i ,V _i) supplémentaires en considérant une incertitude sur les P _i	L'adaptation permet d'établir la dimension commune la plus proche puis la négociation établit le point de compromis	Evaluation sur des critères invariants mais dont la pondération est différente selon l'usage de la technologie
	{P _i . } Critères d'évaluation inconnus	∅* Asymétrie d'information gérée par la confiance et non pas l'acquisition d'informations	∅ La construction de valeur n'est pas modélisée	∅ Le vendeur <u>traduit</u> sa technologie dans les critères de l'acheteur en enrôlant des orateurs ou avec des objets-frontières	ε Limité à l'empathie ou l'observation vis-à-vis de l'utilisateur de la technologie qui doit donc être connu.
	{ . V _i } Technologie inconnue	∅ Idem	∅ Idem en amont, en aval des critères de décisions standards doivent être renseignés	∅ Le vendeur intéresse l'acteur éventuellement non-humain afin de <u>démontrer</u> des propriétés	ε Limitée au prototypage d'une idée de produit ou d'expérience utilisateur.
	{ . . } Inconnu total	∅ La genèse d'une offre ou d'une demande ne fait pas partie du modèle	∅ La reconnaissance d'une opportunité est soit technique soit de marché mais se fait par association	∅ L'acteur isolé doit intéresser des alliés mais la distinction entre vendeur et acheteur est exogène	∅ On pourrait appliquer des structures préinventives mais ce n'est pas le modèle dominant
Inconnu sur l'acteur		∅ Les marchés intermédiaires sont connus	∅ Equipe projet, département amont et aval	ε Le nombre d'alliés croit parmi ceux identifiables	ε Utilisateurs extrêmes
Classes d'action prescrites par le modèle		Organiser les marchés de façon à calculer le prix maximisant l'utilité de tous	Réduction d'incertitudes entre chaque décision nivelant l'échange	Intéressement d'alliés par la traduction et la négociation	Divergence puis convergence en impliquant l'utilisateur avec des prototypes

* « ∅ » indique que le champ théorique ne traite pas cet inconnu

« ε » indique qu'il traite une incertitude mais pas un inconnu radical

« . » indique selon sa position l'absence de P_i connu ou l'absence de V_i connu

Tableau 3 : Récapitulatif des limites des modèles d'échange de la littérature pour échanger dans l'inconnu

Notre modèle de l'échange intégrant l'inconnu permet d'identifier les limites des théories classiques. Nous pouvons désormais fournir une interprétation des terrains d'échange dans l'inconnu de la direction de l'innovation Safran dans notre modèle et avec les théories classiques.

Les terrains de la direction de l'innovation Safran, des situations d'échange dans l'inconnu en difficulté avec les théories classiques

Désormais en possession d'un modèle de l'échange intégrant l'inconnu et d'un bagage théorique s'y rapportant, nous pouvons effectuer un premier niveau d'analyse des terrains de la direction de l'innovation Safran. Donc nous revenons sur le déroulement des DKCP, des défis et de la prospective avec la grille de lecture de chaque théorie. Nous montrons alors que les situations d'échange comportent des inconnus sur l'objet échangé et sur les acteurs qui limitent la validité des actions prescriptibles par ces théories. Ce constat est plus prononcé pour les DKCP sur lesquels nous ciblons donc notre recherche-intervention.

DKCP, le terrain prioritaire pour une intervention

Données sur le portefeuille d'idées issues des DKCP

Fiches en situation d'échange dans le connu : 1 fiche était rédigée à partir d'un projet en exemple, 1 fiche fut rapidement portée à un nouveau projet d'une société, 2 fiches furent rattachées à un projet existant d'une société, 1 fiche fut rajoutée proactivement par une société afin de faire financer le projet par la direction de l'innovation car il se rapportait au thème mais sa genèse était antérieure aux DKCP de la direction de l'innovation.

Fiches en situation d'échange dans l'inconnu : 3 fiches ne furent ni rédigées ni explorées, 8 fiches furent rédigées mais restaient à l'abandon.

On peut considérer qu'il existe un marché de fiches idées avec des vendeurs des sociétés qui les soumettent et la direction de l'innovation qui les achètent. Dans un tel cadre, 8 fiches idées se caractérisent par des vendeurs et acheteurs limités au rédacteur de la fiche et à la direction de l'innovation. Dans le modèle marchand deux acteurs pourraient suffire mais la valeur de chaque fiche est inconnue.

Les DKCP se positionnent dans les phases de *fuzzy front-end* car l'équipe projet censée vendre un projet (qu'il soit de développement de technologie ou de produit) à la direction de l'innovation n'est pas constituée. Les phases K ont réalisé l'interface environnement-individu. La difficulté réside donc à l'interface individu-organisation qui nécessite la construction de la valeur mais elle ne fait pas l'objet d'un modèle dans aucun champ théorique classique.

Les théories acteur-réseau décèlent que le rédacteur de la fiche idée (8 fiches rédigées puis à l'abandon) est un vendeur isolé et doit enrôler des collaborateurs pour la technique et des orateurs pour intéresser des acheteurs. Mais certaines fiches ne proposent aucune technologie, leur rédacteur est acheteur plutôt que vendeur ce qui est moins traité par ce champ théorique. La fiche idée pourrait être utilisée comme objet-frontière mais cela induirait une négociation sur la première

dimension commune établie (s'il y en a une sinon comment est-elle explorer ?) alors que les modèles décisionnels et divergent-convergent préconisent de multiplier les dimensions au préalable.

Enfin le champ théorique de la créativité précise que ces acheteurs vont générer des usages de la technologie et que chaque usage donnera un calcul de la valeur différent même sur des critères inchangés. La convergence affectant des ressources sur certaines idées a échoué puisqu'elles restent à l'abandon. Il faut reconstituer une équipe par idée ce qui était le rôle de la plateforme prévue pour l'élaboration collective des idées qui a échoué. Ce champ théorique préconise certains profils pour choisir les membres d'une équipe mais n'indique pas comment parvenir à les engager dans l'exploration avec ou sans plateforme.

En conclusion sur les DKCP, toutes les fiches qui sont en situation d'échange dans l'inconnu sont à l'abandon, un modèle d'action collective spécifique pour ses fiches est donc nécessaire. Or tout modèle d'action collective basé sur les théories classiques se heurterait à l'inconnu sur la valeur des idées sans pouvoir la construire par l'engagement d'acteurs dans l'exploration de nouvelles dimensions de la valeur. Une recherche-intervention est donc très adaptée à fournir un tel modèle.

Nous faisons ensuite le même exercice de caractérisation sur les défis.

Défis, des données pertinentes et un modèle qui pourrait être amélioré

Données sur le premier défi

thème : Récupération d'énergie à bord des aéronefs et dans leur environnement

Sur 10 idées sélectionnées, seulement 2 ne furent pas transformées pendant les réunions avec les participants (exactement 3 moins 1 redondante avec une idée transformée). L'idée vainqueur faisait déjà l'objet d'une demande de brevet (qui aboutit au brevet US2016031567), elle connaissait de nombreuses transformations aussi.

Exemples de transformation d'idées non confidentielles :

- Dispositif de récupération de la chaleur ne participant pas à la poussée en sortie de moteur par l'utilisation d'un cycle Stirling → Par l'utilisation de thermoélectriques
- Echange de chaleur avec le flux secondaire maximisé en minimisant les pertes de charges → Concentrateur de chaleur
- Eolienne placée dans les aérofreins ou les spoilers → Roue des trains d'atterrissage entraînée par le vent
- Fan du moteur utilisé en turbine couplée avec le générateur de la boîte à équipement → Couplé à un moteur/générateur électrique
- Turbo fan électrique propulsé par un alternateur remplaçant la turbine HP → Fans électriques entraînés par un groupe électrogène

Transformation de l'idée vainqueur :

Turbines éoliennes placées en bout d'ailes ne modifiant la trainée qu'en phase de descente grâce à des paupières → placées à la base des sharklets ou dans le ventre mou, équipées d'une demi aile delta pour augmenter le rendement, équipées de batterie ou de super condensateurs, permettant d'amoinrir les alternateurs.

Il est tentant d'interpréter un défi comme un marché d'idée, mais dans le modèle de l'échange marchand le bien est connu ce qui n'est pas le cas d'une idée qui peut être grandement transformée lorsqu'elle est discutée avec un acheteur (lors des réunions avec 10 participants dont l'idée est sélectionnée).

D'un point de vue décisionnel, les participants aux défis vendent leur idée à la direction de l'innovation mais cette vision n'est pas généralisable. Dans les faits nombre d'entre eux n'ont pas l'intention de prendre part à un projet mais souhaiteraient voir leur idée réalisée par d'autres acteurs. Enfin les formalismes décisionnels ne prévoient pas que l'idée puisse être transformée, modifiant les états du monde notamment par le décideur lui-même.

L'approche par le réseau d'acteur est alors révélatrice. La seule idée qui fut portée à un projet était proposée par un acteur qui avait déjà enrôlé des collaborateurs pour élaborer son idée longtemps avant le défi (il affirme qu'elle a bénéficié de plusieurs expertises lors de la réunion). Les autres idées étaient soit portées par un seul individu soit générées en collectif mais sans élaboration ultérieure. Lors des réunions les idées sont plus qu'adaptées dans la négociation mais transformées et cela pas nécessairement par la direction de l'innovation qui est l'acheteur ciblé. Par ailleurs les réunions se terminent par l'identification de certains acteurs à consulter.

Le jury de présélection des idées applique les critères d'évaluation classiques du champ théorique de la créativité plus celui de la transversalité Safran. Ce champ théorique nous prévient que l'évaluation des idées varie grandement avec non seulement les technologies mais aussi leur usage d'où l'erreur d'évaluer des idées dont les utilisateurs sont inconnus. En effet la direction de l'innovation ne prescrit pas des usages aux technologies. Le modèle convergent qui a été directement appliqué a donc le défaut de ne pas organiser la rencontre entre des acheteurs et des vendeurs qui permettraient de construire la valeur.

Les défis ont donc sélectionné une idée qui est devenu un projet Innovation mais ils ont le potentiel de générer plus de projets en se dotant de mécanismes d'élaboration collective des idées. Ce terrain est donc moins prioritaire pour notre recherche-intervention mais fournira des données pertinentes.

Nous allons traiter le dernier terrain d'échanges dans l'inconnu à savoir la prospective.

Prospective, l'adaptation dynamique des modèles existants peut suffire

Données sur la démarche prospective

Un groupe de travail restreint incluant uniquement des personnes de la société mère investigua 22 variables de la mobilité aérienne. Les combinaisons des hypothèses d'évolution de ces variables conduisirent à 6 scénarios de mobilité aérienne à l'horizon 2050. Le même groupe de travail identifia des champs d'innovation. Deux groupes de travail de 13 et 19 membres du personnel des sociétés avec des fonctions stratégiques générèrent encore des champs d'innovation. Au total plus de 300 champs d'innovation avaient été générés. Une première sélection de 96 champs est obtenue par un panel de 6 acteurs en employant de nombreux critères. La direction de l'innovation homogénéise les champs par degré d'inconnu pour en obtenir 50. Un vote réduit la sélection à 25. Chaque champ a été évalué sur les critères « potentiels de valeur dans le scénario considéré » et « probabilité d'occurrence dans le scénario considéré » dans chacun des 6 scénarios. Un panel de 45 évaluateurs dont 3 externes au groupe Safran menait cette évaluation. Elle permit de dégager 3 champs d'innovation dont des groupes de travail sont en cours d'identification au moment de l'écriture du manuscrit.

Sur le modèle marchand, il semble qu'un marché des champs d'innovation se construise mais ne soit pas encore prêt à opérer à des échanges marchands. L'action collective porte sur la génération des objets échangés et leur évaluation préalables aux échanges.

Sur le modèle décisionnel, les vendeurs sont les acteurs qui ont générés des champs d'innovation et les acheteurs sont les membres des panels de sélection des champs d'innovation. Des équipes projets ne sont pas encore constituées donc il s'agit encore de phases de *fuzzy front-end*. La méthode d'évaluation des champs d'innovation et les acteurs qui y prennent part sont critiques dans le processus étant donné l'effort porté dessus. Le modèle décisionnel est dynamiquement adapté par les acteurs pour parvenir à une sélection.

L'approche acteur-réseau permet d'identifier que le pilote de la prospective enrôlent des vendeurs pour générer des champs d'innovation puis des acheteurs pour évaluer ces champs. Cependant elle ne prescrit pas de méthode.

La créativité suggère que le panel comprenne des usagers des technologies évoquées par les champs d'innovation afin d'établir la méthode d'évaluation adéquate à chaque champ. Cependant elle mettait aussi en garde de l'effet de filtrage des idées les plus inconnues causé par des critères d'évaluation classiques sans parvenir à générer des critères différents tant que des clients de type utilisateur ne soient connus. Justement la direction de l'innovation procède à des itérations sur ces critères. L'évaluation en référence à un scénario est précisément ce que décrivait ce champ théorique.

En définitive, la prospective est gérée en adaptant les modèles d'action classiques, elle est donc le terrain le moins propice à une recherche-intervention.

Ce bref retour sur les terrains d'échange dans l'inconnu de la direction de l'innovation Safran a permis une première lecture avec notre modèle d'échange intégrant l'inconnu. Il souligne les apports et les limites des théories classiques. Nous pouvons donc formuler des questions de recherche.

Questions de recherche

Dans cette section nous présentons les quatre questions de recherche investiguées dans ce manuscrit.

La question centrale du modèle d'action pour l'échange dans l'inconnu

Face aux difficultés d'échanger dans l'inconnu que nous avons caractérisées par trois situations de l'échange déplorant l'absence de propriétés de la technologie et/ou de critères d'évaluation, nous recherchons un modèle d'actions à leur exploration. Notre revue de littérature a identifié quatre modèles candidats mais qui restent limités : l'échange marchand, la décision, l'intéressement et la divergence-convergence. Cette problématique centrale de la thèse permet est le motif de l'intervention sur le terrain des DKCP. Elle mène à formuler la première question de recherche :

Q1 : Quel modèle d'action aux explorations de propriétés de la technologie et de critères d'évaluation rendant possible l'échange dans l'inconnu ?

Ce modèle devra effectivement être traduit en rationalité gestionnaire puis en pratiques sur les terrains Safran. Pour cela nous suivrons le cadre d'analyse des techniques managériales fourni par Hatchuel et Weil (1990) pour étudier les systèmes experts. Il a déjà été repris pour analyser les biens communs dans le cas de la sélection génétique des animaux (Labatut 2009).

La question du substrat technique pour l'échange dans l'inconnu

Les outils et méthodes des doctrines managériales forment leur substrat technique. Dans l'exemple de la Gestion de Production Assistée par Ordinateur (GPAO) ce sont la formule de Wilson et les moyens informatiques. D'où notre deuxième question de recherche :

Q2 : Quel substrat technique aux explorations de propriétés de la technologie et de critères d'évaluation rendant possible l'échange dans l'inconnu ?

La question des figures d'acteur pour l'échange dans l'inconnu

Les individus impliqués dans la mise en place de telles doctrines deviennent des acteurs dont on attend un certain comportement vis-à-vis de ces substrats. Cela se résume dans la notion de figure d'acteur. Dans l'exemple de l'innovation orpheline, Marine Agogué (2012) relevait la figure de l'architecte de l'inconnu qui aidait les acteurs classiques d'un secteur industriel à identifier leurs fixations et des nouvelles voies d'innovation. Les figures d'acteur considérées les unes par rapport aux autres constituent bien ce qui était appelé « vision simplifiée des relations organisationnelles » par Hatchuel et Weil (1990).

Q3 : Quelles figures d'acteur aux explorations de propriétés de la technologie et de critères d'évaluation rendant possible l'échange dans l'inconnu ?

La question de la philosophie gestionnaire pour l'échange dans l'inconnu

Les figures d'acteur peuvent manipuler des substrats techniques en suivant un modèle d'action donné, mais il faut que cela contribue à un but. Par exemple l'organisation scientifique du travail voulait accroître la productivité. C'est ce que capture la notion de philosophie gestionnaire définie comme « système de concepts qui désigne les objets et les objectifs formant les cibles d'une rationalisation » (Hatchuel et Weil, 1990).

Q4 : Quelle philosophie gestionnaire aux explorations de propriétés de la technologie et de critères d'évaluation rendant possible l'échange dans l'inconnu ?

Conclusion de chapitre 2 : une insuffisance théorique sur le modèle d'action aux explorations préalables à l'échange d'une technologie innovante

Face à la difficulté d'échanger dans l'inconnu que présentent les terrains de la direction de l'innovation Safran, nous avons proposé un modèle de l'échange d'une technologie innovante moyennant des ressources financières ou humaines. Ce modèle met en avant la nécessité d'explorer des propriétés de la technologie et des critères d'évaluation pour procéder au calcul de la valeur qui conditionne l'échange. Nous avons identifié quatre champs théoriques pertinents pour notre modèle : l'échange marchand, la décision, l'acteur-réseau et la créativité. Ils adressent très précisément le calcul de la valeur mais présentent des limites importantes sur les explorations qui lui sont préalables. L'ambition de cette thèse est donc de fournir un modèle d'action à ces explorations, définissant notre première question de recherche. Nous étudierons aussi les questions du substrat technique, des figures d'acteur et de la philosophie gestionnaire afin de parvenir à une rationalité et à des pratiques gestionnaires. Pour apporter des réponses, la prochaine partie fournit un cadre analytique adapté à construire un modèle aux explorations en situation d'échange dans l'inconnu. De plus elle précise une méthode de recherche.

Résumé de chapitre 2

Afin de caractériser les difficultés liées à l'inconnu sur l'objet des échanges défini dans le chapitre précédent, **une modélisation de l'échange intégrant l'inconnu est proposée**. Le modèle comprend le vendeur d'une technologie innovante et son acheteur qui procèdent à l'échange si la valeur est calculable et positive. La valeur est modélisée comme le résultat d'un calcul entre les propriétés de la technologie et les critères d'évaluation de l'acheteur. Ce modèle rend compte de quatre situations d'échange. Dans la première situation la valeur est calculable. **Dans les autres situations, des propriétés de la technologie ou des critères de valeur ou les deux sont inconnus empêchant de calculer la valeur et donc de procéder à l'échange.**

Afin de préciser notre modèle et de vérifier la pertinence de ses hypothèses pour le travail de thèse, nous étudions quatre champs théoriques : l'échange marchand, la décision, l'acteur-réseau et la créativité. **Nous constatons que ces champs théoriques adressent le calcul de la valeur mais présentent des limites importantes sur les explorations de propriétés de la technologie et de critères d'évaluation.** Le modèle de l'échange marchand correspond à la situation d'échange dans le connu car même si les acteurs sont mutuellement inconnus ils connaissent les marchés intermédiaires et procèdent à un calcul très précis de la valeur. Le modèle de la décision dans l'incertain permet d'étaler la réduction d'incertitudes sur les propriétés de la technologie, par contre la construction de la valeur quand elle est inconnue n'est pas modélisée et les critères d'évaluation sont connus. Le modèle de l'intéressement limite l'exploration à des adaptations locales (traduction) même si le réseau d'acteur est en expansion. Enfin le modèle divergence-convergence de la créativité montre des difficultés à régénérer les critères de valeur même en sollicitant un grand nombre d'acteurs.

Notre modèle et ce bagage théorique permettent un premier niveau de caractérisation des échanges dans l'inconnu Safran. **L'inconnu sur la valeur des fiches idées issues des DKCP nécessite un nouveau modèle d'action pour engager des acteurs dans son exploration. Une recherche-intervention est donc très adaptée afin de fournir un nouveau modèle.** Les autres terrains nous paraissent moins prioritaires. Les défis parviennent à sélectionner une idée et à procéder à des échanges en phases projet (étude de faisabilité). La démarche prospective est gérée en adaptant les modèles d'action classiques.

Finalement, notre première question de recherche est : **quel modèle d'action aux explorations de propriétés de la technologie et de critères de valeur ?** Afin de parvenir à une rationalité et des pratiques gestionnaires, **nous posons les questions complémentaires du substrat technique, des figures d'acteur et de la philosophie gestionnaire.**

Partie 2 – Cadre analytique et méthodologie pour construire un modèle d'action collective : apports des théories de la conception et de la recherche-intervention

La partie 1 formulait les questions du modèle d'action collective, du substrat technique, des figures d'acteurs et de la philosophie gestionnaire pour échanger dans l'inconnu. La partie 2 construit un cadre analytique et une méthodologie adaptés à ces questions. Ils s'appuient respectivement sur les théories de la conception innovante et sur la recherche-intervention.

Sommaire de la partie 2

Chapitre 3 – Cadre analytique et hypothèses de recherche	75
Modèle d'action	75
<i>Apports de la conception innovante sur le modèle d'action</i>	<i>75</i>
<i>Limite de la théorie C-K : l'absence de modèle relationnel.....</i>	<i>78</i>
<i>Hypothèse sur le modèle d'action : construire un modèle de la double expansion Technologie-Environnement.....</i>	<i>82</i>
Substrat technique.....	83
<i>Substrats techniques des champs théoriques classiques</i>	<i>83</i>
<i>Apports de la conception innovante sur le substrat technique</i>	<i>83</i>
<i>Hypothèse sur le substrat technique : des substrats techniques préviennent la fixation et supportent l'exploration collective de l'inconnu.</i>	<i>85</i>
Figures d'acteur.....	85
<i>Figures d'acteur des champs théoriques classiques</i>	<i>86</i>
<i>Apports de la conception innovante sur les figures d'acteur</i>	<i>86</i>
<i>Hypothèse sur les figures d'acteur : un 3^{ème} acteur est nécessaire à l'échange dans l'inconnu.....</i>	<i>88</i>
Philosophie gestionnaire.....	88
<i>Philosophie gestionnaire dans les théories classiques</i>	<i>88</i>
<i>Apports de la conception innovante sur la philosophie gestionnaire.....</i>	<i>89</i>
<i>Hypothèse sur la philosophie gestionnaire : inhiber le calcul spontané éliminant ses dimensions inconnues</i>	<i>89</i>
Conclusion de chapitre 3.....	90

Résumé de chapitre 3	92
Chapitre 4 – Méthodologie de recherche	93
Notre démarche de recherche dans son ensemble, une recherche-intervention	93
Méthodes sollicitées dans cette recherche-intervention	94
<i>Etude de cas : expliquer un phénomène social et son contexte lorsqu'une théorie (propositions) est formulable.....</i>	<i>96</i>
<i>Modélisation et analyse formelle : fournir un cadre réflexif aux acteurs et une théorie (propositions) au phénomène.....</i>	<i>96</i>
<i>Intervention : modifier la réalité des acteurs et confronter les propositions du chercheur au terrain .</i>	<i>97</i>
Données empiriques	98
<i>Cas d'explorations chez Safran.....</i>	<i>98</i>
<i>Procédures Technology Readiness Levels (TRL).....</i>	<i>100</i>
Validation des résultats intermédiaires par la communauté scientifique internationale	101
Conclusion de chapitre 4 : annonce des résultats	103
Résumé du chapitre 4	104

Chapitre 3 – Cadre analytique et hypothèses de recherche

Nos questions de recherche portent sur le modèle d'action, le substrat technique, les figures d'acteur et la philosophie gestionnaire des explorations nécessaires à l'échange dans l'inconnu. Ce chapitre construit le cadre analytique de la thèse en traitant chaque question systématiquement afin de déduire une hypothèse de recherche pour chacune. Notre cadre analytique doit rendre compte du raisonnement sur l'inconnu. En effet le chapitre précédent montrait l'insuffisance de raisonner sur le connu (échange marchand), sur les incertitudes (décision), sur le réseau d'acteurs alliés ou détracteurs (intéressement), ou sur les idées d'utilisateurs et développeurs professionnels (divergence-convergence). Nous sollicitons donc les théories de la conception innovante qui définissent l'inconnu comme suit : « l'incertitude renvoie à la probabilité d'occurrence d'un événement, mais un événement dont la nature est connue – s'il y a 80% de risque qu'il pleuve demain, on n'est pas sûr qu'il pleuve mais on sait ce que c'est pleuvoir. L'inconnu renvoie à la nature même de l'événement : si on s'interroge sur la vie sur Mars ou sur des exoplanètes, c'est la nature même, la forme de cette vie qui est inconnue. » (Le Masson, Weil et Hatchuel 2015, p234). Ces théories établissent des conditions sur le raisonnement dans l'inconnu et sur l'organisation pour qu'une entreprise puisse innover en rupture de façon répétée.

Modèle d'action

Les prochains paragraphes établissent les apports et les limites des théories de la conception innovante sur la question du modèle d'action pour l'échange dans l'inconnu. Nous verrons donc d'une part que ces théories envisagent la relation interpersonnelle en conception (de nature différente de celle d'intéressement) ou les relations de la fonction conception innovante de l'entreprise avec la recherche et le développement, et d'autre part que la théorie C-K est une théorie du raisonnement dans l'inconnu. Mais les modèles à la fois de relation entre concepteurs et de raisonnement restent encore limités alors que l'échange dans l'inconnu nécessite de modéliser la relation vendeur-acheteur et le raisonnement des deux acteurs. Or des récents travaux suggèrent de séparer l'exploration de la technologie de celle de l'environnement. Notre hypothèse de recherche consiste donc à construire un modèle de la double expansion Technologie-Environnement.

Apports de la conception innovante sur le modèle d'action

Les trois prochains paragraphes dressent un état de l'art qui montre que les théories de la conception ont d'abord traité séparément les relations et le raisonnement dans l'inconnu.

La relation interpersonnelle en conception

Le chapitre 2 mettait en exergue certaines tensions entre les modèles existants. L'échange marchand est conditionné uniquement par les relations entre les biens et non pas celles entre les hommes alors que le modèle de l'intéressement prescrit au vendeur d'enrôler des collaborateurs et des orateurs permettant d'intéresser plus d'acheteurs. Plus généralement, l'objet d'étude de l'économie est bien l'échange mais elle ne tient pas compte des relations comme des variables de conception de l'action ;

les théories sociologiques au contraire conçoivent l'action comme une conséquence des relations (Hatchuel 2000). La conception fournit une résolution de cette tension généralisable à toutes les sciences de gestion avec l'hypothèse de non-séparabilité entre les relations et les connaissances (notée S/R) (Hatchuel 1999). Ainsi dans un tel cadre, le modèle d'action aux explorations permettant l'échange abordera ensemble l'expansion des connaissances et l'expansion du réseau. La relation entre hommes dans le modèle conceptif²⁹ est cependant très différente de la relation d'intéressement.

Sophie Hooge (2010) précisait qu'en conception il peut être défavorable d'accroître le nombre d'alliés et que la relation recherchée est un engagement actif de l'acteur qui contribue à l'action collective par l'apport de ressources comme des compétences adaptées ou des moyens financiers (pages 398 à 399). Ainsi ces travaux avec ceux de Lelebina (2015) mènent à la conclusion qu'en conception l'expert n'est pas défini relativement au statut que lui donne l'échelle de carrière du département ressources humaines mais relativement à la contribution de son expertise à la conception en cours. Ainsi au stade de la créativité, un premier échange est réalisé : le pilote défrichant une idée reçoit un financement modeste (Hooge 2010, pages 301 à 304). Puis la négociation avec des partenaires accorde un financement ultérieur qui sera la contrepartie à l'exploration de l'idée. Nous avons vu que la négociation est limitée à un petit nombre de dimensions de la valeur immédiatement accessibles, donc connues. Précisément l'auteur analyse des cas où le calcul de la valeur impose des critères connus de l'acheteur au vendeur (en l'occurrence valeur-utilisateur, volume, coût unitaire et coûts non récurrents tous combinés dans la formule de la valeur actualisée nette). Les vendeurs de technologies inconnues sont alors pénalisés par de plus grandes difficultés d'exploration, davantage d'incertitude dans les données obtenues et moins de confiance de l'acheteur (Chapitre 7). De plus les experts sollicités par les vendeurs pour explorer leur technologie intègrent une marge dans leur estimation (prime au risque) biaisant alors la décision. L'intervention du chercheur consista alors à fournir aux vendeurs les outils pour expliciter l'origine des incertitudes lors de la décision de procéder ou non aux échanges³⁰. Notre modèle permet d'argumenter qu'une technologie amenant une nouvelle prestation à l'utilisateur devrait amener à considérer ses critères qui se voient renouvelés ou à modifier le calcul de façon à ne pas tenir compte de critères non adressables par le vendeur. Cependant la question de l'engagement de ressources (humaines voire cognitives) dans l'inconnu mis en avant dans ces travaux devra être traitée à nouveau dans la perspective de l'échange.

Les relations de la conception innovante avec la recherche et le développement

Dans le chapitre 1 nous observions que la direction de l'innovation est construite sur un modèle d'échange avec la recherche et le développement dans le connu. Pascal Le Masson (2001) proposait

²⁹ Relatif à la conception

³⁰ En plus de corriger l'erreur de raisonnement statistique opérée dans l'application du modèle décisionnel dans l'incertitude en considérant les probabilités subjectives sur la valeur client, les volumes et le PRF données par les experts.

la fonction de conception innovante « I » en plus de celles de recherche et de développement prescrivant alors le modèle RID en remplacement de R&D pour les groupes tels que Safran. Ce modèle décrivait alors les relations entre R, I et D. La fonction I reçoit de la connaissance de la recherche et du développement. Pour cela elles posent des questions à la recherche. De plus elle transmet des concepts renouvelant la valeur et les compétences aux développements. Cependant il ne s'agit pas d'un modèle d'échange car les informations transmises ne font pas l'objet de contreparties. Lorsque la recherche transmet des connaissances à la fonction I, la question qui lui était posée ne fait pas contrepartie comme le montre les terrains de la direction de l'innovation Safran. Une fiche idée n'est pas automatiquement explorée par les départements R&T des sociétés. Elle n'est pas développable par les programmes avant d'avoir été démontrée par un projet Innovation. En fait les ressources financières et humaines exogènes au modèle RID sont les contreparties comme le suggèrent le cas Safran ou Renault (Hooge 2010), d'où la question fondamentale de l'engagement. Cependant le modèle constitue un apport important à notre recherche car la fonction I raisonne dans l'inconnu. Le Masson, Weil et Hatchuel (2010, chapitre 10) prescrivaient la théorie C-K comme modèle d'action à la fonction I.

La théorie C-K : de la conception innovante à tout raisonnement dans d'inconnu

Hatchuel et Weil (2002) présentaient la théorie C-K comme une théorie du raisonnement de conception. Elle est fondée sur la distinction de deux espaces : l'espace des Connaissances (dit "espace K" pour Knowledge) composé de propositions ayant toutes un statut logique, et l'espace de Concepts ("espace C") composés de propositions sans statut logique relativement aux connaissances (voir Figure 8). Ainsi lorsque l'objet qui serait échangé est inconnu, la théorie C-K permet de raisonner sur cet objet en tant que concept. Espace des concepts et espace des connaissances ne sont pas structurés de façon identique. L'espace des connaissances a une structure dite « archipelagique ». L'espace des concepts a une structure arborescente de la forme « un objet X auquel on ajoute des propriétés P(X) qui peuvent être alternatives entre elles ». Plus précisément, l'évolution de la conception en cours, la progression du raisonnement, est théorisée comme l'expansion de ces espaces par les opérateurs $K \rightarrow C$ qui génère des nouveaux concepts, $C \rightarrow C$ qui raffine ces concepts en lui ajoutant des propriétés, $C \rightarrow K$ qui explorent des nouvelles connaissances, et $K \rightarrow K$ qui génère des nouvelles connaissances par déduction à partir des précédentes.

La théorie C-K fournit un formalisme suffisamment indépendant des expertises mobilisées par les concepteurs pour modéliser le raisonnement dans des situations différentes de la conception de produits. Mathias Szpirglas (2006) la mobilisait pour comprendre les logiques du quiproquo en situation de risque, Marine Agogué (2012) pour la résolution du problème de la chute de l'œuf faisant alors un lien entre les sciences de gestion et la psychologie. Cependant la perspective de l'échange est nouvelle pour cette théorie.

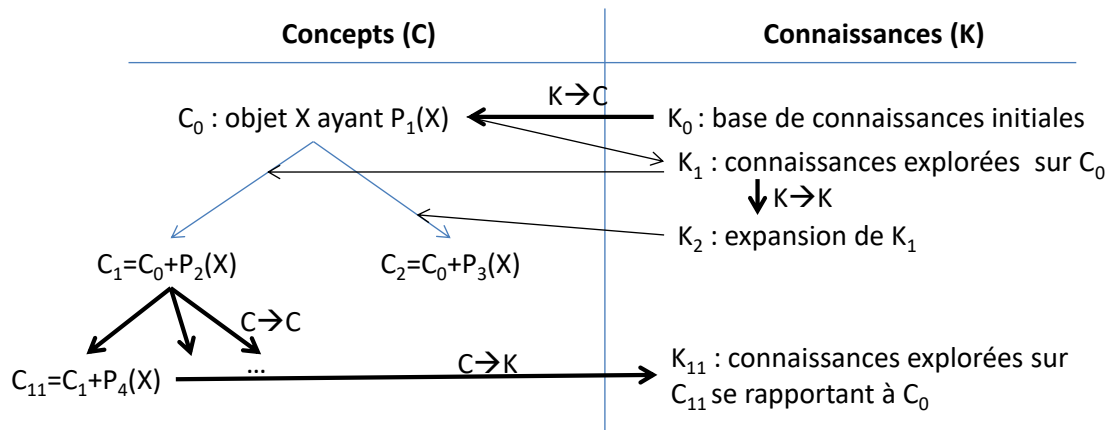


Figure 8 : La théorie C-K – un formalisme dans lequel peut être représenté tout raisonnement de conception ou raisonnement dans l’inconnu – il comprend l’espace des concepts et celui des connaissances dont les expansions sont permises par les opérateurs $K \rightarrow C$, $C \rightarrow K$, $C \rightarrow C$ et $C \rightarrow K$ – il ne s’agit pas d’une méthode prescriptive mais le concepteur outillé d’un diagramme C-K ou même l’éditant pour concevoir dispose d’une réflexivité supérieure sur les actions qui lui sont possibles.

Dans l’inconnu, les théories de la conception innovante ont donc mis en avant des nouvelles formes de relation et de raisonnement de façon séparée. Or l’échange dans l’inconnu construit simultanément la relation vendeur-acheteur et l’objet des échanges. Nous allons donc revoir de tels modèles.

Limite de la théorie C-K : l’absence de modèle relationnel

Par un état de l’art, nous montrons d’abord que parmi les théories de la conception innovante, les tentatives de traiter à la fois la relation entre deux concepteurs et leurs raisonnements dans l’inconnu restent limitées à des acteurs connus ou à des situations avec environnement de travail intermédiaire. Ensuite nous décrivons les origines de l’hypothèse de raisonnement sur la technologie et celui sur son environnement pour lever ces limites.

Une limite identifiée par la perspective de l’échange

Le raisonnement dans l’inconnu formalisable avec la théorie C-K ne rend pas compte des relations entre les acteurs. Szpirglas (2006) expliquait les mécanismes de quiproquo des acteurs concepteurs du sens de leur situation par des diagrammes C-K en interactions. Kazakçi (2007) ajoutait l’espace E à la théorie C-K (C-K-E), l’environnement d’un concepteur humain, afin qu’un assistant informatique puisse y faire des suggestions. L’auteur proposait d’étendre un tel modèle à deux concepteurs percevant et agissant sur un même environnement. Gillier (2010, chapitre VII) proposait d’identifier les interactions entre profils C-K de chaque concepteur (*Matching*). Ensuite l’auteur s’intéresse à la conception de l’intérêt commun de la coopération entre acteurs (*Building*). Il s’appuie alors sur le formalisme C-K-E. Enfin il ne représente qu’un seul C-K pour définir les notions de champs d’innovation (pas encore d’intérêt commun), de concept-générique (intérêt commun) et de concept-partenaire (intérêt particulier).

Pour Kazakçi, les concepteurs n’interagissent pas entre eux mais avec l’environnement, à l’extrême ils pourraient ne pas être conscients l’un de l’autre. Au contraire, en absence d’objet à échanger, acheteurs et vendeurs sont très susceptibles d’interagir sans environnement intermédiaire.

L'hypothèse restreint donc à un nombre limité de situations d'échange dans l'inconnu. Au contraire les travaux de Szpirglas ne traitent pas l'inconnu sur les acteurs car les deux raisonnements dans l'inconnu sont ceux d'acteurs qui se connaissent mutuellement. Enfin les modèles de Gillier nécessitent des représentants compétents d'entreprises déjà partenaires, l'inconnu sur les acteurs y est donc très restreint. La perspective de l'échange indique donc une situation non traitée par les théories multi-concepteurs actuelles : deux concepteurs inconnus l'un de l'autre interagissant. Concrètement un tel formalisme serait utilisé par un acheteur-concepteur cherchant un vendeur-concepteur, ou par un acteur n'étant pas une partie de l'échange. Nous reviendrons sur ce point dans la question des figures d'acteurs. Le tableau ci-après synthétise l'état de l'art des théories multi-acteurs du raisonnement dans l'inconnu. Nous pouvons remarquer qu'une vision schématique de ces théories s'apparente à un échange. En effet des échanges ont lieu avant un échange marchand d'après les auteurs. Pour Szpirglas (2006) toute conversation est un échange, du moins un échange dialogique. Kazakçi considère des échanges de connaissances (2007, p74). Gillier considère que les partenaires d'exploration s'échangent des données ou informations oralement ou via des documents (pages 181, 188, 217 et 275). Pour Szpirglas, un échange de qualité fournit beaucoup de connaissances sur la situation dont le sens est conçu. Kazakçi précise que la qualité de l'influence d'un concepteur sur l'autre n'est pas nécessairement identique. De plus il ouvre la perspective de l'échange : « La théorie C/K/E peut-elle expliquer la relation et les échanges entre deux concepteurs ? » (2007, p212). Mais de tels échanges supposent la mobilisation de ressources cognitives au même titre qu'on mobilise une machine d'essai ou un budget ; la problématique de l'engagement reste donc entière. Nous parlerons donc de « premiers échanges » lorsque la contrepartie n'est pas encore monétaire.

Théorie	Acteurs	Environnement	Schéma de synthèse
<i>Quiproquo</i> (Szpirglas 2006)	mutuellement connus	non	$C K^1 \rightleftharpoons C K^2$
<i>C-K-E</i> (Kazakçi 2007)	mutuellement inconnus (dans l'hypothèse)	oui	$C K^? \rightleftharpoons E \rightleftharpoons K C^?$
<i>Matching</i> (Gillier 2010)	mutuellement connus	non	$C K^1 \rightleftharpoons C K^2$
<i>Building</i> (Gillier 2010)	mutuellement connus	oui	$C K^1 \rightleftharpoons E \rightleftharpoons K C^2$
A proposer	mutuellement inconnus ou inconnus d'un tiers acteur	non	$C K^? \rightleftharpoons C K^?$

Tableau 4 : Les formalismes multi-acteur engendrés par la théorie C-K

Remarquons que le champ théorique de la conception a déjà fourni des modèles relationnels mais sans formaliser le raisonnement de conception. La relation fournisseur-client a été décrite comme *white box*, *gray box* ou *black box* sur les axes autonomie du fournisseur et risque par Le Dain, Calvi et Cheriti (2010) dans le but de prendre la meilleure décision de concevoir ou d'externaliser la conception. Rémi Maniak (2009) a décrit les relations de sous-traitance, de co-développement ou de co-innovation. Ces deux taxinomies des relations entre concepteurs adoptent pour critère le niveau d'inconnu sur l'objet échangé qui est confié au fournisseur pour qu'il l'explore. Ici la notion de prescription d'Hatchuel (2000) est éclairante. L'expertise du client lui permet d'être prescripteur dans les relations de sous-traitance ou *white box*, les rapports de prescription sont moins évidents dans le cas du co-développement (Zirpoli and Camuffo 2009), enfin ils tendent majoritairement à s'inverser dans la co-innovation. Le Dain et Merminod (2014) s'appuyaient sur le modèle de partage de connaissance Transformation-Traduction-Transfert de Carlile (2004) pour montrer que plus l'inconnu est important (amont du processus de co-développement) plus l'effort de traduction l'est aussi. Mais le raisonnement dans l'inconnu reste exogène.

Séparer la conception de la technologie de celle de son environnement

Dans l'article ICED³¹, nous établissons que les théories formelles de la conception décrivent la coévolution de deux espaces. La conception a donc pour objectifs de construire l'adéquation entre ces deux espaces. Alexander (1964) expliquait comment choisir la frontière entre la forme conçue et son contexte. Simon (1977) décrivait la conception comme la résolution de problème dans laquelle

³¹ Les articles produits pendant la thèse sont présentés dans le chapitre suivant (p101).

non seulement le concepteur fait évoluer la solution mais aussi reformule le problème. Shapiro and Voelcker (1989) complétaient le formalisme des bond-graph pour traduire l'adéquation entre géométrie et fonctions mécaniques. Yoshikawa appelait *general design theory* une théorie représentant la conception en cours comme la relation mathématique entre la géométrie et les fonctions (Reich 1995). Suh (1990) définissait la théorie de la conception axiomatique en distinguant les paramètres de conception et les spécifications fonctionnelles. Braha et Reich (2003) adoptaient un processus itératif dont chaque itération renouvelle deux vecteurs couplés, celui des descriptions structurelles et celui des descriptions fonctionnelles. Un tel modèle était qualifié de « couplé » alors que dans le modèle « basique » (exemple : conception systématique de Pahl et Beitz) une itération ne renouvelle qu'un seul des deux vecteurs.

Ainsi notre modèle de l'échange comprenant les propriétés des technologies (P_i) et les critères d'évaluation (V_i) présente une similarité évidente avec les théories formelles de la conception. Pourtant aucune d'entre elle ne comprend un modèle relationnel. Des acteurs différents peuvent-ils concevoir séparément chaque espace ? Un acteur est peut-être nécessaire pour faire intermédiaire ? Ou peut-être est-ce impossible, le tout est pensé par un acteur unique (un collectif ayant les mêmes connaissances d'après l'hypothèse S/R) ? Ce n'est pas la question des auteurs.

La théorie C-K a le même statut sur cette limite. Cependant elle embrasse l'espace des concepts (C) et l'espace des connaissances (K) dont la nature est différente des espaces des autres théories formelles. La conséquence est que tout élément dans un espace des théories formelles précédentes peut s'inscrire dans l'espace C ou dans l'espace K. Une forme peut être formulée verbalement mais rester inimaginable. Pour un fournisseur, les problèmes techniques confidentiels de son client sont des concepts très désirables surtout lorsque les problèmes connus ne génèrent pas un chiffre d'affaires suffisant. *Etc etc*. Donc elle est la seule théorie à pouvoir distinguer des propriétés des technologies connues (P_i) et inconnues (notés $P_i?$), ou encore des critères d'évaluation connus (V_i) et inconnus (notés $V_i?$).

Récemment, Olga Kokshagina (2014) formalisait des stratégies de conception de technologies génériques avec la théorie C-K pour permettre de donner une réalité technique à des concepts purement économique. L'auteur cherche alors la structuration des connaissances adéquate. Pour cela elle propose de découpler les technologies et les marchés en introduisant les fonctions. Les concepteurs doivent formuler des fonctions génériques à plusieurs marchés ou plus généralement, à plusieurs environnements. Cela nécessite l'acquisition d'un domaine de connaissances à la frontière de tous les environnements, par exemple la mécanique du mouvement de rotation permet d'appliquer la machine à vapeur aux industries métallurgiques, textiles, verrières et minières. La valeur se construit donc aux interfaces entre technologies et environnements. Ainsi, comme il l'a été exposé dans notre article ICED, les théories de la conception autres que C-K ont deux espaces très similaires à Technologie et Environnement. Nous pouvons donc employer ces deux espaces et les espaces C-K dans l'hypothèse que le vendeur conçoit des technologies et que l'acheteur conçoit leurs environnements, et que de tels efforts génèrent les P_i et V_i permettant de calculer la valeur.

Nous devons positionner de façon plus large cette hypothèse et valider sa pertinence.

Hypothèse sur le modèle d'action : construire un modèle de la double expansion Technologie-Environnement

Le modèle divergent-convergent préconise de générer des idées puis de les sélectionner. Mais nous avons identifié une limite : il n'explique pas le besoin de nouvelles connaissances pour diverger. Au mieux le modèle divergent-convergent explique le phénomène en répétant plusieurs fois le schéma divergence-convergence. Eris (2006) précisait que l'investigation divergente coïncide avec l'espace des concepts et l'investigation convergente coïncide avec l'espace des connaissances. L'apport du formalisme C-K est double :

- L'exploration de nouvelles connaissances permet de diverger en formulant des nouveaux concepts. Le formalisme C-K rend donc compte des capacités de divergence permises par l'acquisition d'une nouvelle poche de connaissance particulière.
- Mais quelles connaissances explorer ? Il faudrait nier tout pragmatisme et accepter un risque important pour explorer des connaissances au hasard. C'est donc la formulation de nouveaux concepts qui oriente l'exploration de nouvelles connaissances.

Cependant l'ambition d'un modèle à la fois du raisonnement dans l'inconnu et de la relation reste strictement nouvelle dans notre état de l'art.

Afin d'obtenir des réponses à la question du modèle d'action des explorations préalables à l'échange, nous pouvons donc formuler l'hypothèse suivante.

Hypothèse sur le modèle d'action

Construction d'un modèle qui génère la relation vendeur-acheteur et les expansions de connaissances de types technologie (ΔT) ou environnement (ΔE) ; celles-ci sont la conséquence d'un engagement de ressources et co-évoluent avec des concepts de propriétés de technologies ($P_i?$) ou de critères d'évaluation ($V_i?$) formant des calculs inconnus de la valeur.

L'échange suppose un engagement de ressource que l'inconnu rend très difficile. La thèse devra adresser cette problématique sans quoi les explorations sont impossibles.

De même que la formulation d'un concept générique était une étape critique du raisonnement de conception de technologies génériques, la thèse devra expliciter les concepts intermédiaires qui mènent à formuler les concepts $P_i?$ et $V_i?$.

Si la fixation sur la technologie était décelée sans cadre analytique spécifique, cette hypothèse est riche de questionnement plus fin sur notre modèle. Peut-on évaluer avec des critères inconnus ? Comment régénérer systématiquement les critères ? Les concepts $P_i?$ et $V_i?$ sont-ils formulés puis explorés simultanément ou séparément ?

Enfin si les connaissances ne sont pas disponibles, la seule issue théorique à ce que vendeur et acheteur engagent des ressources d'exploration est qu'un *calcul inconnu* de type $V(T)? = f(P_i?, V_i?)$ est possible. Un tel calcul engage-t-il effectivement les acteurs ?

Nous sommes donc dotés d'un cadre analytique sur la question du modèle d'action pour l'échange dans l'inconnu. Nous devons construire un cadre analytique sur les questions du substrat technique, des figures d'acteur et de la philosophie gestionnaire.

Substrat technique

Afin de construire un cadre analytique sur la question du substrat technique, nous allons d'abord brièvement voir les limites de ceux proposés par les champs théoriques classiques. Ensuite nous faisons l'état de l'art des substrats techniques issus de la théorie C-K ou bien de l'analyse qu'elle permet de faire d'outils et méthodes fondés sur toute autre théorie. Nous exposons donc notre hypothèse de recherche de substrats techniques qui préviennent la fixation et supportent l'exploration collective de l'inconnu.

Substrats techniques des champs théoriques classiques

Notre revue de littérature ne le mettait pas en exergue, mais tous les modèles d'action en situation d'échange revus disposent de substrats techniques qui leur sont spécifiques comme illustré dans le tableau suivant.

Théorie	Exemples de substrats techniques	Limite dans l'inconnu
Echange marchand	Monnaies frappées, imprimées ou électroniques comme intermédiaire d'échange Boutiques et bourses comme lieu de rencontre de l'offre et de la demande	supposent qu'offre et demande sont connues
Décision d'échanger	Les documents exigés aux réunions de jalon Les formules comme la VAN agglomérant différents critères Les différents types de graphique agglomérant différents critères	fixent les V_i et donc contraignent l'exploration de la technologie
Acteur-réseau	Les objet-frontières comme le business model les objets intermédiaires comme les brouillons	pas d'exploration de nouvelles dimensions, l'objet échangé n'est pas transformé
Créativité	Les règles du brainstorming émises par Alex Osborn ou autres techniques de créativité Les moyens informatiques pour recueillir les idées de nombreux individus	compatible qu'avec des niveaux d'engagement très faible

Tableau 5 : Exemples de substrats techniques associés aux théories classiques

Apports de la conception innovante sur le substrat technique

Les théories de la conception innovante sont devenues la réalité de certaines entreprises ce qui a donné naissance à une variété d'outils et méthodes. Leur spécificité est d'aider les acteurs à éviter

des effets de fixation. Enfin, la théorie C-K permet d'analyser des outils et des méthodes sur ce critère.

Les outils et méthodes fondés sur la théorie C-K

La théorie C-K permet de formaliser des travaux exploratoires dans des diagrammes C-K. Hooge, Agogué et Gillier (2012) reportaient quatre situations dans lesquelles les entreprises les utilisent : les ateliers de créativité, la négociation avec les parties prenantes d'un projet, le suivi d'un portefeuille de projet, le positionnement d'entreprises dans un secteur industriel. Les auteurs font alors des recommandations pour l'édition de diagrammes C-K et résument les bénéfices des diagrammes C-K. Notamment ils permettent de soutenir l'ouverture de voies de conception en rupture et d'explicitier les transitions entre divergence et convergence.

Des substrats techniques évitant la fixation

Les effets de fixation en conception sont définis comme « le dévouement prématuré à une solution d'un problème de conception » (Purcell and Gero 1996) ou encore « l'adhérence aveugle à un ensemble d'idées ou de concepts limitant les débouchés de la conception » (Jansson et Smith 1991). Les auteurs mettent en avant la difficulté des industriels à renouveler les critères de performance des objets conçus. Hooge et David (2014) affirment avoir eu recours à des outils fondés sur la théorie C-K pour renouveler ces critères en même temps que les technologies mais que d'autres types d'outils peuvent être utilisés. Cependant les auteurs n'indiquent pas les conditions pour qu'un outil régénère effectivement les critères d'évaluation. Elmquist et Segrestin (2009) faisait le constat dans l'industrie automobile que les critères d'évaluation prédéfinis deviennent obsolètes pour le champ d'innovation des voitures écologiques ; la méthode KCP permet alors de régénérer des critères. Au contraire sur les terrains de la direction de l'innovation Safran elle s'avère insuffisante sur ce point ce qui appelle à une meilleure formalisation de la méthode. La thèse devra donc adresser ce point car dans notre modèle, cela s'interprète comme une meilleure aptitude à concevoir des nouvelles propriétés de technologies que des nouveaux critères d'évaluation. En effet Hooge (2010, p302) soulignait la « tendance naturelle des concepteurs à se focaliser sur le développement de la technologie ». Eyquem-Renault (2011, p305) faisait le même constat sur les entrepreneurs technologiques. Il s'agit d'un phénomène de fixation que les substrats techniques doivent donc éviter. Marine Agogué (2012) utilisait un diagramme C-K pour montrer à des industriels les fixations du secteur sur des concepts connus et des voies alternatives. Chaque industriel pouvait donc se positionner sur le référentiel commun et envisager des positionnements futurs à explorer.

Analyse de substrats non fondés sur les théories de la conception innovante

La théorie C-K permet de formaliser le raisonnement de conception opéré par des substrats techniques et de caractériser leurs fixations. Ainsi la méthode *Parameter Analysis* a été caractérisée de « *steepest first exploration* » (Kroll, Le Masson, Weil 2014). Dans une entreprise pharmaceutique, Elmquist et Segrestin (2007) relevait l'échec d'une méthode d'évaluation de jeune-pousse de molécules sur des critères d'évaluation connus. Des explorations de nouvelles connaissances par exemple sur les domaines thérapeutiques étaient nécessaires pour générer des nouveaux critères.

Gillier (2010, pages 279 à 280) relevait que lorsqu'un expert présente une technologie à des experts de domaines variés, la traduction de cette présentation dans le formalisme C-K permet de déceler l'identité d'emprunt que l'expert lui a donné, et donc la fixation qui contraignait son raisonnement. Enfin Sihem Ben Mahmoud-Jouini *et al.* (2013) mobilisaient la théorie C-K afin d'expliquer la « fonction spécifique des artefacts dans le processus créatif ». En effet les auteurs proposent la taxonomie d'artefacts stimulateurs, explorateurs, prototypes. Les stimulateurs se distinguent par la capacité disjonctive ($K \rightarrow C$) qu'ils offrent aux concepteurs. D'après notre étude de la littérature³², cela ouvre un nouveau paradigme à la fabrication d'artefacts pendant la conception car la littérature l'associe à la conjonction ($C \rightarrow K$) ou à la réduction d'incertitudes ($K \rightarrow K$). Même si la littérature a évolué en décrivant des artefacts intervenant de plus en plus tôt, fabriquer des objets pour diverger au lieu de fabriquer pour converger reste très peu décrit. Dans notre modèle, fabriquer pour rester dans l'inconnu pourrait permettre de générer des nouveaux $P_i?$ et $V_i?$.

Hypothèse sur le substrat technique : des substrats techniques préviennent la fixation et supportent l'exploration collective de l'inconnu.

La notion de fixation en conception était définie comme « l'adhérence aveugle à un ensemble d'idées ou de concepts limitant les débouchés de la conception » par Jansson et Smith (1991). Le cadre analytique des théories de la conception préconise déjà d'éviter la fixation sur des critères d'évaluation connus. Mais Le Masson, Hatchuel et Weil (2011) indiquaient le rôle des théories de la conception dans l'identification et le dépassement des fixations permises par leurs ontologies invariantes. Les fixations dans l'échange dans l'inconnu devront être listées exhaustivement par le travail de thèse afin de proposer des substrats techniques qui les évitent.

Hypothèse sur le substrat technique

Il existe des substrats techniques qui préviennent la fixation et supportent l'exploration collective de l'inconnu.

A présent nous devons répéter l'exercice pour la question des figures d'acteur pour l'échange dans l'inconnu.

Figures d'acteur

Afin de construire un cadre analytique sur la question des figures d'acteur, nous allons d'abord brièvement voir les limites de celles proposées par les champs théoriques classiques. Ensuite nous verrons que les théories de la conception innovante ont mis en avant d'une part des collègues de l'inconnu qui évitent la logique marchande et d'autre part que vendeurs et acheteurs sont peu

³² Voir l'article IPDM présenté dans le chapitre suivant. Notre revue de littérature sur les artefacts faisait émerger deux catégories, cependant les stimulateurs, les objets épistémiques et les technologies instables sur les deux dimensions technique/usage offrent un inconnu sur l'objet bien plus radical que le reste de la littérature.

propices à concevoir la valeur préalable à l'échange marchand. D'où l'hypothèse qu'un 3ème acteur est nécessaire pour échanger dans l'inconnu.

Figures d'acteur des champs théoriques classiques

Les modèles d'échange revus incluent deux parties de l'échange de façon évidente, mais elles varient par leur nature.

Théorie	Figures d'acteur	Limites dans l'inconnu
Echange marchand	Marchand, Parties de l'échange Intermédiaires : commissaire-priseur, régulateur institutionnel	exploitent des asymétries d'information sans exploration
Décision d'échanger	Vendeurs : équipe projet, département amont Acheteurs : décideur, département aval	sont connus et n'explorent pas de nouvelles dimensions de la valeur
Acteur-réseau	Vendeurs : entrepreneur ou employé et ses collaborateurs et orateurs Acheteurs : autres alliés Détracteurs	un allié ne fournit pas un engagement actif contribuant à construire la valeur
Créativité	Vendeurs : développeurs professionnels de la technologie Acheteurs : utilisateurs de la technologie	développeurs et utilisateurs extrêmes connus

Tableau 6 : Figures d'acteur envisagées par les théories classiques

Les théories de la conception innovante ont largement étudié cette question.

Apports de la conception innovante sur les figures d'acteur

Les collègues de l'inconnu

Les substrats techniques vus précédemment ne sont pas utilisés par n'importe quel acteur. Le Masson et Weil (2014) précisent que le référentiel C-K évoqué précédemment n'est pas employé au sein d'une entreprise particulière mais d'un « collègue de l'inconnu ». L'intérêt des entreprises est de s'approprier l'inconnu jusqu'à pouvoir opérer de nouveaux échanges marchands. Cela les limite dans l'expansion de l'inconnu. Les collègues de l'inconnu n'ont pas cette contrainte d'aboutir à une valeur marchande exclusive, ils peuvent donc étendre l'inconnu imaginable. Pourtant il existe des collègues de l'inconnu constitués d'un collectif d'entreprises. Par exemple l'ITRS³³ s'appuie sur la loi de Moore qui régénère automatiquement l'inconnu à l'échelle de l'industrie du secteur des semi-conducteurs : des puces électroniques deux fois plus denses que la génération précédente. Trois fois par an il réunit de nombreuses entreprises autour de cet inconnu commun pour élaborer des solutions potentielles aux challenges technologiques futurs. Les auteurs parviennent à l'hypothèse que le caractère non appropriable de l'inconnu qui est le motif à réunir les acteurs dont les intérêts individuels prévalent est une condition à pouvoir réaliser ces premiers échanges, des échanges dans l'inconnu.

³³ International Technology Roadmap for Semiconductors

Principes de gestion de tels collègues

Les principes gestionnaires de tels collègues de l'inconnu ont été précisés par Agogué *et al.* (2013) :

- Connecter : en déployant un réseau ad hoc d'acteurs adéquats engagés à innover collectivement
- Engager : créer un lieu légitime pour l'innovation collective
- Eviter et résoudre les conflits : résoudre les conflits de façon créative
- Stimuler l'innovation : partager un agenda de questions et de problèmes (et non pas les réponses et les solutions)

Les derniers travaux sur les technologies génériques (Kokshagina 2014) identifiaient la figure de *cross-application manager* qui déploie de telles stratégies pour concevoir la zone d'exploration qui mène à plus d'applications d'une technologie considérée (chapitre 10). Sans cet acteur, la technologie progresse sans se voir appliquer à des nouveaux environnements limitant les opportunités d'échanges futurs. Au contraire les cas que l'auteur mobilise soulignent l'importance du *cross-application manager* pour prévenir l'exploration d'un marché unique, poursuivre l'exploration de fonctions génériques entre des technologies et des environnements, organiser le portefeuille de brevets d'une technologie générique et coordonner les acteurs de la recherche et du développement transversalement aux différentes entités.

Collectifs vendeurs et acheteurs concepteurs

Auparavant, le modèle de l'intéressement nous amenait à l'hypothèse que vendeur et acheteur de notre modèle ne sont pas deux individus mais deux collectifs en construction. Les théories de la conception suggèrent qu'un acteur parmi ces collectifs agisse en concepteur. Récemment Milena Klasing Chen (2015) argumentait que le modèle vendeur/acheteur ne permet pas de rendre compte du phénomène de création de valeur dans les réseaux de valeur complexes. Cependant d'après l'auteur, de tels réseaux comportent des relations vendeur/acheteur disposées autrement que de façon linéaire (p211). De façon similaire, Donaldson *et al.* (2006) exposait les bénéfices d'une méthode de conception du modèle d'affaires suivant les étapes (a) identifications des acteurs, (b) identifications des relations, (c) explicitation des flux de valeur [des échanges], (d) définition du périmètre du modèle d'affaires [des échanges avec la firme]. Le modèle vendeur/acheteur est donc applicable à chaque paire d'acteur en relation. Cependant cette dernière méthode ne tient pas compte de l'éventuelle ignorance du concepteur sur les acteurs, pourtant cela le bloquerait dès la première étape. Au contraire Klasing Chen (2015, chapitre 8) définit la notion de création de valeur générique, c'est-à-dire la création de valeur pour des acteurs inconnus. L'auteur propose l'hypothèse que le raisonnement sur la double inconnue technologie-marché (Kokshagina 2014) est transposable au double inconnu valeur-acteur. Un cas est proposé permettant de vérifier cette hypothèse sur l'une des quatre stratégies de conception de technologies génériques. Sans entrer dans les détails, l'apport de ces travaux pour notre cadre analytique est que l'entreprise conçoit le réseau de valeur futur pour s'assurer qu'elle prenne part à des échanges (Klasing Chen 2015, p279) ; un acteur vendeur ou acheteur peut donc aussi agir en concepteur temporairement.

Cela termine notre état de l'art sur les figures d'acteurs mises en avant par les théories de la conception innovante dans la perspective de l'échange. Nous pouvons donc formuler une hypothèse de recherche.

Hypothèse sur les figures d'acteur : un 3^{ème} acteur est nécessaire à l'échange dans l'inconnu

D'une part les théories de la conception mettent en avant qu'un collectif acheteur ou vendeur est peu susceptible d'explorer l'inconnu tout en le régénérant. Ces collectifs préféreront désigner des objets connus dont la valeur est appropriable rapidement d'où la nécessité de collectifs spécifiques à l'exploration de l'inconnu. D'autre part une entreprise peut devenir concepteur d'une valeur générique pour tous les membres d'un réseau complexe de valeur. Les théories de la conception innovante proposent donc deux hypothèses en apparence incompatibles : l'une qu'une nouvelle figure d'acteur ne prenant pas part aux échanges marchands conçoit la valeur, l'autre que les vendeurs et les acheteurs sont des concepteurs de la valeur. Une synthèse est possible en considérant qu'un acheteur ou un vendeur n'agit en concepteur de valeur générique que temporairement pour compenser l'absence de troisième acteur. Cela permet de formuler l'hypothèse suivante à explorer.

Hypothèse sur les figures d'acteur

Un 3^{ème} acteur, ni vendeur, ni acheteur, est nécessaire pour échanger dans l'inconnu.

Cet acteur intervient-il avant ou pendant la rencontre vendeur-acheteur ? Est-ce un intermédiaire, un modérateur, un connecteur, un médiateur... ? Peut-être que dans l'inconnu vendeur et acheteur ne s'identifient pas comme tels sans qu'une tierce partie leur indique leur rôle ? Ou au contraire vendeur et acheteur de technologies connues doivent s'appuyer sur ce 3^{ème} acteur pour laisser de côté leur rôle habituel ?

Avec cette hypothèse, il ne manque que la question de la philosophie gestionnaire pour compléter notre cadre analytique.

Philosophie gestionnaire

Comme pour les autres questions, nous commençons par illustrer les limites des philosophies gestionnaires des théories classiques. Les théories de la conception innovante ont alors pour but l'innovation répétée en déstabilisant l'identité des objets. Elles permettent de faire l'hypothèse d'une philosophie inhibant le calcul spontané qui élimine les dimensions inconnues de la valeur.

Philosophie gestionnaire dans les théories classiques

Bien que l'échange marchand et l'intéressement prennent leurs racines respectives en économie et en sociologie, ils impliquent des phénomènes gestionnaires puisqu'ils étudient des formes d'action collective réfléchies, raisonnées, impliquant autrui et raisonnable (Hatchuel 2015). Ainsi dans le

tableau ci-après, sachant les descriptions faites au chapitre précédent, nous proposons les philosophies gestionnaires de chacun des modèles revus suivantes.

Théorie	Philosophie gestionnaire	Limites dans l'inconnu
Echange marchand	Maximiser les intérêts individuels de tous les acteurs	induit un calcul sur les premières dimensions disponibles
Décision d'échanger	Validation hiérarchique de la réduction d'incertitude	met de côté les dimensions inconnues pour calculer sur le connu
Acteur-réseau	Adaptation mutuelle entre technique et environnement social	n'explore pas les dimensions inconnues
Créativité	Production d'un grand nombre d'idées en collectif	compatible qu'avec des ressources engagées très faibles

Tableau 7 : Philosophies gestionnaires des modèles des théories classiques

Les théories de la conception se sont efforcées de proposer une philosophie gestionnaire alternative à celle de la décision et précisant celle de la créativité.

Apports de la conception innovante sur la philosophie gestionnaire

Une philosophie gestionnaire portant sur l'inconnu est tout à fait rare dans la littérature. On peut tout de même citer les travaux de Loch *et al.* (2008) dont le but est de diagnostiquer des facteurs imprévisibles, des inconnus-inconnus, afin d'en éviter les effets indésirables réduisant la probabilité de succès d'un projet entrepreneurial³⁴. Dans notre modèle de l'échange, une telle philosophie fait émerger des critères d'évaluation qui ne peuvent que dégrader la valeur. Au contraire les théories de la conception innovante traitent la création de valeur et prennent origine dans le besoin d'innovation répétée et non plus aléatoire des entreprises qui doivent donc s'engager à déstabiliser l'identité des objets dont elles sont les vendeurs (Le Masson, Weil et Hatchuel 2010, chapitre 1 et 2). La philosophie gestionnaire sous-jacente au modèle décisionnel, c'est à dire de prendre la décision dont les conséquences seront les plus profitables, est insuffisante car la génération d'alternatives est exogène. Au contraire déstabiliser l'identité des objets supposent de régénérer les alternatives dans des partitions expansives. Les réunions de jalon changent alors de motif, obtenir un consensus des parties prenantes sur la valeur dans la firme prend le pas sur l'aval hiérarchique (Hooge 2010). Dans le cas où de telles parties prenantes sont inconnues et plutôt hors de la firme, la valeur est générique (Klasing Chen 2015).

Hypothèse sur la philosophie gestionnaire : inhiber le calcul spontané éliminant ses dimensions inconnues

Dans le contexte d'innovation intensive, la théorie C-K est un bon modèle d'action en ce qu'elle permet de représenter le renouvellement de la valeur et des compétences (Le Masson, Weil et Hatchuel 2010, chapitre 10). La philosophie gestionnaire que les auteurs lui conféraient et donc celle

³⁴ Par exemple les auteurs écrivent : "The results advance research about uncertainty management by offering a systematic set of questions for the diagnosis of unknown unknowns before they can be formally described."

du management de la valeur, ou encore du management de la valeur expansif (Gillier, Hooge et Piat 2013). La méthode DKCP qui en dérive a pour but de produire des idées originales alors que les techniques de créativité ont pour but d'obtenir un grand nombre d'idées (Klasing Chen 2015, p147). L'instrument de gestion proposé à une telle philosophie de l'exploration de la valeur est l'ensemble de critères VVOR (variété, valeur, originalité et robustesse).

Cependant une technique managériale peut être réutilisée dans un but différent de celui initial (Hatchuel et Weil 1990). Ainsi il est tout à fait possible d'utiliser les outils de la théorie C-K dans un contexte de résolution de problème dans lequel la valeur est stabilisée. Cela illustre qu'indépendamment du modèle d'action sur lequel nous déboucherons, il faudra aussi s'assurer que les acteurs l'utilisent dans un but exploratoire et non pas dans le but de procéder au calcul de la valeur le plus immédiat. En effet notre revue de littérature montrait que l'échange marchand via les théories de la valeur la réduit à une dimension comme la rareté ou la quantité de travail ; dans les modèles décisionnels les critères sont connus et non pas explorés ; la négociation dans le modèle de l'intéressement se fait sur une dimension de la valeur commune déterminée par la traduction et non pas l'exploration ; enfin le modèle divergent-convergent limite l'exploration à des cas où l'utilisateur est dans une catégorie connue et emploie des critères connus.

Hypothèse sur la philosophie gestionnaire

Explorer la valeur pour Vendeur et Acheteur implique d'inhiber la philosophie du calcul sur le connu.

Cette hypothèse implique une connaissance profonde du terrain et une réflexion sur la généralisation de nos résultats obtenus dans d'autres entreprises. En effet une technique managériale est mise en œuvre dans une nouvelle entreprise par un processus de contextualisation (Hatchuel et Weil 1990). Cette hypothèse mettra donc la robustesse du modèle d'action à l'épreuve.

Ayant formulé une hypothèse de recherche sur chacune de nos questions de recherche, notre cadre analytique est complet et nous pouvons conclure ce chapitre.

Conclusion de chapitre 3

Le cadre analytique des théories de la conception innovante permet de formuler des hypothèses originales par rapport à la littérature et pertinentes pour le terrain Safran. Le modèle d'action génère la relation vendeur-acheteur et les expansions de connaissances de types technologie (ΔT) ou environnement (ΔE) ; celles-ci sont la conséquence d'un engagement de ressources et co-évoluent avec des concepts de propriétés de technologies ($P_i?$) ou de critères d'évaluation ($V_i?$) formant des calculs inconnus de la valeur. Le substrat technique doit prévenir la fixation sur les propriétés de la technologie sans en introduire des nouvelles. Un 3ème acteur, ni vendeur, ni acheteur, est nécessaire à échanger dans l'inconnu. Enfin explorer la valeur pour Vendeur et Acheteur implique d'inhiber la philosophie du calcul sur le connu.

Le prochain chapitre exposera donc la méthode de cette recherche avant de présenter les résultats.

Résumé de chapitre 3

Le cadre analytique pour traiter nos questions de recherche doit rendre compte du raisonnement multi-acteurs sur l'inconnu. Nous sollicitons donc les théories de la conception innovante pour formuler une hypothèse sur chaque question de recherche. Ces théories modélisent une direction de l'innovation comme une fonction de conception innovante en relation avec la recherche et le développement. Elles prescrivent alors la théorie C-K comme modèle d'action à cette fonction qui a l'avantage pour notre modèle d'être fondée sur la séparation de l'inconnu et du connu mais qui ne représente pas les acteurs. Les tentatives de modéliser deux acteurs raisonnant dans l'inconnu se limitent à des acteurs connus ou en interaction avec un même environnement de travail. D'autres théories formelles de la conception distinguent deux espaces de façon similaire à notre modèle de l'échange intégrant l'inconnu ; nous adoptons les deux espaces Technologie/Environnement. Dans ces deux espaces, la théorie C-K permettait de formaliser des stratégies de conception de technologies génériques dans des situations de double inconnu technologie-marché. Nous formulons donc **l'hypothèse de construire un modèle qui génère la relation vendeur-acheteur et les expansions de connaissances de types technologie (ΔT) ou environnement (ΔE) ; celles-ci sont la conséquence d'un engagement de ressources et co-évoluent avec des concepts de propriétés de technologies ($P_i?$) ou de critères d'évaluation ($V_i?$) formant des calculs inconnus de la valeur.** La théorie C-K a engendré des outils génériquement appelés diagrammes C-K et permet de formaliser les raisonnements implicites des méthodes de conception. L'enjeu est alors d'éviter des effets de fixation limitant la créativité des concepteurs, amenant **l'hypothèse qu'un substrat technique dans notre problématique doit éviter les effets de fixation dont notre modèle d'action est capable de rendre compte.** Les théories de la conception innovante ont identifié des figures d'acteurs dont la cause n'est pas le profit engendré par des échanges marchands mais l'intermédiation de l'innovation, l'expansion des inconnus imaginables. **D'où l'hypothèse qu'un 3^{ème} acteur, ni vendeur, ni acheteur, est nécessaire à échanger dans l'inconnu.** Enfin ces théories s'inscrivent dans une philosophie gestionnaire du renouvellement de la valeur proposée par les entreprises à leur écosystème. Au contraire les modèles de la littérature tendent à restreindre l'échange sur les dimensions connues de la valeur. **D'où l'hypothèse qu'explorer la valeur pour Vendeur et Acheteur implique d'inhiber la philosophie du calcul sur des dimensions connues.**

Chapitre 4 – Méthodologie de recherche

La partie 1 dégageait les questions de recherche sur le modèle d'action, le substrat technique, les figures d'acteur et la philosophie gestionnaire pour l'échange dans l'inconnu. Dans le chapitre précédent, le cadre analytique de la conception innovante permettait de formuler des hypothèses sur chaque question. Ce chapitre précise comment elles sont investiguées. Donc nous présentons notre démarche méthodologique d'ensemble, nous détaillons les méthodes employées, nous présentons les cas qui sont les données empiriques de la thèse, enfin nous présentons nos participations dans des communautés scientifiques.

Notre démarche de recherche dans son ensemble, une recherche-intervention

Nous adoptons le cadre méthodologique de la recherche-intervention décrit par des auteurs comme Jean-Claude Moisdon (1984)³⁵, Albert David (2000), Hatchuel et Molet (1986). La recherche-intervention est particulièrement adaptée à une posture épistémologique permettant à la fois de modéliser la réalité des acteurs sur les terrains de recherche mais aussi d'agir sur cette réalité. Hatchuel et Molet (1986) décrivent la recherche-intervention en cinq phases. Nous les reprenons comme cadre à notre démarche d'ensemble.

Phase 1 - sentiment d'inconfort : Le point de départ d'une recherche-intervention est la perception des acteurs d'un dysfonctionnement ou d'un besoin d'amélioration de l'organisation peu caractérisé, c'est-à-dire un « sentiment d'inconfort ». A l'échelle de Safran le sentiment d'inconfort est de ne pas proposer d'innovations de rupture à un secteur comme l'aviation commerciale. Ce dernier n'a connu que des gains incrémentaux depuis des décennies et la férocité de la concurrence ne peut que s'accroître avec la montée en puissance des avionneurs et équipementiers du BRICS³⁶. Il est à l'origine de la mobilisation des méthodes DKCP, défi et prospective et même de la création de la direction de l'innovation. Il atteint son paroxysme lorsque les échanges s'interrompent, c'est-à-dire des nouveaux concepts en rupture ont été générés mais l'engagement de ressources ultérieures est impossible.

Phase 2 - construction d'un mythe rationnel : Dans cette phase de modélisation, le sentiment d'inconfort est traduit en concepts voire en données quantitatives en même temps que la structure organisationnelle est théorisée. Notre démarche s'appuie sur un mythe déjà en cours de rationalisation chez Safran au début de cette recherche-intervention, celui de l'innovation de

³⁵ L'article « Recherche en gestion et intervention » publié dans la Revue française de gestion en 1984 (n° 47-48, septembre-octobre) était désigné parmi les plus influents à l'occasion du quarantième anniversaire de la revue.

³⁶ Acronyme désignant les économies du Brésil, de Russie, d'Inde, de Chine et d'Afrique du Sud. L'entreprise équipementière chinoise AVIC est un exemple prégnant.

rupture. Dans ce mythe la thèse se focalise sur la facette originale de la communication dans l'inconnu d'un organe transverse comme la direction de l'innovation, ce qui raisonne avec la volonté du groupe de créer des synergies entre les sociétés. Les chercheurs proposèrent donc des modèles de médias de communication dans l'inconnu afin de stimuler l'exploration des fiches idées du DKCP qui étaient laissées à l'abandon. Ce mythe rationnel portant à la fois sur le processus ou encore l'activité d'innover et le résultat de ce processus, le contenu des fiches idées ou d'autres médias fait partie du mythe rationnel en construction. La partie processus du mythe est rationalisée dans les transformations qui permettront de reproduire le modèle d'action collective qui permit des explorations jusqu'à structurer des projets.

Phase 3, expérimentale – intervention et interaction : Cette phase étudie les effets de la circulation du mythe rationnel dans l'organisation avant sa mise en œuvre. La présence sans limite du doctorant dans l'entreprise grâce au statut CIFRE permet de collecter des données sur les résistances et les renforcements du mythe. Ainsi le doctorant CIFRE expérimente des médias sur les acteurs avec le double objectif d'investiguer et de stimuler un effort d'exploration dans l'organisation et de modéliser comment y parvenir. Le doctorant est observateur des débats ou lui-même confronté aux détracteurs d'une idée inconnue issue des DKCP. Les comités de pilotage permettent un dialogue avec l'entreprise sur les expérimentations et les modèles en cours d'élaboration.

Phase 4, inductive – dessiner un ensemble de logiques : Le rôle de cette phase est de créer un processus d'apprentissage pour les acteurs dans l'organisation et pour les chercheurs. Notre processus d'apprentissage comprend l'étude de cas et la modélisation dont l'analyse formelle avec la théorie C-K. Nous revenons sur ces méthodes dans la section suivante.

Phase 5 – le processus de changement, connaissances contre exécution³⁷ : Dans cette phase les apprentissages au-delà de la mise en œuvre d'un outil permettent de transformer l'organisation. En participant à l'exploration proposée par le doctorant, les acteurs participent à ce qu'Arnoux (2013) appelle une transition organisationnelle par la conception. Ainsi les projets Innovation qui naissent de l'intervention sont des nouvelles entités organisationnelles. De plus le modèle et les outils résultant de la recherche-intervention sont voués à être réemployés par la direction de l'innovation Safran.

Ayant décrit notre démarche d'ensemble nous expliquons les méthodes mobilisées ponctuellement dans cette démarche pour produire des modèles ou les expérimenter sur le terrain.

Méthodes sollicitées dans cette recherche-intervention

La posture spécifique du chercheur-intervenant engendre le *principe de deux niveaux d'interaction* qui indique la nécessité d'un dispositif d'intervention et d'une démarche de connaissance (David et

³⁷ The change process: knowledge versus implementation

al. 2000). Notre dispositif d'intervention repose sur un comité de pilotage de la thèse constitué de chercheurs et d'acteurs Safran permettant une analyse collaborative des résultats et sur la présence sans limite du doctorant dans l'entreprise permise par une Convention Industrielle de Formation par la REcherche (CIFRE). Notre démarche de connaissance s'appuie sur deux méthodes inductives : l'étude de cas et la modélisation. Nous reviendrons sur ces trois méthodes séparément mais déjà la figure et les paragraphes ci-après montre quel a été leur emploi dans l'ensemble de la thèse.

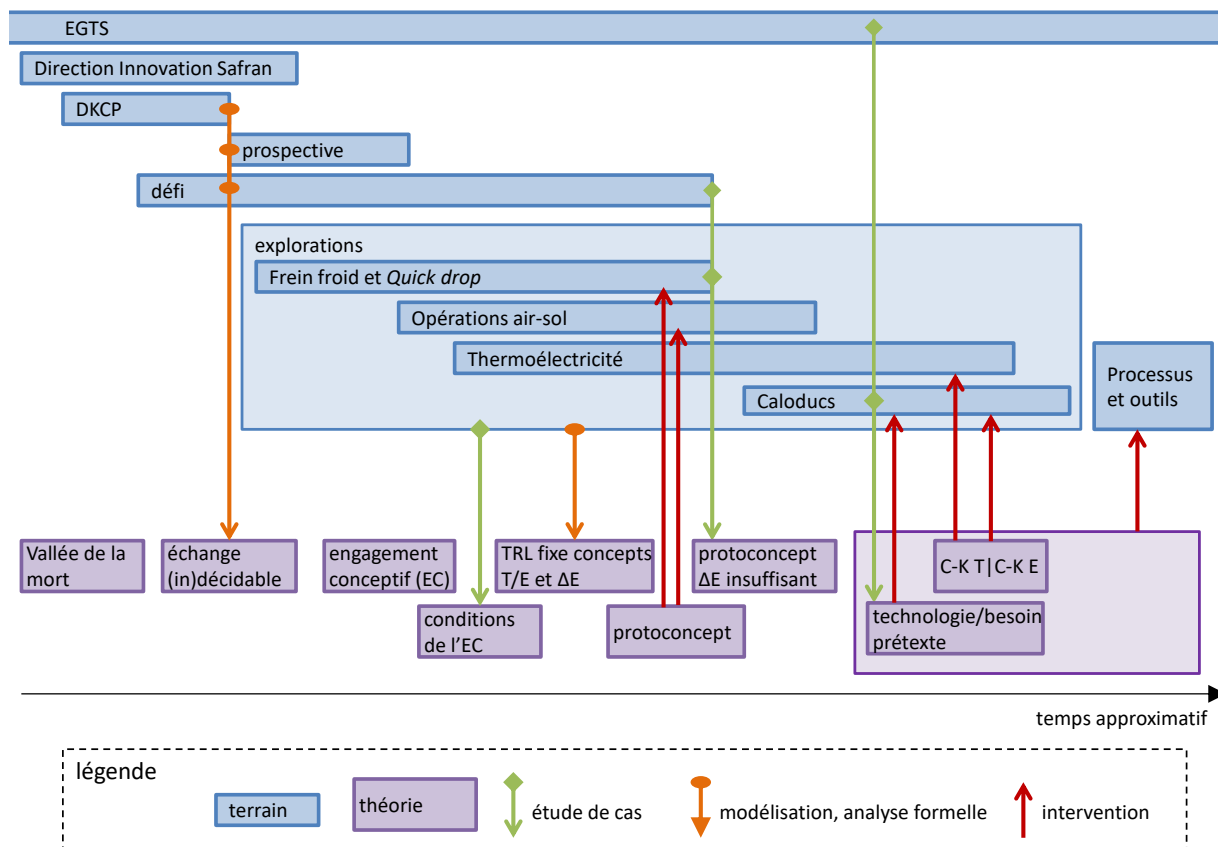


Figure 9 : Les interactions entre théorie et terrain de cette recherche-intervention

Constatant l'échec de la plateforme collaborative intranet pour stimuler l'exploration des concepts sélectionnés en fin de DKCP, plusieurs modélisations sont proposées. Ainsi avant de parvenir au modèle d'échange intégrant l'inconnu proposé au chapitre 2 (p47), nous proposons un quiproquo entre une logique de conviction et une logique d'engagement dans la conception qui est résumé dans l'article IPDM. Ce même article et l'article R&DM témoignent aussi de l'élaboration du modèle de l'engagement conceptif (voir chapitre 6) inspirée des théories de la conception notamment des attentes génératives (voir chapitre 5). L'étude de cas permet vérifier le modèle et d'en établir les conditions précises (chapitre 6). Face au caractère confidentiel des revues TRL au sein de Safran, la modélisation formelle à partir de nombreuses procédures permet de donner le statut de cet outil vis-à-vis des conditions de l'engagement conceptif (chapitre 8). D'autres outils et méthodes sont à fournir à Safran et c'est là que seul un dispositif d'intervention est adéquat comme méthodologie de recherche. Des réalisations de protoconcepts sont testées à partir de diagrammes C-K (chapitre 9). Mais les expansions et l'engagement de ressources stimulés restent insuffisants. C'est alors que le

cadre Technologie-Environnement permet de tester des formes d'atelier qui distingueront les deux raisonnements et maximiseront les expansions, permettant aux cas Thermoélectricité puis au cas Caloducs d'atteindre les phases projets avec des budgets et des ressources humaines conséquentes (Partie 3 et 5). Enfin une méthode simplifiée et formalisée pour les besoins futurs du groupe est formalisée avec les acteurs membres de la DI Safran (chapitre 11).

Etude de cas : expliquer un phénomène social et son contexte lorsqu'une théorie (propositions) est formulable

Yin (1984) précisait que la méthode de l'étude de cas est pertinente pour expliquer en profondeur les circonstances d'un phénomène social (page 4). Elle est adaptée pour les questions de type *comment* et *pourquoi* portées sur des événements contemporains et sans contrôle du chercheur sur leur déroulement (page 8). L'auteur insistait sur l'utilité descriptive ou explicative d'un phénomène que peut avoir la méthode alors que certains la limitaient à un stade exploratoire (page 6). S'il précisait qu'il n'est pas nécessaire que la frontière entre phénomène et contexte soit évidente (page 18), contrairement à l'ethnographie ou à la théorie ancrée l'étude de cas nécessite une théorie préliminaire qui au minimum permet de formuler des propositions (page 35). Ainsi la littérature sert plus à raffiner de telles propositions qu'à connaître toutes les réponses qui ont été apportées sur un thème (page 14). Enfin la méthode est compatible avec des formes variées de collecte de données dont les observations sur le terrain que le statut de doctorant CIFRE rend abondantes (page 26).

Yin (1984) remarque que développer une théorie prend du temps mais est bien nécessaire à formuler des propositions (chapitre 2). De plus l'auteur indique que l'étude de cas n'est pas la méthode la plus adaptée lorsque le chercheur peut exercer un contrôle sur le déroulement des événements (page 8). Pourtant cette thèse se veut une aide à l'entreprise Safran dans les délais de la subvention CIFRE. Donc nous ne pouvons pas restreindre notre approche méthodologique à l'étude de cas (ce que pourrait laisser paraître une lecture rapide des articles regroupés en fin de manuscrit).

Modélisation et analyse formelle : fournir un cadre réflexif aux acteurs et une théorie (propositions) au phénomène

La recherche opérationnelle vouait un rôle important à la modélisation sur la base méthodologique d'une séquence linéaire problème-modélisation-opération qui était dans les faits rarement appliquée comme telle (Moison 1984). La recherche-intervention bénéficie alors de ce retour d'expérience, elle exploite les constructions de la pensée des chercheurs, les modèles, comme stimuli de processus d'apprentissage collectif. Le modèle constitue un mythe rationnel autour duquel se structure progressivement l'intervention (David 2000)

Le modèle permet donc de montrer des voies alternatives à l'action collective mais cette proposition implique que le modèle bénéficie d'un cadre théorique plus large que celui des acteurs. Deux hypothèses vont dans ce sens, (1) le modèle est un dispositif de fabrication de la théorie, (2) la modélisation emploie des théories formelles dont ne dispose pas le terrain.

Pour soutenir la première hypothèse, précisons que le modèle est le support à l'intervention qui « n'est pas seulement l'exploration d'un système mais la production de savoirs et de concepts qui permettent de penser les trajectoires dans lesquelles un collectif pourrait agir » (Hatchuel 1992 cité par (David 2000)). Ainsi lorsque le chercheur-intervenant entame une démarche activatrice de nouvelles trajectoires de l'action collective, il peut « trouver dans cette démarche une première mise à l'épreuve de sa capacité à générer des nouveaux modèles de l'action. » (Hatchuel 1992). La recherche-intervention comprend donc des boucles récursives entre modélisation et expérimentation. Plus précisément il s'agit de boucle d'inférences abduction-déduction-induction (David 1999).

Pour appuyer la deuxième hypothèse, nous souhaitons attirer l'attention sur un certain type de modélisation que nous appelons « analyse formelle » permise par la théorie C-K. Elle permet d'analyser des cas singuliers dans un langage formel de la conception pour produire des théories générales. La théorie C-K est donc un moteur d'inférences inductives. Ainsi Kokshagina (2014) décrivaient les raisonnements de conception de technologies génériques en situation de double inconnu, Camila Salgueiredo (2016) décrivaient les raisonnements de conception biomimétiques. Il peut s'agir parfois de prévenir certains raisonnements. Ainsi Szpirglas (2006) fournissait une théorie du quiproquo dans une situation à risque qui lui permettait de prescrire certains modes de communication dans de telles situations.

Ce type de modélisation a l'avantage d'être applicable à des méthodologies qui font déjà abstraction de faits réels. Cela permet d'explicitier les fondements à l'origine de l'efficacité de la méthode *Parameter Analysis* (Kroll, Le Masson, Weil 2014) ou les limites de la méthode ASIT (Reich *et al.* 2012). De même, au terme d'une première année de doctorat nous utilisons la théorie C-K pour explicitier les hypothèses sur les bases de connaissances des acteurs dans l'approche d'Eris (2003) de la conception par le questionnement. Nous exploiterons largement cette spécificité dans la partie 4 du manuscrit pour analyser les Technology Readiness Levels.

Intervention : modifier la réalité des acteurs et confronter les propositions du chercheur au terrain

L'étude de cas ne prévoit pas que le chercheur puisse modifier les circonstances d'un phénomène mais s'applique lorsque la frontière entre phénomène et contexte est floue. L'intervention, que nous définissons par l'expérimentation des propositions du chercheur-intervenant sur le terrain, permet justement de modifier ces circonstances. Si l'étude de cas et la modélisation permettent de formuler des propositions, l'intervention permet de les confronter au réel et donc dialogue avec les deux autres méthodes. Nous argumentons donc (1) que la combinaison de l'intervention avec l'étude de cas permet au chercheur d'étudier un spectre phénoménologique plus large, (2) que la combinaison de l'intervention avec la modélisation permet de tester le modèle, plus précisément la pertinence des propositions qu'il permet de formuler et sa robustesse.

Comme nous l'avons déjà souligné, l'intervention permet de venir en aide aux acteurs du terrain. Arnoux (2013) soulignait que le statut de salarié du doctorant CIFRE le rend d'autant plus

responsable du succès de l'intervention dans l'entreprise (p27). Albert David (2013) souligne le rôle du chercheur d'inventer des pratiques innovantes en application d'une théorie managériale *existante*. L'intervention en interaction avec les deux autres méthodes étend se rôle à des théories *en cours d'élaboration*.

Encore une fois le statut de doctorant CIFRE est favorable quitte à expliciter dans des cas extrêmes si le doctorant agit en qualité de chercheur ou d'acteur du terrain (Roth, Sandberg et Svensson 2004)³⁸. Ces cas extrêmes sont utiles à prototyper la mise en place du changement à une plus grande échelle dans l'entreprise car au final « ce sont les acteurs eux-mêmes qui imaginent et mettent en place les procédures concrètes de transformation, à partir du moment où ils sont persuadés de l'opportunité d'une telle expérimentation » (Moisdon 1984). Lors de tels prototypages, le statut CIFRE permet de collecter une grande quantité de données (Arnoux 2013, p27).

Ayant décrit notre démarche d'ensemble et les méthodes ponctuellement sollicitées nous décrivons à présent les données empiriques que nous avons collectées.

Données empiriques

Les données empiriques collectées pour cette recherche comportent des cas d'explorations chez Safran puis des procédures écrites dont celles de Safran mais pas uniquement.

Cas d'explorations chez Safran

Dans les parties 3 et 5 nous ferons référence aux cas présentés dans le tableau et les paragraphes ci-après afin de démontrer nos résultats. Il s'agit pour la plupart de l'exploration de fiches idées issues des DKCP car comme nous l'expliquions au chapitre 2 (pages 66 à 69) c'est le terrain d'échanges dans l'inconnu prioritaire de notre intervention chez Safran. Certains noms des projets ont été changés pour des raisons de confidentialité.

³⁸ Cet article nous a été recommandé par Rami Shani, auteur de référence sur les méthodes de recherche impliquant une collaboration avec les acteurs du terrain notamment dans l'analyse des résultats. Il accordait un entretien instructif au doctorant pour parvenir à prendre un recul théorique sur un terrain dans lequel il est immergé et parfois le submerge.

Type de cas	Statut du doctorant	Référence dans le présent manuscrit	Référence dans les articles				Durée d'intervention
			R&DM	EURAM	IPDM	ICED	
Fiche idée issue des DKCP rédigée puis inexplorée	Pilote comme membre de la direction de l'innovation	Frein froid	A			NDEC	4 mois
		<i>Quick Drop</i>	B				4 mois
		Opérations air-sol	C			DTIC	5 mois
		Thermoélectricité	D	Aero2		NECT	26 mois
		Caloducs	E	Aero3		NETT	16 mois
Projet en dehors de l'intervention	Interrogateur externe	EGTS					

Tableau 8 : Cas empiriques mobilisés dans le manuscrit de thèse

Le cas Frein froid est une fiche idée qui a été rédigée par le directeur R&T d'une société. L'avis d'un expert montre que l'idée n'est pas faisable. Des alternatives sont recherchées et explorées sans succès.

Le cas Quick Drop est une fiche idée qui a été rédigée par un expert thermique de la même société. Une des alternatives a été explorée par une brève simulation et un calcul.

Ces deux explorations ont été clôturées ensemble lors d'une réunion avec les deux acteurs de la société et la direction de l'innovation. L'animation avec des diagrammes C-K permet de générer d'autres idées. Cependant aucune ne bénéficia de ressources ultérieurement. La partie 5 analyse les fixations subies pendant ces explorations

Le cas Opérations air-sol débute par l'exploration de la fiche par le doctorant. Elle fut l'occasion d'interagir avec deux experts en leur présentant des diagrammes C-K. Ensuite cette exploration nourrissait le *value model*³⁹ d'un projet Innovation débutant mais bénéficiant déjà de ressources conséquentes dans une société. Pour cela des recherches du doctorant sur le web étaient complétées d'une base de données et d'une simulation numérique fournie proactivement par un service spécialisé dans les opérations aériennes.

Le cas thermoélectricité débute un peu plus d'un an avant cette recherche-intervention. Un centre de recherche travaillait avec un responsable R&T électricien puis avec une autre société Safran. Des usages de générateurs thermoélectriques furent évalués avec des résultats négatifs. Ensuite le responsable R&T électricien participa au DKCP et rédigea la fiche idée « Microgénérateurs pour harvesting généralisé (générateurs thermoélectriques) » qui restait inexplorée avant l'intervention. La direction de l'innovation demande d'identifier plus d'applications de la technologie au sein du groupe car la fiche ne fait que relater les explorations d'avant le DKCP qui se limitait à un produit (avec une seule société). Une première nouvelle application ne donne pas suite. La deuxième donne lieu à éditer une nouvelle fiche idée, à un atelier avec un fournisseur explorant la thermoélectricité, à

³⁹ Pour rappel, le *value model* désigne l'ensemble de la valeur créée pour le client

des ateliers pour définir le *value model* et à convoquer un jalon de lancement d'étude de faisabilité. Le jalon est passé et l'étude de faisabilité arrive à son terme et conclue que la performance est insuffisante pour récupérer des fortes puissances de façon rentable. Par contre des perspectives restent ouvertes sur des très petites puissances.

Le cas Caloducs débute par une fiche idée rédigée à l'issue du DKCP intitulée « Recyclage de chaleur par réseau de caloducs embarqués ». Lorsque la direction de l'innovation reprend contact avec son rédacteur, les technologies caloducs semblent insuffisantes. Une technologie alternative est identifiée auprès d'une autre société. Un atelier conception innovante est préparé par quatre sociétés et la direction de l'innovation. Suite à cet atelier chaque société est recontactée individuellement par la direction de l'innovation pour lancer des actions sur les concepts générés. Deux acteurs organisent des réunions sur un des concepts dans le but de le porter à un projet Innovation. La direction de l'innovation organise une réunion les deux acteurs porteurs du concept, la R&T centrale (Safran Tech), et une des sociétés présente à l'atelier mais avec des acteurs différents. Ces nouveaux acteurs participeront à une autre réunion et un atelier pour définir le *value model* et les grandes étapes de la démonstration. Des calculs thermiques, une analyse préliminaire de risque et le recueil de données de marché seront effectués par une équipe afin de présenter un jalon de lancement d'étude de faisabilité. Celui-ci est passé. Le doctorant n'est alors plus chargé du projet. Des entretiens fournissent alors les données sur les résultats de l'étude de faisabilité qui permet la poursuite du projet malgré des délais très courts pour certains marchés.

L'EGTS (Electrical Green Taxing System) est le tout premier projet piloté par la direction de l'innovation. Il est allé à son terme et le développement du produit est continué par une société Safran. Le produit consiste en un moteur électrique dans les trains d'atterrissage principaux des avions afin d'éviter d'utiliser les moteurs, les freins et les tracteurs pour faire marche arrière en roulage.

Procédures *Technology Readiness Levels* (TRL)

La partie 4 propose de tester si l'outil d'évaluation de la maturité des technologies dont est doté Safran comme de de nombreuses entreprises est adapté à l'échange dans l'inconnu. Pour cela nous mobiliserons les situations des cas du paragraphe précédent qui sollicitent l'outil. Cependant ils peuvent ne pas être représentatifs de l'usage des TRL chez Safran et dans d'autres organisations. Nous mobiliserons donc les procédures de diverses organisations afin de compléter ces données. La pertinence de ces données est basée sur la diversité des secteurs et de l'ancienneté de l'outil au sein de l'organisation. Elles sont regroupées dans le tableau suivant.

Titre de la procédure	Organisation	Ancienneté des TRL	Date d'édition	Méthode de collecte
NASA Systems Engineering Handbook	<i>National Aeronautics and Space Administration (NASA)</i>	Supérieure à 40 ans	2007	Procédure publique diffusée sur le web
Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance.	<i>United States Department Of Defense (DOD)</i>	Supérieure à 17 ans	2011	Procédure publique diffusée sur le web
Defense Acquisition Guidebook	<i>United States Department Of Defense (DOD)</i>		2012	Procédure publique diffusée sur le web
Technology Readiness Assessment Guide	<i>United States Department Of Energy (DOE)</i>	Inférieure à 10 ans	2011	Procédure publique diffusée sur le web
Evaluation de la Maturité Technologique (TRL)	Safran	Supérieure à 10 ans	2011	Consultée chez Safran dans le cadre du contrat CIFRE
Recherche et Technologie : Directive pour son Organisation, sa Conduite et l'Organisation des Synergies	Safran		2015	Consultée chez Safran dans le cadre du contrat CIFRE

Tableau 9 : Procédures d'évaluation de la maturité des technologies avec l'échelle *Technology Readiness Levels*

Nos données empiriques ayant été présentées, il ne reste qu'à exposer l'accueil des résultats intermédiaires de la thèse dans les communautés scientifiques avant de clôturer ce chapitre.

Validation des résultats intermédiaires par la communauté scientifique internationale

Dans cette section nous présentons les cinq articles scientifiques qui ont permis d'obtenir des retours sur les résultats intermédiaires de la thèse de la part de communautés pertinentes.

Article IPDM

L'article a été présenté à la conférence *International Product Development Management 2014* qui se tenait à Limerick. Bien que la session *Network & Alliances* se soit avérée très peu adaptée à la nature de nos travaux, nous avons bénéficié de commentaires d'experts des théories acteur-réseau. La distinction proposée entre *conviction* et *commitment* semblait déjà présente dans les théories acteur-réseaux dans la notion de médiation⁴⁰. Pourtant le terrain indiquait un phénomène différent, l'objet discuté par les acteurs subit des transformations bien plus radicales au cours d'événements extrêmement singuliers. L'approfondissement des théories acteur-réseau conduit donc à préciser la notion : *commitment to design* ou encore engagement de type conceptif (voir chapitre 6). L'article est une étude de cas sur les conditions pour qu'un substrat technique permette un engagement de type conceptif. Il s'appuie sur les fiches idées, les deux ateliers avec les participants du défi et les

⁴⁰ Latour (2006) Reassembling the social pages 232 à 241 ou Nicolini (2009) Zooming In and Out: Studying Practices by Switching Theoretical Lenses and Trailing Connections, *Organization Studies*.

premières expérimentations d'outils du doctorant. Sa référence exacte est :

Jean, F., Le Masson, P., & Weil, B. (2014). « Convince me or commit me? Avoid the cognitive trap induced by non-human actors in early stages of NPD ». Article présenté au séminaire *21st International Product Development Management IPDM Conference* à Limerick en Irlande.

Article R&DM

L'article a été présenté à la conférence R&D Management 2015 qui se tenait à Pise en Italie dans la session *The Interplay between Technology and Design*. Il s'agit d'une étude de cas multiple contribuant largement à comprendre les conditions de l'engagement des acteurs dans les explorations. L'animateur de la session Claudio Del'Era ayant personnellement lu le article, la conférence a permis à la thèse de bénéficier de l'expertise des théories *design-driven innovation* en plus de la diversité de l'audience. Notamment, la question de recherche et les résultats obtenus ont été jugés très pertinents mais la synthèse des résultats dans le processus proposé a été critiquée pour sa linéarité et pour l'absence d'acteur assurant la continuité du sens de l'objet. La référence exacte de l'article est :

Jean, F., Le Masson, P., & Weil, B. (2015). « Engage engineers as designers to generate new meanings in concept generation ». Article présenté au séminaire *R&D Management Conference 2015* à Pise en Italie.

Article EURAM

L'article a été présenté au colloque Innovation « In-between » qui se tenait à l'école des Mines à Paris suite au succès de la session Innovation de la conférence EURAM 2015. L'audience composée d'experts en gestion de l'innovation a notamment soulevé que la fixation sur la technologie pourrait ne pas être une conséquence des *Technology Readiness Levels* dans les entreprises dotées de département *Recherche et Technologie* tel que Safran. Nous pouvons argumenter que l'entreprise des cas O&G dans l'industrie pétrolière possédait un département R&D et non pas R&T. Non content de cela, l'analyse formelle supplémentaire présentée au chapitre 8 veut renforcer notre démonstration. En effet l'article est une étude de cas multiples et illustre les limites de cette méthode pour expliquer les phénomènes gestionnaires de type exploratoires. Sa référence exacte est :

Jean, F., Le Masson, P., & Weil, B. (2015). « Sourcing Innovation: probing Technology Readiness Levels with a design framework ». Article présenté au séminaire *SIG Innovation EURAM In-between event 2015* à Paris en France.

Article ICED

L'article a été présenté à deux reprises, d'abord à la conférence *International Conference on Engineering Design 2015* qui se tenait à Milan en Italie puis au colloque Publish-ed qui se tenait à l'école INP Grenobles en 2016. Les deux *reviewers* ICED et le *reviewer* pour la revue *Journal on Engineering Design* soulignaient l'abondance du matériau empirique pour appuyer les résultats mais regrettaient que la méthode défendue ne fût pas décrite de façon à pouvoir être répétée. L'étude de cas montre donc l'efficacité de la méthode déployée chez Safran et dont la présente thèse explique

les fondements. La référence exacte de l'article est :

Jean, F., Le Masson, P., & Weil, B. (2015). « Inverse Technology C-K in Environment C-K to overcome design fixation ». Article présenté au séminaire *International Conference on Engineering Design ICED 2015* à Milan en Italie.

Conclusion de chapitre 4 : annonce des résultats

La recherche-intervention est un cadre méthodologique adapté à produire de la connaissance scientifique tout en venant concrètement en aide au terrain Safran. Nous nous plaçons donc dans ce cadre mais afin d'augmenter nos possibilités d'analyse des données nous sollicitons aussi l'étude de cas telle que décrite dans d'autres traditions de recherche et l'analyse formelle avec la théorie C-K. Les prochaines parties exposeront donc les résultats comme dans le tableau ci-après. Nous allons proposer un modèle d'action à partir de l'étude des phénomènes d'engagement de ressources (partie 3), puis nous étudierons la compatibilité du substrat technique dont est déjà doté Safran avec un tel modèle (partie 4), enfin nous proposerons un modèle d'action plus complet et notre propre substrat technique (partie 5).

Question de recherche	Hypothèse	Résultats		
		Partie 3	Partie 4	Partie 5
Modèle d'action ?	ΔK de type ΔT et ΔE , ΔC cible P_i ? et V_i ? permettant un calcul inconnu	Engagement conceptif de ressources	L'échelle TRL modèle d'échange de technologies limité dans l'inconnu	Formalisme « C-K T / C-K E » de la relation vendeur-acheteur concepteurs et des expansions
Substrat technique ?	prévient la fixation	L'engagement conceptif nécessite que le substrat technique prévienne la fixation	Application de l'échelle TRL fixe les environnements et leurs critères d'évaluation	Arbre de valeur, technologies et besoins prétextes, Méthode PEPITE
Figures d'acteur ?	3 ^{ème} acteur ni vendeur ni acheteur	L'engagement conceptif nécessite un acteur concepteur de valeur collective	La valeur TRL n'est pas collective et n'est pas conçue donc pas de concepteur de valeur collective	concepteurs de technologies, d'environnements et de valeur collective,
Philosophie gestionnaire ?	Inhiber la tentation du calcul	L'engagement conceptif nécessite une philosophie de convergence générative	TRL converge de façon générative : augmente le TRL de toute technologie dans tous les environnements	Conception collaborative de la valeur à la frontière Technologie-Environnement

*TRL désigne *Technology Readiness Levels*

Tableau 10 : Synthèse des résultats proposés dans les parties suivantes

Résumé du chapitre 4

Cette thèse adopte comme cadre méthodologique la recherche-intervention qui permet à la fois de modéliser la réalité des acteurs sur les terrains de recherche mais aussi d'agir sur cette réalité. Elle a la particularité de reposer sur trois méthodes : l'étude de cas qui permet d'expliquer un phénomène social et son contexte lorsqu'une théorie (des propositions) est formulable, la modélisation qui fournit un cadre réflexif aux acteurs et construit une théorie (propositions), enfin l'intervention qui permet d'expérimenter le modèle en termes de pertinence des propositions qu'il offre et de robustesse. Les données empiriques collectées sont principalement des cas d'exploration de fiches idées issues des DKCP dans lesquels le doctorant est intervenu. Les résultats intermédiaires de la thèse ont été mis à l'épreuve lors de conférences internationales à IPDM en 2014, R&D Management, ICED et le SIG Innovation In-between d'EURAM en 2015.

Partie 3 – Elaboration d’un modèle d’engagement de ressources d’exploration dans l’inconnu : l’engagement conceptif

Les fiches idées issues des DKCP Safran ne bénéficient d’aucune ressource pour les explorer car leur valeur est inconnue. La partie 3 établit le modèle d’engagement de ressources pour l’échange dans l’inconnu et ses conditions sur le substrat technique, les figures d’acteur et la philosophie gestionnaire. A la fin de cette partie le modèle d’action ne permet pas de piloter les expansions des technologies et des environnements et n’est pas doté de modèle relationnel. De plus les outils qui illustrent la démonstration ne forment pas un substrat technique généralisable à toute exploration.

Sommaire de la partie 3

Chapitre 5 – Les échanges dans l’inconnu chez Safran, une exception dans les modèles actuels d’engagement de ressources.....107

L’exception Safran d’engagement de ressources vis-à-vis des conditions des théories classiques	107
<i>L’échange marchand : possibilité d’échange malgré un surplus de valeur inconnu.....</i>	<i>108</i>
<i>La décision : engagement de ressources d’exploration malgré une évaluation initialement négative</i>	<i>109</i>
<i>L’acteur-réseau : l’inconnu nécessite des arrangements instables</i>	<i>114</i>
<i>La créativité : des nouvelles ressources engagées pour diverger en l’absence de convergence</i>	<i>116</i>
<i>Synthèse : des conditions d’engagement de ressources spécifiques à l’échange dans l’inconnu sont à établir</i>	<i>120</i>
L’engagement contractuel en conception, un présupposé remis en cause par les cas Safran	121
<i>Engagement contractuel dans le droit français : des clauses spécifiques à l’inconnu ?.....</i>	<i>121</i>
<i>L’engagement contractuel, présupposé des échanges dans l’inconnu</i>	<i>123</i>
<i>L’échange dans l’inconnu Safran, une exception des modèles d’engagement contractuel de ressources</i>	<i>127</i>
Vers un nouveau modèle d’engagement de ressources dans l’inconnu	130
<i>Régénérer l’engagement de l’utilisateur, un phénomène valable dans l’inconnu ?.....</i>	<i>130</i>
<i>Les attentes génératives et l’hypothèse d’un engagement de type conceptif</i>	<i>132</i>
Conclusion de chapitre 5 : L’échange dans l’inconnu Safran, une exception qui requiert un nouveau modèle d’engagement de ressources.....	132

Résumé de chapitre 5	134
Chapitre 6 – Proposition d’un modèle d’action : l’engagement conceptif.....	135
« L’engagement conceptif », un modèle d’action défini par des raisonnements dans l’inconnu	135
<i>L’engagement d’un acheteur comme ressource d’exploration – Etude de cas Thermoélectricité</i>	<i>135</i>
<i>L’engagement d’un vendeur comme ressource d’exploration – Etude de cas Caloducs</i>	<i>138</i>
<i>L’engagement d’acheteurs et vendeurs simultanément dans l’exploration - Etude de cas Caloducs</i>	<i>140</i>
<i>Définition de du modèle d’action collective « engagement conceptif ».....</i>	<i>141</i>
Les conditions de l’engagement conceptif	142
<i>Condition sur le substrat technique : pas d’effet de fixation sur l’identité de l’objet</i>	<i>143</i>
<i>Condition sur les figures d’acteur : « concepteur de valeur collective ».....</i>	<i>146</i>
<i>Condition sur la philosophie gestionnaire : « convergence générative »</i>	<i>147</i>
<i>Synthèse des conditions de l’engagement conceptif.....</i>	<i>150</i>
Conclusion de chapitre 6 : le substrat technique Safran de l’engagement conceptif reste à fournir	150
Résumé de chapitre 6	151
Conclusion de la partie 3 : quel substrat technique pérenne pour l’engagement conceptif chez Safran ?	152
Résultats de la partie 3 : l’engagement de ressources de type conceptif et ses conditions	152
Limites de la partie 3 : Pilotages des expansions et modèle relationnel du modèle d’action collective et substrat technique pérenne pour Safran ?.....	153

Chapitre 5 – Les échanges dans l’inconnu chez Safran, une exception dans les modèles actuels d’engagement de ressources

Dans la première partie, nous avons identifié que les fiches-idées issues du DKCP restaient inexplorées à cause de l’inconnu. A ce stade la logique d’échange voudrait que les sociétés explorent ces idées avec des ressources humaines financées par la direction de l’innovation. Mais comment prendre la décision d’accorder un financement sans connaître les gains d’un tel investissement ? Comment les sociétés peuvent-elles prendre la décision d’explorer sur fonds propres ? Procéder à l’échange nécessite que la valeur soit calculable par la connaissance de propriétés de la technologie et de critères de valeur mais cette connaissance nécessite elle-même des ressources pour être acquise. Le modèle d’action aux explorations doit donc résoudre la problématique de l’engagement de ressources dans l’inconnu. **Le présent chapitre dresse le constat que les échanges dans l’inconnu menés avec succès chez Safran dans le cadre de la recherche-intervention font exception vis-à-vis des théories de la littérature.** En effet deux fiches idées ont été explorées puis ont fait l’objet d’études de faisabilité dans le cadre de projets Innovation. Il s’agit des cas Caloducs et Thermoélectricité. Ce chapitre établit qu’un nouveau modèle est nécessaire car ces explorations ne respectent pas les conditions d’engagement de ressources de la littérature.

Nous commencerons par reprendre les conditions des théories classiques revues au chapitre 2 (pages 49 à 66) en les comparant aux cas Safran. Ensuite nous étudierons l’hypothèse d’engagement contractuel dans les théories de la conception et montrerons ces limites pour expliquer les cas d’engagement chez Safran. Enfin nous rechercherons des hypothèses d’un engagement de nature alternative dans l’engagement d’utilisateurs et dans la gestion des attentes génératives. Nous utiliserons un langage logique, c’est-à-dire qu’une condition *C* sur les ressources d’exploration se traduit par l’implication

Ressources d’exploration => Condition C vérifiée

ou sa contraposée

Condition C non remplie => Pas de ressources d’exploration.

L’exception Safran d’engagement de ressources vis-à-vis des conditions des théories classiques

Cette section est structurée par champ théorique revu au chapitre 2, à savoir l’échange marchand, la décision dans les processus d’innovation face à l’incertain, l’acteur-réseau en situation d’innovation et la créativité dans l’activité d’innovation. D’abord nous explicitons la condition sur les ressources émise par un champ. Ensuite, puisque nous montrions dans le chapitre 2 que ces théories traitent des situations d’échange dans le connu, nous analysons des cas Safran afin de tester la validité de ces conditions dans l’inconnu. Les données empiriques montrent alors des cas d’explorations ayant

bénéficié de ressources lorsque les conditions de ces champs théoriques ne sont pas respectées. Cette section appelle donc à établir des conditions sur les ressources spécifiques à l'inconnu.

L'échange marchand : possibilité d'échange malgré un surplus de valeur inconnu

Dans le chapitre 2 nous décrivions que vendeurs et acheteurs ne procèdent à l'échange marchand d'une technologie innovante qu'à la condition que la valeur d'échange de la technologie soit connue et qu'elle autorise un surplus de valeur pour chaque acteur (pages 52 à 54). Dans le cas d'un vendeur, le surplus est la différence entre valeur d'échange et coûts ; dans le cas d'un acheteur le surplus est la différence entre valeur d'usage et valeur d'échange. Dans le langage logique cette condition se résume ainsi :

engagement de ressources d'un acteur => l'acteur connaît le surplus de valeur qu'il tire de l'échange

Cette condition n'est pas remplie dans les échanges entre sociétés et direction de l'innovation. La direction de l'innovation ne dégage pas de surplus économique, elle utilise tout le budget que lui accorde la direction générale ou bien en rend la partie excédentaire en fin d'exercice. Les sociétés ne dégagent pas non plus de surplus économique. Lors de réunions de service, les directeurs de projet de la direction de l'innovation rappelaient que les sociétés ne sont pas autorisées à dégager un surplus en encaissant plus que les dépenses effectives pour un projet ou en finançant d'autres travaux avec le budget d'un projet. D'où le rôle du directeur de projet de corrélérer les livrables reçus aux montants facturés. Il ajuste un montant facturé soit avec les pointages et les achats externes des sociétés soit en pondérant la commande initiale du pourcentage de complétude du livrable.

On peut faire l'hypothèse que le surplus est le chiffre d'affaires futur si le produit est commercialisé mais il est inconnu avant un certain stade. Dans le cas Caloducs, le chiffre d'affaires par pourcent de part de marché était présenté au jalon de déclenchement des études de faisabilité. La part de marché étant inconnue le chiffre d'affaires reste inconnu. Pourtant les sociétés avaient déjà employé des ressources à hauteur d'environ 200K€. Dans le cas Thermoélectricité, une estimation du gain par produit équipé vendu n'était disponible qu'à la fin de l'étude de faisabilité. Or les sociétés avaient déjà employé des ressources à hauteur d'environ 20k€ avant le jalon de lancement d'étude de faisabilité⁴¹.

On peut argumenter que l'échange au sein d'un même groupe est un cas particulier dans lequel la maison mère commune éliminerait le besoin de surplus. Le cas Thermoélectricité présente alors une collaboration avec un fournisseur. Le département Achats de la société habituellement cliente de ce fournisseur préconisait deux modèles de collaboration. Première possibilité, Safran finance l'exploration du fournisseur mais possède les droits de propriété intellectuelle en contrepartie. Deuxième possibilité (celle qui fut adoptée), pas de flux financiers entre les partenaires qui

⁴¹ Les deux montants ont été énoncés dans des réunions et vérifiés par un calcul du doctorant en tenant compte des livrables comme des calculs thermiques, des réunions avec les acteurs impliqués et un taux horaire moyen.

échantent des informations ponctuellement ; ils financent leurs explorations de façon indépendante et gèrent la propriété intellectuelle de façon indépendante (voir figure ci-après).

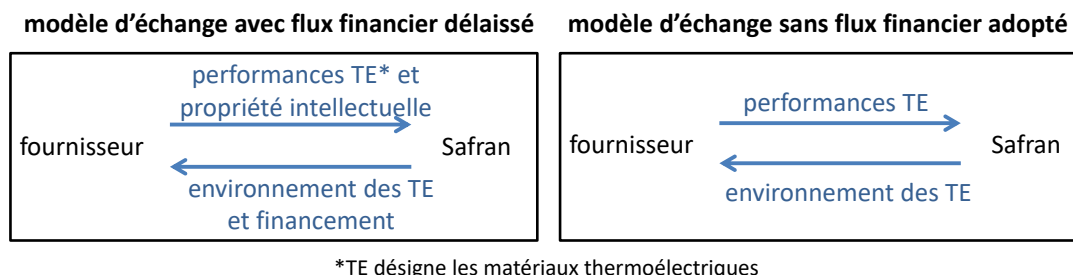


Figure 10 : Échanges entre Safran et un fournisseur dans le cas Thermoélectricité proposé par le département Achat de la société cliente du fournisseur – échanges de donnée et de propriété intellectuelle

Il s'agit donc d'un échange direct (troc) de données nécessaires pour conclure sur la faisabilité du concept. Le concept de valeur d'échange prend la forme d'une quantité de données échangées, c'est-à-dire l'ensemble des données permettant de conclure sur la faisabilité du concept à l'étude. Cependant les données à produire sont identifiées à mesure des échanges. Ainsi lorsque le fournisseur obtient une estimation de la puissance par unité de surface, Safran précise qu'elle ne permet pas de tirer de conclusion sans estimation de la masse appelant de nouvelles estimations. De plus les premières estimations de performances non satisfaisantes avec certains matériaux appellent à renouveler le calcul avec des matériaux différents. Enfin la précision des calculs est très incertaine, donc des simulations différentes ou les essais en parallèle chez le fournisseur pourraient modifier les ressources d'exploration nécessaires. Donc la valeur d'échange et par conséquent les surplus des acteurs sont inconnus. Pourtant l'étude de faisabilité ira à son terme d'où un engagement de ressources malgré ces inconnus.

Nous avons montré que les ressources nécessaires pour réaliser des échanges dans l'inconnu ne sont pas conditionnées par la connaissance des acteurs de leur surplus de valeur comme elle l'est dans l'échange marchand. Nous devons désormais faire le même exercice avec le modèle de la décision dans les processus d'innovation.

La décision : engagement de ressources d'exploration malgré une évaluation initialement négative

Dans le chapitre 2, nous décrivons des phases de *fuzzy-front end* dans lesquelles un individu sélectionne intuitivement l'information constituant des nouveaux besoins de marchés ou des nouvelles voies technologiques (pages 56 à 57). Ensuite dans les phases pilotées au jalon, une équipe projet (vendeur) demande des ressources et un décideur hiérarchique (acheteur) engage ces ressources financières lorsque l'évaluation sur un outil tel que la *scorecard* qualitative ou le diagramme bulle donne une valeur suffisante. Dans le langage logique cette condition se résume comme suit :

engagement de ressources du décideur => résultat de l'évaluation du concept en dessus des critères de succès

Cette condition n'est pas remplie si l'on considère le portefeuille de concepts issus du DKCP dont six à l'abandon ont ensuite été explorés (détail dans la Figure 11). La sélection par une évaluation basée sur l'intuition a déjà eu lieu pendant la phase P. Ensuite la direction de l'innovation Safran emploie des outils d'évaluation tels que recommandés par la littérature pour le développement de technologies : des *scorecards* qualitatives⁴². La littérature préconise les critères adéquation avec la stratégie actuelle, levier stratégique, faisabilité technique, faisabilité commerciale et profits. Les critères considérés dans les *scorecards* Safran sont répartis en deux volets : le volet enjeux comprend les critères stratégie et image, différenciation, volume des marchés adressables, robustesse de ces marchés, création de valeur économique et transversalité (nombre de sociétés Safran) ; le volet faisabilité comprend les critères maturité des technologies critiques (mesurée sur l'échelle à neuf niveaux *Technology Readiness Levels* (TRL)), accessibilité des compétences, maturité commerciale (mesurée sur l'échelle à neuf niveaux *Business Readiness Levels* (BRL) développée par la direction de l'innovation), faisabilité commerciale et montant de l'investissement. Chaque critère est coté 1, 2, 3 ou 4 avec un indice de confiance faible, moyen ou élevé. Nous allons nous concentrer sur deux cas pour montrer d'une part que les acteurs ne suivent pas les règles de décision et d'autre part qu'ils le font à raison car l'exploration modifie le résultat de l'évaluation. Les cas Thermoélectricité et Caloducs fournissent les données pour montrer ces résultats.

Etat des échanges	Été 2013	Été 2015
$V(T) > 0$	4	7
$V(T) < 0$	0	3
indécidable	11	5

Figure 11 : Portefeuille de concepts issus des DKCP avant et après un effort d'exploration - Six concepts ont été explorés alors que leur valeur demeurait indécidable suite aux DKCP dont trois dont la valeur positive a permis de procéder à un échange économique

⁴² Il s'agit de diagrammes radar dont les axes sont les critères d'évaluation, des exemples sont donnés par la suite.

Cas	Phase P	Evaluation au Début de l'intervention	Evaluation au jalon d'étude de faisabilité	Conclusion des études de faisabilité
Thermoélectricité : un exemple d'exploration menant à une valeur négative	Fiche rédigée, indécidable et inexplorée	Evaluation formelle très incertaine et assez positive	Maturité trop faible, jalon avalisé de façon dérogatoire	Performance insuffisante pour atteindre une rentabilité économique
Caloducs : un exemple d'exploration menant à une valeur positive	Fiche rédigée, indécidable et inexplorée	Evaluation informelle négative, mais exploration supplémentaire	Le concept transformé avec une technologie alternative franchit le jalon de façon dérogatoire	Une architecture permettant un gain significatif d'efficacité énergétique des avions a été identifiée

Tableau 11 : Phases des cas Thermoélectricité et Caloducs révélatrices d'une exception vis-à-vis des théories classiques

Cas Thermoélectricité : une dérogation infructueuse

Le cas Thermoélectricité débute par une fiche idée rédigée par un responsable R&T⁴³ au sein d'une société Safran. Ayant récemment rejoint la direction de l'innovation Safran, le doctorant prend contact avec l'auteur afin d'obtenir plus de détails et procéder à une évaluation avec les *scorecards* de la direction de l'innovation. L'évaluation est ensuite revue et validée par un membre permanent de la direction de l'innovation. Cette évaluation souligne de nombreux points positifs mais avec un indice de confiance minimal sur cinq critères. Elle est représentée dans la Figure 12. La maturité des technologies a franchi les TRL 1 et 2 et serait facilement démontrable à TRL 4 d'après l'acteur ayant rédigé la fiche idée qui est déjà en possession de résultats de simulations effectuées avec peu de moyens par un centre de recherche près de deux ans auparavant. Le score de 3/4 avec indice de confiance moyen est donc attribué sur ce critère. La fiche idée est ensuite présentée à des ingénieurs d'une autre société qui la rééditeront et mèneront des explorations avec l'accompagnement du doctorant pendant un an. Lorsqu'un jalon de lancement des études de faisabilité est convoqué, l'évaluation sur une *scorecard* est mise à jour, voir Figure 13. La maturité des technologies est réévaluée à la baisse : elle devra franchir TRL 2 à l'issue des études de faisabilité et se voit donc attribuée le score de 1. Le score sur le critère différenciation est amélioré car des stratégies de brevets sont envisagées. Les autres fluctuations de scores peuvent être dues à la subjectivité de l'évaluation étant donné les indices de confiance encore faibles, nous préférons ne pas en tenir compte. Cependant l'exploration a effectivement transformé l'évaluation initiale. Le jalon est avalisé de façon dérogatoire compte-tenu de la faible maturité des technologies. Des études de faisabilité sont donc engagées. A leur terme un peu moins d'un an plus tard, la performance est trop faible pour atteindre une rentabilité économique. Le projet est interrompu. Cette conclusion n'était pas possible par application des critères décisionnels à la première fiche idée. Il a fallu comprendre avec précision

⁴³ R&T désigne Recherche et Technologie

les phénomènes thermiques à l'interface avec les matériaux thermoélectriques, ces matériaux eux-mêmes, puis les relier à l'architecture électrique d'un avion.

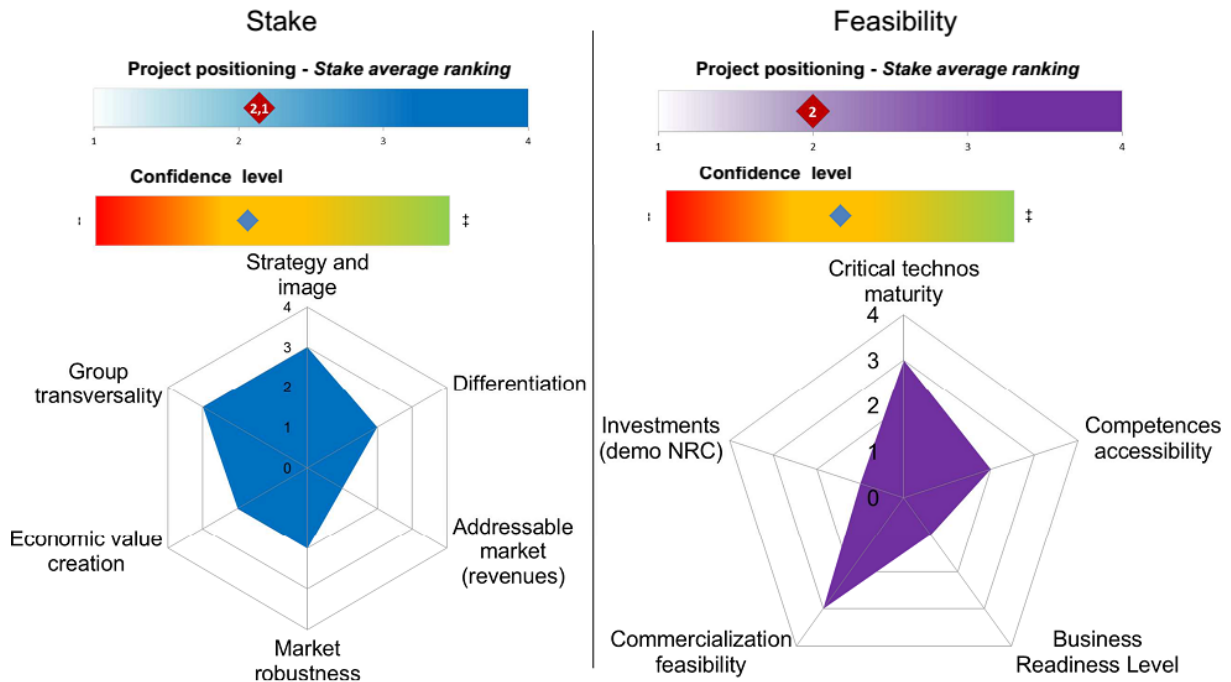


Figure 12 : Evaluation de la fiche idée Thermoélectricité rédigée mais inexplorée suite au DKCP

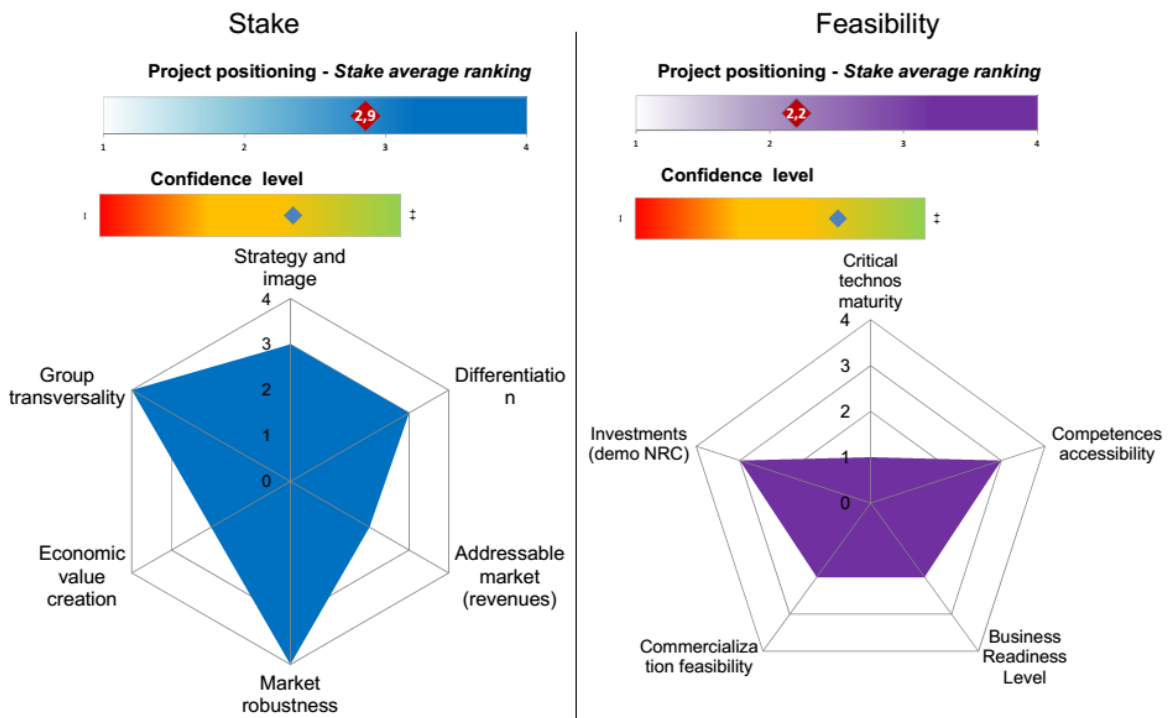


Figure 13 : Evaluation du projet Thermoélectricité lors du jalon de lancement de l'étude de faisabilité – l'exploration a amélioré le score sur les enjeux mais a révélé une faible maturité des technologies et à diminuer l'incertitude de l'évaluation (*confidence level* plus élevé)

Cas Caloducs : une évaluation intuitivement négative largement améliorée

Le cas Caloducs débute par une fiche idée rédigée par un ingénieur R&T et avant-projet au sein d'une société Safran. Le doctorant lui-même prend contact avec l'auteur de la fiche en tant que membre de la direction de l'innovation afin d'obtenir plus de détails. Aucune évaluation sur une *scorecard* n'est procédée car la technologie caloduc connue est très immature et n'assure pas les fonctions requises pour le concept considéré de réseau de chaleur à bord d'un avion (faisabilité insuffisante, enjeux inconnus). La rencontre avec un expert d'une autre société du groupe permet d'explorer une technologie alternative plus performante (faisabilité améliorée). Des explorations ultérieures ajoutent des technologies plus matures et transforment le concept en hybridant des produits Safran participant à l'efficacité énergétique de l'avion (faisabilité et enjeux améliorés). Près d'un an et demi plus tard, un jalon de lancement d'études de faisabilité est convoqué et avalise le projet. L'évaluation sur une *scorecard* est représentée dans la figure suivante. A la fin des études de faisabilité, la conclusion est qu'une certaine architecture hybridant deux produits et combinant la technologie alternative avec une autre plus mature améliore effectivement la consommation d'un avion (faisabilité et enjeux satisfaisants). Le projet sera donc poursuivi. Cela n'aurait pas été le cas par application des critères décisionnels sur la première fiche idée.

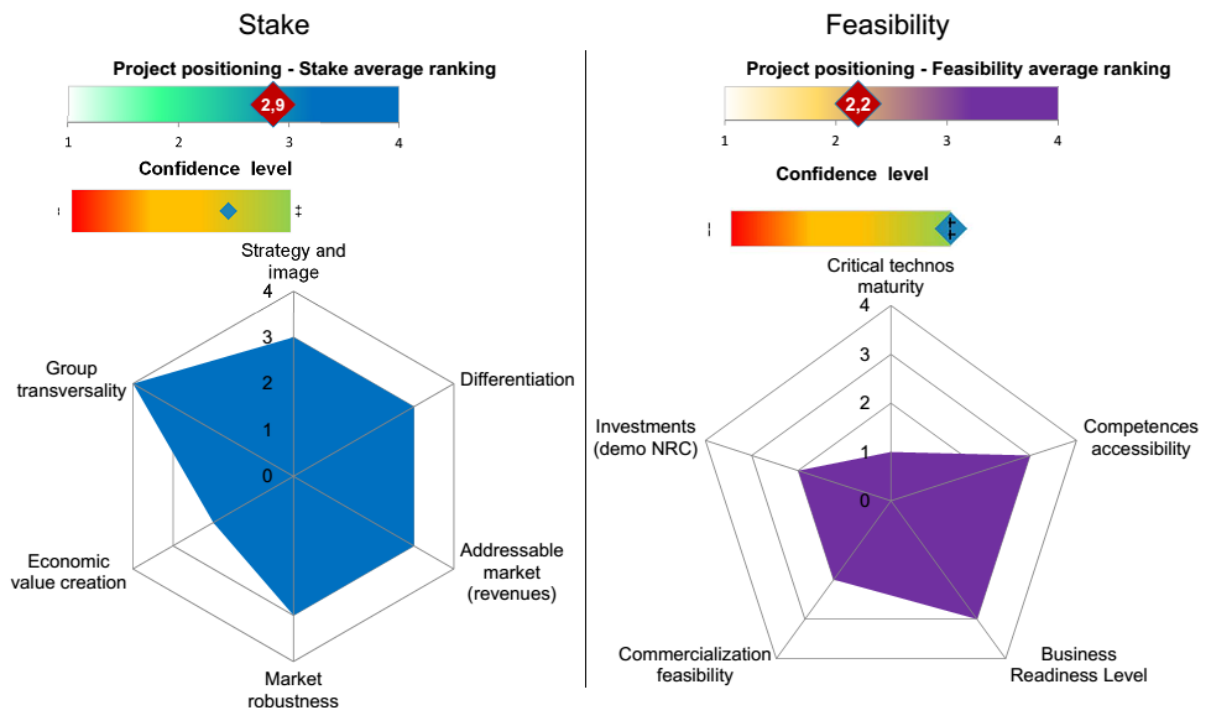


Figure 14 : Evaluation du projet Caloduc lors du jalon de financement de l'étude de faisabilité

En conclusion, dans l'inconnu la décision d'un acheteur tel que la direction de l'innovation d'engager des ressources financières n'est pas conditionnée par des critères décisionnels préétablis comme elle l'est dans le connu. Lorsqu'une telle décision est prise, le champ théorique ne traite pas comment le collectif vendeur, une équipe projet engageant des heures de travail en échange d'un financement,

se construit. Nous allons donc répéter l'exercice avec les théories acteur-réseau dans lesquels le vendeur est plus central.

L'acteur-réseau : l'inconnu nécessite des arrangements instables

Dans le chapitre 2, nous décrivions que d'après les théories acteur-réseau, le vendeur initial constitue un collectif en enrôlant des collaborateurs et des orateurs. Ces derniers traduisent l'innovation dans les critères d'évaluation d'acheteurs. Alternativement, le vendeur peut établir une dimension commune de la valeur avec des objets frontières. Dans tous les cas, l'intéressement de l'acheteur passe par la stabilisation d'un arrangement par la négociation (p59). Dans le langage logique cette condition se résume ainsi :

engagement de ressources => arrangement stable sur une dimension commune

Cette condition n'est pas remplie si l'on considère les arrangements définis entre sociétés et direction de l'innovation. La littérature précisait que les documents à remplir pour convoquer une réunion de jalon sont des points de passage obligatoires. Ainsi chez Safran, un type d'arrangement consiste à définir le contenu de la présentation faite à la réunion de jalon, c'est-à-dire les livrables à fournir pour que le financement au stade supérieur soit avalisé. Ces livrables sont instables du fait des apprentissages de la direction de l'innovation et de ceux des sociétés.

Concernant les apprentissages de la direction de l'innovation, sur un projet particulier un membre de la direction de l'innovation exigea des sociétés une analyse SWOT. Le doctorant lui-même exigea une analyse préliminaire de risque dans le cas Caloducs. Pourtant ils ne font pas partie de la liste de livrables normalement exigés pour avaliser une étude de faisabilité mais chaque projet ayant ses spécificités elle est adaptée. Plusieurs réunions auxquelles participait le doctorant se tenaient afin de mettre en commun ces exceptions et faire évoluer la liste standard de livrables exigés. Ainsi l'encadré ci-après reprend l'évolution des exigences d'un membre de la direction de l'innovation avec qui le doctorant a eu l'occasion de travailler.

Livrables requis au jalon de lancement d'études de faisabilité sur la partie value model

Document d'avril 2013

- Targeted markets,
- Value creation description and benefits for customers,
- Type of differentiation,
- Target application time

Document de novembre 2014 (le signe [+] indique qu'il s'agit d'un ajout)

- D'identifier le marché dans lequel on s'inscrit
- D'identifier 1 ou plusieurs clients cibles (les citer et pourquoi cela peut suffire) [+]
- De connaître la structure de coûts de l'environnement dans lequel on va promouvoir le produit (qui sont les financeurs, les payeurs finaux, les acteurs de l'écosystème) [+]
- D'afficher une ou la part du marché que l'on vise, (déclaratif à ce stade) [+]

- Calculer rapidement les éléments économiques visés (CA visé à échéance) [+]

Document de juillet 2015 (le signe [+] indique qu'il s'agit d'un ajout)

- D'identifier le marché dans lequel on s'inscrit,
- D'identifier 1 ou plusieurs clients cibles (les citer et pourquoi cela peut suffire),
- De définir/lister la/les natures de valeurs créées [+]
- De connaître la structure de coûts de l'environnement dans lequel on va promouvoir le produit (qui sont les financeurs, les payeurs finaux, les acteurs de l'écosystème)
- D'afficher une ou la part du marché que l'on vise, (déclaratif à ce stade)
- Calculer rapidement les éléments économiques visés (CA visé à échéance)
- Identifier des différentiants (positifs ou négatifs) [+]

On constate que les différentiants⁴⁴ disparaissent puis réapparaissent afin de tenir compte de la concurrence. Aussi en 2014 on exige des nouvelles quantifications approximatives, mais en 2015 on se rend compte que ces quantifications sont crédibilisées par différentes natures de valeur créées qui nécessitent des explorations différentes de travaux de R&T ou marketing habituels.

Concernant les apprentissages des sociétés, nous allons revenir sur le cas Thermoélectricité. Le concept est de placer des générateurs thermoélectriques dans les produits Safran afin de transformer de l'énergie thermique perdue en énergie électrique. Une fois les zones d'implantation de générateurs identifiées, une partie importante de l'étude de faisabilité consiste à établir l'énergie électrique produite pour chacune dans différentes phases d'utilisation du produit. Cela nécessite une collecte de données thermiques sur chaque zone pour toutes les phases d'utilisation puis une simulation numérique. Un centre de recherche est contracté pour sa compétence en simulation de différents types de générateur. Chaque zone étudiée fournit un travail conséquent de la part de Safran et du centre de recherche simulant le comportement des matériaux électriques. Les zones étudiées font donc l'objet d'un arrangement entre les sociétés, la direction de l'innovation et le centre de recherche contracté. Le constat empirique est que ces arrangements ne peuvent pas être stables car la simulation d'une zone entraîne un progrès en connaissances des phénomènes qui permet d'identifier une nouvelle zone voire de la reconcevoir pour maximiser l'énergie récupérée. Ainsi le tableau suivant indique l'apparition et la disparition de nouvelles zones d'étude ce qui montre l'instabilité des arrangements entre les partenaires du projet. Les zones F et G sont les plus démonstratives de l'instabilité des arrangements. Elles ont été identifiées très peu de temps avant le passage du jalon. Il n'a donc pas été possible d'établir un budget pour ces zones avant le jalon. Peu après le jalon, leur ajout engendrait l'augmentation du budget d'une société de 37k€ (budget présenté au jalon) à 82k€ (budget dans la commande éditée après des réunions complémentaires).

⁴⁴ Le terme « différentiant » employé par les acteurs désigne l'avantage d'un produit sur la concurrence.

Zone d'implantation de thermo-électriques*	Fiche DKCP d'après ancienne étude - avril 2013	Fiche éditée avec une autre société - avril 2014	Jalon lancement d'une étude de faisabilité - décembre 2014	Revue de livrable - novembre 2015
A	Calcul grossier à préciser			
B	Calcul grossier à préciser			
C	Calcul grossier à préciser	Simulation à faire par le CdR**	Simulation à faire par le CdR et un fournisseur	Zone d'origine simulée
D		Simulation à faire par le CdR	Simulation à faire par le CdR	Zone d'origine et modifiée simulées
E		Simulation à faire par le CdR	Simulation à faire par le CdR	Non étudiée
F		Simulation à faire par le CdR	Simulation à faire par le CdR	Non étudiée
G			Simulation à budgeter et faire par le CdR	Zone d'origine simulée
H			Simulation à budgeter et faire par le CdR	Zone d'origine simulée
I			Nécessite étude d'intégration	Ecartée sur l'avis d'un expert
J			Simulation à faire par le CdR	Zone modifiée simulée

*masqué à des fins de confidentialité

**CdR désigne le centre de recherche contracté pour sa compétence en thermoélectricité

Tableau 12 : Evolution des arrangements sur les livrables du projet Innovation Thermoélectricité à mesure de l'exploration

En conclusion, les ressources d'exploration ne sont pas conditionnées par des arrangements stabilisés dans les cas Safran. En effet ils présentent des livrables qui évoluent avec les explorations de la direction de l'innovation et des sociétés. Définir des livrables est nécessaire en management de projet. Mais le management des idées, de la créativité dans les phases les plus en amont, diffère de cette règle. Il est donc pertinent d'étudier à présent la condition qu'il propose sur les ressources.

La créativité : des nouvelles ressources engagées pour diverger en l'absence de convergence

Dans le chapitre 2, nous décrivions que le champ théorique de la créativité s'appuie sur le modèle divergent-convergent. Ainsi lors de concours d'idée, de brainstormings et autres techniques de créativité, les acteurs opèrent la pensée divergente afin de générer des idées puis la pensée convergente afin de les sélectionner. Opérer la pensée convergente permet de prendre la décision d'engager des ressources sur une bonne idée exactement comme le modèle décisionnel. Simplement

la méthode d'évaluation est différente comme nous le montrions au chapitre 2 (pages 62 à 64). Par exemple l'évaluateur peut être amené à générer un scénario d'usage pour prendre du recul sur l'idée. Donc la condition sur l'engagement de ressources est la suivante :

*engagement de ressources pour explorer une idée => idée sélectionnée par la convergence
décisionnelle*

Les échanges dans l'inconnu chez Safran présentent alors une exception par rapport à cette condition. Nous pouvons montrer que des ressources sont engagées en l'absence de sélection de type convergence décisionnelle des idées. Pour cela nous analysons les phases divergentes et convergentes d'explorations qui ont bénéficié d'un engagement de ressources, à savoir les cas Thermoélectricité et Caloducs. Ces explorations commencent toutes deux après la sélection lors de la phase P des DKCP qui n'a pas permis à ces explorations de bénéficier de ressources au-delà de la rédaction des fiches avec les connaissances de l'unique rédacteur (voir chapitre 2, p66). Ensuite d'autres phases de divergence sont nécessaires et ne sont pas succédées de décision. Plus précisément, on constate que lorsque des nouveaux acteurs explorent, cela permet de générer des concepts comme « des générateurs thermoélectriques à définir, dans une zone connue, pour alimenter un composant à définir ou une technologie connue » ou encore « une technologie [confidentielle] pour amener la chaleur d'une source à définir à un besoin à définir ». Certaines alternatives apparaissent impossibles avec les explorations mais pas dans un effort dédié à les évaluer.

Cas thermoélectricité : convergence décisionnelle évitée jusqu'à l'étude de faisabilité

Dans le cas thermoélectricité, après la sélection de cette fiche puis sa rédaction par un acteur dans les sociétés, la direction de l'innovation demande à ce que davantage d'applications soient explorées. La première est délaissée car suite à la réunion où elle est identifiée, l'acteur rédacteur de la fiche ne fournit pas l'estimation de la puissance récupérable à l'expert de cette application comme convenu et surtout parce que la faible maturité des générateurs thermoélectriques ralentirait le projet de démonstration du produit dans son ensemble. La seconde application entraîne une réunion avec l'expert d'un autre produit Safran qui identifie trois autres zones d'intégration. Elle permet aussi aux deux acteurs de générer sept concepts d'utilisation de la puissance électrique générée alors que la première fiche n'en présentait aucune. La rédaction de la fiche reprend ces concepts et les élabore d'avantage. La fiche est ensuite présentée au « comité Innovation système » de la société des rédacteurs. C'est un organe décisionnel dans lequel le portefeuille de travaux de R&T est revu afin d'ajuster la répartition des ressources. L'exploration Thermoélectricité obtient l'aval pour mener des explorations en vue de passer un jalon d'étude de faisabilité d'ici quelques semaines sans que des préférences ne soient établies entre les alternatives. Ensuite lors de l'exploration du *value model* (de la valeur pour le client), les apprentissages sur la technologie auprès d'un fournisseur permettent d'éliminer une voie consistant à résoudre des problèmes thermiques dans les produits Safran avec les générateurs thermoélectriques. Les autres voies portent sur l'utilisation de la puissance électrique produite et ont toutes été modifiées sans sélection. Au contraire des utilisations de cette puissance

sont identifiées. Ensuite un certain nombre de réunions proposent des démonstrations à mener au stade de faisabilité. Au lieu de sélectionner parmi les plus importantes, le chef de projet a refondu à neuf cette liste et l'ordonna avec des outils de gestion de projet. Enfin pendant l'étude de faisabilité des concepts de zone d'implantation sont encore générés puis explorés. Davantage d'utilisations de la puissance électrique sont aussi générées en fin d'étude. Leur croisement avec les connaissances acquises pendant l'étude permet de trancher lesquelles sont compatibles avec une alimentation par des générateurs thermoélectriques. Donc ce n'est qu'à ce stade que la convergence est de type décisionnelle alors que l'exploration bénéficie auparavant de ressources que nous précisons dans les tableaux suivants.

Phase	DKCP		Elargir les applications D1, D2*		Réédition d'une fiche idée D3, D4	
	<	>	<	>	<	>
div. ou conv.						
Action	Phase C	Phase P	2 nouvelles applications au sein du groupe	Une délaissée car retarderait le projet qui l'intégrerait	Zones d'implantation et utilisation de l'électricité	Pas de sélection, un manager encourage à continuer
Ressources : acteurs et compétences	Groupe de travail élargi	Moins d'acteurs	3 experts de 3 produits différents	Un seul des acteurs	1 acteur restant + 1 resp. <i>fab lab</i>	+ Comité de revue R&T
Conclusion		Sélection mais pas de ressources		Pas de décision entre alternatives		Toutes les alternatives sont avalisées

*Numéro de *marker events* correspondant dans l'article R&DM pour un complément de données

Tableau 13 : Analyse des phases divergentes et convergentes du cas Thermoélectricité (1/2)

Technologie et <i>Value model</i> D5, D6, D7*		Consolidation étude D9, D10		Etude de faisabilité D11...D15 et plus	
<	>	<	>	<	>
Exploration technologie thermo-électricité et sa valeur	Elimination d'une voie, restructuration des autres	Démonstrations à mener	Pas de sélection, refonte à zéro pour le jalon	Nouvelles zones d'implantation et utilisations de l'électricité	Elimination de zones et utilisations selon résultats
9 experts dont 4 d'un fournisseur	5 experts dans 3 sociétés (pas de fournisseur)	Quelques acteurs précédents	Chef de projet côté sociétés	+ 2 acteurs significatifs	Ensemble des acteurs non recensé
	Pas de décision entre alternatives		Pas de décision entre alternatives		Décision d'arrêter

*Numéro de *marker events* correspondant dans l'article R&DM pour un complément de données

Tableau 14 : Analyse des phases divergentes et convergentes du cas Thermoélectricité (2/2)

Cas Caloducs : convergence décisionnelle anecdotique

Dans le cas Caloducs, après la sélection de cette fiche puis sa rédaction par un acteur dans les sociétés, les technologies caloducs apparaissent trop limitées. Une technologie alternative est identifiée par l'expert d'une autre société. Des produits Safran qui perdent ou pourraient utiliser de la chaleur sont identifiés puis explorés en détail dans la première partie d'un atelier conception innovante. Dans la deuxième partie des concepts sont générés. Après l'atelier, les participants sont recontactés par la direction de l'innovation société par société pour établir la prochaine étape. La première, acheteuse de technologies de transfert thermique, informe que des réunions redondantes sont organisées par ailleurs et veut bien continuer à participer. La deuxième, acheteuse, élabore un concept sans évaluer les autres bien que la réunion concerne l'ensemble des concepts générés. La société suivante, vendeuse, est la seule à évaluer et comparer les concepts. Sa préférence s'avère être pour le même concept qu'élaborait la société précédente sur le critère qu'il nécessite abondamment ses compétences et intégrerait ses produits. C'est le concept qu'elle proposait à titre d'exemple à la fin de sa présentation ; sa genèse est antérieure à l'atelier. La dernière société, acheteuse, n'est concernée que par une minorité de concepts qui présentent des inconnus trop importants compte-tenu des ressources dont elle dispose. Les prochains événements portent donc sur le concept prioritaire et le collectif est formé à partir des membres des deux précédents. Une première réunion permet de présenter les différents travaux et l'intérêt pour le concept qui se dégage de l'atelier est partagé car des explorations proches ont été menées. A la séance commune suivante les nouveaux acheteurs de technologie exposent toutes les vérifications à mener pour la démontrer. Ensuite la direction de l'innovation propose de définir le projet de démonstration puis le value model, c'est-à-dire la valeur du point de vue des clients. Pour la démonstration, ils traduisent les réflexions précédentes dans les jalons de la direction de l'innovation puis discutent des architectures techniques, des tâches à exécuter et du calendrier. Pour le *value model* les acteurs transforment les voies proposées sur le brouillon. Ensuite des travaux abondants seront menés pour préparer le jalon de lancement d'une étude de faisabilité jusqu'à ce que le jalon soit effectivement convoqué et passé. L'étude de faisabilité doit permettre de sélectionner ou d'hybrider quatre architectures pour parvenir au meilleur bilan énergétique tout en respectant d'autres critères. En conclusion si effectivement la convergence décisionnelle apparaît une fois, elle n'était pas tout à fait nécessaire puisqu'elle donne plus de valeur au concept le plus ancien et surtout elle n'est pas immédiatement succédée de ressources abondantes. Ces dernières sont obtenues avec l'élaboration collective du *value model*. Les tableaux suivants fournissent plus de détails.

Phase	DKCP		Préparation atelier (E2, E3)		Atelier conception innovante (E4, E5)	
	<	>	<	>	<	>
div. ou conv.						
action	Phase C	Phase P	Identification technologie et produits Safran	Reformulation sans sélection	Génération et agglomération d'idées	1 société priorise, 1 élabore, 2 sont neutres
Ressources acteurs et compétences	Groupe de travail élargi	Groupe de travail	+ 4 experts et 1 manager	Mêmes acteurs	+ 4 experts mais pas de manager	Mêmes acteurs
Conclusion		Sélection mais pas de ressources		Pas de décision entre alternatives		Engagement de la société sur le concept qu'elle priorise

Tableau 15 : Analyse des phases divergentes et convergentes du cas Caloducs (1/2)

Exploration du concept (E6, E7, E8)		Préparation du jalon (au-delà du de l'article R&DM)	
<	>	<	>
Exploration des démonstrations et du <i>value model</i>	Elimination, restructuration et ajout de concepts	Identification des risques, des marchés	Prédimensionnement, collecte de données
+ 7 experts, quelques réunions	Idem	+ 4 experts des dizaines d'heures	Idem
	élaboration et pas de décision entre alternatives		Pas de décision entre alternatives

Tableau 16 : Analyse des phases divergentes et convergentes du cas Caloducs (2/2)

A ce stade les explorations Safran bénéficient de ressources malgré les conditions principales de chacun des quatre champs théoriques classiques abordés dans la thèse. Nous proposons une brève synthèse pour clôturer cette section.

Synthèse : des conditions d'engagement de ressources spécifiques à l'échange dans l'inconnu sont à établir

La revue des champs théoriques classiques permet de dégager les conditions suivantes sur l'engagement de ressources : le surplus de valeur est connue (échange marchand), le concept est sélectionné suite à une évaluation positive (décision et créativité), un arrangement est stabilisé sur une dimension commune (acteur-réseau). Les données empiriques collectées chez Safran montrent que dans l'inconnu ces conditions ne sont pas respectées : des ressources sont engagées sans avoir connaissance de surplus de valeur, avec une évaluation insuffisante et selon des arrangements régulièrement remis en question. Il est donc nécessaire d'établir des conditions différentes et propres à l'inconnu. Les théories de la conception innovante ciblant plus spécifiquement l'inconnu,

elles sont susceptibles de fournir de telles conditions. Nous allons donc relire leur apport puis les comparer aux cas Safran.

L'engagement contractuel en conception, un présupposé remis en cause par les cas Safran

Les échanges en phase projet chez Safran suivent la décision au jalon dont l'engagement est contractualisé dans une commande de livrables. Elle doit stabiliser les arrangements entre la direction de l'innovation et sociétés (nature du livrable, montant). Le cas Thermoélectricité montre alors qu'une exploration peut nécessiter un financement de la direction de l'innovation avant que les arrangements ne puissent être stabilisés. C'est la problématique de contractualiser dans l'inconnu. Nous allons alors relire les fondements du droit français sur la contractualisation, nous verrons que l'inconnu n'est pas suffisamment adressé. Ensuite nous relirons les travaux de recherche en conception qui traitent de la contractualisation dans l'inconnu. Nous verrons alors que ces travaux s'appuient sur l'hypothèse que l'engagement de ressources dans l'inconnu est possible à condition d'une promesse contractualisée. Enfin nous verrons que les cas Safran ne vérifient pas cette condition. Cela nous permettra de conclure que l'engagement contractuel n'est pas une réponse adaptée à notre question de recherche face aux limites des théories classiques.

Engagement contractuel dans le droit français : des clauses spécifiques à l'inconnu ?

Dans cette section nous allons voir la définition de l'engagement contractuel dans le droit français et nous allons tester l'hypothèse qu'il est possible de contractualiser l'engagement de ressources dans l'inconnu.

Définition de l'engagement contractuel

L'engagement contractuel est la reconnaissance légale d'une promesse par sa formalisation dans un contrat. Dans le cas d'un échange la promesse porte sur chacune des contreparties échangée : « La vente est conclue dès que les parties sont d'accord sur la chose et sur le prix. Comme les autres ventes, la vente entre professionnels peut être précédée de promesses, qu'il s'agisse de promesses d'achat ou de vente ou de promesses synallagmatiques [bilatérales]. Dans ce dernier cas, il y a engagement de vendre et engagement d'acheter. Les deux parties étant d'accord sur les principaux éléments du contrat, la promesse vaut alors vente. » (Legeais 2012, article 911)

La possibilité d'incertitudes mais pas d'inconnu

Le droit précise que l'objet qui sera échangé est connu des parties, plus exactement « La vente est conclue dès que les parties sont d'accord sur la chose et sur le prix » (Legeais 2012, article 911).

Le souci de certaines théories économiques de la valeur de maximiser l'utilité de toutes les parties n'est pas celui du droit dès lors qu'aucune n'est en position de faiblesse : « La disproportion entre le prix et la valeur de la chose n'est pas une cause de nullité. » (Legeais 2012, article 910)

De même que la théorie de la décision nivèle l'engagement de ressources avec des jalons successifs, le droit distingue deux niveaux d'engagement : l'accord de principe et l'avant-contrat (Legeais 2015, article 910). Dans le deuxième, tous les éléments du contrat principal sont déjà arrêtés avec précision. Le premier est défini comme suit: « L'accord de principe est l'engagement contractuel de faire une offre ou de poursuivre une offre pendant un temps suffisamment long pour que le destinataire de l'offre puisse l'étudier et y répondre » (Legeais 2012, p453).

Ce nivellement permet une protection plus exacte d'une partie qui n'aurait pas reçue la chose promise par l'autre partie : « la jurisprudence en déduit que si l'offrant rétracte son offre avant l'expiration de ce délai, il commet une faute et doit réparer le préjudice subi par le destinataire, notamment les frais d'études par celui-ci. » (Legeais 2012, p453)

Il semble donc que le droit soit constitué de sorte que la partie destinataire puisse mener des explorations et ne s'engage contractuellement que lorsqu'elles sont terminées. Mais l'engagement contractuel des parties présente alors des limites trop importantes pour notre question de recherche, malgré une tolérance sur certaines incertitudes (indiqué par les termes soulignés ci-après) :

- « Dès la conclusion du contrat, le prix doit être déterminé ou déterminable ou susceptible de l'être. » (Legeais 2012, article 912)

La multiplication des termes alternatifs montre qu'il y a une tension sur le niveau de déterminisme du prix mais la perspective est néanmoins bien déterministe. Un prix inconnu n'est qu'une possibilité épisodique dans la relation entre les parties.

- « Conformément au droit commun, l'objet du contrat doit remplir un certain nombre de conditions :
 - il doit être possible ;
 - il doit être licite. [...]
 - il doit être déterminé ou du moins déterminable lors de l'époque fixée pour la livraison. [...]

La vente peut porter sur des choses que le vendeur ne possède pas et qu'il s'engage soit à se procurer, soit à fabriquer. » (Legeais 2012, article 913).

De même que le prix, l'objet vendu s'inscrit dans une logique déterministe. Il ne peut rester inconnu jusqu'à la clôture du contrat.

- Le droit prévoit certains types d'échange dans lesquels des incertitudes sont levées après signature du contrat : ventes avec faculté d'expérimentation, ventes à l'essai, vente en disponible, vente à l'agrée.

En définitive le droit prévoit que l'objet échangé (technologie ou du moins livrable fourni faisant parti de son exploration) et le prix (financement) fassent l'objet d'incertitudes levées au moment de procéder à l'échange (facturation).

Vendeurs et acheteurs libres de définir des clauses sur l'inconnu pour compléter les limites du droit

Si le droit ne prévoit pas d'inconnu dans l'échange, il n'empêche pas les parties de définir un contrat d'échange qui porterait sur l'inconnu ou du moins d'inventer des clauses tolérant certains inconnus : « Le particularisme des contrats conclus par les commerçants est lié aux exigences de rapidité et de sécurité de la vie des affaires. Les parties ont toujours eu le droit d'assouplir les règles juridiques. » (Legeais 2015 : 907).

Nous allons donc revoir les théories de la conception innovante concernant la problématique précise de l'engagement de ressources dans l'inconnu pour comprendre la composante contractuelle dans l'inconnu.

L'engagement contractuel, présupposé des échanges dans l'inconnu

Les théories de la conception revues ci-après offrent trois perspectives à l'engagement de ressources dans l'inconnu : au sein de l'entreprise innovante, entre fournisseur et client, enfin entre partenaires d'explorations. Ces perspectives ont l'avantage pour notre thèse de présenter des situations variées : au sein d'une entreprise il s'agit de ressources internes qui ne peuvent pas être allouées par un décideur au-dessus de toutes les directions bien que le modèle d'action reste celui du jalon décisionnel ; entre fournisseur et client la perspective d'un échange marchand est structurante ; entre partenaires d'exploration un tel élément de cohésion est absent, chaque partenaire est acheteur d'une nouvelle compétence stratégique mais est aussi membre du collectif vendeur d'une compétence. Nous montrerons alors que le trait commun de ces situations est que l'action collective s'appuie sur une hypothèse d'engagement contractuel, c'est-à-dire que l'engagement de ressources est conditionné par l'établissement d'un contrat. De façon plus fondamentale c'est-à-dire en l'absence éventuelle de contrat, cette section est un premier apprentissage sur la vertu et les limites de la promesse dans le mécanisme d'engagement dans l'exploration.

Contrat dynamique de conception entre vendeurs et acheteurs internes

Face aux problèmes de désengagement des parties prenantes des projets de R&D en rupture, Sophie Hooge (2010) participait à « l'instauration d'un contrat dynamique de conception liant les parties prenantes autour de la définition des objectifs de l'activité et les degrés de mobilisation des acteurs » (p27). Le modèle d'action repose sur celui de la décision avec des réunions de jalon. La contribution importante de l'auteur porte sur un critère d'évaluation organisationnel, la qualité de l'engagement de l'entreprise, qui implique des substrats techniques spécifiques : des médias de support aux interactions entre les acteurs et des contrats entre les parties (p369).

En plus de ces substrats, l'auteur propose des recommandations sur les caractéristiques d'un contrat interne de conception innovante efficient (p410) :

1. triparties conception innovante – ingénierie (technologie) – programme (client)
2. construisant l'adéquation entre conception innovante (champ d'innovation) et avant-projets (cahier des charges)

3. ciblant un programme (véhicule pour un constructeur automobile)

Enfin d'après l'auteur, l'absence de contrat dans le processus de convergence Métier/Produit entraîne une fragilité (p427), ce qui montre l'hypothèse d'engagement contractuel sur laquelle repose l'action collective. Cette hypothèse se traduit par l'implication

pas de contrat => pas d'engagement

ou sa contraposée

engagement => contrat.

Ainsi l'auteur résume le modèle d'adhésion des parties prenantes au processus de conception de l'objet qui serait échangé en ces termes : « une nouvelle approche du pilotage de la R&D par une adaptation de l'organisation, du financement et de l'engagement contractuel des partenaires de conception selon le degré de rupture de l'activité. » (p389)

Sur quoi porte cet engagement contractuel ? L'auteur décrit dans l'encadré sur les techniques de calcul de la valeur deux dimensions : le prix et le coût de revient. Leur quotient se doit supérieur à 3,85 pour définir une valeur positive (p318). Le collectif vendeur de la technologie innovante (chef de projet, métiers ayant fourni des données) s'engage donc sur la justesse de ce calcul. En retour, l'engagement contractuel des acheteurs (avant-projets, programme) porte sur la promesse d'intégrer la technologie dans un véhicule. L'engagement est alors nivelé en jalons qui sont l'occasion de discuter la nature des incertitudes suite à la recherche-intervention.

Contrat de co-innovation entre vendeurs et acheteurs externes

Hooge (2010) évoque aussi des contrats spécifiques avec des fournisseurs. La propriété industrielle (PI) ajoute une dimension importante qui oblige l'entreprise à distinguer trois types de contrats :

- sous-traitance avec PI détenue par le constructeur,
- sous-traitance avec PI détenue par le fournisseur,
- co-innovation avec PI partagée.

Précisément Rémi Maniak (2009) observait les deux premiers cas de mise en oeuvre de contrats de co-innovation. Afin d'expliquer les différentes incitations entre parties de l'échange selon la relation établie, l'auteur (pages 106 à 113) est amené à expliciter sur quoi porte l'engagement des acteurs, sa nature et le phasage des engagements des parties (qui s'engage le premier). Dans une relation de sous-traitance, le fournisseur s'engage sur la conformité des composants, et le constructeur s'engage sur le paiement à hauteur de ce qui a été négocié lors de la signature du contrat. Dans une relation de co-développement, le fournisseur engage proactivement des ressources pour lesquelles il obtiendra une contrepartie si son offre est acceptée puis l'engagement contractuel porte sur une performance qualité-coût-délais (p124). Dans une relation de co-innovation, l'exploration proactive du fournisseur préalable à l'échange marchand est rémunérée, la garantie de fourniture d'un programme est mieux communiquée, la mise en concurrence est moindre pouvant aller jusqu'à des contrats d'exclusivité du fournisseur. L'engagement porte alors sur le « processus qui doit conduire à la mise sur le marché » (p215).

D'après l'auteur, l'avantage du contrat de co-innovation est qu'il provoque un engagement d'acteurs de diverses directions et à des niveaux hiérarchiques élevés qui n'auraient eu aucune raison de s'engager par un autre processus (p383). Le contrat est alors une condition suffisante. L'hypothèse d'un engagement portant sur le processus de conception plutôt que sur ces produits a le potentiel de prémunir toute fixation sur l'objet échangé qui peut alors être inconnu. Elle est très pertinente pour notre question de recherche. Cependant elle pose certaines difficultés. D'après l'auteur le contrat de co-innovation induit des fixations qui limitent l'exploration au péril des projets (pages, 402 à 403). Certains acheteurs (avant-projet, programme) restreignent la variété des concepts explorés car de telles parties prenantes « ne sauraient s'engager sur un domaine d'innovation vaste où elles ne connaîtraient ni les technologies ni les applicatifs, et demandent donc à juste titre de stabiliser la définition technique et fonctionnelle et de montrer une faisabilité a priori avant de s'engager. » (p403). L'absence de modèle d'action aux explorations de l'échange dans l'inconnu reste donc très préjudiciable à un tel processus puisque des fixations importantes le mettent en péril, confirmant la pertinence de notre question de recherche. En effet dans les cas analysés par l'auteur aucune exploration n'aboutit à un produit et son échange marchand. Plus précisément, « la continuité des apprentissages demeure le point noir du processus observé. Certes, le travail collectif permet de progresser rapidement sur la maturité technique des systèmes, mais la remise en cause fréquente des hypothèses fonctionnelles et de la valeur associée diminue l'efficacité globale du processus. » (p374)

Contrat cadre entre partenaires d'exploration

La notion de partenariat d'exploration inter-industrie désigne « l'engagement d'au moins deux partenaires d'industries séparées qui explorent conjointement des nouveaux espaces de valeur et des nouvelles compétences ou connaissances » (Gillier 2009). Segrestin (2003) relevait des cas où les partenariats avaient lieu dans des industries communes (RATP et SNCF sont tous deux opérateurs ferroviaires ; Renault, Nissan, PCS/VDO sont constructeurs ou équipementiers automobiles). Contrairement au contrat de co-développement, la perspective d'échanges marchands n'est pas l'objet de ces partenariats. Les auteurs ont donc cherché d'abord d'autres motifs puis comment ces motifs sont établis.

Dans un premier temps cette littérature avait distingué deux dimensions de la coopération, la coordination et la cohésion. Lorsque l'objet de la coopération est clairement défini, les deux dimensions peuvent être confondues et le contrat est le substrat technique couvrant les deux dimensions (Segrestin 2003, p78). Mais lorsque l'objet de la coopération est inconnu, les deux dimensions se gèrent à part entière. La condition de la cohésion fait apparaître des techniques d'engagement (Segrestin 2003, p44). Elle admet comme principal substrat technique le contrat (Segrestin 2003, p78). L'auteur s'appuie sur les travaux de Barnard pour rappeler que le droit occupe une place centrale dans les mécanismes de cohésion dont l'anticipation et la résolution des litiges. L'auteur s'appuie donc sur l'hypothèse d'engagement contractuel, c'est à dire par une définition de l'engagement comme celui de tenir une promesse, et citera Aggeri (1998) pour évoquer un engagement de ressources non pas contractuel mais effectif et proactif : « Les accords volontaires

reposit avant tout sur l'implication délibérée des acteurs et donc sur les incitations qu'ils trouvent à engager un processus d'exploration » (p218). L'auteur est alors amenée à souligner l'inefficacité d'un engagement contractuel pour déclencher un engagement de ressources effectif : soit il autorise un désengagement des ressources, soit il porte sur la répartition des ressources engagées et freine alors la coopération par des ajustements incessants (pages 220 à 221). L'hypothèse d'engagement contractuel se traduit donc par l'implication

pas de promesse (« engagement mutuel ») => pas d'engagement de ressources

ou sa contraposée

engagement de ressources => promesse (inscrite dans un contrat).

Dans un deuxième temps cette littérature a cherché comment les acteurs parvenaient à formuler une promesse. C'est dans ce cadre que Thomas Gillier (2010) définissait les échanges entre partenaires. La problématique est donc comment faire émerger l'objet de ces échanges, c'est-à-dire le *common purpose*⁴⁵ : « nous souhaitons observer les différents échanges que ceux-ci [les partenaires] pouvaient entretenir en vue de déceler des centres d'intérêts communs ». L'auteur résume la littérature sur la négociation et le *sensemaking* en termes d'échanges (pages 120 à 121) : « la définition des objectifs de la coopération entre deux partenaires résulte d'un processus de construction, c'est-à-dire d'échanges formels et informels d'idées et de connaissances ». L'auteur lui-même considère que, dans le contexte d'un partenariat d'exploration, les partenaires s'échangent des données ou informations oralement ou via des documents (pages 181, 188, 217 et 275). Il s'agit donc d'échanges d'idées, de connaissances, de données ou d'information dont les débouchés permettront l'engagement contractuel des acteurs. Remarquons que pour mener ces échanges, les partenaires ont déjà signé un contrat cadre de membre du laboratoire MINATEC qui précise un objectif flou (« imaginer, proposer et valider par les usages des objets, applications et services dans le domaine des micro-nanotechnologies » p141) et la promesse de mettre en commun des ressources humaines et financières à hauteur de quelques centaines de milliers d'euros par partenaire (p142). La contribution de l'auteur est alors de formaliser la génération de l'objet de la coopération comme un processus d'appréciation de la distance entre les profils C-K et l'identification d'intersections (*matching*) puis un processus de conception transformant les profils C-K pour produire de nouvelles intersections (chapitre VII). La promesse, l'objet de la coopération sur lequel des ressources sont engagées, est donc une séquence de concepts et d'archipels de connaissances sur lesquels les partenaires souhaitent coopérer. En définitive, si auparavant tout engagement contractuel était plutôt dissuasif (Segrestin 2003, pages 218 à 219), il reste un prérequis à l'émergence d'objet de coopération sans lequel les ressources d'exploration promises n'ont pas lieu d'être dépensées.

⁴⁵ Notion de Chester Barnard largement retravaillée par Segrestin et Gillier

Synthèse : définition de l'hypothèse d'engagement contractuel

Les situations d'échange dans l'inconnu étudiées ci-dessus ont pour trait commun de s'appuyer sur l'hypothèse d'engagement contractuel que nous sommes désormais capables de formuler par l'implication suivante

Engagement effectif de ressources d'exploration => promesse contractualisée.

La promesse définit sur quoi porte l'engagement contractuel, à savoir :

- la diminution des incertitudes sur le calcul de la valeur et l'intégration dans un programme (Hooge 2010)
- le processus des phases d'ouverture exploratoire, de focalisation sur un concept, de maturation du concept avec partage de la propriété industrielle (Maniak 2009, p364)
- la quantité de ressources et une séquence de concepts et d'archipels de connaissances issue de l'intersection des profils C-K des partenaires (Gillier 2010).

Afin de générer une telle promesse,

- le contrat dynamique de conception actualisait les incertitudes à réduire lors des réunions de jalon,
- le contrat cadre était suivi d'un processus de *building* (décrit au chapitre 3 pages 78 à 80).

Nous allons donc analyser si l'hypothèse d'engagement contractuel est vérifiée sur les terrains Safran.

L'échange dans l'inconnu Safran, une exception des modèles d'engagement contractuel de ressources

Nous avons décrit l'hypothèse d'engagement contractuel faite dans la littérature, nous allons à présent étudier sa validité dans les cas Safran. Nous nous appuierons principalement sur le cas Thermoélectricité pour la variété des organisations qui y participent et pour son degré de confidentialité moindre permettant un niveau de détail important. Ce cas présente une transition continue et non terminée entre échange dans l'inconnu et échange dans le connu. En effet nous montrerons que réduction d'incertitude et exploration de l'inconnu s'y entremêlent ce qui en fait un cas d'autant plus pertinent. Nous traiterons d'abord les échanges entre direction de l'innovation et sociétés Safran, puis entre Safran et un fournisseur et enfin entre Safran et un centre de recherche.

Echanges entre direction de l'innovation et sociétés Safran : des ressources pour définir le concept sur lesquelles des incertitudes seront à définir avant contractualisation

En interne d'un groupe industriel, l'hypothèse d'engagement contractuel de la littérature déterminerait que pour qu'une exploration bénéficie de ressources, il faut une promesse contractualisée des sociétés de diminuer les incertitudes sur la valeur du concept et qu'elles aient les moyens de les expliciter aux réunions de jalon.

Des engagements de ce type sont effectivement observés dans les échanges entre direction de l'innovation et sociétés Safran. Ainsi l'étude de faisabilité du cas Thermoélectricité permet de réduire l'incertitude sur la puissance générée par les générateurs, cela fait l'objet d'une commande de livrable une fois le premier jalon passé. Cependant on découvre des zones d'implantation peu de temps avant le jalon ce qui modifie complètement la puissance nominale totale sur laquelle l'incertitude est réduite et le spectre d'utilisations de la puissance électrique possibles. De plus ces utilisations sont aussi identifiées pendant l'étude de faisabilité (aucune en sortie de DKCP, 12 au jalon, 5 de plus à la fin de l'étude). Donc l'étude de faisabilité ne se limite pas à la réduction d'incertitudes.

Par ailleurs, la société qui était dotée de la plus grande part du budget du projet, soit 200k€ sur 300k€, ne dépensa que 125k€. Or il s'agissait déjà d'un budget très modeste puisque dans l'expérience de la direction de l'innovation⁴⁶, une étude de faisabilité permettant de passer le jalon suivant est de l'ordre d'1M€. Donc même une fois passée la commande ne garantit pas les ressources. En fait elle n'est pas nécessaire si on considère le cas Caloducs dans lequel les sociétés dépensaient 200k€ avant que la commande ne soit passée.

Nos données empiriques ne sont pas non plus favorables à l'hypothèse d'engagement contractuel pour la phase précédant le lancement d'études de faisabilité. Plusieurs cas ont bénéficié de ressources d'exploration dans cette phase malgré les difficultés à l'issue des DKCP (les cinq cas sont présentés au chapitre 4 p98). D'abord l'inconnu est important de sorte qu'avant même de définir la nature des incertitudes il s'agit de définir encore le concept. C'est le cas des réunions du premier défi (voir transformation des concepts chapitre 2 p57) ou des cas Frein froid et Quick Drop mais ils ne mobilisent que peu de ressources. Dans le cas Thermoélectricité on observe la transformation du concept avec l'apparition de différentes zones d'implantation de générateurs et d'utilisations de la puissance électrique. Dans le cas Caloducs le concept est totalement transformé d'un réseau de chaleur dans l'avion à l'hybridation de deux équipements (confidentiels) améliorant la consommation de l'aéronef. De façon générale un livrable nécessaire pour passer le jalon de lancement des études de faisabilité est la description du concept. Des ressources sont donc nécessaires pour parvenir à cela.

On peut faire l'hypothèse que ces ressources ont fait l'objet d'un contrat oral. Effectivement la direction de l'innovation fait la promesse orale que si un effort d'exploration permet de présenter un jalon de lancement d'étude de faisabilité avec tous les livrables attendus et une évaluation positive alors elle finance les études de faisabilité dans la limite de son budget. Mais cette promesse n'a aucune valeur juridique et n'engage que la direction de l'innovation. Quelle est la promesse faite de la part des sociétés ? Les ressources des sociétés ne font pas l'objet de contrat dans la phase antérieure au jalon de lancement d'études de faisabilité. Un engagement de type alternatif à l'engagement contractuel est donc à définir.

⁴⁶ Le doctorant obtenait cette information auprès d'un membre expérimenté de la direction de l'innovation lorsqu'il pilotait l'équipe du cas Caloducs dans la préparation du jalon de lancement d'étude de faisabilité.

Nous allons répéter l'analyse entre Safran et un fournisseur.

Echanges entre Safran et un fournisseur : l'absence totale de contrat

Le cas Thermoélectricité présente une collaboration avec un fournisseur. Cette relation ressemble d'abord à la co-innovation dans la mesure où elle doit déboucher sur des achats par Safran d'un nouveau composant au fournisseur. Des ressources d'exploration devraient alors être conditionnées par un contrat sur le processus menant à la mise sur le marché avec partage de la propriété industrielle. Aucun contrat écrit de ce type n'est passé entre Safran et le fournisseur. Ce choix est justifié car les deux entreprises dédient des ressources propres au projet. Cela a pour conséquence de ne pas répartir la propriété industrielle et donc peut encourager une vigilance limitant le partage d'information. L'accord de non divulgation signé est considéré comme le minimum requis pour communiquer. On peut faire l'hypothèse d'un contrat oral mais en l'absence d'obligation légale ou du fait d'appartenir à une même entité économique, il ne s'agit plus d'engagement contractuel. Donc en l'absence de partage de la propriété industrielle cette relation ressemble aussi au partenariat d'exploration. La condition est alors de contractualiser la quantité de ressources puis de parvenir à une séquence de concepts et d'archipels de connaissances issue de l'intersection des profils C-K des partenaires. Encore une fois les ressources ne sont pas contractuelles entre les partenaires. Par contre, l'accord de non divulgation précise que le fournisseur est reconnu dans le domaine de compétences d'un certain composant (connaissances) et que ce qui serait fourni en cas d'aboutissement des discussions serait le composant en question équipé de générateurs thermoélectriques (concept).

En définitive il ne s'agit pas d'engagement contractuel, un engagement alternatif est à définir. Il reste à mener l'analyse avec un centre de recherche.

Echanges entre Safran et un centre de recherche : absence de promesse contractuelle sur les ressources

Le cas Thermoélectricité présente une collaboration avec un centre de recherche qui fait l'objet d'une fiche action adjointe à un contrat cadre. La fiche action fut élaborée lors de plusieurs réunions précédant le travail du centre de recherche durant l'étude de faisabilité. Elle précise un budget sur lequel « le centre de recherche [nom masqué] s'engage à affecter la main d'œuvre correspondante aux projets comme indiqué dans chaque fiche projet » (extrait du contrat cadre). Cette main d'œuvre n'est pas quantifiée dans la fiche mais elle avait été détaillée (nombre journées de travail) afin de déterminer son budget. Les ressources sont donc engagées contractuellement. La fiche action précise le concept de système de récupération d'énergie par thermoélectricité pour le produit Safran concerné et des connaissances des éléments thermoélectriques et des systèmes d'intégration. Elle respecte donc les hypothèses d'un engagement contractuel dans le cadre d'un partenariat d'exploration, pour rappel la promesse contractualisée d'un montant de ressources puis l'émergence d'un C-K commun.

Le contrat cadre antérieur à cette exploration singulière définit les règles de partage de la propriété industrielle de façon très précise : il s'appuie sur la définition des connaissances antérieures et des

connaissances nouvelles sur lesquelles sont clarifiés les droits des parties selon les types (brevets, savoir-faire, logiciels). De ce point de vue il ressemble plus à un contrat de co-innovation qu'à un partenariat d'exploration mais l'engagement porte sur les livrables d'une étude et non pas sur le processus dans son ensemble.

En définitive dans cette situation d'échange, certaines conditions d'un engagement contractuel sont vérifiées.

Nous pouvons donc conclure que dans les situations d'échange les plus inconnues, les conditions de l'engagement contractuel ne sont pas vérifiées alors que des explorations ont effectivement bénéficié de ressources. Les prochaines sections vont donc décrire des modèles alternatifs de génération de promesse.

Vers un nouveau modèle d'engagement de ressources dans l'inconnu

L'engagement contractuel étant limité pour expliquer comment une exploration parvient à bénéficier de ressources humaines et financières malgré l'inconnu, nous cherchons des modèles alternatifs. Nous commençons par l'engagement de l'utilisateur qui est apparu récemment dans le secteur du numérique et est déjà mise en pratique dont nous retenons le principe de bouclage. Ensuite nous identifions l'engagement conceptif suggéré par les modèles de gestion d'attentes génératives comme pertinent mais encore à établir.

Régénérer l'engagement de l'utilisateur, un phénomène valable dans l'inconnu ?

Dans le secteur du numérique, sa croissance alliée aux modèles économiques actuels sont à l'origine d'un mythe rationnel très discuté sur les médias sociaux : l'engagement utilisateurs. Si dans le modèle de la vente, le nombre d'achat assurait le chiffre d'affaires, la tendance actuelle est à la gratuité et le chiffre d'affaires est obtenu en échange de la revente des données collectées, de la publicité diffusée ou du service médié par l'application. Ainsi le nombre d'acheteurs de l'application n'est plus un critère, c'est l'engagement d'utilisateurs au sens qu'un utilisateur engagé passe du temps à interagir avec l'application ce qui crée plus de valeur. Des chercheurs en technologie de l'information tels que O'Brien et Toms (2008) développent alors des métriques de l'engagement des utilisateurs.

Dans ce contexte, Sarah Tavel, membre du capital risque Greylock Partners, anciennement du capital risque Bessemer et de l'entreprise Pinterest, explique un outil d'évaluation des jeunes pousses numériques : la hiérarchie de l'engagement⁴⁷. Précédemment Nir Eyal présentait le modèle hook à des fins similaires. Nous allons revenir sur ces deux modèles afin d'en retenir certains principes.

⁴⁷ <https://www.linkedin.com/pulse/hierarchy-engagement-sarah-tavel> consultée le 11 avril 2016

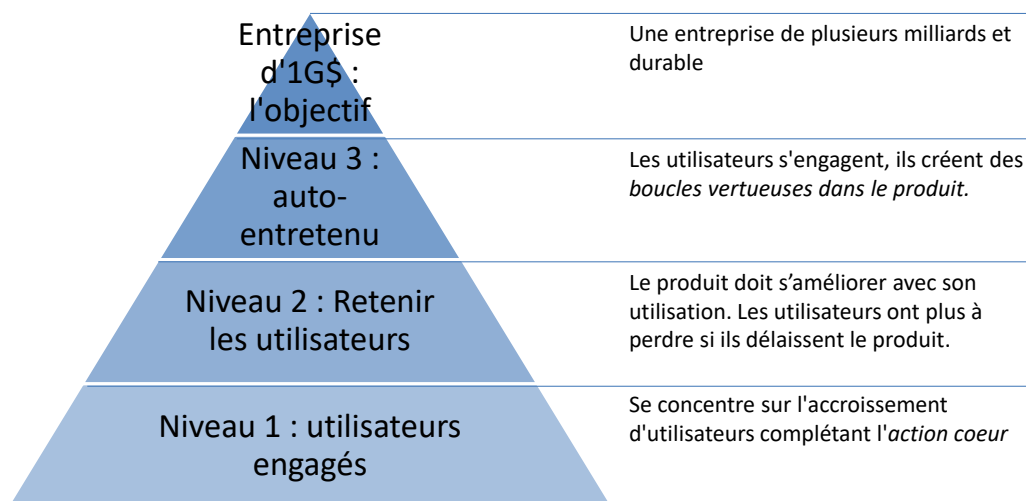


Figure 15 : Hiérarchie de l'engagement proposé par Sarah Tavel sur les médias sociaux (traduite de l'anglais)

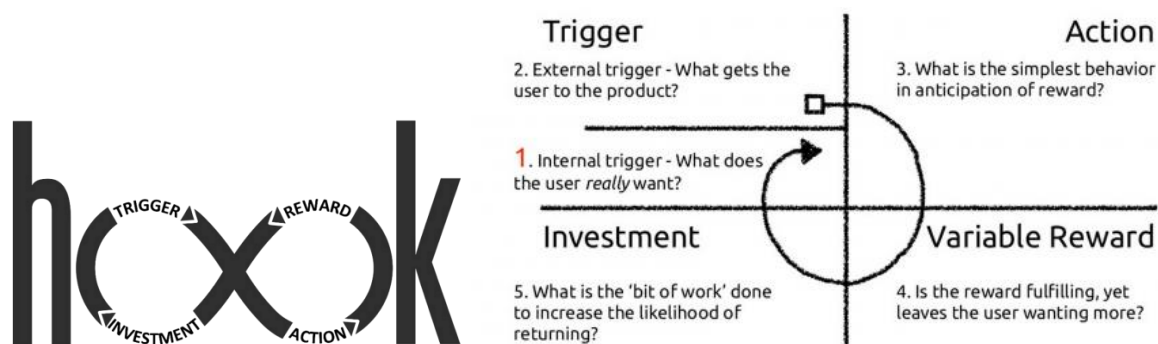


Figure 16 : Le modèle hook d'engagement des utilisateurs ⁴⁸

Afin de réaliser le premier niveau d'engagement de la hiérarchie, l'utilisateur opère l'action cœur de l'application (exemples : envoyer un tweet, mettre en ligne une vidéo). Etant gratuite, la valeur perçue par l'utilisateur peut être faible à ce stade mais le modèle hook insiste quand même sur le fait de proposer une valeur (*external trigger*). L'utilisateur conçoit alors lui-même son usage de l'action cœur, c'est la qualité des biens génératifs d'usage (Brown 2013). Ensuite il faut que l'engagement de l'utilisateur perdure ou augmente. Pour cela les praticiens identifient un mécanisme cognitif particulier : la contrepartie qu'il obtient de son engagement le satisfait un temps mais le laisse avec le désir d'en obtenir d'avantage. Les praticiens désignent ce phénomène par la métaphore de la boucle. On peut modéliser ce phénomène dans la théorie C-K : l'engagement doit (1) permettre d'explorer des nouvelles connaissances (2) générer des nouveaux concepts à explorer. C'est précisément ce que faisaient les théories de la conception innovante en définissant les principes gestionnaires des attentes que nous allons relire.

⁴⁸ <http://www.nirandfar.com/2012/03/how-to-manufacture-desire.html>
<http://www.mbamci.com/hooded-ou-comment-cree-laccoutumance-un-produit/>
 consultées le 29 juin 2016

Les attentes génératives et l'hypothèse d'un engagement de type conceptif

Lorsque l'objet est inconnu, dans un premier temps ce mécanisme était décrit par la sociologie des attentes dans la notion d'attentes de second ordre : « Pour eux [les praticiens], les attentes sont des objets critiques de jugement et d'évaluation pour discerner la véracité, la robustesse et la fiabilité. C'est beaucoup plus complexe en condition d'incertitude accrue où la science et la technologie balancent couramment l'inattendu – où l'inattendu lui-même est attendu. Ces attentes de second ordre incluent la compréhension largement partagée que les représentations futuristes de la science et de la technologie sont rarement à la hauteur de leur promesse et de leur potentiel. L'ironie est que le manque de performance du futur est lui-même attendu. Ce sont les caractéristiques de la façon dont les attentes sont culturellement gérées, la façon dont *hype* et déception sont absorbées par la dynamique des attentes. » (Brown, Konrad, Van Lente 2006, traduit de l'anglais).

Dans un deuxième temps, les sciences de gestion de (Le Masson *et al.* 2011) adaptèrent un modèle de gestion spécifique aux attentes de second ordre. Alors que la gestion des attentes de premier ordre consiste à ce qu'un acteur central démontre l'adéquation entre les actifs engagés, la source de valeur et les futurs promis en réalisant les attentes, la gestion des attentes de second ordre génère des actifs, des sources de valeurs et des futurs désirables. Les auteurs débouchent sur trois principes résumés dans le tableau ci-après.

	Attentes rationnelles (de premier ordre uniquement)	Attentes génératives (avec celles de second ordre)
Processus	Réaliser des attentes	Co-évolution des attentes et des réalisations
Partenaires	Financeurs	Concepteurs
Modèle de cohésion	Partage des profits	Bien commun, espace commun d'action générative

Tableau 17: Différences dans la gestion d'attentes rationnelles et génératives - les secondes engagé des concepteurs (adapté de (Le Masson *et al.* 2011))

Cependant l'engagement de partenaires concepteurs plutôt que financiers n'est pas expliqué, les auteurs suggèrent juste la notion d'engagement conceptif (*design commitment*). Les auteurs formulent cette notion comme condition d'une bonne gestion des attentes de second ordre sans expliquer comment elle est possible. Le cas du chanvre démontre que c'est possible mais la maîtrise du phénomène n'est pas expliquée. Une théorie du phénomène est nécessaire.

Conclusion de chapitre 5 : L'échange dans l'inconnu Safran, une exception qui requiert un nouveau modèle d'engagement de ressources

Deux phénomènes d'engagement ont été mis en avant.

Premièrement la promesse entraîne un engagement effectif mais temporaire de ressources. Les cas Safran présentent alors une exception par rapport à l'hypothèse de contractualisation d'une telle

promesse sur laquelle s'appuient certains travaux des théories de la conception innovante. Notre hypothèse de calcul inconnu prend alors forme : le calcul inconnu doit avoir l'effet d'une promesse engageante. Nous investirons donc cette hypothèse dans le prochain chapitre.

Deuxièmement dans l'inconnu, nous savons désormais qu'il s'agit d'engager des concepteurs plutôt que des financiers afin de régénérer cette promesse. Thomas Gillier (2010) fournissait un modèle mais il s'appuie sur l'engagement contractuel d'acteurs connus. Nous allons donc explorer l'hypothèse d'engagement conceptif de la gestion des attentes génératives dans la perspective de l'échange.

Résumé de chapitre 5

Explorer la valeur nécessite des ressources des collectifs acheteur et vendeur. Précisément de telles ressources manquent sur les terrains de la direction de l'innovation Safran au début de cette recherche. **Ce chapitre constate après l'intervention que des fiches-idées ont bénéficié de ressources faisant exception vis-à-vis des théories de la littérature.**

Nous rappelons les conditions de l'engagement de ressources dans les théories classiques : le surplus de valeur est connu (échange marchand), le concept est sélectionné suite à une évaluation positive (décision et créativité), un arrangement est stabilisé sur une dimension commune (acteur-réseau). **Les données empiriques collectées chez Safran durant l'intervention montrent que dans l'inconnu ces conditions ne sont pas respectées : des ressources sont engagées sans avoir connaissance de surplus de valeur, avec une évaluation insuffisante et selon des arrangements régulièrement remis en question.** Cela appelle à définir des conditions spécifiques à l'échange dans l'inconnu.

Nous étudions donc les théories de la conception innovante. **Elles s'appuient systématiquement sur l'hypothèse que des ressources d'exploration nécessitent une promesse contractualisée qui n'est pas vérifiée dans les cas Safran.** Au sein de l'entreprise les sociétés devraient faire la promesse contractualisée de diminuer les incertitudes sur le calcul de la valeur. Au lieu de cela la définition du concept sur lequel des incertitudes seront à définir bénéficie de ressources avant contractualisation. Entre un fournisseur et Safran, aucun contrat n'est passé, ressources et propriété industrielle sont gérées par chaque partie séparément. Enfin entre un centre de recherche et Safran, les ressources sont bien contractualisées et un C-K commun identifié du point de vue d'un partenariat d'exploration mais l'engagement porte sur des livrables et non pas sur le processus du point de vue de la co-innovation.

Face à ces limites nous cherchons d'autres modèles. Premièrement, les praticiens dans le secteur du numérique modélisent comment est (ré)générée une promesse engageant l'utilisateur d'une application connue. Deuxièmement, L'étude des attentes a théorisé un tel phénomène dans l'inconnu. Les attentes ont d'abord été abordées en sociologie, puis **les théories de la conception proposaient le modèle gestionnaire des attentes génératives suggérant de ne plus engager des financeurs mais des concepteurs dans un processus de co-évolution des attentes et des réalisations.** Elles laissent alors en suspens l'hypothèse d'engagement conceptif que nous souhaitons explorer.

Chapitre 6 – Proposition d'un modèle d'action : l'engagement conceptif

Dans la première partie, nous établissons que les concepts générés en collectif chez Safran n'ont aucune ressource d'exploration lorsque l'inconnu est trop important et que les théories classiques ne sont pas adaptées à l'inconnu. Dans le chapitre précédent, nous montrons que l'intervention des chercheurs a permis à des concepts de bénéficier de ressources d'exploration alors qu'ils ne vérifient pas les conditions des théories classiques et qu'ils ne vérifient que partiellement les conditions d'engagement contractuel des théories de la conception. Ces cas Safran suivent donc un modèle d'action collective différent que nous proposons d'explicitier avec la théorie C-K et notre modèle de l'échange intégrant l'inconnu. Nous définissons ce modèle dans la notion d'engagement conceptif. Ensuite nous établissons les conditions de ce modèle en suivant nos questions de recherche afin de pouvoir le reproduire.

« L'engagement conceptif », un modèle d'action défini par des raisonnements dans l'inconnu

Dans cette section nous analysons deux cas Safran qui ont bénéficié de ressources d'exploration avec la théorie C-K et notre modèle de l'échange intégrant l'inconnu afin d'explicitier leur modèle d'action. Ce matériau empirique est pertinent car ce sont des exemples d'effort d'exploration qui seront suivis d'autres efforts bénéficiant de ressources supplémentaires. Nous distinguons trois situations. Dans la première situation, un vendeur isolé parvient à engager des acheteurs dans l'exploration de la valeur de sa technologie jusqu'à un certain point. Dans la deuxième situation, un acheteur isolé parvient à engager un vendeur. Dans la troisième situation, vendeurs et acheteurs s'engagent simultanément. L'engagement des acteurs prend à la fois le sens d'agir dans le présent (comme l'utilisateur d'une application) et de promettre des ressources futures.

L'engagement d'un acheteur comme ressource d'exploration – Etude de cas Thermoélectricité

Nous décrivons les débuts de ce cas car l'inconnu y est important et les ressources nulles par définition. Il s'agit d'explorations ayant lieu plus d'un an avant la période de recherche-intervention mais le doctorant a collecté des données abondantes en tant que membre de la direction de l'innovation lorsque la fiche idée lui était présentée ou lorsqu'il reprenait contact avec un acteur impliqué à l'époque.

Au départ le centre de recherche déjà en contact avec une des sociétés Safran présente le sujet à un responsable R&T spécialiste des systèmes électriques. Les générateurs thermoélectriques sont alors présentés par leur propriété de capter le flux thermique entre un corps chaud et un corps froid (P_0) puis de convertir ce flux en puissance électrique (P_1). Pour cet acteur, l'installation de générateurs thermoélectriques à bord de l'avion nécessiterait des systèmes électriques supplémentaires créant des opportunités d'échanges marchands pour sa société. Il prend donc contact avec un responsable

R&T d'une société dont les produits sont susceptibles de présenter des corps chauds et des corps froids en interface (Définition de $V_0?$). Trois zones d'implantation A, B et C sont alors identifiées et leurs températures nominales collectées et communiquées au centre de recherche (Exploration de $V_0?$). Ce dernier confirme que des matériaux adaptés existent. Ces premières étapes sont résumées dans la figure suivante.

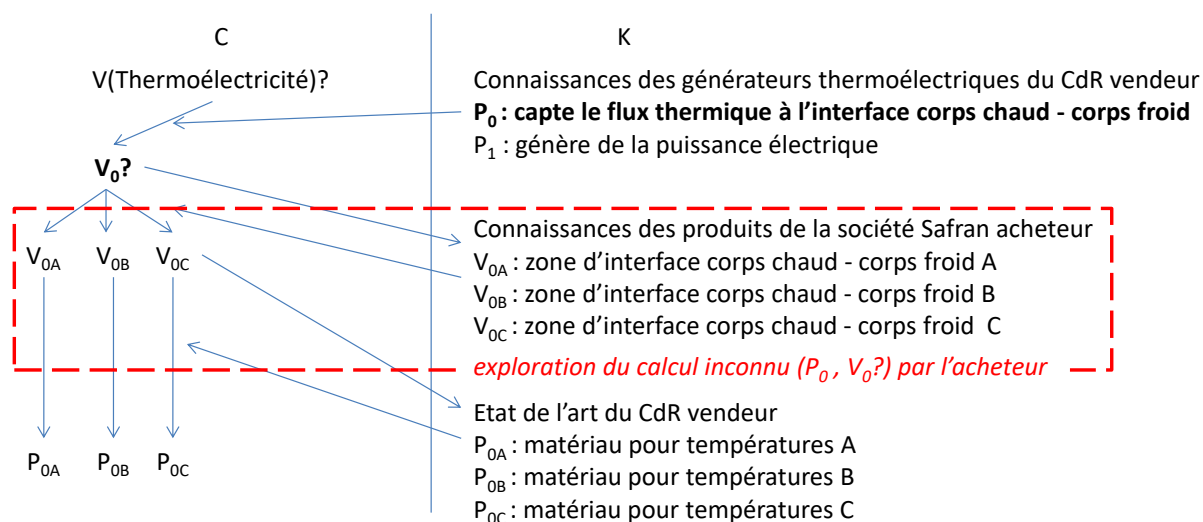


Figure 17 : Engagement de Safran (acheteur) dans l'exploration stimulée par un centre de recherche (vendeur, noté CdR) dans le cas Thermoélectricité avant la période de recherche-intervention (1/2)

Le centre de recherche fournit un calcul approché des puissances générées (P_{1A} ; P_{1B} ; P_{1C}). Ces ordres de grandeur permettent à la deuxième société Safran d'identifier une utilisation électrique (Exploration de $V_1?$), ce qui est repris dans la figure suivante.

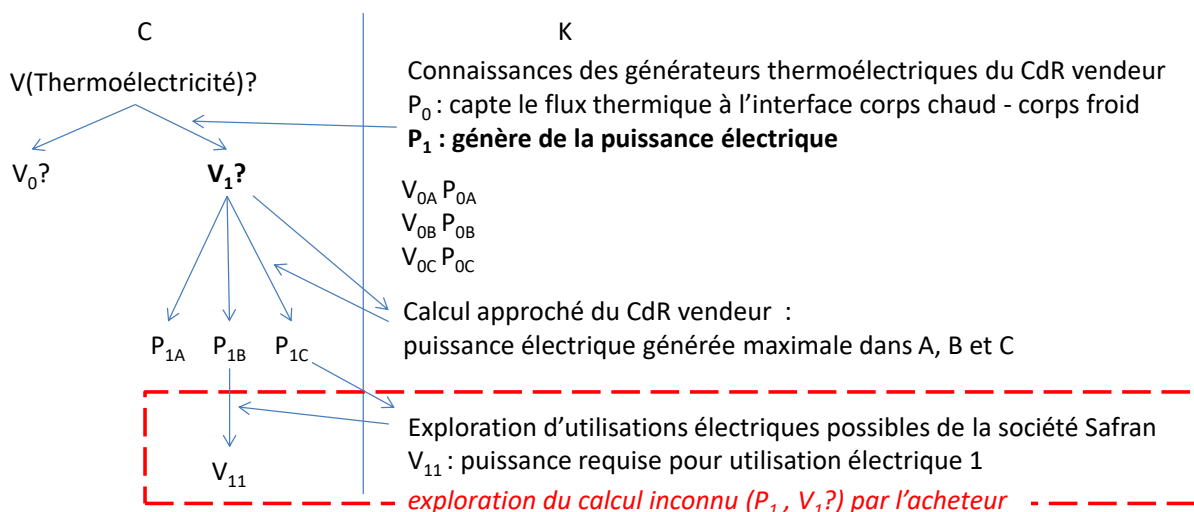


Figure 18 : Engagement de Safran (acheteur) dans l'exploration stimulée par un centre de recherche (vendeur, noté CdR) dans le cas Thermoélectricité avant la période de recherche-intervention (2/2)

L'utilisation électrique identifiée consiste à alimenter un composant pour supprimer son alimentation actuelle ce qui peut produire un gain sur le bilan énergétique de l'ensemble du produit (V_2 ; calcul inconnu ($P_2?$, V_2)). Un autre critère consiste à améliorer ou du moins à ne pas détériorer

la disponibilité de la fonction alimentée (V_3). Sur ce point la fiabilité des générateurs thermoélectriques est inconnue mais on sait déjà qu'ils ne fournissent de la puissance électrique que lorsqu'un flux thermique les traverse (calcul (V_3, P_3) négatif). Ce dernier point n'est pas assuré dans toutes les phases d'utilisation ce qui engage Safran dans un exercice de résolution de problème qui n'aboutira pas. La solution évoquée consiste en un accumulateur d'énergie ce qui dégraderait la masse donc le bilan énergétique (calcul (V_2, P_2) probablement négatif). De plus les accumulateurs connus ne résistent pas aux températures de l'environnement considéré (calcul (V_4, P_4) négatif).

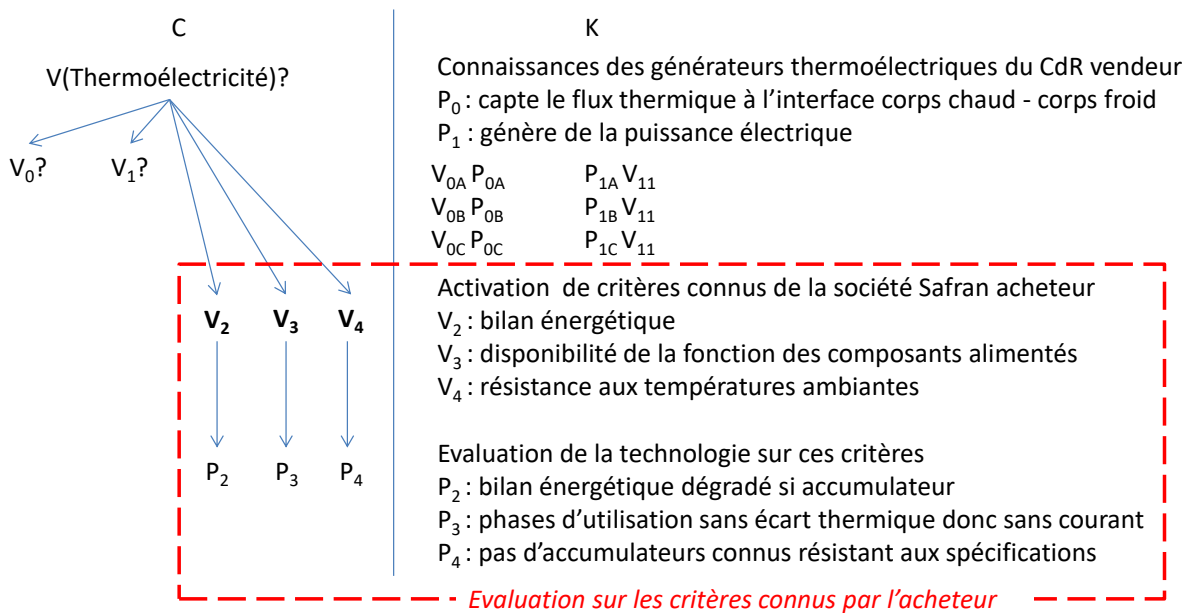


Figure 19 : Evaluation classique de l'acheteur débouchant à un calcul négatif de la valeur mettant fin aux explorations lors du cas Thermoélectricité

En définitive, cet exemple illustre le contraste entre l'engagement dans l'exploration de nouveaux critères et l'évaluation à partir de critères anciennement connus. On peut faire l'hypothèse qu'en évitant la bascule vers le second modèle basé uniquement sur les connaissances et non l'inconnu on peut prolonger l'engagement des ressources. C'est une condition à confirmer.

Nous allons traiter de même l'engagement d'un vendeur dans l'exploration. En effet une interprétation simpliste consisterait à ce que l'acteur qui engage un autre dans la conception est nécessairement un vendeur, c'est le cas dans la littérature avec les figures

- du champion pour passer la vallée de la mort,
- de l'équipe projet qui demande des ressources financières au responsable d'un budget dans le champ de la décision dans les processus d'innovation,
- de l'entrepreneur des théories acteur-réseau.

Mais notre modèle d'échange intégrant l'inconnu (chapitre 2, p47) indique de façon formelle qu'un acheteur de technologies est amené à engager des vendeurs dans leur exploration. La relecture des terrains d'échange dans l'inconnu de la direction de l'innovation Safran confirme cela (p66) : certaines fiches idées issues des DKCP manquent de solutions techniques et nécessitent donc des

vendeurs de technologies, la direction de l'innovation engage des vendeurs d'idées à évaluer lors des défis, le pilote de la prospective engage des vendeurs de scénarios à évaluer aussi.

L'engagement d'un vendeur comme ressource d'exploration – Etude de cas Caloducs

Nous traitons ici du début du cas lorsque les ressources sont faibles et l'inconnu important. Il s'agit de l'exploration d'une fiche idée issue des DKCP qui a été rédigée puis délaissée. Face à la conjoncture énergétique, l'idée consiste à bord des avions commerciaux à récupérer la chaleur habituellement dissipée pour la transporter où elle est utile au lieu d'en produire. Par analogie avec le réseau électrique ou hydraulique, l'avion se verrait alors doté d'un réseau de chaleur. Un acteur rédige donc cette fiche idée qui identifie les sources de chaleur perdue et leurs utilisations potentielles dans l'avion (V_0). La société de l'acteur commercialise des produits utilisateurs de chaleur, il est donc acheteur d'un tel réseau. Cependant, la fiche dresse aussi un état de l'art de la technologie caloduc afin d'argumenter sa faisabilité. Cet état de l'art se base sur des explorations antérieures utilisant la même technologie mais le concept se limitait au produit de cette société alors qu'il s'étend désormais à tout l'avion. Ce premier état de l'art permet de se rendre compte que ces technologies ne fonctionnent que sur des distances trop courtes (calcul (V_{01}, P_{01}) négatif), des puissances trop faibles (calcul (V_{02}, P_{02}) négatif) et de point à point (calcul (V_{03}, P_{03}) négatif). D'autres dimensions de la valeur sont identifiées dans la fiche mais ne permettent pas d'évaluation dans l'état des connaissances :

- la performance de l'interface de récupération/restitution de chaleur qui peut faire intervenir plusieurs paramètres comme le rendement ou la surface à déterminer ($P_{04}?$).
- la compacité (V_1). On peut s'attendre à des diamètres de conduites faibles mais tout le reste du réseau est à dimensionner ($P_1?$).
- La non inversion du flux de chaleur si la température de l'utilisateur de chaleur devient supérieur à la source (V_2)
- La résistance au givre (V_3). Le fluide caloporteur devrait posséder une température de gel suffisamment faible ($P_3?$)
- La compatibilité avec les normes REACH⁴⁹ (V_4). Elle dépend du fluide caloporteur ($P_4?$).

Cette exploration est résumée dans la figure suivante.

⁴⁹ *Registration Evaluation Authorisation Chemicals*. « Reach est un règlement européen (règlement n°1907/2006) entré en vigueur en 2007 pour sécuriser la fabrication et l'utilisation des substances chimiques dans l'industrie européenne. Il s'agit de recenser, d'évaluer et de contrôler les substances chimiques fabriquées, importées, mises sur le marché européen. » <http://www.developpement-durable.gouv.fr/REACH,30375.html> consultée en août 2016.

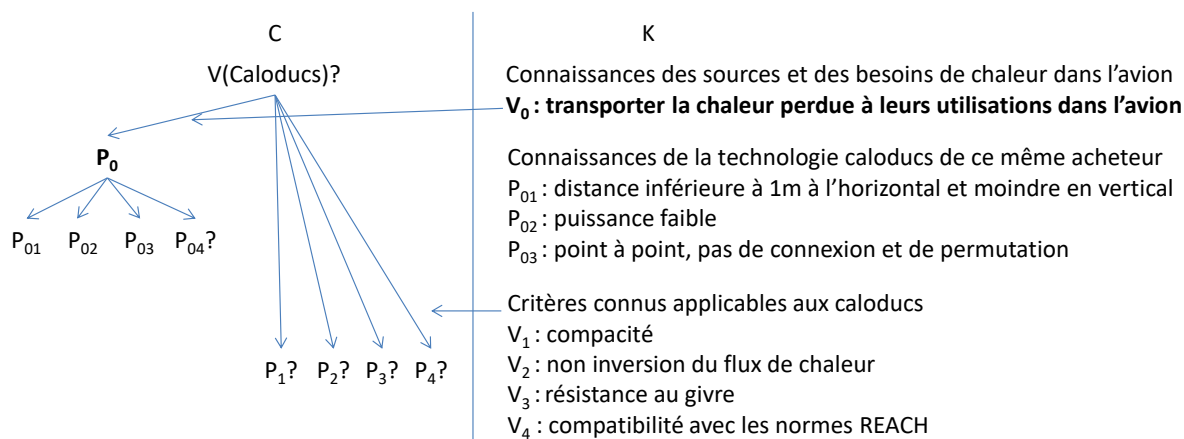


Figure 20 : La fiche idée Caloducs avant l'engagement d'un vendeur

Le doctorant en tant que membre de la direction de l'innovation prend contact avec une société compétente sur les échangeurs de chaleur et organise une réunion avec un de leurs experts et le rédacteur de la fiche idée. Lors de cette réunion, les acteurs évoquent d'abord une présentation donnée par le rédacteur de la fiche idée auquel assista l'expert. Cette présentation portait sur un concept proche de celui de la fiche. Ensuite le rédacteur présente la fiche idée et les difficultés qu'elle rencontre. L'expert en retour synthétise un état de l'art plus poussé qui fut mené dans sa société. Une technologie alternative aux caloducs permet des distances plus importantes en toute direction, des puissances importantes, de mutualiser des sources ou des utilisations de chaleur et offre un moyen d'interface à haut rendement comme illustré dans la figure suivante.

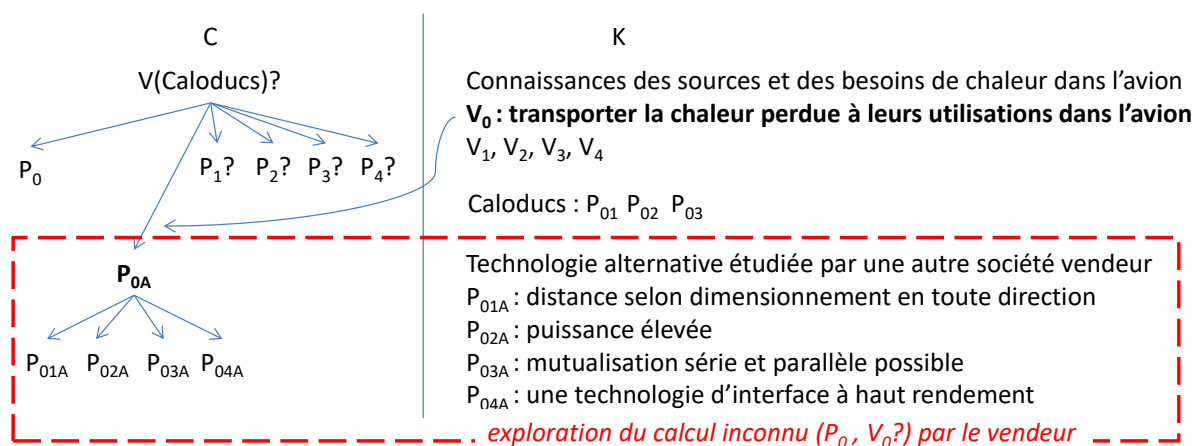


Figure 21 : Engagement d'un expert connaissant une technologie alternative (vendeur) dans l'exploration stimulé par le rédacteur de la fiche idée Caloducs (acheteur)

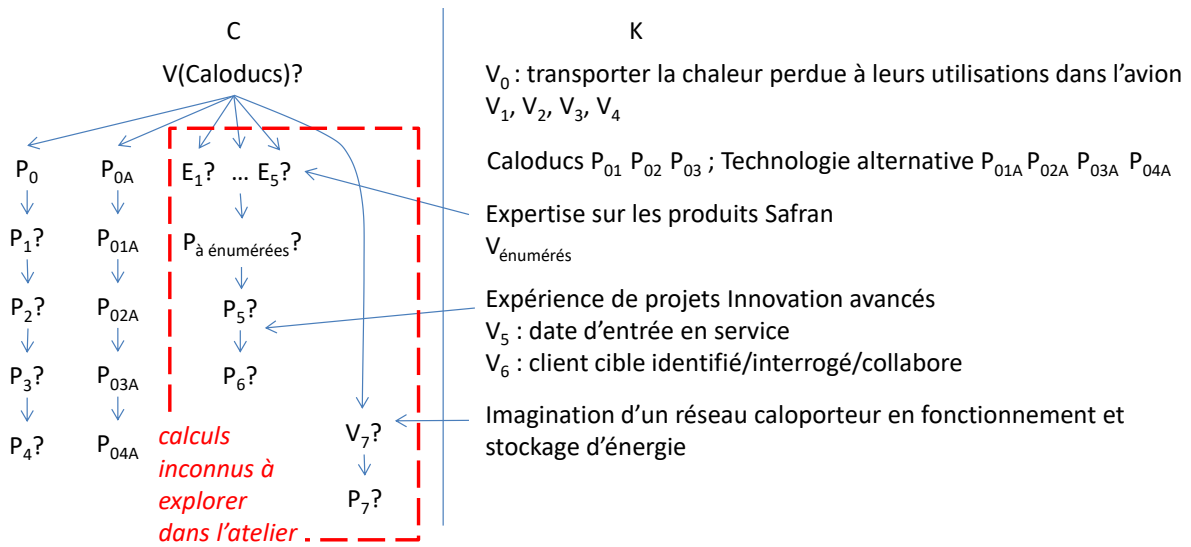
L'expert, le rédacteur de la fiche idée et leurs managers s'engageront ensuite dans des échanges d'emails en préparation d'une réunion plus large. En effet la poursuite de l'exploration nécessite désormais des experts d'autres sources et utilisations de chaleur à bord d'un avion, autrement dits d'autres produits Safran. Le déroulement de cette réunion de préparation d'un atelier d'une journée confirme que des ressources d'exploration supplémentaires ont été obtenues suite à l'engagement que nous avons décrit. De plus cet atelier nous permet de décrire ci-après l'engagement simultané de vendeurs et d'acheteurs.

L'engagement d'acheteurs et vendeurs simultanément dans l'exploration - Etude de cas Caloducs

L'exploration de la fiche idée Caloducs est désormais dotée d'une technologie alternative qui lui confère plus de valeur mais les sources et utilisations de la chaleur sont identifiées avec peu de précision et sans confirmation de leurs experts respectifs. Pourtant c'est à eux de déterminer une partie des incertitudes que devra réduire l'étude de faisabilité puis les spécifications de la technologie. Une réunion est donc organisée afin de préciser les sources et utilisations de chaleur potentielles et identifier leurs experts afin de les faire participer à un atelier d'exploration de la fiche.

Cette réunion comporte les deux acteurs précédents plus trois autres : un expert thermicien de la société du rédacteur de la fiche idée, un expert thermicien d'une autre société dont les produits sont sources de chaleur mais ayant aussi un rôle de coordination transverse sur le management thermique, enfin le directeur R&T et Innovation d'une autre société dont les produits sont sources de chaleur. Dans un premier temps les trois acteurs initiés à l'exploration l'introduisent en précisant que le but est de créer un projet Innovation motivé par l'apparition de technologies de transfert de chaleur de grande puissance alors que les produits Safran ont de la chaleur en excès. L'expert de la technologie alternative aux caloducs insiste sur la difficulté de dissiper plus de chaleur des produits futurs alors que le rédacteur de la fiche idée insiste sur l'opportunité de récupération. Le thermicien coordinateur transverse demande l'ordre de grandeur des puissances et précise que des sociétés non représentées ont déjà des difficultés pour dissiper des petites puissances. Le directeur R&T et Innovation précise le niveau de puissance dans les produits de sa société et indique que le refroidissement est critique car ils ne parviennent pas à se passer d'un échangeur pour dissiper la chaleur excédentaire depuis plusieurs générations de produits. Des critères étaient déjà dans le tableau afin de comparer à l'avenir des technologies de refroidissement mais la liste est complétée. Ainsi contraintes de certification, maintenabilité, réparabilité et coût sont ajoutés à la liste initiale rendement, masse, coût, intégrabilité, fiabilité, maintenabilité, comportement au feu, toxicité, risque en cas de fuites ($V_{\text{énumérés}}$). Les acteurs discutent les produits à explorer comme environnements des technologies caloporteuses et concluent sur 5 produits finaux qui restent largement à explorer en profondeur d'où l'intérêt d'un atelier d'une journée ($E_1?$, $E_2?$, $E_3?$, $E_4?$, $E_5?$). Le choix et la distinction se font sur les critères de date d'entrée en service et de client cible car ce sont des critères de financement de la direction de l'innovation (V_5 ; V_6). Les acteurs parviennent à la conclusion que le refroidissement des nouvelles générations de produit est une première étape avant la récupération d'énergie. Celle-ci pose plus de difficultés techniques floues comme la synchronisation des sources et des utilisations de chaleur ($V_7?$), par exemple les cuisines ne fonctionnent pas en continu mais les moteurs oui. Il est évoqué le stockage de l'énergie, mais parlant de chaleur, il s'agit d'un concept à très long terme ($P_7?$). Remarquons que c'est l'expert vendeur de technologies qui soulève ce point sur la synchronisation et qu'il était aussi actif sur l'identification de produits.

En fin de réunion les acteurs se mettent d'accord sur les détails d'organisation de l'atelier d'une journée : participants (noms ou parfois fonction mais personne à définir), présentations à préparer des technologies et des produits, lieu et date. Nous reprenons cet exposé dans la figure suivante.



Encadré 5 : Engagement simultané d'un vendeur et d'acheteurs dans l'exploration de technologies caloporteuses dans le cas caloducs - Les acteurs identifient les promesses qui les engagent dans l'atelier

L'atelier ayant eu lieu avec tous les experts requis et préparés avec soin par ses neuf participants, cette réunion est un cas fructueux d'engagement. Nous reviendrons sur l'atelier dans la partie 5.

Ayant analysé ces trois situations nous pouvons définir un modèle général d'action collective.

Définition de du modèle d'action collective « engagement conceptif »

Nous avons montré des explorations qui bénéficient de nouvelles ressources dans des cas qui ne vérifiaient ni les hypothèses des théories classiques ni celle d'engagement contractuel des théories de la conception (voir chapitre précédent). La théorie C-K et notre modèle d'échange intégrant l'inconnu permettent de modéliser trois exemples :

- l'engagement d'un acheteur en réponse aux sollicitations d'un vendeur qui emploie certaines de ses ressources tant que les calculs restent inconnus ou positifs mais qui les bloque lorsque les calculs deviennent connus et négatifs ;
- l'engagement d'un vendeur en réponse aux sollicitations d'un acheteur qui emploie certaines de ses ressources et transforme un calcul de la valeur négatif en positif ce qui engage les acteurs à prolonger leur effort ;
- l'engagement simultané d'un vendeurs et d'acheteurs qui emploient des ressources pour générer des concepts de calculs inconnus qu'ils s'engagent à explorer dans un atelier nécessitant davantage de ressources.

Leur point commun est qu'un acteur sollicite une première ressource qui permet d'en obtenir ultérieurement. Nous proposons donc la notion d'engagement conceptif comme modèle d'action collective défini dans l'encadré suivant.

L'engagement conceptif est l'emploi d'une ressource (minimale) permettant d'engager des ressources supplémentaires en (1) explorant des dimensions de la valeur afin de leur conférer un statut logique positif et (2) identifiant des dimensions de la valeur inconnues.

Encadré 6 : Définition de l'engagement conceptif

Cette définition a l'avantage d'être robuste à tout niveau d'échange (discussion sur fonds propres, financement spécifique à hauteur de milliers d'euros, de centaines de milliers...). Elle prend en compte le phénomène de boucle observé sur l'engagement des utilisateurs et confirme l'hypothèse émise dans la gestion des attentes génératives. Nous allons à présent établir les conditions de ce modèle d'action sur le substrat technique, les figures d'acteur et la philosophie gestionnaire ce qui répondra à nos questions de recherche.

Les conditions de l'engagement conceptif

Dans cette section nous établissons les conditions de l'engagement de ressources de type conceptif en suivant nos questions de recherche. Nous établissons donc une condition sur le substrat technique, une condition sur les figures d'acteur et une condition sur la philosophie gestionnaire. Pour cela nous allons analyser une nouvelle fois les données de la section précédente ainsi que d'autres événements marquants des cas Thermoélectricité et Caloducs choisis comme exemples fructueux d'engagements conceptifs. L'ensemble de ces données est regroupé dans les tableaux ci-après.

Numéro de l'événement	Substrat technique	Acteurs / ressources			Philosophie gestionnaire	Expansion de concepts et convergence
	Méthode et outil	avant	pendant	après	Objectif de l'événement	
Th01	R&T Safran sans intervention	vendeur (CdR + Safran)	+ acheteur (Safran)	Mêmes acteurs	Comprendre ce qu'on peut faire avec la techno	Nouvelles dimensions de la valeur (A, B, C, 1 utilisation)
Th02	R&T Safran sans intervention	Vendeur + acheteur	acheteur	néant	Evaluer si la techno « paye sa place »	Elimination sur critères connus
Th fiche idée	Compléter fiche pré-remplie dans le but d'un ISO	1E* vendeur + 1E 1C acheteurs	+ 1 expert	Mêmes acteurs	faire évoluer la fiche idée pour convoquer un jalon	Tous les concepts de valeur inconnue ne sont pas inscrits dans la fiche
Th VM	Compléter arbre C « création de valeur client TEG »	1E 2C acheteurs	9E (3 sociétés et 1 fournisseur) 2C	9E	Explorer le <i>value model</i> en vue de convoquer un jalon	Trois voies transformées, deux éliminées,

*E indique expert, C indique coordinateur, M indique manager

Tableau 18 : Evénements marquants dans le cas Thermoélectricité analysés pour établir les conditions de l'engagement conceptif

Numéro de l'événement	Substrat technique	Acteurs / ressources			Philosophie gestionnaire	Expansion de concepts et de convergence
	Méthode et outil	avant	pendant	après	Objectif de l'événement	
Caloducs01	Présentation fiche idée puis réaction	Acheteur de caloducs	+ Vendeur de techno. alternatives	+manag eurs	Solliciter un expert en échangeurs de chaleur	Pas de nouvelles dimensions de la valeur ou sélection
Caloducs préparatio n atelier	Editer tableau déjà préparé	1E* et 1M vendeurs 1E et 1C acheteurs	+ 3E acheteurs de 3 sociétés	+3E	Préparer un atelier pour définir un projet Innovation	refroidissement de produits précis, pas d'alternative éliminée
Retour après atelier	Expliciter la valeur des idées émises dans l'atelier	+ 3E acheteurs de 3 sociétés	2E vendeurs 7E 1C acheteurs	Idem séparé ment	Décisionnelle	Une seule société élabore les technologies pour un concept
Démo puis VM caloducs	Définir les jalons Innovation puis compléter arbre valeur	4	9	+2	Pas décisionnelle	Cinq voies reformulées, deux ajoutées, trois éliminées

*E indique expert, C indique coordinateur, M indique manager

Tableau 19 : Evénements marquants dans le cas Caloducs analysés pour établir les conditions de l'engagement conceptif

Condition sur le substrat technique : pas d'effet de fixation sur l'identité de l'objet

Nous allons montrer que le modèle d'action d'engagement conceptif de ressources nécessite un substrat technique prévenant la fixation, ce qui se traduit par l'implication

Engagement conceptif => substrat technique qui supporte l'exploration collective en évitant la fixation.

Les débuts du cas Thermoélectricité ont lieu avant cette recherche-intervention. Aucune méthode spécifique n'est employée d'où la notation « R&T Safran sans intervention » dans le Tableau 18 (Th01 et Th02). D'après le référentiel de procédures du groupe, il s'agit de déterminer si les générateurs thermoélectriques sont une Technologie Critique, c'est-à-dire « une technologie qui confère un avantage différenciant d'ordre technique ou économique aux produits ou services fournis par l'entreprise ». De façon plus informelle au sein du groupe, il s'agit de déterminer à quel degré la technologie « paye sa place ». Comme nous le montrions dans la section précédente, cette absence de méthode n'est pas antinomique avec l'engagement conceptif, cependant dès lors que des calculs négatifs de la valeur apparaissent, elle élimine complètement les possibilités d'échange dans l'inconnu et toutes les ressources sont désengagées. Afin de fournir une analyse complète nous devons aussi traiter des situations où une méthode est employée.

Lorsqu'une deuxième version de la fiche idée est rédigée, un brouillon était préparé par le doctorant en reprenant des propositions de réunions précédentes. Elle était structurée de façon inspirée par la théorie C-K en quatre concepts de zone d'implantation. Les attributs « surface chaude », « surface froide », « puissance produite » et « utilisation de la puissance » étaient inscrits pour être complétés lors d'atelier d'édition de la fiche. Cela permet d'éviter une fixation décelée auparavant dans le cadre du défi. En effet les idées présentées en atelier montraient une fixation sur la source d'énergie

perdue et la technologie de conversion sauf l'idée vainqueur et celle qui avait déjà bénéficié d'une pré-étude. Ces deux seules comportaient des propositions aussi sur l'utilisation finale de l'énergie (voir tableau ci-après).

Concept	Origine de l'idée	Source d'énergie	Technologie de conversion	Réemploi, utilisation de l'énergie	Ressources maximales dont a bénéficiées l'idée
Thermoélectricité	DKCP	✓	✓	✓	Etude de faisabilité
Frein froid	DKCP	✓	✓	✓	Pré-étude
Quick Drop	DKCP	✓	✓	✓	Pré-étude
Caloducs	DKCP	✓	✓	✓	Etude de faisabilité
N°1	Défi	✓	✓	✓	Pré-étude
N°2	Défi	✓	✓		brainstorming
N°3	Défi	✓	✓		brainstorming
N°4	Défi	✓	✓		brainstorming
N°5	Défi	✓	✓		brainstorming
N°6	Défi	✓	✓		brainstorming
N°7	Défi	✓	✓	✓	Etude de faisabilité

✓ indique que le concept comporte ce type d'attribut

Tableau 20 : Comparaison des concepts de récupération d'énergie

On peut aussi diagnostiquer que la fixation sur une zone d'implantation a été évitée mais pas celle sur une technologie de conversion. L'expert engagé dans la rédaction active des zones d'implantation connues mais à étudier en profondeur. Il identifie aussi des utilisations inconnues comme le remplacement d'un échangeur pour maintenir une température inférieure à celle détériorant des composants (plus tard ce concept sera invalidé avec les apprentissages), augmenter le taux de disponibilité de certaines fonctions (elles restent à déterminer) ou alimenter la partie commande avec l'énergie de la partie puissance de tout équipement électrique (il reste à déterminer). En conclusion, ce substrat technique évite des fixations et supporte l'exploration.

Dans le cas caloducs, ses débuts ne présentent pas de méthode spécifique sinon que la fiche idée rédigée est présentée et on attend une réaction de l'expert (Caloducs01). L'engagement de ce vendeur contourne la fixation sur une technologie sans établir des nouvelles dimensions de la valeur. L'évaluation positive sur les dimensions déjà établies engage les acteurs à poursuivre l'exploration. Ensuite lors de la préparation de l'atelier en vue de définir un projet Innovation, le substrat technique comporte un outil, le tableau représenté ci-après dans lequel devront figurer les concepts qui seront générés lors de l'atelier. La méthode consiste à éditer le tableau, l'animateur invitant les participants à modifier l'intitulé des lignes et colonnes. Les concepts produits lors de l'atelier devront alors compléter « l'intérieur » du tableau.

Type de moteur	[Produit 1 confidentiel]			[Produit 2 confidentiel]			[Produit 3 confidentiel]		
Point chaud									
Technique actuelle de refroidissement									
Source froide									
Technologie de transfert proposée									
Avantages (rendement, masse, coût, intégrabilité, fiabilité)									
Inconvénients (comportement au feu/gel, toxicité, risque en cas de fuite ou dysfonctionnement, masse, fiabilité, coût, maintenance)									
Niveau de priorité final									

Tableau 21 : Tableau employé pour préparer l'atelier conception innovante dans le cas Caloducs – version de début de réunion c'est-à-dire sans les modifications apportées par les participants

La première fixation évitée est de ne traiter que le refroidissement de produits connus ou que l'utilisation de la chaleur dans un réseau de l'avion. Les acteurs discutèrent les deux puisqu'il suffit d'ajouter une colonne. Un concept hybride entre réseau de chaleur dans l'avion et refroidissement d'un produit est formulé en un « petit réseau Safran », c'est-à-dire limité aux produits Safran proches ou encore limité à un seul produit. De même la fixation sur un seul produit à refroidir est évitée en multipliant et éditant les colonnes. Les acteurs ont ajouté les lignes « client » et « date de mise en service » afin de raffiner les concepts de produits et de pouvoir les évaluer. Ils ont aussi discuté de points chauds, sources froides ou utilisations de chaleur concrets qui rempliraient le tableau. En conclusion le substrat technique dans ce cas évite des fixations et ne semble pas en ajouter.

Un dernier outil expérimenté dans le cas Thermoélectricité et dans le cas Caloducs sont les arbres de concepts de valeur client. Ils permettent de raffiner les voies d'exploration avec les connaissances des experts afin de s'approcher d'une évaluation (des critères comme la puissance massique des technologies de références ou la consommation sont quantifiés) ce qui nécessite un minimum de fixation. Cependant ils ont un effet stimulant auprès des experts qui prennent connaissance des voies proposées puis les reformulent (cinq dans le cas Caloducs), les transforment (trois dans le cas Thermoélectricité) ou en ajoutent (deux dans le cas Caloducs dont une non raffinée et très inconnue). Cependant il ne s'agit pas d'un outil de divergence, il apparaît dans des phases de convergence pour enrichir le *value model* trop faible pour passer un jalon de lancement d'étude de faisabilité. Nous les réétudierons donc pour la philosophie de convergence qu'ils requièrent. Dans les deux cas ils permettaient au concept d'acquiescer de la valeur client alors que les acteurs subissaient une fixation sur la démonstration de la technologie. Dans le cas Thermoélectricité la fixation porte sur la puissance électrique générée. Dans le cas Caloducs il s'agit d'une fixation sur les architectures techniques et les choix technologiques. La partie 5 fournira plus de détails sur ces fixations ainsi qu'un modèle général pour les anticiper. On peut déjà rappeler que lever cette fixation sur la technologie aux dépens du « *business* » fait partie de la mission de la direction de l'innovation (voir chapitre 1 page 37). Il s'agit donc de prévenir cette fixation dans les phases les plus en amonts.

L'ensemble de ces données empiriques sont récapitulées dans le tableau suivant.

Numéro de l'événement	Substrat technique - Méthode et outil	Expansion de concepts
Th01	R&T Safran sans intervention	Nouvelles dimensions de la valeur
Th02	R&T Safran sans intervention	Elimination sur critères connus
Th fiche idée	Compléter fiche pré-remplie dans le but d'un ISO	Tous les concepts de valeur inconnue ne sont pas inscrits dans la fiche
Th VM	Retravailler arbre C « création de valeur client de générateurs thermoélectriques »	Trois voies transformées
Caloducs VM	Retravailler arbre C de la valeur client du concept [confidentiel]	Cinq voies reformulées, deux ajoutées

Tableau 22 : Données empiriques mobilisées sur la composante substrat technique des conditions de l'engagement conceptif

Finalement nous avons validé notre hypothèse exposée au chapitre 3 : des substrats techniques qui préviennent la fixation sont effectivement nécessaires pour l'échange dans l'inconnu. Plus précisément pour l'engagement conceptif. Cependant nous devons préciser des exemples de substrats techniques et faire une prescription à Safran afin de mener cette recherche-intervention à son terme. C'est le principal objectif des parties suivantes. Mais auparavant nous devons étudier la condition sur la figure d'acteur puis celle sur la philosophie gestionnaire.

Condition sur les figures d'acteur : « concepteur de valeur collective »

Nous allons montrer que le modèle d'action d'engagement conceptif nécessite que l'un des acteurs mène des explorations avant d'entrer en interaction avec les autres pour les engager, ce qui se traduit par l'implication

Engagement conceptif => un concepteur de valeur collective engage ses ressources avant les autres.

Dans les débuts du cas Thermoélectricité, le centre de recherche vendeur de générateurs thermoélectriques possède une expertise, des outils de simulation et de dimensionnement, des moyens de fabrication et enfin des moyens d'essais lorsqu'il entre en interaction avec Safran. Cependant il ne parvient à engager Safran que de façon limitée. Or à la différence des autres cas, les vendeurs qui emploient des ressources les premiers n'entament pas l'exploration de critères de valeur. Plus généralement les premières ressources dont dispose l'exploration ne sont pas employées à explorer le côté vendeur et le côté acheteur de la valeur. Nous pouvons donc faire l'hypothèse que l'acteur qui parvient à en engager un autre conçoit la valeur pour le collectif et non uniquement son côté (il ne fait pas que concevoir des technologies ou que leur environnement). Les autres situations analysées vont nous permettre de confirmer cette hypothèse.

Dans le cas Thermoélectricité lorsqu'une deuxième version de la fiche idée est éditée les acteurs travaillent à partir d'un brouillon préparé par le doctorant. En tant que membre de la direction de l'innovation, il est acheteur qui prépare presque à la place de l'équipe projet la fiche qu'il financera. Au début du cas caloducs, un acheteur a déjà rédigé une fiche idée qui fait un état de l'art de la technologie caloduc. D'un point de vue décisionnel il est aussi vendeur de la fiche idée auprès de la

direction de l'innovation pour obtenir un financement, mais du point de vue de la technologie et du potentiel projet Innovation il prépare le travail de vendeurs. En effet plusieurs dimensions de la valeur sont déjà explorées et certaines permettent déjà un calcul lorsque le vendeur d'une technologie alternative est engagé. Ce vendeur n'a plus de travail d'identification à fournir mais de traduction. Enfin, lors de la préparation de l'atelier conception innovante, le rédacteur de la fiche, le manager de la société vendeuse et le doctorant en tant que membre de la direction de l'innovation ont déjà préparé le tableau. Les participants qui sont des nouveaux acheteurs potentiels disposent de ce travail de synthèse de l'exploration de la valeur pour tout l'écosystème lorsqu'on les sollicite. Par exemple si le tableau final comporte 5 produits Safran et l'avion en colonne, le tableau initial avait déjà identifié trois produits de façon moins précise et le réseau avion.

Le tableau suivant rappelle les données empiriques mobilisées.

Numéro de l'événement	Acteurs / ressources		
	avant	pendant	après
Th01	vendeur (CdR + Safran)	+ acheteur (Safran)	Mêmes acteurs
Th02	Vendeur + acheteur	acheteur	néant
Th fiche idée	1E* vendeur + 1E 1C acheteurs	+ 1 expert	Mêmes acteurs
Th VM	1E 2C acheteurs	9E (3 sociétés et 1 fournisseur) 2C	9E
Caloducs01	Acheteur de caloducs	+ Vendeur de techno. alternatives	+managers
Caloducs prépa	1E et 1M vendeurs 1E et 1C acheteurs	+ 3E acheteurs de 3 sociétés	+3E

*E indique expert, C indique coordinateur, M indique manager

Tableau 23: Données empiriques mobilisées sur la composante figure d'acteur des conditions de l'engagement conceptif

Notre hypothèse d'acteur s'engageant avant les autres étant confirmée, nous proposons de définir cet acteur dans la notion de concepteur de valeur collective comme dans l'encadré suivant

Le concepteur de valeur collective est un acteur vendeur ou acheteur qui emploie ses ressources à la préparation des échanges dans l'inconnu en explorant la valeur pour toutes les parties des échanges dans le but de les engager dans l'exploration.

Encadré 7 : Définition de la figure de concepteur de valeur collective que nécessite l'engagement conceptif

Donc nos données empiriques permettent d'affiner l'hypothèse de troisième acteur faite au chapitre 3 (p89) nécessaire à l'échange dans l'inconnu. Il nous reste à établir la condition sur la philosophie gestionnaire de l'engagement conceptif.

Condition sur la philosophie gestionnaire : « convergence générative »

Dans ces paragraphes nous montrerons que l'engagement conceptif nécessite que les acteurs n'aient pas pour but de décider entre les alternatives sur laquelle engager des ressources importantes nécessitant un financement spécifique. L'engagement conceptif nécessite d'expérimenter quelle

alternative acquiert le plus de valeur avec le peu de ressources mobilisables sans financement ou avec peu de moyen. C'est ce que nous allons définir par la notion de convergence générative et revient à montrer l'implication

engagement conceptif => philosophie de convergence non décisionnelle dite « générative ».

D'abord la modélisation de l'arrêt de l'exploration Thermoélectricité avant cette recherche-intervention dans la section précédente nous permet de définir avec précision la convergence décisionnelle comme dans l'encadré suivant.

Dans une philosophie de convergence décisionnelle les acteurs ont pour but de décider d'engager des ressources importantes sur l'alternative de plus grande valeur.

Encadré 8 : Définition d'une philosophie gestionnaire de convergence décisionnelle

Or dans le chapitre précédent, nous montrions que les ressources dont bénéficient les explorations de l'inconnu ne nécessitent pas de convergence décisionnelle (pages 116 à 120). Pour cela nous décrivions que le cas Thermoélectricité pendant la recherche-intervention n'emploie pas la convergence décisionnelle jusqu'à la fin de l'étude de faisabilité. Désormais doté de cette définition, nous pouvons analyser que la première application de la thermoélectricité est abandonnée parce qu'elle a moins de valeur que la technologie classique car l'acheteur privilégie le planning de son projet. Cela tend à confirmer notre hypothèse d'inhiber cette philosophie pour échanger dans l'inconnu mais il faudrait aussi tester l'effet d'une décision positive. Précisément lors du Comité Innovation Système qui est « fait pour prendre des décisions », le manager impulse un effort d'exploration bénéfique mais nous observons qu'il n'y a pas de sélection entre la Thermoélectricité et un autre sujet ou entre les quatre zones d'implantation alternatives. Cependant des alternatives sont éliminées à d'autres occasions, donc une philosophie de convergence non décisionnelle est suivie ; nous allons la caractériser.

Considérons la deuxième application, un concept d'utilisation de la puissance électrique évoqué lors de la première réunion ne figure pas dans la fiche idée. Il n'a pas été comparé à d'autres, il est devenu obsolète (désormais on sait dire que la valeur est négative). La convergence est aussi importante après la rencontre du fournisseur. Le doctorant prépare un brouillon rassemblant toutes voies d'exploration de la valeur client des générateurs thermoélectriques puis les experts le retravaillent au cours de plusieurs séances. Ainsi la voie consistant à résoudre des problèmes thermiques devient obsolète. Trois types d'utilisation de la puissance électrique sont transformés et une est éliminée. Parmi les concepts de fonctions qui seraient alimentées, trois sont raffinés mais leurs valeurs restent inconnues (par exemple la masse actuelle est précisée mais celle des générateurs thermoélectriques reste à établir) et un reste inchangé. Ce dernier sera évoqué à nouveau à la fin de l'étude de faisabilité comme perspective à explorer car il ne l'a pas été pendant l'étude.

Dans le cas Caloducs, une convergence importante se produit après l'atelier conception innovante. Les sociétés participantes sont toutes interrogées sur les suites de l'atelier à partir du compte-rendu

structurant toutes les idées produites. La société vendeur emploie la convergence décisionnelle (ce qui nécessitera une réunion interne dont le doctorant n'a eu que les conclusions) puis un collectif se construit sur ce concept. Remarquons qu'à la première séance de travail de ce collectif, l'expert d'une société acheteur n'active que des critères connus d'évaluation susceptibles de dégrader la valeur à partir des connaissances du produit qui intégrerait la technologie. Plus de ressources ne sont engagées de la part des sociétés jusqu'à ce que la direction de l'innovation organise un atelier pour définir le projet de démonstration et le *value model*. Le même substrat technique est employé que dans le cas Thermoélectricité : un arbre des concepts de valeur client brouillon. Pendant la séance les experts ont éliminé trois voies, ont ajouté deux voies, ont reformulé cinq concepts, enfin ils ont raffiné toutes les alternatives autant que possible. L'acheteur qui précédemment n'émettait que des points durs dévoile alors les résultats d'une pré-étude antérieure. Elle ne porte pas sur la technologie mais sur la modification du produit qu'elle permet. Elle montre que le gain potentiel de bilan énergétique, donc de consommation de l'aéronef, est significatif. Suite à cela des ressources abondantes étaient employées à préparer le jalon de lancement d'étude de faisabilité.

Ces données empiriques sont récapitulées dans le tableau ci-après.

Numéro de l'événement	Philosophie gestionnaire Objectif de l'événement	convergence
Th01	Comprendre ce qu'on peut faire avec la techno	Nouvelles dimensions de la valeur (A, B, C, 1 utilisation)
Th02	Evaluer si la techno « paye sa place »	Elimination sur critères connus
Th fiche idée	faire évoluer la fiche idée pour convoquer un jalon de lancement d'étude de faisabilité	Tous les concepts de valeur inconnue ne sont pas inscrits dans la fiche
Th VM	Explorer le <i>value model</i> en vue de convoquer un jalon	Deux voies transformées, une supprimée
Caloducs01	Solliciter un expert en échangeurs de chaleur	Pas de nouvelles dimensions de la valeur ou sélection
Caloducs préparation atelier	Préparer un atelier pour définir un projet Innovation	refroidissement de produits précis, pas d'alternative éliminée
Caloducs VM	Explorer le <i>value model</i> en vue de convoquer un jalon	trois voies éliminées, cinq concepts reformulés

Tableau 24 : Données empiriques mobilisées sur la composante philosophie gestionnaire des conditions de l'engagement conceptif

En définitive nous avons décrit une philosophie différente dans laquelle la convergence (élimination d'alternatives) et l'obtention de ressources sont moins prononcées mais assurent bien mieux les ressources de l'exploration de l'inconnu. Nous la définissons dans l'encadré suivant.

Dans une philosophie de convergence générative les acteurs ont pour but d'employer des ressources égales sur toutes les alternatives de façon à augmenter leur valeur puis à délaisser celles dont la valeur décroît ou stagne.

Encadré 9 : Définition d'une philosophie gestionnaire de convergence générative

Nous avons donc établi les conditions d'un modèle d'action collective d'engagement conceptif de ressources pour chacune de nos questions de recherche. Nous proposons alors une synthèse de celle-ci avant de conclure ce chapitre.

Synthèse des conditions de l'engagement conceptif

Compte tenu des limites des conditions à l'accroissement des ressources dont bénéficie une exploration de l'inconnu dans les théories classiques, nous avons établi de nouvelles conditions.

L'action collective sur le modèle de l'engagement conceptif nécessite toutes les conditions suivantes		
Composante du modèle d'action collective	Condition	Description étendue de la condition
Substrat technique	Il n'induit pas d'effet de fixation sur l'identité de l'objet	Outils, méthodes et médias de communication n'induisent pas d'effet de fixation sur l'identité de l'objet mais au contraire favorisent sa transformation
Figures d'acteur	Elles comportent un concepteur de valeur collective	Cet acteur emploie ses ressources à la préparation des échanges dans l'inconnu en explorant la valeur pour toutes les parties des échanges dans le but de les engager dans l'exploration.
Philosophie gestionnaire	Elle est celle d'une convergence générative	L'objectif des acteurs est d'employer des ressources égales sur toutes les alternatives de façon à augmenter leur valeur puis à délaisser celles dont la valeur décroît ou stagne.

Encadré 10 : Conditions de l'engagement conceptif

A présent nous possédons un modèle d'engagement de ressources et ses conditions, nous pouvons donc conclure ce chapitre.

Conclusion de chapitre 6 : le substrat technique Safran de l'engagement conceptif reste à fournir

Procéder à l'échange nécessite que la valeur soit calculable par la connaissance de propriétés de la technologie et de critères de valeur mais cette connaissance nécessite elle-même des ressources pour être acquise. Le modèle de l'engagement conceptif permet de procéder à l'échange minimal dans l'inconnu de façon à procéder à des échanges ultérieurs. Il nécessite la figure d'acteur du concepteur de valeur collective qui est le plus souvent incarné par la direction de l'innovation mais pas uniquement. D'autres ressources spécifiques à la R&T ou à la créativité dans les sociétés peuvent tenir ce rôle. Il nécessite aussi une philosophie gestionnaire de convergence générative afin d'éviter de « tuer » une exploration prématurément. Enfin il nécessite un substrat technique dont nous possédons le cahier des charges mais dont nous n'avons pas décrit une réalisation de façon reproductible pour Safran. Les prochaines parties devront donc compléter ce point.

Résumé de chapitre 6

Le chapitre précédent montrait que des fiches idées issues des DKCP ont bénéficié de ressources d'exploration alors qu'elles ne vérifient pas les conditions de la littérature. Dans ce chapitre nous mobilisons la théorie C-K et notre modèle de l'échange intégrant l'inconnu pour expliciter le modèle d'action collective qu'elles ont suivi. **Nous distinguons trois situations et montrons qu'elles vérifient toutes l'hypothèse qu'un calcul inconnu est une promesse engageante.**

Dans la situation d'un vendeur isolé cherchant à engager des acheteurs dans l'exploration de la valeur de sa technologie, le cas Thermoélectricité montre que l'acheteur explore des critères d'évaluation inconnus ($V_i?$) suggérés par les propriétés de la technologie (P_i) puis interrompt son engagement s'il active des critères d'évaluation connus (V_i). La deuxième situation est celle d'un acheteur isolé qui cherche à engager un vendeur, c'est le cas des rédacteurs de certaines fiches idées qui manquent de solutions techniques. Le cas Caloducs montre alors l'exploration d'un calcul inconnu de type ($P_i?, V_i$). Finalement un autre événement du cas Caloducs montre l'engagement simultané de vendeurs et d'acheteurs qui définissent des calculs inconnus à explorer dans un atelier conception innovante. **Nous définissons alors le modèle d'action collective d'engagement conceptif comme l'emploi d'une ressource (minimale) permettant d'engager des ressources supplémentaires en (1) explorant des dimensions de la valeur afin de leur conférer un statut logique positif et (2) identifiant des dimensions de la valeur inconnues.**

Ensuite nous établissons les conditions de l'engagement conceptif en analysant de multiples événements marquants des cas Thermoélectricité et Caloducs en suivant nos questions de recherche. **Sur le substrat technique nous confirmons l'hypothèse émise au chapitre 2 : le travail de brouillons de fiche idée, de tableau ou d'arbres de concepts de *value model* supportent l'exploration collective des experts en prévenant des fixations anticipées** (par exemple la fixation sur la collecte de l'énergie récupérée au dépens de son utilisation). **Sur les figures d'acteur nous ajustons notre hypothèse de troisième acteur, l'un des acteurs des collectifs vendeurs et acheteurs s'engage en avance de phase en vue de la préparation des échanges ; il est alors dit concepteur de valeur collective.** Enfin sur la philosophie gestionnaire nous affinons notre hypothèse d'inhibition du calcul sur des dimensions connues, l'engagement conceptif nécessite d'abandonner la philosophie de convergence décisionnelle (engager des ressources inaccessibles sur l'alternative de plus grande valeur) au profit d'une convergence générative (employer les ressources accessibles à augmenter la valeur de toutes les alternatives).

La principale incomplétude de ces réponses à nos questions de recherche porte sur le substrat technique car nous sommes en possession de son cahier des charges mais **il reste à fournir à Safran des outils et méthodes reproductibles et pérennes.**

Conclusion de la partie 3 : quel substrat technique pérenne pour l'engagement conceptif chez Safran ?

Pour conclure cette partie nous récapitulons les résultats obtenus puis nous identifions leurs limites vis-à-vis de nos hypothèses de recherche et de l'objectif de cette recherche-intervention.

Résultats de la partie 3 : l'engagement de ressources de type conceptif et ses conditions

Lorsque la valeur d'un concept est positive à des incertitudes près, Safran gère les ressources avec des modèles du connu comme la gestion de projet. Lorsque la valeur est inconnue comme dans le cas des fiches idées issues des DKCP, Safran fait face à l'absence totale de ressources pour explorer. Une première étape dans la proposition d'un modèle d'action pour l'échange dans l'inconnu est donc que ces fiches bénéficient de ressources d'exploration de leur valeur. La partie 3 s'appuie alors sur des constats à partir de l'analyse des cas de fiches idées qui ont bénéficié de ressources grâce à cette recherche-intervention.

Les théories classiques ne sont pas aptes à fournir un tel modèle. Dans le chapitre 2 nous montrions qu'elles n'adressent pas des situations d'échange dans lesquelles les acteurs (potentiellement ressources d'exploration) et l'objet des échanges sont inconnus. Dans le chapitre 5 nous montrons que ces théories privent les concepts inconnus de ressources sur les critères que le surplus de valeur est inconnu (échange marchand), que le concept n'est pas sélectionnable car pas évaluable (décision et créativité) et qu'aucun arrangement n'est stabilisé (acteur-réseau). De plus, contrairement aux théories de la conception innovante actuelles, elles ne font pas l'objet de contractualisation d'une promesse de diminution des incertitudes en interne (Hooge 2010), de processus conduisant à la mise sur le marché en partageant la propriété industrielle entre Safran et ses fournisseurs (Maniak 2009), ou de quantité de ressources entre partenaires d'explorations (Segrestin 2003, Gillier 2009). En lieu et place de cela nous avons expérimenté l'hypothèse d'engagement conceptif suggérée par la gestion des attentes génératives (Le Masson *et al.* 2011). Cela a permis aux fiches idées Thermoélectricité et Caloducs de bénéficier de ressources d'exploration de leur valeur au stade d'étude de faisabilité. Dans le chapitre 6, le recul sur ces expériences nous permet de définir l'engagement conceptif comme l'emploi d'une ressource (minimale) permettant d'engager des ressources supplémentaires en (1) explorant des dimensions de la valeur afin de leur conférer un statut logique positif et (2) identifiant des dimensions de la valeur inconnues. La différence majeure avec l'hypothèse d'engagement contractuel est que les ressources employées ne sont pas la conséquence d'une promesse reconnue par le droit ; c'est une promesse que nous modélisons comme un calcul inconnu que formule pour lui-même un acteur suite à la stimulation par un autre acteur.

Un tel mécanisme requiert des conditions spécifiques qui répondent à nos questions de recherche complémentaires sur le substrat technique, les figures d'acteur et la philosophie gestionnaire. Concernant le substrat technique, l'engagement conceptif nécessite des outils qui supportent

l'élaboration des concepts en exploitant les connaissances des experts et en prévenant des fixations anticipées. Nous avons expérimenté avec succès des brouillons de fiche idée, de tableau ou d'arbres de concepts de valeur client. Ils évitent des fixations respectivement sur la collecte de l'énergie récupérée au dépens de son utilisation, sur un produit particulier ou sur le réseau avion, et sur la démonstration technologique alors que les jalons des projets Innovation ont des critères pointus sur le *value model*. Ces brouillons sont préparés par un acteur qui s'engage avant les autres que. Nous le définissons dans la notion de concepteur de valeur collective par un vendeur ou un acheteur qui emploie ses ressources à la préparation des échanges dans l'inconnu en explorant la valeur pour toutes les parties des échanges dans le but de les engager dans l'exploration. Dans la majorité des cas mais pas uniquement, c'est la direction de l'innovation qui prend ce rôle du fait de sa mission de piloter des projets transverses et de la ressource dédiée aux concepts les plus inconnus que représente le doctorant. La divergence n'étant plus dominante comme dans les DKCP, ces outils s'inscrivent dans la philosophie de convergence générative qui consiste à employer les ressources accessibles à augmenter la valeur de toutes les alternatives et à générer d'autres alternatives de plus grande valeur. Cette philosophie a pour conséquence que les alternatives dont la valeur stagne ou décroît ne bénéficie plus de ressources d'où le phénomène de convergence. On évite alors une convergence décisionnelle qui engage des ressources certes auparavant inaccessibles et abondantes sur une alternative mais qui nécessite de connaître la valeur de chaque alternative. L'apport théorique d'une philosophie de convergence générative est de mieux distinguer la créativité et la décision. La conséquence pratique est d'éviter un blocage entre les sociétés qui attendent une décision de financement et la direction de l'innovation qui attend suffisamment d'informations pour prendre une décision d'investissement.

Limites de la partie 3 : Pilotages des expansions et modèle relationnel du modèle d'action collective et substrat technique pérenne pour Safran ?

Nous pouvons établir les limites de ces résultats en revenant sur nos hypothèses de recherche présentées au chapitre 3 avec l'objectif que le modèle d'action pour l'échange dans l'inconnu soit pérennisé chez Safran.

Notre hypothèse sur le modèle d'action est la suivante : Construction d'un modèle qui génère la relation vendeur-acheteur et les expansions de connaissances de types technologie (ΔT) ou environnement (ΔE) ; celles-ci sont la conséquence d'un engagement de ressources et co-évoluent avec des concepts de propriétés de technologies ($P_i?$) ou de critères d'évaluation ($V_i?$) formant des calculs inconnus de la valeur ». L'engagement conceptif permet à l'inconnu de bénéficier de ressources d'exploration car un calcul inconnu est une promesse engageante. Cependant le pilotage de ces ressources est critique pour obtenir plus de ressources ou même pour les maintenir. Concrètement, de même que pour les échanges dans le connu la direction de l'innovation Safran surveille l'avancement des livrables, dans l'inconnu elle doit surveiller et corriger l'équilibre entre les

dimensions de la valeur inconnues, positives et négatives. Expliciter les propriétés de technologies (P_i) ou les critères d'évaluation (V_i) est très efficace pour mener cette surveillance, mais cela ne permet pas de piloter la génération de nouvelles dimensions de la valeur ni les compétences à mobiliser pour cela. Plus précisément, les situations empiriques analysées montrent que les concepts de technologies alternatives aux caloducs (ou technologie en général) et les concepts de produits ou de réseau dans l'avion (ou environnement des technologies en général) sont plus pertinents pour identifier quelle compétence est une ressource pour augmenter la valeur d'un concept. Dans une philosophie dite générative d'augmenter la valeur de toutes les alternatives, de nombreuses stratégies d'identification de cette compétence sont possibles. Comment les modéliser et les mettre en action ?

Par ailleurs, une ambiguïté persiste dans nos modélisations actuelles : le raisonnement dans l'inconnu confond celui du concepteur de valeur collective, de l'acteur engagé ou de tout le collectif. Elle est pénalisante car l'échange suppose de construire simultanément la relation vendeur-acheteur et l'objet échangé mais la modélisation ne rend pas compte de la relation. Or on observe que le premier réflexe des sociétés suite à l'atelier conception innovante du cas Caloducs est de se positionner sur les concepts comme vendeur ou acheteur et de considérer leur valeur nulle si ce n'est pas possible.

En conclusion sur le modèle d'action collective, nous devons améliorer le pilotage des expansions ΔT et ΔE et le modèle relationnel.

Concernant le substrat technique, nous faisons l'hypothèse qu'il en existe qui préviennent la fixation et supportent l'exploration collective de l'inconnu. Elle est bien vérifiée et s'avère être une condition de l'engagement conceptif. Mais ces fixations doivent être anticipées. Or les fixations évitées sont très contextuelles. La fixation sur la collecte de l'énergie aux dépens de son utilisation n'est plus valable sur le champ d'innovation de la cyber sécurité par exemple. La fixation sur la technologie aux dépens des affaires commerciales est évitée avec les arbres de valeur client mais ils interviennent très ponctuellement et nous devons expliquer leur contexte d'utilisation de façon reproductible. De plus cette fixation pourrait s'inverser pour une équipe *blue ocean*⁵⁰. Un substrat technique pérenne pour Safran doit traiter toutes les fixations. Il peut s'agir d'une méthode qui appelle plusieurs outils évitant chacun certaines fixations. Cette dernière basée sur l'engagement conceptif bénéficierait des apports théoriques d'un modèle Technologie-Environnement et d'un modèle relationnel. Or avant-même l'établissement du contrat CIFRE pendant les DKCP nous constatons que les acteurs font abondamment référence à un outil. Il permet d'établir des critères d'engagement pour la direction de l'innovation et les programmes, il s'agit de l'échelle *Technology Readiness Levels*. Ainsi avant de proposer un nouveau substrat technique, la prochaine partie propose de comprendre pourquoi cet outil autant diffusé n'a pas permis aux fiches idées de bénéficier de ressources. Cela nous permettra de compléter le cahier des charges d'un substrat technique pérenne pour Safran.

⁵⁰ Méthode d'identification des marchés de niche pour éviter la compétition sur les marchés traditionnels.

Nos hypothèses de troisième acteur et de philosophie inhibant un calcul sur le connu ayant été affinées par des conditions précises de l'engagement conceptif, nous utiliserons aussi ces conditions pour sonder le modèle d'action de l'évaluation sur l'échelle *Technology Readiness Levels*.

Partie 4 – Technology Readiness Levels et engagement conceptif : compatibilité et limites

L'échelle de *Technology Readiness Levels* (TRL) est un outil qui est systématiquement employé pour engager des ressources chez Safran. La partie 4 propose de tester l'hypothèse que cet outil est adapté à l'échange dans l'inconnu. Elle montre alors qu'il s'agit bien d'un outil d'échange de technologies. Cependant il présente des limites importantes dans l'inconnu : il induit des effets de fixation sur les environnements des technologies et n'engage pas de concepteur de valeur collective ce qui le rend incompatible avec le modèle de l'engagement conceptif. Cela contribue à expliquer les difficultés de Safran malgré l'usage de cet outil, mais une solution reste à fournir.

Sommaire de la partie 4

Chapitre 7 – L'échelle Technology Readiness Levels (TRL), un outil pour échanger des technologies innovantes.....159

Présentation de l'échelle TRL : un langage commun entre vendeur et acheteur facilitant l'échange 159

Rappel historique 159

Les TRL dans les échanges Safran..... 161

La promesse engageante d'un programme sans dépassement de coûts ni de délais faite par l'échelle TRL 162

La maturité facteur d'engagement de ressources dans les théories de la conception innovante..... 162

L'étude de cas du Government Accounting Office (1999) : une preuve toujours incontestée..... 163

Diverses échelles readiness level et Les Business Readiness Levels Safran basées sur la même promesse 166

L'évaluation TRL, une promesse dès les phases d'exploration de l'inconnu..... 167

Conclusion de chapitre 7 : l'échelle TRL, un candidat pertinent pour systématiser l'engagement conceptif chez Safran 169

Résumé du chapitre 7 171

Chapitre 8 – Mise à l'épreuve de l'échelle TRL pour l'échange dans l'inconnu : expansions des environnements et conception de valeur collective trop limitées.....173

Modélisation de « l'évaluation TRL » et vérifications à mener pour chaque condition de l'engagement conceptif 173

Information d'entrée, information de sortie et étapes de l'évaluation TRL 174

<i>Figures d'acteur de l'évaluation TRL</i>	180
<i>Description des tests à réaliser et d'une hypothétique évaluation TRL vérifiant les conditions de l'engagement conceptif</i>	181
Mise à l'épreuve sur le substrat technique : pas d'expansions des environnements dans l'évaluation TRL réelle.....	184
Mise à l'épreuve sur les figures d'acteur : pas de concepteur de valeur collective dans l'évaluation TRL réelle.....	187
Mise à l'épreuve sur la philosophie gestionnaire : l'évaluation TRL réelle suppose une philosophie de convergence générative	190
Modélisation de l'évaluation TRL réelle insuffisante pour l'engagement conceptif	192
Conclusion de chapitre 8.....	193
Résumé de chapitre 8	194
Conclusion de la partie 4 : Quels modèle et outil face aux limites de l'échelle TRL ?....	195
Résultats de la partie 4 : L'échelle TRL, un outil d'échange de technologie insuffisant pour l'engagement conceptif	195
Limites de la partie 4 : quelle alternative à l'échelle <i>Technology Readiness Levels</i> (TRL) dans l'inconnu ?.....	196

Chapitre 7 – L'échelle Technology Readiness Levels (TRL), un outil pour échanger des technologies innovantes

La partie précédente apportait un composant du modèle d'action des explorations de l'échange dans l'inconnu, à savoir le modèle d'engagement de ressources dans l'inconnu. Nous définissons alors l'engagement conceptif et ses conditions (substrat technique non fixant, acteur concepteur de valeur collective et philosophie de convergence générative). Cependant, nous laissons une entreprise comme Safran au dépourvu d'outils et méthode systématique permettant de mettre en action un tel modèle.

Dans ce chapitre nous montrons que le substrat technique dont est déjà dotée Safran, l'échelle *Technology Readiness Levels* (TRL), est employé comme outil d'engagement de ressources dans l'échange de technologies innovantes. Nous commençons par montrer la pertinence de l'échelle TRL par l'histoire de son émergence et les échanges dans lesquels elle intervient chez Safran. Ensuite nous montrons qu'elle engage les acteurs en promettant un développement sans dépassement de coût ou de délai dès les phases les plus en amont. Ce chapitre confirme alors la pertinence d'étudier si l'application de l'échelle TRL met en action l'engagement conceptif.

Nous exploitons les données collectées pour l'article EURAM, à savoir les procédures TRL présentées au chapitre 4 (p100).

Présentation de l'échelle TRL : un langage commun entre vendeur et acheteur facilitant l'échange

Nous allons montrer que les TRL interviennent comme critère de valeur dans les échanges dans l'inconnu en deux temps. D'abord nous aurons une approche historique ensuite nous nous concentrerons sur Safran. Cela justifie une étude approfondie de l'outil.

Rappel historique

Nous complétons ici le rappel historique de l'article EURAM qui employait une grille d'analyse d'innovation managériale pour établir que les TRL naissent et se diffusent comme langage entre une agence et son contracteur⁵¹ afin de caractériser l'inconnu sur l'objet échangé.

Cooper (1994) relatant l'origine du modèle étape-jalon (*stage-gate*) précise le contexte d'émergence des TRL. Dans les années 1960, la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) adoptait un processus de développement adapté au travail avec des contracteurs et des fournisseurs dit *phased project planning* ou plus couramment *Phased Review Process*. Il permettait de minimiser le risque technique en assurant que toutes les tâches d'ingénierie avaient été complétées. Le processus était

⁵¹ La littérature anglophone emploie le terme "*contractor*" pour désigner l'entreprise contractée pour fournir un système dans le cadre de l'appel d'offre d'une agence gouvernementale. Nous adoptons le terme peu usité de « contracteur » comme traduction.

donc découpé en phases et chaque phase était succédée d'une revue. Mankins (2009) précise alors qu'une de ces revues, la *Flight Readiness Review*, vérifiait que toutes les conditions étaient réunies pour pouvoir opérer un vol. En relation avec cette dernière fut définie la *Technology Readiness Review* afin **d'articuler le statut des technologies prévues pour être utilisées dans des systèmes spatiaux**. Cette revue s'appuyait donc sur l'idée nouvelle que le niveau de maturité des nouvelles technologies pouvait être mesuré. Cela nécessitait donc un instrument de mesure. Ainsi dans les années 1970, le département *Office of Aeronautics and Space Technology* de la NASA proposait une échelle à 6 puis 7 niveaux de maturité technologique. Son inventeur, Stanley Sadin, récapitule alors le problème : « Les perceptions différentes des chercheurs et des planificateurs de mission entre la maturité désirée et prouvée étaient souvent la cause d'un passage de relais ou d'un transfert technologique annulé de l'ART [amont, R&T] vers les utilisateurs SRT [aval, programmes]. » (Sadin et al. 1989, traduit de l'anglais⁵²). Dans les termes de notre modèle de l'échange intégrant l'inconnu, les chercheurs vendent des technologies aux planificateurs de mission et cet échange est conditionné par la dimension « maturité » de la valeur. La propriété de la technologie est sa maturité prouvée, le critère d'évaluation de l'acheteur est la maturité désirée, la valeur est calculée comme la différence entre les deux. Donc l'usage de l'échelle TRL correspond exactement à notre modèle. Son étude est alors très susceptible d'enrichir notre compréhension des phénomènes d'échange dans l'inconnu en étudiant des situations dans lesquelles maturité prouvée et maturité désirée sont inconnues.

Enfin, lorsque les TRL se diffusaient dans l'écosystème de la NASA plusieurs versions coexistaient ce qui était préjudiciable à son usage. Mankins (1995) définissait alors une échelle TRL standard constituée de neuf niveaux qui sont toujours ceux en vigueur dans les procédures NASA (NASA 2007). Cette échelle inspira celles de nombreuses autres agences et entreprises. Elle est représentée dans la figure ci-après.

⁵² Texte original : “*The differing perceptions of the researchers and the mission planners between the intended and actual proof of readiness was often the cause of an aborted handoff, or technology transfer, of ART [amont] to the SRT users [aval]*”

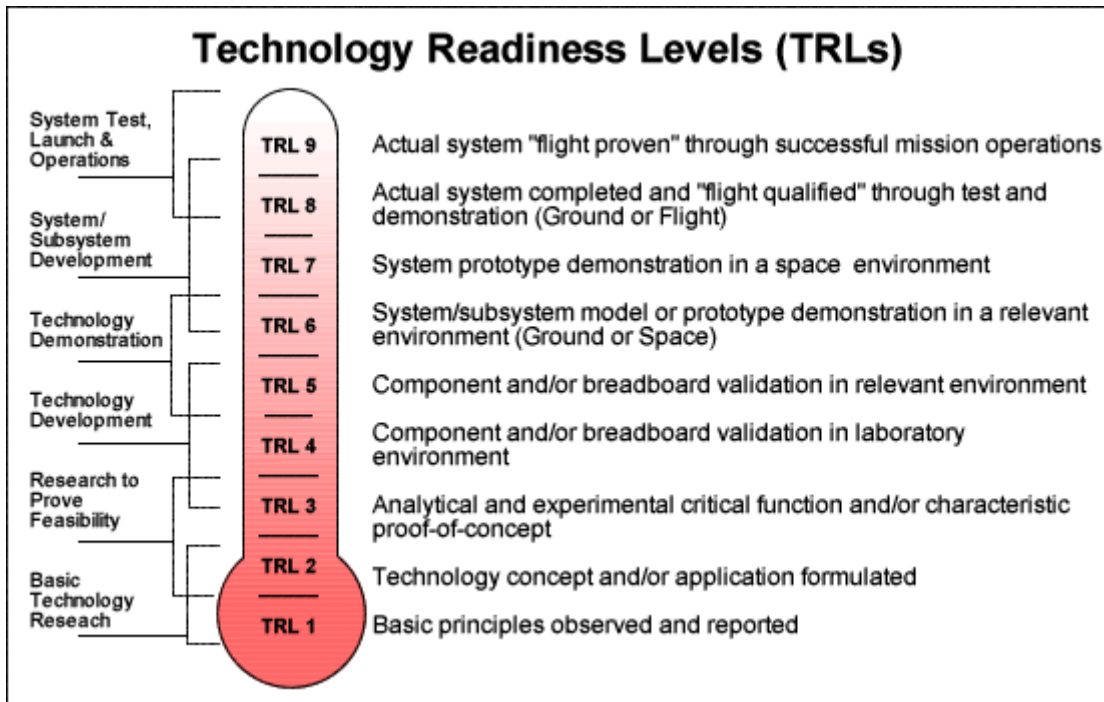


Figure 22 : L'échelle TRL de la NASA (source www.nasa.gov ou (Mankins 2009))

La pertinence des TRL pour l'échange dans l'inconnu étant établi d'un point de vue historique nous devons répéter l'exercice du point de vue de Safran.

Les TRL dans les échanges Safran

Dans le chapitre 1, nous décrivons les échanges entre R&T, direction de l'innovation et programmes (p38). Ces échanges sont conditionnés par un niveau de maturité des technologies suffisant. Ils sont mesurés sur l'échelle TRL Safran qui possède aussi neuf niveaux (leurs définitions sont confidentielles). La direction de l'innovation a pour règle de ne pas financer des projets qui intègrent des technologies nécessaires au système conçu de TRL inférieurs à TRL 3. Le projet Innovation doit mener des démonstrations qui portent le système à TRL 6, ce qui implique que toutes les technologies qui le composent de façon nécessaire ont été démontrées à TRL 6. Il peut s'agir d'un unique prototype fonctionnant dans les conditions requises à TRL 6. Enfin les programmes des sociétés classiques ont pour règle de n'intégrer que des technologies de TRL supérieur ou égal à 4. La figure ci-après récapitule ces échanges conditionnés par les TRL.

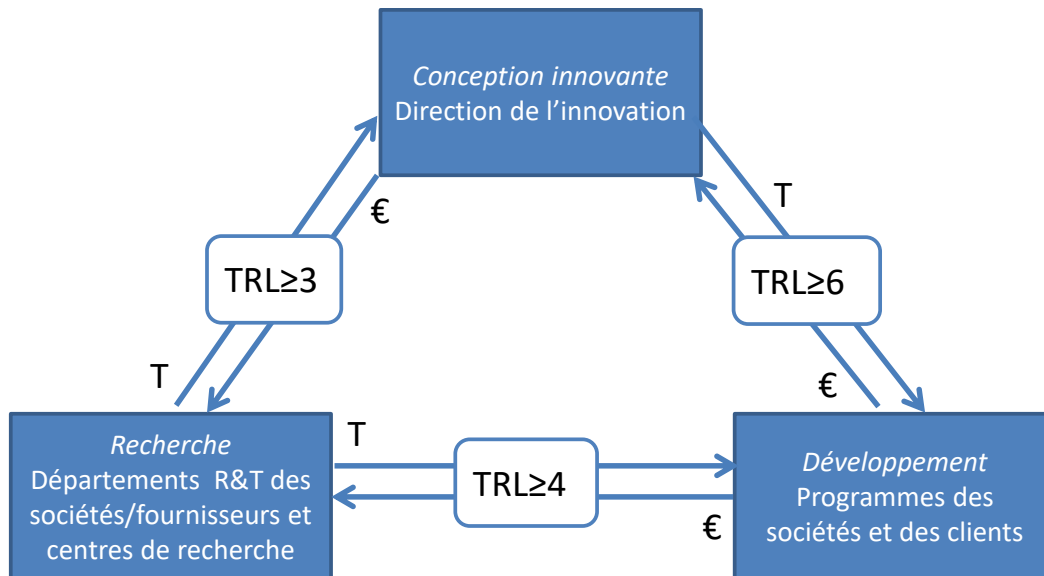


Figure 23 : L'échelle Technology Readiness Levels (TRL) comme critères d'évaluation dans les échanges Safran

En conclusion de cette section, l'étude de l'échelle TRL est pertinente parce qu'elle naquit pour faciliter des échanges dans l'inconnu et parce que Safran a adopté son usage. Dans notre modèle de l'échange, la promesse engageante de l'engagement conceptif consiste en un calcul inconnu de la valeur. Dans la section suivante nous étudions quelle est celle des TRL.

La promesse engageante d'un programme sans dépassement de coûts ni de délais faite par l'échelle TRL

Nous pouvons montrer que l'échelle TRL est un outil d'engagement de ressources à partir de la littérature ou par les pratiques de Safran. La nature de la promesse engageante peut être variée, mais celle qui entrainera une grande diffusion des TRL est la promesse d'un programme sans dépassement de coûts et de délais.

La maturité facteur d'engagement de ressources dans les théories de la conception innovante

Pour Maniak et Midler (2008) la performance d'un concept est une combinaison de la maturité définie comme le niveau de maîtrise technique de la solution et de la valeur client. Parmi les deux entreprises analysées, l'une montre une fixation sur la maturité et l'autre sur la valeur client. Hooge (2010) montrait que la maturité est un facteur très favorable à l'engagement des parties prenantes positionnées en aval : « Il apparaît clairement que le niveau de maturité a une influence sur le nombre de directions partenaires, celui-ci allant croissant au fur et à mesure de l'approche d'une application véhicule. » (p245). Le montant de ressources que pouvait obtenir une technologie était formellement dépendant de son niveau de maturité : « La labellisation en [T/Ex] n'ayant lieu qu'en Octobre, lors de la présentation du plan au Comité Exécutif du Groupe, les projets pré-[T/Ex] doivent atteindre un niveau de maturité suffisant à cette période pour obtenir le label, sans quoi ils restent en phase exploratoire une année de plus. Or nous avons vu que les labels [T/Ex] permettent un

accès à des ressources plus importantes : les projets ayant terminé leur phase exploratoire avant ou après le mois d'octobre doivent commencer leur phase de faisabilité avec des ressources insuffisantes. » (p248). Ces exemples sont tirés du secteur automobile. Dans le secteur aéronautique et même dans une des sociétés Safran, Arnoux (2013) identifiait qu'un certain niveau de maturité est nécessaire pour travailler avec un acheteur en vue de lui vendre des produits Safran : « À partir de 2003, suite à la réorganisation de la conception à Turbomeca, le modèle du démonstrateur fut quelque peu revu. Il fut désormais acté que le démonstrateur devait permettre de s'engager avec un client hélicoptériste en proposant un produit intégrant des technologies ayant une maturité technologique à TRL 6 » (p167). Il est nécessaire de prouver à cet acheteur la maturité des technologies pour procéder à l'échange (p170). D'après l'auteur, toute proposition innovante (concept) est caractérisée par une maturité qui comprend entre autre le niveau TRL des technologies. L'auteur insiste sur la nécessité de créer le « nid d'incubation » d'un concept comme ressources dédiées à augmenter le niveau de maturité du concept au moyen de prototypes et de démonstrateurs (pages 272 à 273, 290). Le niveau de maturité d'une proposition innovante conditionne son transfert à la R&T et aux programmes et peut nécessiter des ressources externes à l'entreprise (p308).

En conclusion les théories de la conception innovante ont intégré la maturité comme conditionnant l'échange. Les théories de la conception proposent donc la valeur-maturité au même titre que les théories économiques de la valeur proposaient la valeur-utilité ou la valeur-travail. Dans le cas spécifique des technologies, l'échelle TRL permet de quantifier cette valeur. Dans les paragraphes suivants, nous nous éloignons des théories de la conception innovante pour montrer qu'un niveau de TRL élevé d'une technologie promet au programme l'intégrant un moindre risque de dépassement de coûts ou de délais ce qui explique le mécanisme d'engagement des TRL.

L'étude de cas du *Government Accounting Office* (1999) : une preuve toujours incontestée

Sadin *et al.* (1989), auteur de la toute première échelle TRL (Mankins 2009, Banke 2010), distinguait une recherche amont « *Base* » et une recherche aval « *focused* » en répartissant leur responsabilité selon les TRL⁵³. Le chercheur énonce alors la propriété avantageuse d'une telle organisation pour améliorer la performance des programmes : « Ce système de gradation trouve sa valeur dans la planification et le chiffrage des programmes technologiques de la NASA. » (traduit de l'anglais⁵⁴). Aujourd'hui l'évaluation des TRL des technologies d'une mission est une priorité des programmes de la NASA : « Il est impossible de comprendre l'amplitude et le périmètre d'un programme de

⁵³ Texte original : "Additionally, the discipline oriented Base program engages in exploratory and mission-enabling research, seeking concepts and opportunities for later, more focused program development." (Sadin *et al.* 1989)

⁵⁴ Texte original : "This system of gradation is also quite valuable in the planning and costing of NASA technology programs." (Sadin *et al.* 1989)

développement sans avoir une compréhension claire de la base de maturité technologique de tous les éléments du système. Etablir le TRL est une première étape vitale pour un programme mené avec succès » (NASA 2007, p297, traduit de l'anglais⁵⁵).

Dans les années 1990, le *Department Of Defense* (DOD) subissait de nombreux dépassements de coûts et délais dans la gestion de ces programmes. L'étude de cas du *Government Accounting Office* (GAO) rapportant les premières expérimentations des TRL (23 technologies dans 4 programmes) montra alors que les programmes qui intégraient des technologies peu matures dépassent coût et délais (GAO 1999). L'un de ces programmes est l'hélicoptère furtif Comanche, officiellement abandonné en 2004, dont le rapport précise que l'armée a pris en charge avec des technologies immatures héritant de diverses difficultés. Rétrospectivement, nombreuses technologies n'étaient encore que de TRL2 ou 3. A contrario, les programmes qui ont intégré des technologies de TRL 6 et plus n'ont connu aucun surcoût. Le principal message de ce rapport est donc qu'en formalisant la maturité des technologies sur l'échelle TRL et en refusant de prendre en charge des programmes dont les technologies sont trop immatures, le DOD améliorera la performance de ces programmes d'acquisition. Le DOD adoptera une échelle TRL après modification de celle de la NASA. Environ dix ans plus tard, le *Departement Of Energy* adoptera les TRL sur les mêmes types de recommandations du GAO et du DOD en établissant une nouvelle échelle (GAO 2007) : « L'évaluation TRL et le Plan de Management Technologique sont des outils efficaces de gestion pour réduire les risques techniques et minimiser le potentiel de surcoûts dus aux technologies et de délais » (DOE 2011, traduit de l'anglais⁵⁶). La figure suivante illustre l'idée de risque décroissant avec la maturité des technologies.

⁵⁵ Texte original : “It is impossible to understand the magnitude and scope of a development program without having a clear understanding of the baseline technological maturity of all elements of the system. Establishing the TRL is a vital first step on the way to a successful program.” (NASA 2007, p297)

⁵⁶ Texte original : “TRAs [Technology Readiness Assessments] and TMPs are effective management tools for reducing technical risk and minimizing potential for technology driven cost increases and schedule delays.” (DOE 2011)

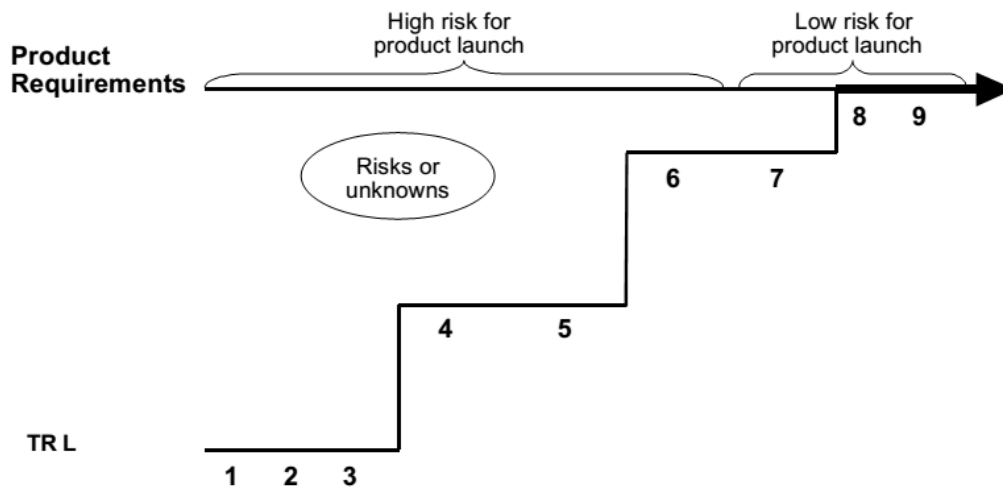


Figure 24 : La promesse d'un programme sans risque en adoptant des technologies de TRL élevé dans (GAO 1999)

L'argument en faveur des TRL est pérenne dans sa réputation actuelle. Marc Giget explique récemment que de nombreuses entreprises adoptent une échelle TRL (exemples Boeing, Airbus, BMW, Toyota, Ferrari, Fiat, Lotus, Brabham)⁵⁷. Franchir le TRL 7 est le moyen pour un fournisseur de technologie d'affirmer qu'il est « un partenaire opérationnel », « valeur technologique », qu'il « évite les dérives des programmes ». Les procédures modernes montrent que les agences américaines s'appuient sur cette promesse de l'évaluation TRL pour engager des ressources :

« Dans les faits il y a de nombreux contributeurs au glissement du planning et aux surcoûts [...] Un facteur dominant dans le degré d'incertitude est le manque de compréhension de la maturité des technologies requise pour mener le projet à bien. Bien que cette incertitude ne puisse être éliminée, elle peut être significativement réduite par l'application précoce de bonnes pratiques d'ingénierie des systèmes ciblant la compréhension des besoins technologiques, de la maturité des technologies requises, et du progrès technologique requis pour atteindre les objectifs et spécifications du programme/projet. » (NASA 2007, p293, traduit de l'anglais⁵⁸)

« Le rapport de la revue de conception préliminaire devrait inclure [...] une évaluation du risque, par les participants, pour s'engager à la conception détaillée complète, et une identification des problèmes/risques qui pourraient [...] impacter le coût, le planning ou la performance. [...] L'évaluation TRL est une information obligatoire pour les programmes majeurs d'acquisition afin d'assurer que le risque lié à la maturité des technologies est adéquatement identifié et mitigé. »

⁵⁷ <https://vimeo.com/110836437> consultée le 5 mai 2016. Marc Giget est président du club de Paris des directeurs de l'innovation et donne des conférences sur la gestion de l'innovation à ce titre. La présentation est intitulée « Réorganisation de l'amont technologique de l'innovation ».

⁵⁸ Texte original : "In fact there are many contributors to schedule slip, cost overrun [...] a dominant factor in the degree of uncertainty is the lack of understanding of the maturity of the technology required to bring the project to fruition. Although this uncertainty cannot be eliminated, it can be substantially reduced through the early application of good systems engineering practices focused on understanding the technological requirements; the maturity of the required technology; and the technological advancement required to meet program/project goals, objectives, and requirements. » (NASA 2007, p293)

(DOD 2012, pages 252 à 253, traduit de l'anglais⁵⁹)

« [L'évaluation TRL] est un processus de revue qui s'assure qu'il a été démontré que les technologies critiques inscrites dans la conception d'un projet fonctionnent comme prévu (maturité) avant d'engager des dépenses de construction. » (DOE 2011, p7, traduit de l'anglais⁶⁰)

Le management environnemental a adopté un niveau [TRL] 6 au cours des plus récentes évaluations TRL afin de réduire la probabilité de dépassements de coûts et de délais dus à des technologies critiques immatures » (DOE 2011, p30, traduit de l'anglais⁶¹)

Il existe une littérature spécifique à l'échelle TRL qui identifie ces limites et propose des améliorations. Straub (2015) défend l'utilité d'un dixième niveau TRL pour caractériser le retour sur expérimentation acquis après de nombreuses années d'exploitation commerciale. Sauser et al. (2006) déplorent la difficulté d'affecter un TRL à un système composé de plusieurs technologies et développent un outil de calcul du *System Readiness Levels*. Valerdi et Kohl (2004) signalent le risque d'obsolescence plus important avec un TRL élevé. En aucun cas cette littérature ne revient sur le postulat qu'intégrer des technologies matures dans un programme implique une probabilité plus faible de dépassement de coût et de délai.

En conclusion l'échelle TRL permet d'engager des ressources en promettant un programme sans surcoûts ni délais. Ayant compris ce mécanisme d'engagement il convient de vérifier si il est répandu.

Diverses échelles readiness level et Les Business Readiness Levels Safran basées sur la même promesse

Dans ce paragraphe nous montrons que la promesse engageante d'un programme sans surcoûts ni délais et le mécanisme des TRL se sont étendus à d'autres objets que les technologies.

Dans la même optique que la direction de l'innovation, Paun (2011) définit les *Demand Readiness Levels* (DRL). D'après l'auteur, les TRL classiques se réservent à un processus *technology push*. L'utilisation d'une échelle DRL en combinaison avec l'échelle TRL classique permet d'hybrider les approches *market pull* et *technology push*. S'appuyant sur le constat que les produits fabriqués à partir de procédés immatures sont sujets à des dépassements de coût et de délai de développement puis de fiabilité et de qualité en service, Morgan (2008, 2015) propose les *Manufacturing Readiness Levels* (MRL) aux directeurs de programmes du DOD. Enfin Nolte (2012) dresse le constat que

⁵⁹ Texte original : "This PDR [Preliminary Design Review] report should include [...] An assessment of risk, by the participants, to commit to full detail Design, and An identification of those issues/risks that could result in a breach to the program baseline or substantially impact cost, schedule or performance. [...] the TRA [Technology Readiness Assessment] is a regulatory information requirement for MDAPs [Major Defense Acquisition Programs] to ensure that technology maturity risk is adequately identified and mitigated" (DOD 2012, pages 252-253)

⁶⁰ Texte original : "It [Technology Readiness Assessment] is a review process to ensure that critical technologies reflected in a project design have been demonstrated to work as intended (technology readiness) before committing to construction expenses." (DOE 2011, p7)

⁶¹ Texte original : "DOE-EM has adopted a level 6 during their most recent TRAs in their effort to reduce the probability of cost and schedule overruns due to immature CTEs. " (DOE 2011, p30)

différents *Readiness Levels* se multiplient à chaque besoin spécifique, l’auteur propose une base de données les agrégeant. A présent il convient de vérifier si Safran emploie d’autres échelles que les TRL.

Cooper (1994) reprochait au processus de la NASA ayant enfanté de nombreux processus de développement de produits nouveaux de ne traiter que l’ingénierie et donc ne pas réduire les risques commerciaux. La direction de l’innovation a fait le même reproche à l’échelle TRL Safran. Peu avant le début de notre recherche, elle se dotait d’une échelle *Business Readiness Levels* ci-dessous.

Périmètre de la direction de l'innovation Safran				Programmes		
BRL3	BRL4	BRL5	BRL6	BRL7	BRL8	BRL9
<i>Market analysis</i>	<i>Market evaluation</i>	<i>Market assessment</i>	<i>Customer demonstration</i>	<i>Market Proven</i>		

Tableau 25 : L’échelle de *Business Readiness Levels* développé par la direction de l’innovation Safran (les définitions détaillées sont confidentielles)

Comme pour les TRL, chaque niveau se voit affecté une liste de critère pour être franchi. Une telle échelle est cohérente avec la mission qu’elle se donnait de piloter des projets qui débouchent sur des produits échangés sur de nouveaux marchés et non pas de la technologie (voir chapitre 1, p37).

Du point de vue de la direction de l’innovation Safran, la promesse d’un projet sans dépassement de coûts et de délais est donc une condition de l’engagement de ses ressources financières à la fois sur la dimension technique et sur la dimension commerciale. Cependant nous pouvons questionner si c’est bien le cas dans les phases amont dans lesquelles les concepts sont les plus instables et les plus inconnus.

L’évaluation TRL, une promesse dès les phases d’exploration de l’inconnu

Arnoux (2013, p165) associait l’échelle TRL à la conception réglée qui implique une part d’exploration de l’inconnu très réduite. Nous montrons dans ces paragraphes que la promesse engageante d’un programme sans dépassements de coûts et de délais à la base du mécanisme d’engagement de l’échelle TRL est générée dès les phases les plus exploratoires.

L’échelle TRL donne une évaluation de la maturité des technologies nécessaires à réaliser un concept en les positionnant dessus. Cette évaluation est réitérée jusqu’à ce que le concept bénéficie de ressources adéquates à son exploration : « L’évaluation TRL doit être effectuée itérativement jusqu’à ce que les besoins et les ressources disponibles soient alignées dans une plage de risque acceptable » (NASA 2007 p62, traduit de l’anglais⁶²). Le résultat de ces itérations est obligatoire pour passer les différents jalons des programmes. Dans la procédure NASA il s’agit de trois *Key Decision Points* à la fin des phases A - études de concept, B - développement du concept et des technologies et C -

⁶²Texte original : “*Technology assessment must be done iteratively until requirements and available resources are aligned within an acceptable risk posture.*” (p62)

conception préliminaire et complétion technologique (NASA 2007, p6). Cette procédure précise que les évaluations TRL doivent commencer le plus tôt possible: « Il est extrêmement important qu’une évaluation technologique [dont évaluation TRL] soit définie au début du programme/projet et qu’elle soit effectuée le plus tôt possible (développement du concept) et tout au long du programme/projet ». La procédure DOD insiste pour que l’identification des technologies commence avant le jalon *Milestones A* - analyse des solutions matérielles (DOD 2011, p2-7). Les conclusions de l’évaluation TRL sont nécessaires au jalon *Milestones B* qui met fin à la phase de développement technologique et lance la phase de développement d’ingénierie et de production (DOD 2012, p221). Dans la procédure DOE l’évaluation TRL doit être conduite au plus tard pour le jalon *Critical Decision 2* (CD-2) qui met fin à la conception préliminaire et entame la conception finale (DOE 2011, p3). Cependant la procédure insiste sur le fait que pour cela les évaluations TRL doivent commencer beaucoup plus en amont (DOE 2011, p3). Elle recommande une première évaluation confirmant le TRL 4 au jalon CD-1 (DOE 2011, p13). Enfin la direction de l’innovation Safran positionne l’évaluation TRL plus en amont avec un jalon pour le lancement d’étude de faisabilité et termine bien avant la phase opératoire. Elle exige un TRL 3 à la fin des études de faisabilité et un TRL 6 à la fin du projet où il devient un programme piloté par les sociétés. Lors de réunions de service de la direction de l’innovation, des membres les plus expérimentés indiquaient à plusieurs reprises qu’en dessous de TRL 3 le produit se situe à long terme alors que la direction de l’innovation se donne une mission *business*. Nous récapitulons ces données dans la figure suivante.

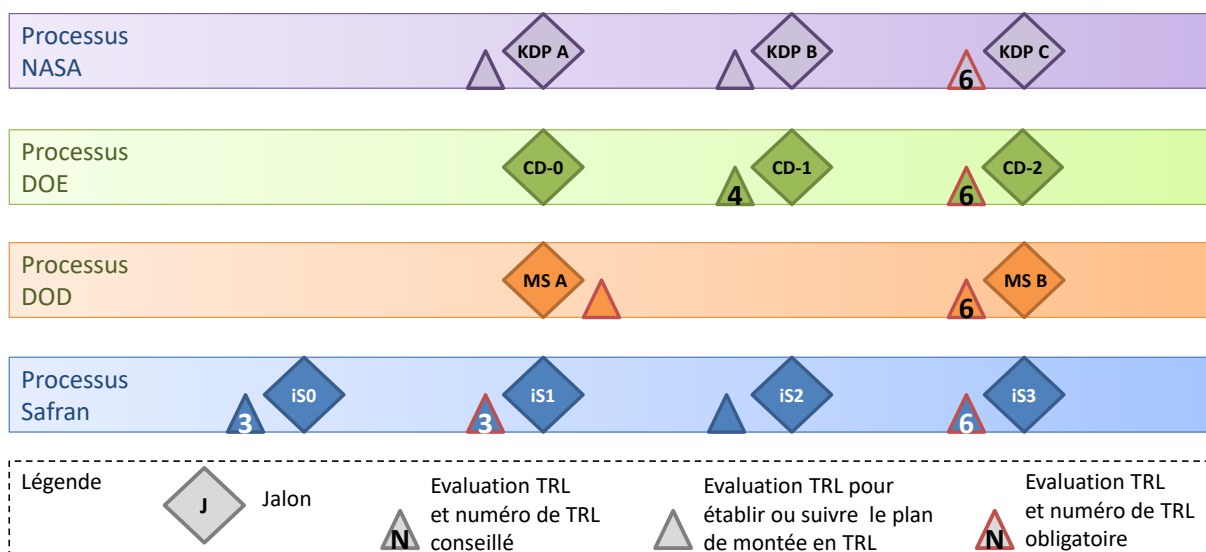


Figure 25 : Jalons et évaluations TRL dans les procédures d’ingénierie des systèmes des agences américaines et de la direction de l’innovation Safran en fonction des TRL exigés – les TRL interviennent dans les phases exploratoires (Les processus des agences américaines comportent un à trois jalons suivants que nous n’avons pas représentés, iS0 est le jalon de lancement d’études de faisabilité, iS3 est le jalon de lancement de programme de développement dans les sociétés)

Nous pouvons donc faire le constat que dans les procédures des agences, les TRL interviennent de façon obligatoire à des stades moins exploratoires que le sont les fiches DKCP mais que toutes les procédures recommandent d’entamer l’évaluation le plus tôt possible. Cela peut expliquer les dérogations accordées aux fiches Thermoélectricité et Caloducs dont les TRL étaient faibles au jalon

de lancement des études de faisabilité (voir chapitre 5 pages 109 à 113). Finalement d'après les procédures une évaluation précoce permet d'affiner davantage les potentielles technologies critiques à évaluer (DOD 2011 p6) et d'identifier des spécifications infaisables afin de modifier les architectures en identifiant des alternatives (NASA 2007 P296).

Jusqu'à présent nous avons plutôt traité le point de vue d'acheteurs sur les TRL. L'étude des cas Thermoélectricité et Caloducs permet de faire des hypothèses sur le point de vue des vendeurs. L'hypothèse des procédures est que le TRL est mesuré de façon juste est identique pour tous. Pourtant durant l'étude de faisabilité du cas Thermoélectricité, le centre de recherche affirma que les générateurs thermoélectriques étaient de TRL 4 lorsque Safran visait un TRL 2. La différence provient des critères de passage des TRL, par exemple le nombre de cycles testés en fatigue varie d'un ordre de grandeur entre les deux organisations pour un même TRL. Pourtant ce centre de recherche travaille abondamment avec le secteur aéronautique et connaît une telle contrainte. Une première hypothèse émise par les acteurs Safran suite à cet événement est que d'autres industries sont moins contraignantes. Une deuxième hypothèse est que les vendeurs ont intérêt à surestimer le TRL pour bénéficier de ressources financières et les acheteurs à le sous-estimer pour diminuer le risque sur leur projet.

Dans le cas Caloducs, lors de la préparation de l'atelier, l'expert vendeur de technologie corrigeait les termes « technologie maîtrisée » d'acheteurs pour « technologie connue ». Plus tard lors d'une convention rassemblant les experts du groupe, un des experts acheteurs de la technologie présentait cette exploration en évoquant un TRL 4. Le vendeur s'en est plaint car basé sur cette information un projet Innovation peut démarrer sans effort. Or lors du jalon d'étude de faisabilité la technologie est présentée à TRL 2 ce qui implique au contraire un effort supplémentaire pour parvenir à TRL 3 à la fin de l'étude. L'intérêt de l'acheteur de cette technologie à surestimer le TRL est qu'il est aussi vendeur de la fiche idée, c'est-à-dire demandeur d'un financement auprès de la direction de l'innovation. Même si nos hypothèses ne s'avèreraient pas tout à fait justes, la conclusion que l'échelle TRL est utilisée par les vendeurs dans les échanges dans l'inconnu reste vraie.

En conclusion l'échelle TRL est employée dans les phases amont des processus sur des concepts peu stabilisés et aux inconnus importants afin de bénéficier de ressources du point de vue des vendeurs et de minimiser le risque de surcoûts et de délais du point de vue des acheteurs tels que les agences gouvernementales ou la direction de l'innovation.

Mais l'engagement conceptif suppose aussi que différentes dimensions de la valeur soient explorées pour régénérer les promesses. L'étude détaillée des conditions de l'engagement conceptif émise au chapitre 6 devient alors nécessaire.

Conclusion de chapitre 7 : l'échelle TRL, un candidat pertinent pour systématiser l'engagement conceptif chez Safran

Pour conclure ce chapitre, l'échelle TRL suppose un modèle d'échange dans lequel l'acheteur engage ses ressources car une maturité ou un TRL élevé lui promet un programme de développement sans

surcoûts ni retards. Cela appuie la pertinence de l'étude des TRL mais ne permet pas de conclure que l'engagement que stimule cette promesse est de type conceptif. En effet notre définition de l'engagement conceptif comporte la régénération de la promesse engageante en générant des nouvelles dimensions de la valeur et en établissant le statut logique positif des dimensions déjà identifiées. De plus Safran fait déjà un usage avancé de l'échelle TRL. Nous devons donc comprendre pourquoi cet outil n'a apparemment pas permis d'engager des ressources d'exploration sur les fiches idées issues des DKCP. Nous devons donc tester plus spécifiquement le modèle d'action induit par l'échelle TRL en le soumettant aux conditions de l'engagement conceptif, à savoir un substrat technique supportant l'exploration collective de façon non fixante, un acteur concepteur de valeur collective au sein des collectifs vendeur et acheteur, et finalement une philosophie de convergence générative.

Résumé du chapitre 7

Historiquement, les *Technology Readiness Levels* (TRL) apparaissent comme un langage de l'inconnu pour faciliter les échanges de technologies lorsque la conception du système est en cours. Dans le groupe Safran l'échelle TRL conditionne les échanges entre recherche (R&T sociétés), développement (programmes société) et conception innovante (direction de l'innovation). Les théories de la conception innovante ont montré que la maturité d'une technologie ou d'un concept est facteur d'engagement de ressources. Plus précisément, les agences gouvernementales américaines (NASA, DOD, DOE) ont une à une adopté l'échelle TRL pour engager des ressources car elle fait la promesse d'un programme sans surcoûts ni retards. De multiples échelles similaires ont ensuite été créées pour étendre cette promesse à d'autres facteurs de retards et de surcoûts que la technologie. Ainsi la direction de l'innovation a constitué une échelle de *Business Readiness Levels*. Cela affirme sa proximité avec les marchés dans les projets qu'elle s'autorise à financer tout en employant le modèle connu de l'échelle TRL. Enfin l'échelle TRL n'est pas restreinte à des échanges structurés en projets ou programmes. Les procédures des agences américaines recommandent de l'employer au plus tôt. Elle est employée dans les phases amont dans lesquelles les concepts sont instables et vastement inconnus, notamment les explorations Thermoélectricité et Caloducs. **L'ensemble de ces points affirme la pertinence d'étudier l'échelle TRL pour l'échange dans l'inconnu. A ce titre nous devons valider que l'échelle TRL est bien un outil du modèle d'engagement de ressources dit conceptif défini dans la partie précédente.**

Chapitre 8 – Mise à l'épreuve de l'échelle TRL pour l'échange dans l'inconnu : expansions des environnements et conception de valeur collective trop limitées

Les parties 1 et 2 diagnostiquaient la difficulté d'échanger dans l'inconnu et proposaient un cadre théorique adapté. La partie 3 proposait le modèle d'engagement de ressources dans l'inconnu dit conceptif afin d'explorer la valeur d'un objet inconnu. Dans cette partie nous étudions un outil candidat à systématiser l'engagement conceptif chez Safran : l'échelle TRL. Le chapitre précédent vérifiait la pertinence d'étudier cet outil pour l'échange dans l'inconnu. A présent nous proposons de le mettre à l'épreuve avec rigueur en le soumettant aux conditions que nous avons établi dans la partie précédente. Pour cela nous proposons d'abord de modéliser la méthode associée à l'échelle TRL dite « évaluation TRL ». Cela nous permet de cibler précisément les vérifications à mener pour établir que l'évaluation TRL est une méthode d'engagement conceptif. Ensuite nous menons ces vérifications d'abord sur le substrat technique, puis sur les figures d'acteur enfin sur la philosophie gestionnaire.

Comme nous l'avons vu au chapitre précédent les agences gouvernementales américaines ont un usage et une expérience très importants de l'échelle TRL. Nous profitons que leurs procédures d'application de l'échelle TRL sont publiques pour l'employer comme matériau empirique. Nous considérons aussi la procédure Safran sur laquelle nous fournissons moins de détail pour des raisons de confidentialité. Enfin nous nous appuyons sur les cas Thermoélectricité et Caloducs dont les technologies ont été évaluées sur l'échelle TRL à plusieurs reprises.

Modélisation de « l'évaluation TRL » et vérifications à mener pour chaque condition de l'engagement conceptif

La vérification des conditions de l'engagement conceptif suppose une certaine connaissance de l'action collective mobilisant l'échelle TRL. Pour cela nous proposons un premier niveau d'analyse en suivant le modèle du processus. Comme indiqué dans la Figure 26, nous allons caractériser l'information en entrée et en sortie du processus mobilisant l'échelle TRL, les étapes du processus et les figures d'acteurs qui y participent. Nous parvenons alors au modèle de « l'évaluation TRL » qui permet de cibler des vérifications plus précises et de modéliser une hypothétique évaluation TRL qui mettrait en action l'engagement conceptif.

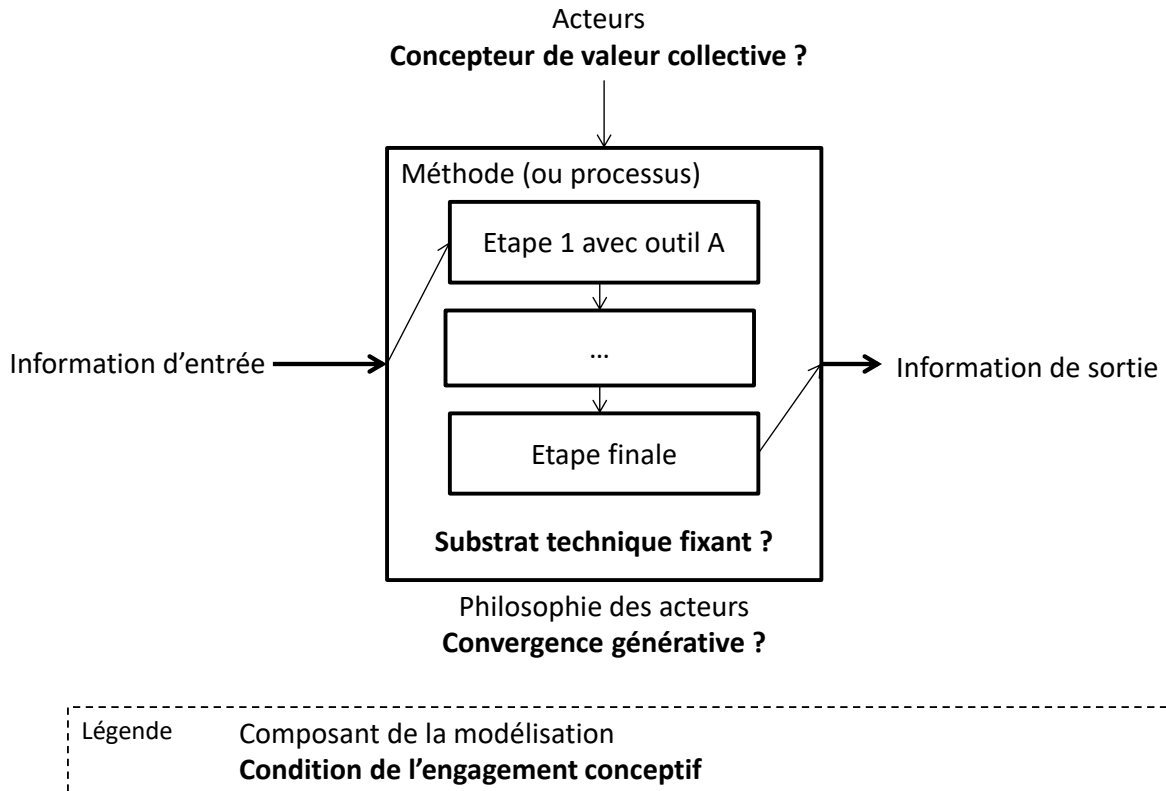


Figure 26 : Modélisation adoptée pour analyser l'évaluation TRL à un premier niveau et établir un test précis pour chaque condition de l'engagement conceptif

Information d'entrée, information de sortie et étapes de l'évaluation TRL

Dans ces paragraphes nous caractérisons le processus dans lequel est mobilisée l'échelle TRL d'après les procédures. Il s'agit au plus haut niveau d'un processus de conception d'un système. Ainsi l'échelle TRL figure dans le manuel d'ingénierie des systèmes de la *National Aeronautics and Space Agency* (NASA 2007) et dans la partie ingénierie des systèmes du manuel d'acquisition du *Department Of Defense* (DOD 2012, pages 158 à 357). Ce processus est en interaction avec le développement des technologies dont la maturité en est l'indicateur d'avancement. Comprendre la maturité des technologies sur l'échelle TRL est critique pour le projet de conception du système dans son ensemble comme dans les citations ci-après. Les procédures appellent ce processus *Technology Assessment* (NASA 2007), *Technology Readiness Assessment* (DOD 2011, DOD 2012, DOE 2011, DOE 2013) ou encore Evaluation de la Maturité Technologique chez Safran. De façon globale nous adopterons le terme « évaluation TRL ».

"It is imperative that there be a continual interaction between the technology development process and the design process to ensure that the design reflects the realities of the available technology and that overreliance on immature technology is avoided. Additionally, the state of any technology that is considered enabling must be properly monitored, and care must be taken when assessing the impact of this technology on the concept performance. This interaction is facilitated through a periodic assessment of the design with respect to the maturity of the technology required to implement the design." (NASA 2007, p56)

“Key to this step [Develop Component Concepts, Including Enabling/Critical Technologies, Constraints, and Cost/Risk Drivers] is the development of conceptual components to demonstrate the viability of the overall concept, indicate where additional technology maturation should occur, and validate that acceptable trade space between expected capabilities and program constraints exists to accommodate potential risk.” (DOD 2012, p226)

Les informations d'entrées de l'évaluation TRL sont les exigences du besoin de parties prenantes auquel doit répondre le système conçu. De plus l'évaluation TRL s'appuie préférablement sur un organigramme des tâches du projet d'après toutes les procédures des agences américaines.

“There are several fundamental inputs needed to initiate the Design Solution Definition Process:

- *Technical Requirements: The customer and stakeholder needs that have been translated into a reasonably complete set of validated requirements for the system, including all interface requirements.*
- *Logical Decomposition Models: Requirements decomposed by one or more different methods (e.g., function, time, behavior, data flow, states, modes, system architecture, etc.).” (NASA 2007, pages 55 à 56)*

“The technology assessment process makes use of basic systems engineering principles and processes. As mentioned previously, it is structured to occur within the framework of the Product Breakdown Structure (PBS) to facilitate incorporation of the results” (NASA 2007, p295)

“Completion of the TRA should provide the following:

1. *A comprehensive review, using an established program Work Breakdown Structure as an outline, of the entire platform or system. This review, using a conceptual or established design, identifies program CTEs” (DOD 2012, p253)*

“The Defense Acquisition Guidebook, updated July 2011, specifically recommends the use of the Work Breakdown Structure (WBS) for a project to initially assist in identifying the CTEs (see Figure 4 for a sample DOE project WBS). The WBS has several beneficial attributes for this purpose:

- *It is readily available when system engineering practices are used.*
- *It evolves with the system concept and design.*
- *It is composed of all products that constitute a system and, thus, is an apt means to identify all the technologies used by the system.*
- *It relates to the functional architecture and, therefore, to the environment in which the system is intended to be employed.*
- *It reflects the system design/architecture and the environment and performance*

envelope for each product in the system” (DOE 2011, pages 16 à 17)

Dans la procédure Safran les technologies à évaluer dites critiques font partie des données d’entrée et ne sont pas incluses dans l’exercice d’évaluation contrairement aux procédures américaines. Pour ces dernières l’identification des technologies critiques est la première étape de l’évaluation TRL. De plus une technologie est critique lorsqu’elle est nécessaire au fonctionnement du système alors que sa démonstration présente un doute. Dans la procédure Safran la perspective est différente. Une technologie critique est une technologie qui confère un avantage stratégique : « Une Technologie Critique (TC) est une technologie qui confère un avantage différenciant d’ordre technique ou économique aux produits ou services fournis par l’entreprise ».

“Traditionally, from a program/project perspective, technology development has been associated with the development and incorporation of any “new” technology necessary to meet requirements. However, a frequently overlooked area is that associated with the modification of “heritage” systems incorporated into different architectures and operating in different environments from the ones for which they were designed. If the required modifications and/or operating environments fall outside the realm of experience, then these too should be considered technology development.” (NASA 2007, p62)

“Additionally, the state of any technology that is considered enabling must be properly monitored, and care must be taken when assessing the impact of this technology on the concept performance. This interaction is facilitated through a periodic assessment of the design with respect to the maturity of the technology required to implement the design.” (NASA 2007, p56)

“If a platform or system depends on specific technologies to meet system operational threshold requirements in development, production, operation, and sustainment, and if the technology or its application is either new or novel, then that technology is considered a critical or enabling technology. If there are any critical technology elements, they are to be evaluated during the Technology Development phase to assess technology maturity.” (DOD 2012, p 232)

“CTEs are the at-risk technologies that are essential to the successful operation of the facility, and are new or are being applied in new or novel ways or environment” (DOE 2011)

La deuxième étape de l’évaluation TRL est d’affecter un niveau TRL à chaque technologie critique. Elle s’appuie sur l’échelle TRL de l’organisation qui est donnée dans la procédure d’évaluation TRL. Pour cela, toutes les procédures TRL s’accordent sur le fait que le niveau TRL n’est pas absolu, c’est-à-dire qu’il n’est pas intrinsèque à une technologie mais qu’il est relatif non seulement à la technologie mais aussi à l’environnement qui l’intégrera.

To understand whether or not technology development is required—and to subsequently quantify the associated cost, schedule, and risk—it is necessary to systematically assess the maturity of each system, subsystem, or component in terms of the architecture and operational environment. (NASA 2007, p62)

“the creation of alternative design solutions involves assessment of potential capabilities offered by the continually changing state of technology” (p62)

“In the selection process, existing equipment or processes are utilized to the maximum extent possible. However, in many cases, particularly those processes performed in hazardous or remote environments, the equipment may not be commercially available. In these situations, efforts are made to adapt commercial technologies to the specific environment and requirements.” (DOE 2011, p5)

Ainsi des considérations sur l’environnement étaient nécessaires pour identifier les technologies critiques.

“All individuals involved in these steps [CTE identification] should be familiar with: [...] The role that “environment” has in identifying CTEs. (DOE 2011, p18)

The evaluation process should include the following steps for all CTEs (Reference: DoD Technology Readiness Assessment Deskbook, July 2009) :

[...] Describe the environment in which the technology has been demonstrated. Provide a brief analysis of the similarities between the demonstrated environment and the intended operational environment” (DOE 2011, p28)

“The environment in which the system will operate plays a significant role in answering these last four questions [to determine whether a technology is critical]. Generally, the requirement statement for the system will provide some description of the environment in which the system is expected/required to operate. This can be called the external or imposed environment. It may be natural or man-made, friendly or hostile (e.g., weather, terrain and hostile jamming, terrorism, and so forth). Another environment – the one generally more important for identifying and evaluating CTEs – can be called internal or realized environment. It is derived from the performance required of each design item (product, subsystem, component, WBS element).” (DOE 2011, p20)

Les TRL s’affectent donc plutôt à un couple Technologie-Environnement qu’à une technologie. L’enjeu de cet exercice est donc de saisir à quel point l’environnement que présente le système pour la technologie est différent des applications antérieures de la technologie. Pour cela, la procédure NASA met en garde sur l’intégration de technologies « sur étagère » car les conditions de l’espace peuvent faire chuter le TRL qui était pourtant élevé dans d’autres secteurs (NASA 2007, pages 76). Elle précise aussi une règle quand la technologie est mature dans le secteur spatial : une technologie

mature (TRL > 5) doit se voir réaffectée un TRL ne serait-ce que si on change l'architecture du système (NASA 2007, p297). La méthode proposée consiste à considérer d'abord que le TRL est 5 puis à répondre à des questions préétablies pour éventuellement affecter un TRL supérieur.

Cette double relativité est importante car l'environnement aussi est conçu. En conséquence, un effet de rétroaction ou d'interaction est possible. L'environnement peut être modifié selon les résultats de l'évaluation TRL. Finalement l'enjeu pour affecter un TRL est de comprendre la pertinence des démonstrations effectuées sur une technologie au regard de l'environnement réel de la technologie dans le système conçu.

“Normally, this would be the operational environment in which the system is intended to perform; however, this can be adjusted if the technology's environment will be controlled while it operates in the system in question”. (DOD 2011, page numéro 2-11)

“The architectural studies must incorporate the results of the technology maturation” (NASA 2007, p296).

La troisième et dernière étape de l'évaluation TRL consiste à définir les travaux à mener pour atteindre le TRL 6, ce qui permet la comparaison avec le coût et le délai spécifié pour le développement du système. Le détail de ces trois étapes varie très peu comme indiqué dans les procédures.

Ainsi la procédure NASA (2007, p295) décrit les étapes :

1. *Identify systems, subsystems, and components per hierarchical product breakdown of the WBS*
2. *Assign TRL to all components based on assessment of maturity*
3. *Assign TRL to subsystems based on lowest TRL of components and TRL state of integration*
4. *Assign TRL to systems based on lowest TRL of subsystems and TRL state of integration*
5. *Identify all components, subsystems, and systems that are at lower TRLs than required by program → Baseline technology maturity assessment*
6. *Perform AD² [Advancement Degree of Difficulty Assessment] on all components, subsystems, and systems that are below requisite maturity level → Technology Development Plan, Cost Plan, Schedule Plan, Risk Assessment*

La procédure DOE (2011, p8) décrit les étapes :

1. *Identifying the Critical Technology Elements (CTEs). [...]*
2. *Assessing the Technology Readiness Level (TRL). [...]*
3. *Developing a Technology Maturation Plan (TMP). [...]*

Enfin la procédure DOD (2012, p253) décrit les étapes par leurs livrables :

1. *A comprehensive review, using an established program Work Breakdown Structure as an outline, of the entire platform or system. This review, using a conceptual or established design, identifies program CTEs [Critical Technology Elements],*

2. *An objective scoring of the level of technological maturity for each CTE by subject matter experts,*
3. *Maturation plans for achieving an acceptable maturity roadmap for CTEs before critical milestone decision dates, and*
4. *A final report documenting the findings of the assessment panel.*

Ces livrables sont donc les informations de sortie de l'évaluation TRL. Dans la procédure NASA ces livrables varient à chaque itération. C'est aussi le cas dans la procédure DOE.

KDP [Key Decision Point] A—Transition from Pre-Phase A to Phase A: Requires an assessment of potential technology needs versus current and planned technology readiness levels, as well as potential opportunities to use commercial, academic, and other government agency sources of technology. Included as part of the draft integrated baseline.

KDP B—Transition from Phase A to Phase B: Requires a technology development plan identifying technologies to be developed, heritage systems to be modified, alternative paths to be pursued, fall-back positions and corresponding performance descopes, milestones, metrics, and key decision points. Incorporated in the preliminary project plan.

KDP C—Transition from Phase B to Phase C/D: Requires a TRAR [Technology Readiness Assessment Report] demonstrating that all systems, subsystems, and components have achieved a level of technological maturity with demonstrated evidence of qualification in a relevant environment. (NASA 2007, p294)

CD-0 [Critical Decision 0], Approve Mission Need: [...] The focus for technology development assessments, at this stage, should be on a clear statement of the requirements of the input and the desired output of the process, to include the safety strategy input, as applicable and appropriate. [...]

CD-1, Alternative Selection and Cost Range: [...] A TRA [Technology Readiness Assessment] should be performed during conceptual design, to support the CD-1 approval process and a TMP prepared, as applicable and appropriate. Any TMPs should be linked to the project risk assessment process as a whole. Prior to CD-1 approval, it is recommended that all Critical Technology Elements (CTEs) of the design should have reached at least TRL 4 and a TMP should have been prepared, or revised, for all CTEs that are not assessed to have reached the appropriate recommended level for CD-2, as applicable and appropriate.

CD-2, Performance Baseline: A TRA should be performed at least 90 days prior to reaching CD-2 to independently assure that the CTEs have in fact reached TRL 6 or the supportable recommended program/project's target level for CD-2, as applicable and appropriate. (DOE 2011, pages 14 à 15)

Nous avons donc décrit l'évaluation TRL en termes d'informations qu'elle nécessite en entrées, d'informations de sortie qu'elle produit et d'étapes qu'elle comprend pour y parvenir. Nous allons faire de même avec les figures d'acteur de l'évaluation TRL.

Figures d'acteur de l'évaluation TRL

Une procédure d'évaluation TRL s'adresse avant tout à une figure centrale, un acteur qui prépare et anime les réunions puis rédige leurs produits pour approbation. Dans le jargon aéronautique il s'agit d'un « pilote ». La procédure Safran indique qu'il peut s'agir d'un acteur référent sur une capacité technologique ou le pilote d'une feuille de route technologique. Cette figure d'acteur centrale s'appuie sur une équipe d'experts de diverses disciplines d'ingénierie identifiés lors de la planification et le chiffrage de l'évaluation TRL. Ces experts sont préférablement expérimentés dans l'exercice d'évaluation TRL et obligatoirement indépendants du projet. Chez Safran, des membres de l'équipe sont pris aussi parmi l'audit technique : « Le passage du jalon TRL 3 est réalisé sur avis formalisé par des experts désignés par la direction R&T ou audit technique. Le passage du jalon programme (TRL 5 ou 6 le cas échéant) est validé par une commission comprenant l'audit technique qui pourra se faire assister le cas échéant par des experts de son choix. »

“The handbook’s scope properly includes systems engineering functions regardless of whether they are performed by a manager or an engineer, in-house, or by a contractor.” (NASA 2007 p1)

“at the beginning of Pre-Phase A [beginning of Technology Assessment], the following should be provided:

- Establishment of the TA team” (NASA 2007, p295)

“The TRA is conducted and reported by the PM [Program Manager] who selects a team of subject matter experts to assist in conducting the TRA.” (DOD 2012, p253)

“The purpose of an IPR [Independent project Review] is to assist reducing technical risk and uncertainty which increases the probability of successful implementation of technical scope including new technologies. IPRs can include TRAs [Technology Readiness Assessments] to provide an assessment of the maturity level of a new proposed technology prior to insertion into the project design and execution phases to reduce technical risk and uncertainty.” (DOE 2011, p 16)

“IPR teams may be established to conduct TRA reviews and provide recommendations to the program/project sponsor and the Acquisition Executive in terms of the project technology readiness and maturity. These review teams serve in an advisory capacity at key project design points such as CD-0, CD-1, CD-2, and CD-3.” (DOE 2011, p8)

“At a minimum, team membership may consist of senior-level technical personnel and subject matter experts on the project. The team should also be able to leverage outside experts as appropriate to contribute to the review process.” (DOE 2011, p7)

“A third critical element of any assessment relates to the question of who is in the best position to make judgment calls relative to the status of the technology in question. For this step, it is extremely important to have a well balanced, experienced assessment team. Team members do not necessarily have to be discipline experts. The primary expertise required for a TRL assessment is that the systems engineer/user understands the current state of the art in applications. Having established a set of

definitions, defined a process for quantifying judgment calls, and assembled an expert assessment team, the process primarily consists of asking the right questions.” (NASA 2007, p297)

Nous avons terminé la description de l'évaluation TRL dans la modélisation de type processus. Notre compréhension des TRL nous permet donc de proposer des vérifications précises des conditions de l'engagement conceptif.

Description des tests à réaliser et d'une hypothétique évaluation TRL vérifiant les conditions de l'engagement conceptif

Les paragraphes précédents nous ont permis d'acquérir un premier niveau d'analyse des TRL pour chaque organisation récapitulé dans le tableau ci-après.

	NASA	DOD	DOE	Safran
Terme pour Evaluation TRL	<i>Technology Assessment</i>	<i>Technology Readiness Assessment</i>	<i>Technology Readiness Assessment</i>	Evaluation de la Maturité Technologique
Information d'entrée	Exigences techniques organisées par des modèles décomposant le système	Planning d'évaluation TRL, Equipe d'experts Performance, exigences techniques, design et WBS actuels	<i>Work Breakdown Structure (WBS)</i> du projet	La technologie critique à un niveau TRL inférieur à celui ciblé
Technologies critiques	nouvelles nécessaires pour atteindre les exigences et systèmes hérités dans des architectures ou des environnements différents	nécessaires à atteindre les exigences opérationnelles limites et nouvelles en soi ou nouvelles applications	à risque, essentielles pour l'opération de l'installation, et nouvelles ou appliquées dans un nouvel environnement	avantage différenciant d'ordre technique ou économique aux produits ou services fournis par l'entreprise
Environnements	Architecture, environnement opérationnel, conditions spatiales	Environnement opérationnel	Environnement opérationnel, déduit des exigences à tous les niveaux	conditions fonctionnelles de l'application cible
Figures d'acteur de l'évaluation TRL	Ingénieur/manager/contracteur (centrale) Équipe d'évaluation (ingénieur systèmes et experts disciplinaires)	<i>Program manager</i> (centrale), Experts, Approbateurs (comité de jalon, directeurs achats, programme ou R&T, direction ingénierie)	<i>Program manager</i> (centrale), Contracteur, Sponsor du projet, Équipe de revue indépendante du projet (experts) Directeur fédéral du projet (approbateur)	Référent de capacité ou de feuille de route technologique (centrale), Experts désignés par la direction R&T ou l'audit technique, Audit technique.
Information de sortie	KDP A - besoins technologiques faces aux TRL planifiés KDP B - Plan de développement technologique KDP C - Rapport avec les preuves des TRL atteints	La liste des technologies critiques, leur TRL de départ et les risques liés, le plan de maturation de ces technologies, un rapport final documenté	La liste des technologies critiques, leur TRL de départ, le plan de maturation de ces technologies, un rapport final documentant les résultats	Technologie prête à être maturée sur une plateforme de démonstration (TRL 3) ; Technologie à disposition du programme (TRL 5 ou 6)

Tableau 26: Récapitulatif de l'évaluation TRL dans chaque procédure

Nous pouvons donc établir les vérifications précises à mener sur l'évaluation TRL (Figure 27) ainsi qu'une hypothétique évaluation TRL pour l'échange dans l'inconnu en mettant en action l'engagement conceptif (Figure 28). Nous le faisons simultanément dans les paragraphes suivants.

L'évaluation TRL s'inscrit dans le processus de conception d'un système en identifiant ses technologies critiques. Il peut s'agir de technologies matures dans certains environnements mais pour lesquelles le système présente un nouvel environnement (conditions de fonctionnement, architectures du système). L'affectation d'un TRL est relative à la technologie mais aussi à son environnement. Or tous deux sont conçus. Un substrat technique pour l'engagement conceptif devrait donc stimuler des expansions des technologies (ΔT dans la Figure 28) et des environnements (ΔE) afin d'identifier des concepts alternatifs dont le TRL est plus élevé. Cela implique qu'il évite la fixation sur un concept de technologie (par exemple T_1 dans la Figure 28) ou un concept d'environnement (par exemple E_1) mais explore leurs alternatives. Des nouveaux concepts de technologies et d'environnements sont générés (T_3 et E_3 dans la Figure 28). L'affectation des TRL n'est pas fixée sur les propriétés connues des technologies (P_i) et des critères connus d'évaluation déjà inscrits dans l'échelle TRL de l'acheteur (V_i). Les propriétés connues des technologies mais non évaluables stimulent l'exploration par les acheteurs de nouveaux critères à adjoindre à l'échelle TRL ($P_i, V_i?, \Delta E$ dans le tableau en connaissances dans la Figure 28). Les critères d'affectation des TRL non adressés par les vendeurs font aussi l'objet d'explorations ($V_i, P_i?, \Delta T$ dans le tableau en connaissances dans la Figure 28). En conclusion la vérification sur le substrat technique consiste à observer si ces expansions sont réalisées au cours de l'évaluation TRL.

Concernant les figures d'acteur, nous avons décrit une figure centrale (pilote de l'évaluation tel qu'un ingénieur en conception des systèmes, un référent d'une capacité technologique ou un manager de programme). La première vérification à mener est que cet acteur s'engage avant les autres pour préparer les échanges à mener lors de l'évaluation TRL. La seconde vérification à mener est que ces préparations sont de nature à explorer une valeur collective, c'est-à-dire pour toutes les parties de l'échange ou encore à la fois pour les vendeurs et les acheteurs. Cette condition n'apparaît pas dans la Figure 28 car la théorie C-K n'explique pas les acteurs et leurs relations comme nous l'indiquons au chapitre 3 (pages 78 à 82).

Enfin concernant la philosophie gestionnaire, l'évaluation TRL doit déboucher sur la connaissance du TRL de chaque technologie critique eu regard de l'environnement que présente le système (TRL dans la Figure 3). De plus l'évaluation TRL permet d'établir les ressources nécessaires pour atteindre le TRL 6. Donc la connaissance du TRL d'un couple (T,E) est utilisée pour formuler des concepts de type de TRL augmenté (TRL de $(T_1, E_1) + 1, +2 \dots$ dans la Figure 28). Leur exploration permet d'envisager des démonstrations (Démonstrations possibles pour augmenter le TRL dans la Figure 28). Les ressources pour atteindre TRL 6 sont établies dans la continuité (coûts et délais de maturation de technologies dans la Figure 28). Or la condition de l'engagement conceptif est une philosophie de convergence générative, d'augmenter la valeur de toutes les alternatives avec les ressources disponibles. Donc l'évaluation TRL doit explorer ces concepts de TRL augmentés pour toutes les alternatives (T,E). En

conséquence, de façon classique les concepts de technologies identifiés en réponse à un besoin sont évalués (E_2 puis T_2 dans la Figure 28) mais de plus les environnements identifiés pour valoriser des nouvelles technologies sont aussi évalués (T_1 puis E_1 ou E_2 dans la Figure 28). Les concepts de technologies et d'environnements générés pendant l'évaluation TRL ($T_3?$ et $E_3?$) ont peu de chance d'être évalués car ils peuvent nécessiter des expertises supplémentaires et ils ne sont pas prévus dans le chiffrage et la planification de l'évaluation TRL. Mais ils sont évalués si les ressources le permettent quitte à adopter un niveau de détails et de précision moindre. De même les dimensions en double inconnu de la valeur ($P_i?$, $V_i?$) ne sont explorées que dans la mesure du possible. En conclusion nous devons vérifier que lors d'une évaluation TRL réelle le but des acteurs est d'augmenter le TRL de toutes les technologies et dans tous les environnements.

Acteurs : manager programme, équipe d'évaluation (experts, audit technique), contracteur,

Concepteur de valeur collective ?

Un acteur pour préparer les échanges ? Explore-il la valeur pour le collectif ?

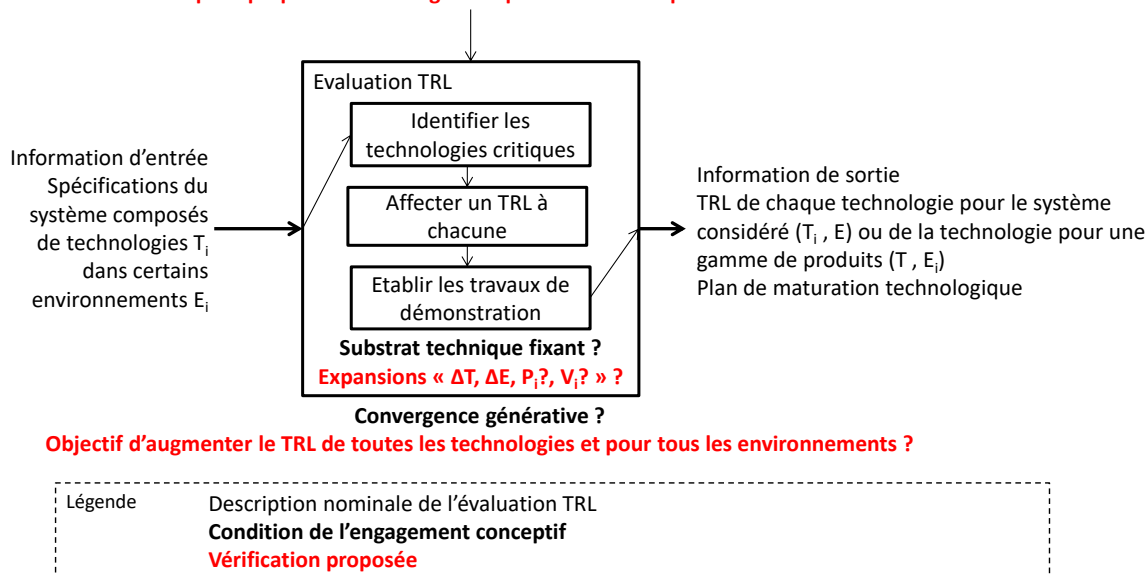


Figure 27 : Modélisation de l'évaluation TRL et tests à réaliser concernant sa compatibilité avec l'engagement conceptif

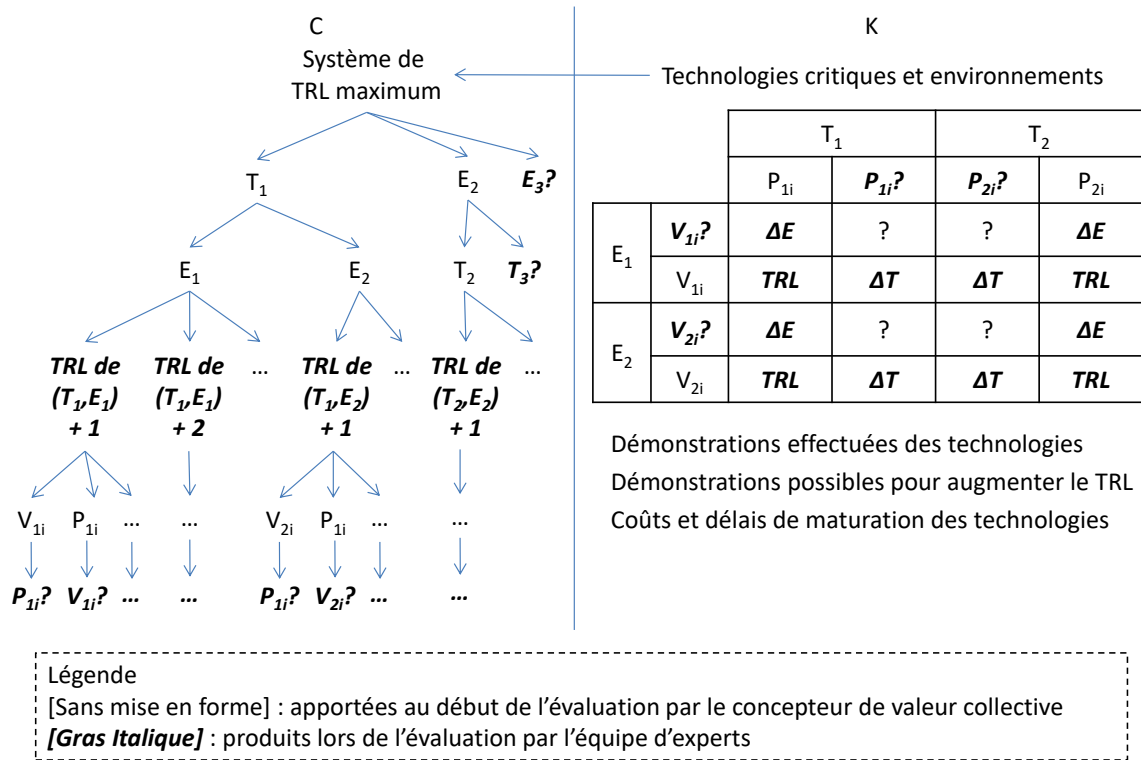


Figure 28 : Modélisation d'une hypothétique évaluation TRL vérifiant les conditions de l'engagement conceptif produisant des expansions des technologies et des environnements – la théorie C-K ne permet pas d'explicitier les relations entre les acteurs donc la condition sur le concepteur de valeur collective n'est pas représentée

Nous pouvons désormais mettre à l'épreuve l'évaluation TRL réelle. Les prochaines sections vérifient chacune une condition de l'engagement conceptif. Nous commençons par celle sur le substrat technique.

Mise à l'épreuve sur le substrat technique : pas d'expansions des environnements dans l'évaluation TRL réelle

Dans cette section nous menons les vérifications identifiées précédemment sur les figures d'acteur à savoir :

4. L'évaluation TRL permet-elle des expansions des technologies et de leurs propriétés ?
5. L'évaluation TRL permet-elle des expansions des environnements et des critères d'évaluation c'est-à-dire de passage des TRL ?

L'évaluation TRL évite la fixation sur une technologie qui retarderait le programme. Or cette fixation peut avoir deux conséquences majeures :

- intégrer une technologie de faible TRL et coûteuse en développement alors qu'une alternative avait un TRL plus élevé et était moins coûteuse à développer,
- négliger d'autres technologies dont l'évaluation aurait été pertinente car elles sont stratégiques ou critiques pour le fonctionnement du système

“A key benchmark is that the technologies of the program be demonstrated in a relevant environment at MS B [Milestone B] [...]. If this benchmark is not achieved, a waiver by the MDA [Milestone Decision Authority] is possible, but this waiver must be based on acceptable means of risk mitigation, such as inclusion of an alternative more mature technology as a funded option.” (DOD 2011, page numéro 2-2)

“If a technology is not mature, the DoD Component must use an alternative technology or discuss modifying requirements with the users.” (DOD 2012, p951)

“The SME [Subjects Matter Experts] team should make recommendations to the PM [Program Manager] (with associated rationale) on the candidate technologies that should be assessed in the TRA” (DOD 2011, page numéro 2-4)

Un des livrables de l'évaluation TRL est le plan de maturation technologique. Donc l'évaluation TRL est suivie d'explorations importantes des démonstrations des technologies. Elles sont exécutées par le vendeur tel que le contracteur de l'agence ou le fournisseur de Safran. En effet la procédure Safran indique : « Remarque : en cas de fournitures extérieures, il y a lieu de s'assurer que le fournisseur produise des livrables qui alimentent la procédure Safran pour évaluation et validation des niveaux de TRL. »

“Technology Development Plan [definition] : A document required for transition from Phase A to Phase B identifying technologies to be developed” (NASA 2007, p277)

“Technology Maturation Plan [definition]. A TMP details the steps necessary for developing technologies that are less mature than desired to the point where they are ready for project insertion” (DOE 2011, page numéro A-2)

“After the TMP is approved, the Contractor will prepare or modify detailed test plans to conduct the technology development activities described in the TMP. These test plans will define the test objectives, relevant environment, the scale of the planned tests, and performance targets (or success criteria) for the tests. Then, more detailed cost and schedule estimates will be prepared by the Contractor to support preparation of a Baseline Change Proposal (BCP), if required.” (DOE p32)

“The Contractor may conduct the technology development in house or work with DOE to select a technology developer by open procurements to industry, identification of national laboratories with appropriate expertise, etc. Schedule status will be maintained by the contractor based on periodic updates from the technology development performer.” (DOE 2011, p32)

Lorsque le TRL est faible, au lieu de changer la technologie on peut changer l'environnement. Plus précisément, l'évaluation TRL permet d'argumenter un changement dans les exigences au plus haut niveau. Mais ce changement a lieu en dehors de l'évaluation TRL.

“If technology is not mature, the DoD Component shall use alternative technology that is mature and that can meet the user’s needs or engage the user in a dialog on appropriately modifying the requirements.”(DOD 2012, p951)

Nous avons vu précédemment que l’environnement (exigences techniques, WBS...) est une information d’entrée de l’évaluation TRL. L’avantage de l’évaluation TRL est de traduire l’environnement en critères permettant d’évaluer les technologies. Ainsi trois critères génériques sont employés au DOE à savoir l’échelle de test, la fidélité du système et l’environnement. La procédure NASA indique que les critères de l’échelle TRL sont très généraux et qu’avant d’affecter un TRL il faut les adapter à la situation, les redéfinir. Il s’agit de traduction de critères connus plutôt que de génération de critères inconnus car l’enjeu est de s’assurer que les experts donnent bien le même sens au vocabulaire technique. Ainsi les questions posées par l’acteur central sont prédéterminées. Ces questions sont suffisamment fixes pour qu’assigner un TRL soit automatisé. Ainsi le *TRL Calculator* est une feuille Excel combinant les réponses aux questions adressant chacune un critère de sorte à calculer le TRL (DOE 2011, pages 28 à 29). Enfin la procédure Safran indique que chaque société possède son jeu de critères à partir d’une définition commune des TRL issues de l’adaptation de celles de la NASA. Cette liste de livrables à fournir pour « passer un TRL » est construite par les responsables de la R&T et de l’audit technique. Le passage étant interne à une société, le type de produits qui pourraient intégrer la technologie est fixé ou du moins borné. Les critères de passage de chaque TRL sont définis de façon indépendante dans chaque société.

“Subsequently, the DOE Office of Environmental Management (EM) conducted several pilot TRAs in their projects using an adaptation of the NASA/DoD TRA model for evaluating technology maturity and reported that the benefits of using the TRAs process include providing a structured, criteria-based, and clearly documented assessment.” (DOE 2011, p2)

“Inputs to the process [Technology Assessment] will vary in level of detail according to the phase of the program/project, and even though there is a lack of detail in Pre-Phase A, the TA [Technology Assessment] will drive out the major critical technological advancements required at the beginning of Pre-Phase A, the following should be provided:

- [...]
- *Establishment of meaningful evaluation criteria and metrics that will allow for clear identification of gaps and shortfalls in performance.” (NASA 2007, p295)*

“Testing should be done in the proper environment and the technology tested should be of an appropriate scale and fidelity. A DOE/ EM example of the TRL requirements and definitions regarding testing “scale,” “system fidelity,” and “environment” are provided in Tables 2 and 3” (DOE 2011, p8)

“The evaluation process should include the following steps for all CTEs (Reference: DoD Technology Readiness Assessment Deskbook, July 2009):

- [...]

- Apply the criteria for TRLs and assign a readiness level to the technology. State the readiness level (e.g., TRL 5) and the rationale for choosing this readiness level.” (DOE 2011, p28)

“A primary cause of difficulty is in terminology—everyone knows what a breadboard is, but not everyone has the same definition. Also, what is a “relevant environment”? What is relevant to one application may or may not be relevant to another.[...]Even with clear definitions there will be the need for judgment calls when it comes time to assess just how similar a given element is relative to what is needed (i.e., is it close enough to a prototype to be considered a prototype, or is it more like an engineering breadboard?)” (NASA 2007, p297)

“Having established a set of definitions, defined a process for quantifying judgment calls, and assembled an expert assessment team, the process primarily consists of asking the right questions. The flowchart depicted in Figure G-5 demonstrates the questions to ask to determine TRL at any level in the assessment.” (NASA 2007, p298)

“In its present form, the calculator is a Microsoft Excel spreadsheet application that allows the user to answer a series of questions about a technology project. Once the questions have been answered, the calculator displays the TRL achieved. [...] the TRL Calculator is one tool that can serve to answer the question of how one can measure TRLs for CTEs using a standardized method.” (DOE 2011, p28)

Donc d’après les procédures les environnements sont fixés au cours de l’évaluation TRL. La période avant intervention du cas Thermoélectricité est aussi révélatrice. Elle était pilotée par le processus R&T qui s’appuie sur les TRL. Or nous avons vu dans le chapitre 6 qu’à cette période l’exploration est fixée sur un produit Safran et se limite à trois zones d’implantation de générateurs thermoélectriques et une utilisation de la puissance électrique et mène une évaluation sur des critères préétablis (p135). Lorsque la direction de l’innovation reprend contact avec le rédacteur de la fiche idée et mène une première évaluation, l’exploration de davantage d’applications de la technologie des générateurs thermoélectriques est prescrite. Cette prescription n’est pas liée au TRL mais aux recommandations de l’équipe de chercheurs.

En conclusion l’évaluation TRL induit des fixations trop importantes sur les environnements pour mettre en action l’engagement conceptif. Nous continuons l’exercice sur les autres conditions de l’engagement conceptif car nos apprentissages sur l’échelle TRL serviront dans les expérimentations de nouveaux outils.

Mise à l’épreuve sur les figures d’acteur : pas de concepteur de valeur collective dans l’évaluation TRL réelle

Dans cette section nous menons les vérifications identifiées précédemment sur les figures d’acteur à savoir :

- a. La figure centrale s’engage-t-elle avant les autres pour préparer les échanges ?
- b. La préparation de la figure centrale est-elle de nature à explorer la valeur collective ?

Dans les procédures américaines, un premier travail préparatoire de la figure centrale consiste à chiffrer et planifier l'évaluation TRL dans un projet ou un programme. Elle sollicite des directeurs afin d'obtenir la participation d'experts. Ces ressources et leur financement nécessitent l'approbation hiérarchique.

"The TRA [Technology Readiness Assessment] planning process begins when the PM [Program Manager] establishes a plan for conducting the TRA, typically after MS A [Milestone A]. After the TRA plan is approved by the PEO [Program Executive Officer] and CAE [Component Acquisition Executive], it is provided to ASD(R&E) [Assistant Secretary of Defense for Research and Engineering] by the PM. The TRA plan should include a schedule that aligns with the Acquisition Strategy (AS)" (DOD 2011, page numéro 2-5)

"The CAE/PEO and S&T [Science and Technology] Executive :

– Approves the PM's TRA plan and assigns additional participants as desired. (DOD 2011, page numéro 2-2)

"The PM :

- [...]

- In consultation with ASD(R&E) and with PEO and CAE approval, identifies the subject matter expertise needed to perform the TRA.

- Assigns members of the SME team and informs the CAE, PEO, ASD(R&E), and S&T Executive of the final membership." (DOD 2011, pages numéro 2-2 à 2-3)

"External Independent Review [definition]. A project review performed by personnel from OECM [Office of Engineering and Construction Management] and augmented by individuals outside DOE, primarily to support validation of either the Performance Baseline (CD-2) or Construction/Execution Readiness (CD-3). OECM selects an appropriate group of subject matter experts in a contracted capacity to assist with these reviews." (DOE 2011, page numéro A-1)

La préparation de la figure centrale consiste aussi à fournir aux experts les connaissances du système nécessaires pour participer à l'évaluation. A ces fins, le contracteur du système doit collaborer avec le manager de programme au minimum en fournissant les données requises.

"The PM [Program Manager] [...]

– Familiarizes the SME team with the program, the performance and technical requirements, and the designs under consideration

– Provides evidence of technology demonstration in relevant environments to the SME team for assessment, including contractor data as needed.

– Provides technical expertise to the SME team as needed." (DOD 2012, page numéro 2-3)

“The program manager and the suppliers should present clear, convincing, and succinctly summarized data that show what is known/not known about the environment and should explain the similarities and dissimilarities between the expected/demonstrated environments.” (DOE 2011, p20)

“The program manager, the program office technical staff and the system contractors – the people best informed about the system – should lead the first step. In any case, they should be able to defend the logic of the method/process used for identifying the CTEs.” (DOE 2011, p18)

La figure centrale est chargée de préparer des brouillons pour l'équipe d'évaluation à chaque étape, à savoir l'identification des technologies critiques, l'affectation d'un TRL à chacune et l'édition du plan de maturation technologique.

“The PM [Program Manager] [...]

– Prepares a draft TRA schedule and incorporates the approved version in the program’s Integrated Master Plan (IMP) and Integrated Master Schedule (IMS). [...]

– Provides proposed risk-mitigation plans to address remaining technological risk associated with critical technologies to the SME team, independent of levels of demonstration.

– Prepares the TRA report that will include findings, conclusions, and other pertinent material prepared by the SMEs” (DOD 2012, page numéro 2-3)

“The Project Manager/Contractor prepares the draft TMP [Technology Maturation Plan].” (DOE 2011, p31)

“In the first step, the CTE definition is applied across the system’s WBS or flow diagram to identify critical technology candidates.[...]The program manager, the program office technical staff and the system contractors – the people best informed about the system – should lead the first step.” (DOE 2011, p18)

Ayant vérifié le point sur la préparation, nous devons vérifier que cette préparation conçoit la valeur collective. D'après l'ensemble des citations précédentes on peut faire l'hypothèse que le travail de préparation n'est pas de nature conceptive. Nous pouvons appuyer cette hypothèse en mobilisant les cas Thermoélectricité et Caloducs.

Au début du cas Thermoélectricité, l'étude de faisabilité vise un TRL 2 pour toutes les sociétés. Notamment la fiche action résumant les livrables du centre de recherche indique comme enjeu « TRL2 en 2015 ». Au cours de l'étude, Safran constate que les générateurs thermoélectriques sont TRL 4 au sein du centre de recherche. Cependant les organisations conserveront un TRL différent, l'étude de faisabilité ne nécessite pas un consensus qui nécessiterait des critères d'affectation des TRL communs. Si le TRL était une valeur collective, les acteurs auraient reconçu une échelle TRL commune à partir des échelles de chaque organisation. De plus, lorsqu'un passage de TRL 2 est

convoqué après l'étude de faisabilité, il est interne à une société qui a ses propres critères de passage des TRL préétablis au lieu d'impliquer toutes les sociétés de l'étude de faisabilité⁶³.

Dans le cas Caloducs, le vendeur se plaint lorsque la technologie qu'il propose est affectée d'un TRL 4 par un acheteur. Au jalon de lancement de l'étude de faisabilité cette technologie est affectée d'un TRL 2 qui n'est pas remis en question par les acheteurs et qui a été proposé par le vendeur. Pourtant les critères d'affectation des TRL n'ont pas été rediscutés entre les deux événements. En effet le TRL n'était toujours pas tranché lors des ultimes réunions avant le jalon dont le doctorant pilotait la préparation.

Ces désaccords montrent que le consensus sur le TRL n'est pas une condition de l'action collective et que lorsqu'il est obtenu, lorsque cette valeur est partagée, elle n'est pas la conséquence d'un effort de conception.

En conclusion de cette section, l'évaluation TRL ne suppose pas de concepteur de valeur collective ce qui la rend d'autant plus incompatible avec l'échange dans l'inconnu. A présent nous devons aborder la condition sur la philosophie gestionnaire

Mise à l'épreuve sur la philosophie gestionnaire : l'évaluation TRL réelle suppose une philosophie de convergence générative

Dans cette section nous menons les vérifications identifiées précédemment sur la philosophie gestionnaire à savoir :

6. L'objectif des acteurs participant à une évaluation TRL est-il d'augmenter le TRL de toutes les technologies ?
7. L'objectif des acteurs participant à une évaluation TRL est-il d'augmenter le TRL pour tous les environnements ?

Dans la procédure DOE, l'évaluation TRL est un moyen d'assurer des bonnes pratiques décisionnelles.

"The process [Technology Readiness Assessment] also identifies specific actions to reduce risk, assists in comparing candidate technologies, promotes decision-making discipline, and improves technical communication" (DOE 2011, p2)

"The primary purpose of using the above Technology Readiness Level definitions (Levels 1 through 9) is to help management in making decisions concerning the development and maturation of technology to ensure it can perform its intended mission. Advantages include:

- [...]
- Assist in making decisions concerning technology funding.
- Assist in making decisions concerning transition of technology.

⁶³ Le doctorant n'a pas pu assister à la réunion de passage du TRL mais a obtenu les documents de préparation et le compte-rendu.

- *Assist in selecting the best technology alternative.*” (DOE 2011, pages 24 à 25)

Mais ces décisions sont reportées à des phases postérieures à l'évaluation TRL. Le DOE avertit bien qu'il faut conduire l'évaluation TRL complète avant de décider entre des technologies alternatives. L'indicateur TRL seul n'est pas suffisant, le plan de maturation des technologies est aussi nécessaire. C'est ce dernier qui permet la comparaison des ressources (budget, temps, hommes...) nécessaires pour amener chaque technologie au TRL 6. La philosophie de l'évaluation TRL est donc bien d'employer des ressources de façon à augmenter le TRL de toutes les technologies alternatives pour un système donné.

“The user of this Guide is cautioned in using only the technology readiness level metric as the single criterion for deciding between competing alternatives. The bases for the decision should include the degree of difficulty to mature the technology alternatives to the desired level, including consideration of risks, cost, and schedule associated with the technology maturation process” (DOE 2013, p6)

“A technology judged to have a relatively low TRL (e.g., 3) may be easier and less costly to develop to TRL 6 than a technology with a higher TRL” (DOE 2013, p8)

“A TRA/TMP supporting CD-1 may be used to (a) assess the relative maturity and maturation requirements of competing technologies and provide a basis for input into the selection amongst them” (DOE 2013, p14)

Donc la philosophie de convergence sur les technologies est bien générative. Il convient de procéder à la même vérification sur les environnements. Pour cela rappelons que l'évaluation TRL s'inscrit dans la conception d'un système. Les procédures NASA et DOD sont alors soucieuses de maintenir l'exploration en parallèle le plus longtemps possible mais pas la procédure DOE comme le montre les citations suivantes. En particulier le DOD insiste sur la mise en compétition de contracteurs jusqu'au prototypage du système complet. L'évaluation TRL est alors effectuée séparément sur chaque système alternatif. Cependant le rôle qu'elle a dans la sélection de ces compétiteurs n'est pas précisé.

“When considering a decision, it is important to ask questions such as: Why is a decision required at this time? For how long can a decision be delayed? What is the impact of delaying a decision?” (NASA 2007, p197)

“Example Sources of Risk : [...]Lack of concurrent development of enabling products for deployment, training, production, operations, support, or disposal” (NASA 2007, p145)

“the ASR [Alternative System Review] should identify key system elements that two or more competing teams will prototype prior to Milestone B” (DOD 2012, p229)

“Of critical importance to this review [the Alternative System Review] is the understanding of available system concepts to meet the capabilities described in the Initial Capabilities Document (ICD)

and to meet the affordability, operational effectiveness, technology risk, and suitability goals inherent in each alternative concept. Additionally, competition across the alternatives should be evaluated and discussed” (DOD 2012, p229)

“Projects that perform concurrent technology development and design implementation run the risk of proceeding with an ill-defined project baseline” (DOE 2011, p1)

“current policy requires the formulation of pending and future programs with strategies and funding that provide for two or more competing teams producing prototypes through (prior to) Milestone B” (DOD 2012, p83)

“Since the TRA [Technology Readiness Assessment] must be based on the technologies of the program that entail some element of risk, TRAs may have to be performed on all the competitors’ proposals in a source selection” (DOD 2011, page numéro 1-1)

“The PM [Program Manager] should prepare an initial list of potential technologies to be assessed. When competing designs exist, the PM should identify possible technologies separately for each design” (DOD 2011, page numéro 2-6)

En conclusion de cette section, la condition de philosophie de convergence générative est bien celle de l'évaluation TRL. L'évaluation TRL réelle se rapproche donc un peu de celle idéale du point de vue de l'engagement conceptif que nous décrivions précédemment. Ayant mené toutes les vérifications sur les conditions de l'engagement conceptif, nous pouvons intégrer nos résultats dans la modélisation de l'évaluation TRL réelle en comparaison avec l'idéale émise précédemment.

Modélisation de l'évaluation TRL réelle insuffisante pour l'engagement conceptif

Avant de conclure ce chapitre nous pouvons revenir sur l'évaluation TRL hypothétique qui mettrait en action l'engagement conceptif. Théoriquement elle aurait permis des échanges dans l'inconnu entre la direction de l'innovation et les sociétés mais nous ne l'avons pas expérimenté. Cependant nous pouvons expliquer pourquoi l'évaluation TRL réelle n'est pas adaptée aux échanges dans l'inconnu et ne permet pas aux fiches idées issues des DKCP de bénéficier de ressources d'exploration. Dans l'inconnu très peu de connaissances des technologies sont disponibles. Elles ont donc très peu de chance d'avoir des propriétés dans les mêmes dimensions que les critères de l'échelle TRL. De plus en l'absence d'expansions des environnements, le peu de propriétés connues de ces technologies ne leur confère aucune valeur pour les acheteurs puisqu'elles ne correspondent pas à leur critère. Ceux-ci chercheront plutôt une autre technologie plus mature. La figure ci-après reprend ces lacunes de l'évaluation TRL réelle. Une conséquence concrète que suggère cette analyse formelle est que l'évaluation TRL est inapplicable dès lors que le concept de la fiche idée porte sur un produit inconnu (radicalement nouveau) même si la technologie qu'il requiert a été intégrée dans des produits existants. Une autre conséquence est que si l'on considère une technologie émergente ou ayant fait ses preuves dans d'autres secteurs industriels, en suivant la logique d'évaluation TRL

Safran n’a la possibilité d’en tirer profit que si elle est identifiée comme alternative à une technologie existante ; pourtant elle pourrait ouvrir des nouveaux espaces de valeur et diversifier l’offre Safran.

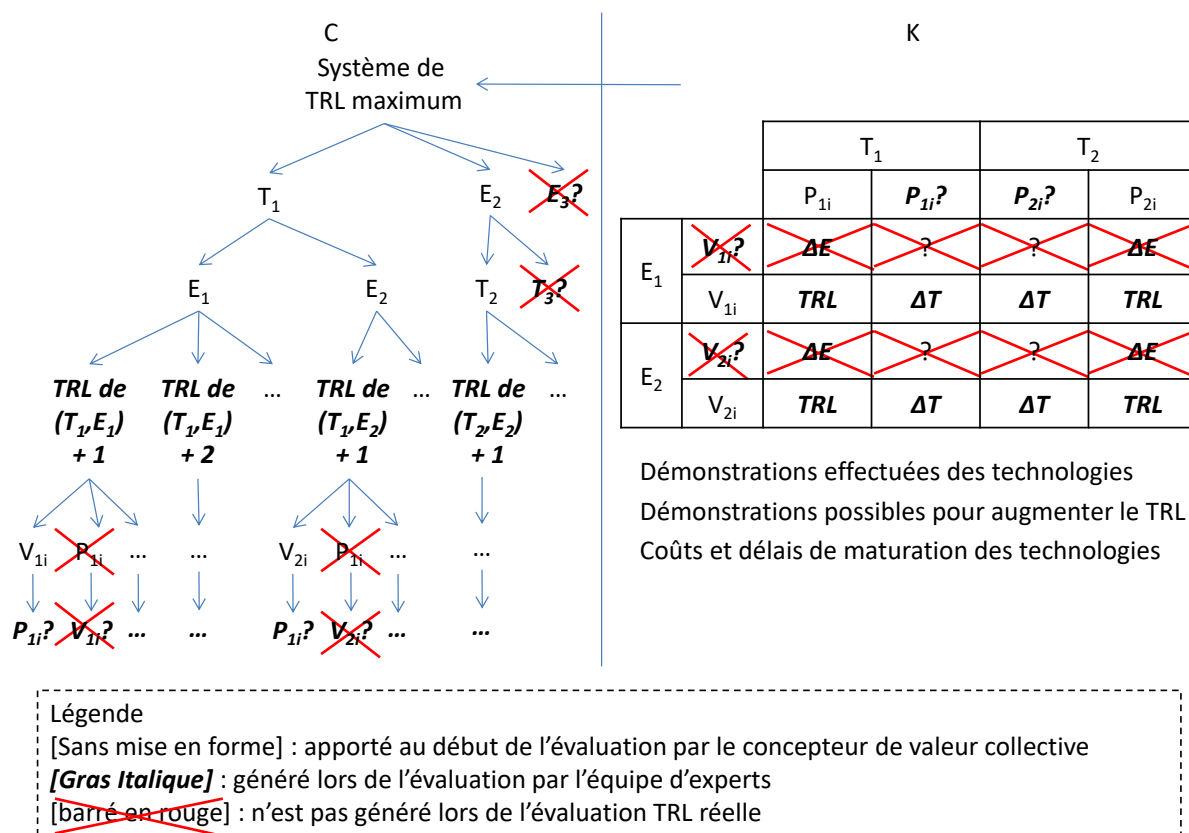


Figure 29 : Modélisation de l'évaluation TRL réelle qui ne produit pas d'expansion des environnements la rendant incompatible avec l'engagement conceptif – celle sur le concepteur de valeur collective n'est pas représentée du fait de l'absence de modèle relationnel dans la théorie C-K

A présent nous pouvons clôturer ce chapitre.

Conclusion de chapitre 8

Nous avons mise à l'épreuve l'échelle TRL en la modélisant et en vérifiant les conditions de l'engagement conceptif à partir de données empiriques de diverses organisations, à savoir les procédures TRL des agences gouvernementales américaines et de Safran. Nous avons aussi mobilisé les cas d'exploration Thermoélectricité et Caloducs qui ont été positionnés sur l'échelle TRL à diverses reprises. Nos résultats indiquent que l'évaluation TRL est inadaptée à l'échange dans l'inconnu car (1) elle ne stimule pas d'expansion des environnements et des critères d'affectation (de passage) des TRL et (2) car sa préparation par un acteur n'est pas de nature conceptive voire n'est pas de nature collective. Cela explique pourquoi cet outil d'engagement de ressources n'a pas permis aux fiches idées issues des DKCP de bénéficier de ressources d'exploration. La limite majeure de notre étude est qu'elle s'appuie peu sur des cas concrets. Mais cette consolidation suppose de lever des barrières de confidentialité nouvelles. Elle pourrait être consolidée autrement, en mesurant la déviance entre les procédures et l'action réelle des acteurs. Elle peut aussi amener à améliorer des procédures d'évaluation TRL pour les rendre exploitables dès l'atelier de créativité.

Résumé de chapitre 8

Le chapitre 7 montrait que l'échelle TRL est un outil d'engagement de ressources dans l'échange de technologies d'où la pertinence de son étude. **Le présent chapitre met l'échelle TRL à l'épreuve des conditions de l'engagement conceptif.** Les données mobilisées sont les procédures des agences gouvernementales américaines et de Safran ainsi que les cas Thermoélectricité et Caloducs.

Nous proposons d'abord une modélisation de type processus de l'application de l'échelle TRL, dite « évaluation TRL ». Elle met en avant les étapes (1) identification des technologies critiques (stratégiques, ou nouvelles et nécessaires au fonctionnement du système) (2) affectation d'un TRL à chaque technologie en fonction de l'environnement (3) édition du plan de maturation des technologies. Les acteurs de l'évaluation TRL sont une figure centrale (exemple : directeur de programme) et des experts indépendants. Nous modélisons avec la théorie C-K une hypothétique évaluation TRL vérifiant les conditions de l'engagement conceptif et des vérifications précises à mener sur l'évaluation TRL réelle. La condition de substrat technique non fixant implique que nous vérifions que les technologies, leurs propriétés, les environnements et leurs critères d'évaluation de passage de TRL sont en expansion. La condition d'acteur concepteur de valeur collective implique que nous vérifions que la figure centrale de l'évaluation TRL s'engage dans la préparation des échanges et que cette préparation est de nature conceptive de valeur collective. La condition de philosophie de convergence générative dans laquelle les ressources sont employées à augmenter la valeur de toutes les alternatives implique de vérifier que les participants de l'évaluation TRL ont pour but d'augmenter le TRL de chaque technologie pour tous les environnements.

Concernant le substrat technique, les procédures et le cas thermoélectricité avant intervention montrent que l'évaluation TRL permet des apprentissages importants sur les technologies et évite la fixation sur une mais **fixe les environnements et leurs critères d'évaluation.**

Concernant les figures d'acteur, **la figure centrale de l'évaluation TRL prépare les échanges mais pas en concevant puisque chaque partie de l'échange a des critères TRL préétablis qui lui sont propres** comme l'indiquent les procédures et les désaccords sur le TRL des explorations Thermoélectricité et Caloducs.

Concernant la philosophie gestionnaire, elle est bien celle d'une convergence générative. Les procédures insistent pour que les technologies soient toutes évaluées jusqu'à obtenir leur plan de maturation au TRL 6 pour tous les environnements (prototypes du système en compétition).

La théorie C-K permet de modéliser les expansions lacunaires des environnements et l'augmentation du TRL de toutes les alternatives mais elle ne rend pas compte de l'absence de concepteur de valeur collective ni des relations entre les acteurs.

En conclusion, bien que notre étude soit limitée par le peu de données de terrain spécifiques à l'application de l'échelle TRL, elle explique que **cet outil d'engagement de ressources n'a pas permis aux fiches idées issues des DKCP de bénéficier de ressources d'exploration car elle induit des fixations des environnements et de leurs critères d'évaluation à tous les acteurs.**

Conclusion de la partie 4 : Quels modèle et outil face aux limites de l'échelle TRL ?

Pour conclure cette partie nous récapitulons les résultats obtenus puis nous identifions leurs limites vis-à-vis de nos hypothèses de recherche et de l'objectif de cette recherche-intervention.

Résultats de la partie 4 : L'échelle TRL, un outil d'échange de technologie insuffisant pour l'engagement conceptif

Nous constatons dans les parties précédentes qu'une difficulté d'échanger dans l'inconnu se caractérise par l'absence de ressources d'exploration des concepts. La partie 3 élaborait alors le modèle de l'engagement conceptif de ressources à partir de cas d'explorations permises par cette recherche-intervention. Nous devons encore proposer un outil pour systématiser et pérenniser ce modèle chez Safran. Pourtant l'entreprise semble déjà faire usage d'un tel outil : il s'agit de l'échelle *Technology Readiness Levels* (TRL). La partie 4 propose alors de tester l'hypothèse que l'outil TRL met en action le modèle de l'engagement conceptif, cela permet de comprendre pourquoi il n'a pas permis aux fiches idées de bénéficier de ressources et de proposer un outil dépassant ces limites.

Le chapitre 7 montre que l'échelle TRL est créée comme outil d'échange de technologies innovantes entre la recherche et le développement au sein de la NASA. Elle s'est diffusée mondialement dans de nombreux secteurs comme outil d'engagement de ressources car un TRL élevé fait la promesse d'un programme sans dépassements de coûts et de délais. Les procédures des agences gouvernementales américaines recommandent de l'employer le plus tôt possible dans les processus de conception des systèmes et la direction de l'innovation Safran l'emploie pour le lancement d'études de faisabilité. Ces points positionnent l'échelle TRL comme candidat à mettre en action l'engagement conceptif.

Le chapitre 8 met à l'épreuve des conditions de l'engagement conceptif l'échelle TRL sur la base des procédures d'application de l'échelle TRL des agences gouvernementales américaines (NASA, DOD, DOE) et de Safran mais aussi des cas Thermoélectricité et Caloducs. La condition de substrat technique non fixant implique de vérifier les expansions que crée le processus sur les technologies et leurs propriétés puis sur les environnements et leurs critères d'évaluation. Or nous constatons que les critères d'affectation (de passage) des TRL sont préétablis. Concrètement cela signifie qu'une technologie avec très peu de propriétés connues a très peu de chances de passer les TRL successifs puisque les critères ne correspondront pas à ses propriétés. Il faudrait inventer des critères TRL correspondant aux propriétés connues mais les procédures actuelles préfèrent exiger au vendeur de la technologie d'établir les propriétés correspondant aux critères préétablis. La condition de concepteur de valeur collective sur les figures d'acteur implique de vérifier que la figure centrale (le pilote) lors de l'application de l'échelle TRL prépare les échanges en concevant la valeur pour toutes les parties de l'échange. Or nous constatons que la préparation d'une évaluation TRL n'est pas de nature conceptive et que chaque partie de l'échange conserve ses propres critères d'évaluation.

Concrètement cela signifie qu'un acteur propose des nouvelles technologies mais aussi des nouveaux environnements (nouveaux produits ou marchés non traités dans les procédures) et questionne leurs experts pour établir des propriétés et critères d'évaluation ; cela fait défaut dans l'évaluation TRL.

Enfin la condition de philosophie de convergence générative implique que l'application de l'échelle TRL ait pour but d'augmenter le TRL de chaque alternative. Or nous constatons qu'effectivement le but dans les procédures est d'obtenir le plan de maturation au TRL 6 de chaque technologie dans chaque environnement. Ces résultats offrent des perspectives d'amélioration de la procédure d'évaluation TRL Safran afin qu'elle ne fige pas l'action collective dans l'inconnu, que les concepts les plus « originaux » bénéficient d'un minimum d'exploration. Cependant ce n'est pas l'axe que nous avons suivi dans cette recherche-intervention comme nous l'expliquons ci-après au travers des limites de la partie 4.

Limites de la partie 4 : quelle alternative à l'échelle *Technology Readiness Levels* (TRL) dans l'inconnu ?

Afin d'identifier les limites de cette partie nous proposons de revenir sur nos hypothèses de recherche émises au chapitre 3. L'insuffisance de l'échelle TRL laisse en suspens les limites de la partie 3 mais donne des indications importantes pour compléter cette recherche-intervention.

Concernant le modèle d'action collective pour échanger dans l'inconnu, nous formulons l'hypothèse suivante : « Construction d'un modèle qui génère la relation vendeur-acheteur et les expansions de connaissances de types technologie (ΔT) ou environnement (ΔE) ; celles-ci sont la conséquence d'un engagement de ressources et co-évoluent avec des concepts de propriétés de technologies ($P_i?$) ou de critères d'évaluation ($V_i?$) formant des calculs inconnus de la valeur ». La partie 4 confirme que le pilotage des ressources d'une exploration pour les maintenir voire en obtenir des supplémentaires est critique. De plus elle précise que les expansions des environnements montrent des difficultés supplémentaires à celles des technologies. Cette partie suggère donc que le modèle d'action permette de contrôler avec rigueur les expansions des technologies et des environnements, et d'assurer que les acheteurs génèrent des critères d'évaluation nouveaux au lieu de se fixer dans des schémas connus. La partie 4 confirme aussi la nécessité que la relation vendeur-acheteur soit endogène au modèle. Si la théorie C-K permet de modéliser les expansions et la philosophie de convergence des acteurs, elle mélange le raisonnement des vendeurs et des acheteurs ce qui rend le travail du concepteur de valeur collective plus difficile. Dans une logique d'échange, comment solliciter un acteur comme ressource d'exploration pour sa compétence si il n'est pas possible de l'identifier comme vendeur ou comme acheteur ? Inversement, dans une logique conceptive, comment identifier la compétence permettant de faire progresser un concept si on ne sollicite pas des potentiels acheteurs et vendeurs ? Cet entrelacement entre conception et échange guidera les investigations de la partie suivante sur l'ensemble de nos questions de recherche.

Nous formulons l'hypothèse de substrat technique supportant l'exploration collective en prévenant la fixation. La partie 3 montrait que chaque exploration présente des nouvelles fixations potentielles. Ainsi la théorie C-K permet d'identifier des fixations en toute généralité (et non pas spécifique à la récupération d'énergie par exemple). Quel outil, quelle méthode pour identifier et prévenir des fixations en toute généralité ? La partie 4 indique que la première des fixations à éviter est celle sur les environnements aux dépens des technologies.

L'hypothèse de 3^{ème} acteur ni vendeur ni acheteur s'est vu précisée dès la partie 3 avec la figure du concepteur de valeur collective. La partie 4 montre un exemple d'acteur qui pilote un collectif sans effort de conception anticipant les explorations de vendeurs et/ou d'acheteurs. Nous devons donc être vigilants à ce que cet acteur reste dans un effort de conception et n'adopte pas prématurément des outils de coordination du connu (par exemple la matrice d'assignation des responsabilités RACI).

La philosophie de convergence générative est bien celle de l'évaluation TRL telle que décrite dans les procédures. Ces dernières précisent même qu'il faut retarder la décision et que le TRL à lui seul est insuffisant à éliminer des alternatives, qu'il faut obtenir le plan de maturation de chacune. Nous devons être vigilants à ne pas dégrader ce point positif qui n'est pas mis en relief dans la procédure Safran comme elle l'est dans les procédures des agences gouvernementales américaines.

Partie 5 – L’engagement conceptif : moduler l’expansion par le rapport Technologie-Environnement

L’application de l’échelle TRL ne permet pas d’échanger dans l’inconnu car ce modèle d’engagement de ressources fixe les environnements et leurs critères d’évaluation. Dans cette partie nous proposons donc un modèle de la double expansion Technologie-Environnement sur lequel nous construisons la méthode PEPITE (Pilotage de l’Exploration Par les Invariants Technologie et Environnement). Elle permet de piloter les échanges dans l’inconnu en concevant la valeur pour tout le collectif.

Sommaire de la partie 5

Chapitre 9 – Le formalisme C-K T / C-K E, modèle d’action aux expansions de la frontière Technologie-Environnement.....201

Expansions à la frontière Technologie-Environnement en fixant l’invariant Technologie ou Environnement..... 201

Déplacer ou étendre la frontière Technologie-Environnement sur une chaîne de conception..... 202

Fixation de l’environnement pour explorer les technologies ($\Delta T/\delta E$) dans l’approche market pull ... 204

Fixation de la technologie pour explorer les environnements ($\delta T/\Delta E$) dans l’approche technology push 206

Synthèse : expansion de la frontière Technologie-Environnement par le contrôle de l’invariant Technologie ou Environnement..... 211

Le formalisme C-K T / C-K E comme modèle d’action aux expansions de la frontière Technologie-Environnement de vendeurs et d’acheteurs concepteurs..... 213

Séparer le raisonnement dans l’inconnu sur les environnements de celui sur les technologies pour éviter la fixation 214

C-K sur les technologies (C-K T) et C-K sur les environnements (C-K E)..... 215

Définition d’opérateurs afin de piloter les interdépendances entre C-K T et C-K E 221

Conclusion de chapitre 9 : Quels outils et méthodes constituant le substrat technique au formalisme C-K T / C-K E d’expansion de la frontière Technologie-Environnement ?..... 227

Résumé de chapitre 9 228

Chapitre 10 – La méthode Pilotage de l’Exploration Par les Invariants Technologie et Environnement (PEPITE) et ses outils229

Outils limités par l’absence de pilotage de l’invariant Technologie ou Environnement 229

<i>Représentations à l'effet réaliste d'un concept : recueillir une expertise sans élaborer le concept...</i>	229
<i>Prototypes de concepts réalisés à partir de diagrammes C-K : expansion des environnements limités</i>	231
Outils fondés sur le pilotage de l'invariant Technologie ou Environnement.....	238
<i>Outils d'élaboration du C-K E : consolider un value model.....</i>	238
<i>Des technologies prétextes à engager des concepteurs d'environnements.....</i>	243
<i>Des besoins prétextes à engager des concepteurs de technologies.....</i>	247
Méthode Pilotage de l'Exploration Par les Invariants Technologie et Environnement (PEPITE)	249
<i>Méthodologie PEPITE en six étapes.....</i>	249
<i>Les éléments de démonstration de PEPITE fournis par les cas Thermoélectricité et Caloducs.....</i>	252
Conclusion de chapitre 10 : PEPITE, une méthodologie linéaire de l'échange dans l'inconnu	255
Résumé de chapitre 10	256
Conclusion de la partie 5 : le modèle d'action pour l'échange dans l'inconnu, un modèle d'expansion de la frontière Technologie-Environnement	257
Résultats de la partie 5 : formalisme C-K T / C-K E, arbre de valeur, technologies et besoins prétextes, PEPITE	257
Limites de la partie 5 : expérimentations limitées de PEPITE	259

Chapitre 9 – Le formalisme C-K T / C-K E, modèle d'action aux expansions de la frontière Technologie-Environnement

Dans la partie 1 nous identifions la difficulté pour la direction de l'innovation d'échanger dans l'inconnu principalement à la suite des DKCP qu'elle pilota. Dans la partie 2 nous établissons un cadre théorique adapté à partir des théories de la conception innovante. Nous faisons l'hypothèse que le modèle d'action permet d'engager des ressources d'exploration à partir de calculs inconnus de la valeur. La partie 3 a confirmé cette hypothèse en établissant le modèle de l'engagement conceptif à partir de l'analyse des cas dont l'intervention a permis de bénéficier de ressources d'exploration. Nous faisons aussi l'hypothèse qu'un modèle d'action pour l'échange dans l'inconnu est un modèle des expansions des technologies et des environnements. La partie 4 montre alors que l'échelle TRL comme outil d'engagement de ressources n'est pas adaptée dans l'inconnu car elle limite les expansions des environnements et de leurs critères d'évaluations. De plus un acteur préparant les échanges en concevant la valeur collective fait défaut dans l'évaluation TRL. Enfin la relation vendeur-acheteur existe avant l'évaluation TRL, elle est construite mais de façon implicite dans les modèles d'engagement conceptif de la partie 3. Le présent chapitre a donc pour but de construire un modèle d'action collective de la double expansion Technologie-Environnement dans lequel la relation vendeur-acheteur est endogène.

Pour cela, d'abord nous abordons la notion de frontière Technologie-Environnement, les effets de fixation⁶⁴ et les expansions à cette frontière dans d'autres méthodes que l'application de l'échelle TRL. Ensuite nous introduisons le formalisme C-K T / C-K E pour modéliser l'action collective.

Expansions à la frontière Technologie-Environnement en fixant l'invariant Technologie ou Environnement

L'application de l'échelle TRL limitait les expansions des environnements et de leurs critères. Des acheteurs tels que des experts évaluant les technologies emploient des critères préétablis pour affecter un TRL aux technologies critiques selon les environnements que leur destine le système en cours de conception. Dans cette section nous allons relire la littérature et certains cas empiriques afin de mieux comprendre cet effet de fixation et l'inverser, c'est-à-dire fixer la technologie pour stimuler des expansions des environnements. Ainsi nous aurons franchi une première étape pour doter le concepteur de valeur collective d'un modèle de pilotage des expansions de la frontière Technologie-Environnement.

D'abord nous abordons l'expansion ou le déplacement de la frontière Technologie-Environnement sur une chaîne de conception fixée, ensuite nous abordons la fixation des connaissances des environnements qui est celle des TRL (seuls les concepts de technologies sont explorés), ensuite nous

⁶⁴ Pour rappel nous adoptons la définition de Jansson et Smith (1991) de fixation : « l'adhérence aveugle à un ensemble d'idées ou de concepts limitant les débouchés de la conception »

abordons la fixation inverse (seuls les concepts des environnements sont explorés), enfin nous proposons une synthèse en définissant la notion d'expansion de la frontière Technologie-Environnement.

Déplacer ou étendre la frontière Technologie-Environnement sur une chaîne de conception

Dans ces paragraphes nous traitons la prise en compte de plusieurs niveaux de décomposition des technologies et de leurs environnements de façon linéaire, c'est-à-dire sans traiter la variété des technologies et des environnements à un niveau donné, pour explorer la valeur.

Porter (1985) introduisait le concept de chaîne de valeur à l'échelle d'une entreprise puis étendait sa réflexion à l'échelle d'une industrie dans la notion de système de valeur (1990).

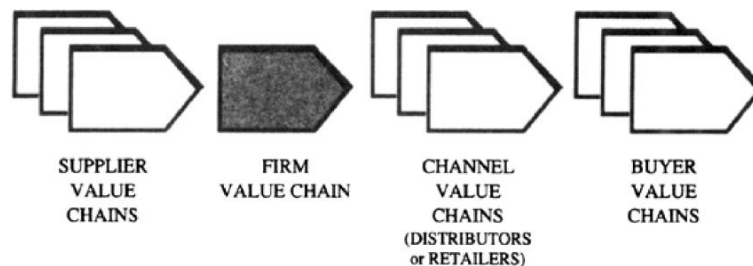


Figure 30 : Chaînes de valeur de chaque entreprise d'un système de valeur d'après Porter (1990)

Dans un contexte général où l'activité de conception pèse de plus en plus dans la chaîne de valeur de chaque entreprise d'un système de valeur, Clark and Starkey (1988) propose la notion de chaîne de conception. Le Dain, Calvi et Cheriti (2010) identifiaient alors la difficulté gestionnaire de prendre la décision de concevoir ou d'externaliser la conception (*design-or-buy-design decision*). Les concepteurs ont donc la possibilité d'acheter des technologies prêtes à être intégrées dans leurs produits ou de concevoir aussi ces technologies.

Prenons un exemple aéronautique, l'architecture des avions commerciaux fait en sorte que les interférences aérodynamiques entre moteur et aile soient minimales en les éloignant par un pylône. Une telle architecture a donc l'avantage de séparer de nombreux paramètres de conception du moteur et de l'aile en accord avec la frontière marchande motoriste/avionneur. Cependant de nombreuses publications et jeunes pousses font état d'architectures à l'aérodynamique bien plus avantageuses (effets Coanda, portance active...) parfois confirmées expérimentalement mais dont l'inconvénient est de défaire la séparation des paramètres de conception moteur/aile (exemples dans les figures ci-dessous). Donc tant que l'architecture de l'avion est fixée, le concepteur d'avion peut confier la conception des moteurs au motoriste avec un grand niveau d'autonomie. Si il considère des architectures différentes dans lesquelles des interactions aérodynamiques entre moteurs et ailes sont recherchées (exemple dans la Figure 31) il est obligé de mener une grande partie de la conception des moteurs. Ainsi il étend la frontière Technologie-Environnement à laquelle il conçoit comme représenté dans la Figure 32.

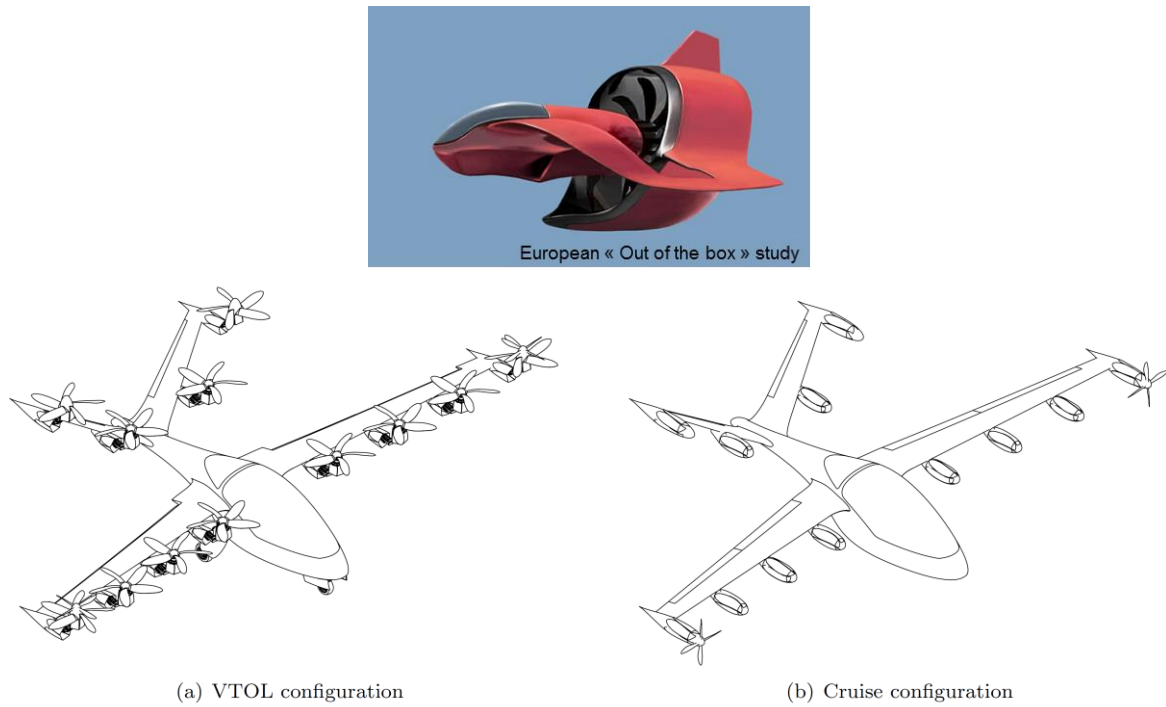


Figure 31 : Exemples d'architecture d'aéronefs limitant le découplage entre conception des ailes et des moteurs (un des concepts de l'étude p-plane en haut, Joby S2 en bas)

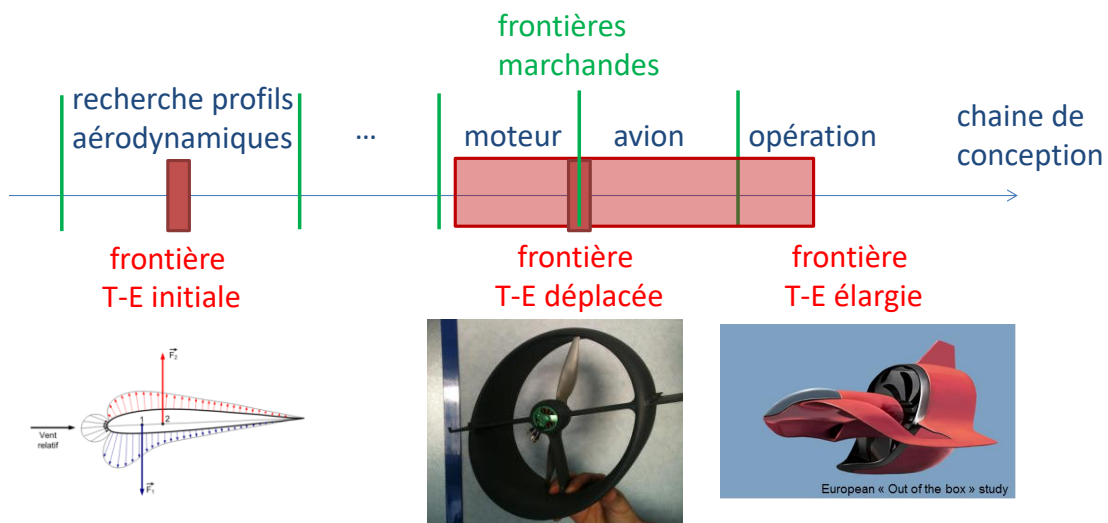


Figure 32 : Exemple de déplacement de la frontière Technologie-Environnement

Un autre exemple est l'Atelier Innovation Service (AIS). C'est une entité organisationnelle au sein de la société Safran Aircraft Engines⁶⁵ de type *fab lab*. Elle a vocation à stimuler la conception de services alors que la société conçoit des moteurs d'avion. Ainsi le service SFCO2 qui permet de réduire le coût opérationnel des compagnies aériennes en analysant les données sur les vols opérés

⁶⁵ Anciennement Snecma

émergea de l'AIS. Cette structure organisationnelle permet donc d'étendre l'effort de conception de la société de la frontière moteur/avion aux opérations aériennes.

Nous avons caractérisé l'expansion de la frontière Technologie-Environnement le long d'une chaîne de conception. Nous devons décrire l'expansion en multipliant les chaînes de conception conçues simultanément. Nous traitons d'abord l'expansion de la variété des technologies en fixant l'environnement.

Fixation de l'environnement pour explorer les technologies ($\Delta T/\delta E$) dans l'approche *market pull*

Ces paragraphes traitent de la stratégie d'exploration de fixation d'un environnement pour favoriser les expansions des technologies ($\Delta T/\delta E$) d'abord dans la littérature, puis avec un exemple de la vie courante et enfin avec un cas d'exploration de cette recherche-intervention.

Expansions $\Delta T/\delta E$ dans la littérature

D'après Verganti (2013) « l'innovation market-pull commence par une analyse des besoins de l'utilisateur puis cherche des technologies qui peuvent mieux les satisfaire, ou mettre à jour les langages des produits pour répondre aux tendances existantes. » (p55, traduit de l'anglais). D'après l'auteur, l'approche centrée utilisateur revendiquée dans la méthodologie *design thinking* est alors une situation *market pull* (p56). Sihem Ben Mahmoud-Jouini *et al.* (2013) observaient l'emploi d'artefacts particuliers appelés « stimulateurs ». Ainsi un exosquelette permet d'explorer l'expérience d'une classe d'utilisateurs fixée : les personnes âgées. Il s'agit alors d'explorer un concept d'environnement. Un autre stimulateur intervenant pour explorer des interactions homme/machine fixe sur les utilisateurs de mobiles afin d'inventer des nouvelles applications. Ces stimulateurs sont ceux employables avec les plus hauts niveaux d'inconnu d'après le cadre analytique que nous établissons dans l'article IPDM. Or ils montrent que la fixation sur un concept d'environnement favorise l'exploration de nouvelles connaissances. Dans le cas de l'échelle TRL nous avons vu qu'elle favorise l'expansion des technologies. Nous pouvons caractériser ce type d'expansion de $\Delta T/\delta E$ et l'expliquer avec des exemples.

Un exemple courant d'expansions $\Delta T/\delta E$

Un premier exemple est celui de l'éclairage (Cautela et Simoni 2014). Dans les années 1990, les consommateurs, étaient habitués au choix simple de l'ampoule à filament ou du néon (particules fluorescentes) bien que le néon fût bien souvent réservé aux entreprises et aux bâtiments administratifs soucieux de réduire leur facture d'électricité par des calculs savants⁶⁶. Puis des ampoules basse consommation ont été commercialisées. Elles sont toujours basées sur le principe de la fluorescence. Avant même que ces éclairages aient fait leur preuve, les éclairages LED étaient

⁶⁶ En effet la technologie néon déphase le courant et la tension ce qui a pour effet de diminuer la puissance active facturée et d'augmenter la puissance réactive sans modifier la puissance apparente dans la limite du facteur de puissance légal. D'après cours de génie électrique de l'école Arts & Métiers ParisTech.

commercialisés. La Figure 33 représente ces expansions de connaissances sur ces technologies de façon linéaire sur le côté gauche. L'environnement de ces technologies est l'habitat dans lequel vit leur utilisateur disposant de prises électriques standardisées et d'un réseau électrique alternatif dont le voltage est 220V. Il est représenté à droite dans la Figure 33. Remarquons alors que si les technologies d'éclairage reposent sur des phénomènes physiques très différents, leur environnement n'a pas changé. Le réseau électrique est le même. Nos activités dans nos habitats n'ont pas changé du fait d'un éclairage ou d'un autre. La Figure 33 représente alors de l'autre côté cet unique environnement. Ainsi ces différentes technologies d'éclairage trouvent leur adéquation avec l'environnement inchangé en réalisant la fonction « éclairer en consommant le moins possible ». Nous représentons ces adéquations par des liens entre Technologie et Environnement.

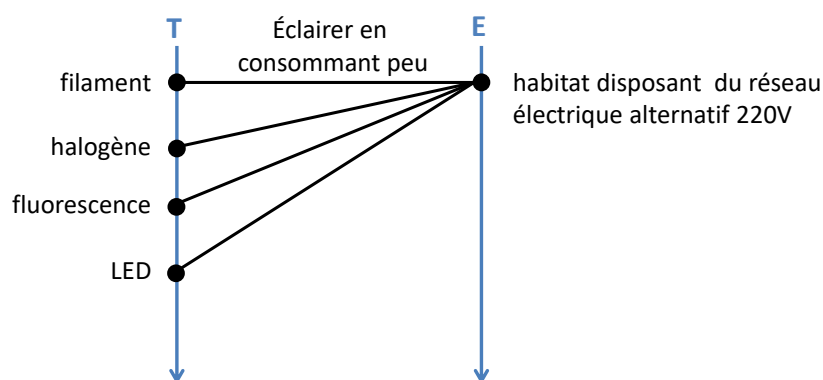


Figure 33 : l'éclairage, un exemple d'expansion $\Delta T/\delta E$ (adapté de Cautela et Simoni (2014))

Le cas Frein Froid, un exemple d'expansions $\Delta T/\delta E$

Nous pouvons aussi mobiliser le cas de l'exploration de la fiche idée Frein Froid issue des DKCP de la direction de l'innovation Safran. Ce concept fixe comme environnement un avion court courrier car il effectue un grand nombre d'atterrissages par jour. Or chaque atterrissage nécessite de convertir l'énergie cinétique de l'avion à hauteur de 150MJ comme représenté en haut à droite dans la Figure 34. A gauche dans la figure, la technologie de la friction de disques en carbone trouve son adéquation avec cet environnement en dissipant l'énergie cinétique sous forme de chaleur. Ainsi les disques de frein sont couramment appelés « puits de chaleur » par les experts. Une première expansion des technologies envisage un générateur électrique pour récupérer l'énergie sous forme électrique. Cependant l'avis d'un expert écarte cette technologie sur le critère de la puissance massique. Il est alors envisagé d'employer un moteur électrique déjà embarqué dans les roues en générateur. Même s'il ne permettrait pas de récupérer la totalité de l'énergie, il éviterait d'ajouter de la masse à l'avion et donc devrait contribuer à améliorer son bilan énergétique. Cependant la quantité d'énergie récupérée est trop faible pour trouver une utilisation. Un concept de technologie consistant à utiliser un générateur électrique linéaire placé dans la piste d'atterrissage est évoqué. Cela implique d'explorer des environnements hors des compétences de Safran et le concept ne sera pas exploré. Un autre concept de technologie consiste en des puits thermiques à changement de phase. En effet les puits thermiques en carbone ont l'avantage d'une température de fusion très élevée. Une alternative en rupture est donc d'exploiter la fusion du puits de chaleur. Il faudrait alors

vidanger ce fluide pour en récupérer la chaleur ce qui modifierait grandement les opérations au sol sur l'avion. Un tel changement d'environnement est jugé trop compliqué.

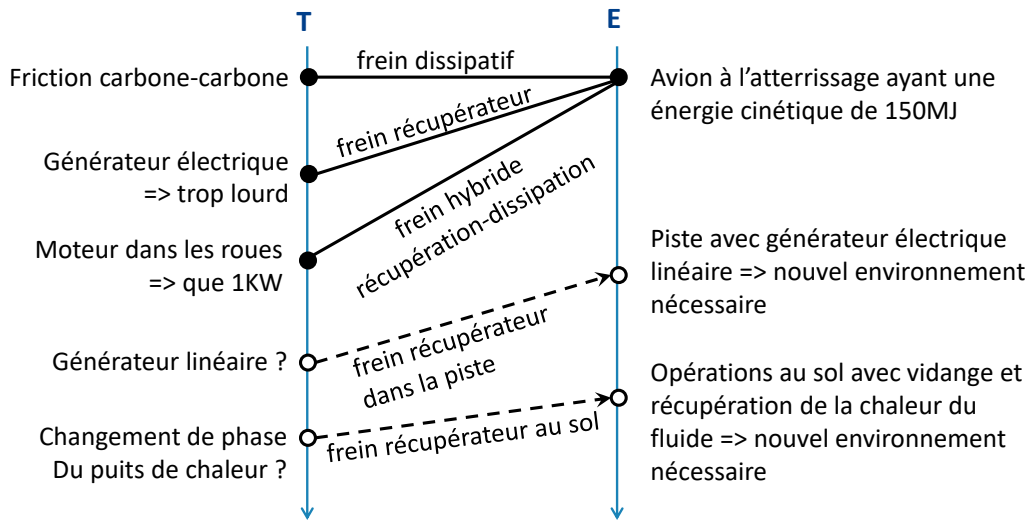


Figure 34 : L'exploration de la fiche idée frein froid issue des DKCP de la direction de l'innovation Safran, un exemple d'expansion $\Delta T/\Delta E$

Ce dernier cas montre que la fixation de l'environnement, ou encore porter tous les efforts d'exploration sur les technologies, a réduit à néant les ressources d'exploration de ce concept. Au contraire une stratégie aurait pu être d'identifier un expert des pistes d'atterrissage et un autre des moteurs linéaires pour prolonger l'exploration. Cependant ce cas se plaçait au début de la recherche-intervention et n'a pas bénéficié d'un cadre théorique Technologie-Environnement pour identifier la fixation consistant à n'explorer que les technologies. A présent nous allons expliquer une telle stratégie d'exploration des environnements.

Fixation de la technologie pour explorer les environnements ($\delta T/\Delta E$) dans l'approche *technology push*

Ces paragraphes traitent de la stratégie d'exploration de fixation d'une technologie pour favoriser les expansions des environnements ($\delta T/\Delta E$). D'abord nous traitons les méthodes *techno-push* modernes qui stimulent des expansions importantes des environnements contrairement aux TRL. Ensuite nous abordons un exemple hors de l'intervention et enfin nous revenons sur un cas d'exploration de cette recherche-intervention.

Les méthodes *techno-push* modernes procurant des expansions $\delta T/\Delta E$

Sadin (1989) évoquait la nécessité de renforcer les capacités technologiques de la NASA en introduisant un processus *technology push*. Le raisonnement *technology push*, démarre d'une connaissance d'une technologie afin de la pousser sur des marchés. En effet Cooper (2006) précise que la spécificité du processus de développement des technologies est que le produit qui intègrera la technologie et le marché sont inconnus. Pour conduire ce raisonnement Gillier et Piat (2008) décrivent la méthode D^4 qui « déconstruit » une technologie en propriétés avant de générer ses fonctions et enfin des concepts d'environnements. Glaser et Miecznik (2009) proposent la méthode

reverse inventing qui régénère les opportunités de marché d'une entreprise en partant des technologies qui forment son coeur de métier. Les étapes de ces deux méthodes sont récapitulées dans la figure ci-après.

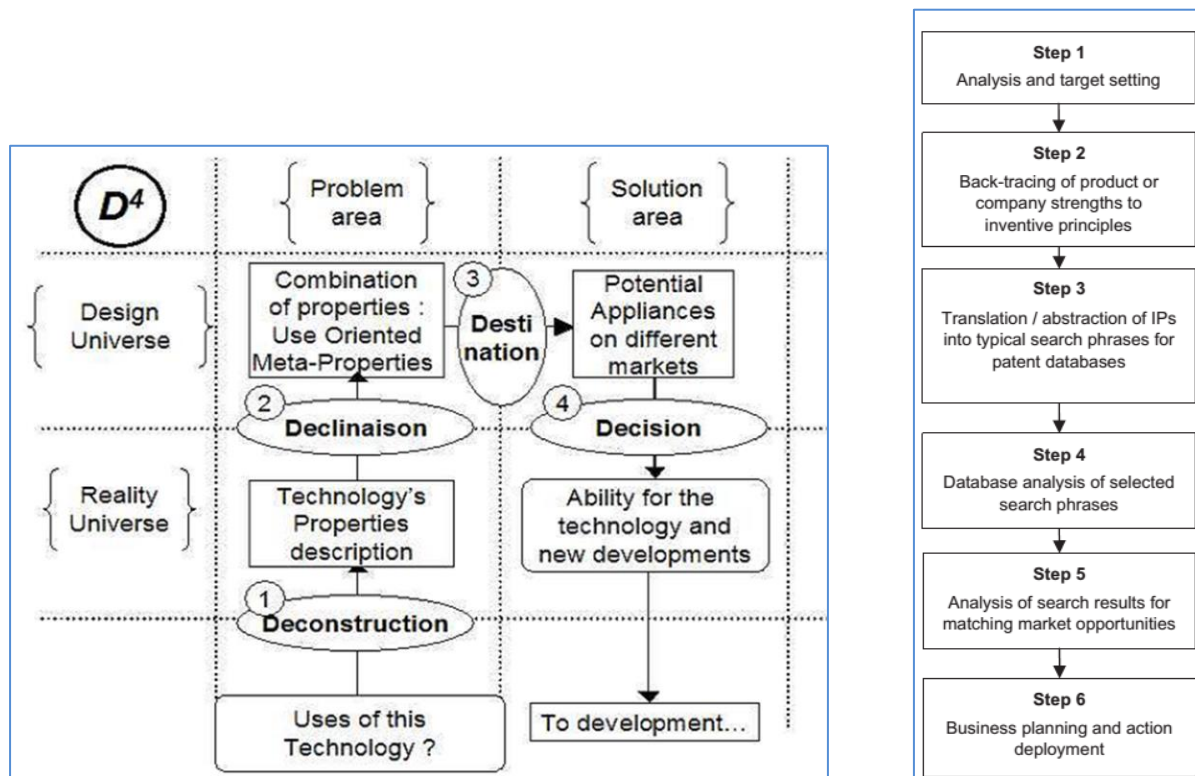


Figure 35 : Le raisonnement *technology push* - méthode D⁴ (à gauche) et méthode *reverse inventing* (à droite) (Gillier et Piat 2008, Glaser et Miecznik 2009)

Dans la méthodologie *reverse inventing*, les auteurs fournissent l'exemple d'une technique de distraction osseuse⁶⁷ dont l'environnement initial se compose du corps du patient, de sa vie quotidienne et des procédés médicaux. La méthode permet d'identifier le golf, les véhicules deux roues et la lutte contre incendie comme nouveaux environnements qui pourraient tirer bénéfice de la technologie. D'après les résultats de la méthode D⁴ (Gillier 2010, pages 249 à 268), dans le cas de l'électromouillage les environnements connus étaient les analyses biologiques, les lentilles optiques et les écrans de téléphones portables. Les nouveaux environnements générés au cours de la méthode D⁴ sont l'alimentaire (évoquant du miel), l'habitat (le vitrage), l'automobile (airbag), le vestimentaire, l'hygrométrie et le ski. Contrairement aux *Technology Readiness Levels*, ces deux méthodes se montrent donc efficaces pour étendre la variété des environnements de la frontière Technologie-Environnement conçue.

Le tableau ci-dessous montre l'apparente correspondance entre ces méthodes modernes de *technology push* et les TRL lorsqu'ils sont interprétés comme des jalons ; interprétation de la littérature gestionnaire jusqu'à présent (Högman and Johannesson 2013). Cependant comme nous le montrions dans la partie précédente, l'échelle TRL est un outil d'évaluation dans un processus de

⁶⁷ Technique utilisée en chirurgie dont le but est de faire fabriquer de l'os en supplément par l'organisme.

conception qui n'est pas linéaire puisque le TRL peut chuter ou augmenter si on change la technologie d'environnement. La partie *stage-gate* n'est que le déroulement du plan de maturation qui suit l'évaluation. Nos résultats indiquent alors que les expansions des environnements lors de ces évaluations sont minimales car une évaluation suppose de connaître l'environnement puis d'employer les critères d'affectation des TRL préétablis. L'application de l'échelle TRL n'apparaît donc plus comme une méthode *technology push* au contraire des méthodes *reverse inventing* et *D*⁴.

	Technology Readiness Levels	méthode <i>reverse inventing</i>	méthode <i>D</i>⁴
Similitudes entre définitions des TRL interprétés comme jalons et étapes des méthodes modernes	principe scientifique (TRL 1)	compétences (step 1)	propriétés de la technologie (D1)
	application (TRL 2)	principes d'invention (step 2)	fonction d'usage (D2)
	Environnement (TRL 3 et plus)	opportunités de marchés (step 3)	application (D3)
Différences d'expansions des environnements	Environnements de départ et finaux identiques par définition	Trois nouveaux environnements expérimentalement	Six nouveaux environnements expérimentalement

Tableau 27 : Similitudes et différences entre les méthodes de conception *technology push* modernes et les *Technology Readiness Levels* - seules les premières génèrent des expansions des environnements

Nous avons donc traité les méthodes de *technology push* et vérifié qu'elles permettent des expansions des environnements en fixant la technologie. Nous pouvons montrer un exemple d'expansions similaires obtenues en l'absence de méthode.

Expansions $\delta T/\Delta E$ sans méthode dans le cas du miroir temporel

Dans les années 1970, Mathias Fink observait un phénomène physique nouveau : une onde émise d'un point A enregistré à un point B puis réémise à l'inverse du temps depuis le point B converge vers le point A. Cette observation lui permettait de formuler le théorème que toute onde réémise à l'envers revit sa vie passée. Des recherches suivirent afin d'explorer les nouvelles possibilités qu'il offrait. Cela nécessitait de mettre au point la technologie particulière du miroir temporel. Les progrès de l'électronique ont permis des raffinements incrémentaux du concept : longueur du signal enregistré, précision, type d'onde (sonore, électromagnétique...). Ces raffinements de la technologie étaient néanmoins nécessaires à des expansions plus radicales des environnements. En effet la technologie de miroir temporel amélioré trouvait d'abord une nouvelle fonction dans le médical, puis d'autres environnements suivirent : l'aéronautique, la domotique, les télécommunications, l'acoustique sous-marine et les communications⁶⁸. La figure ci-après montre les adéquations entre la

⁶⁸ Le doctorant assista à une présentation de Mathias Fink lors du forum Physique & Entrepreneuriat = création de valeur qui se tenait le 4 novembre à Paris. Un complément d'information est fourni par Stéphane Marchand pour L'Opinion (« Mathias Fink, le pape du retournement temporel » publié le 15 juillet 2014 sur lopinion.fr).

technologie de miroir temporel et ces différents environnements en explicitant la fonction qu'elle y réalise.

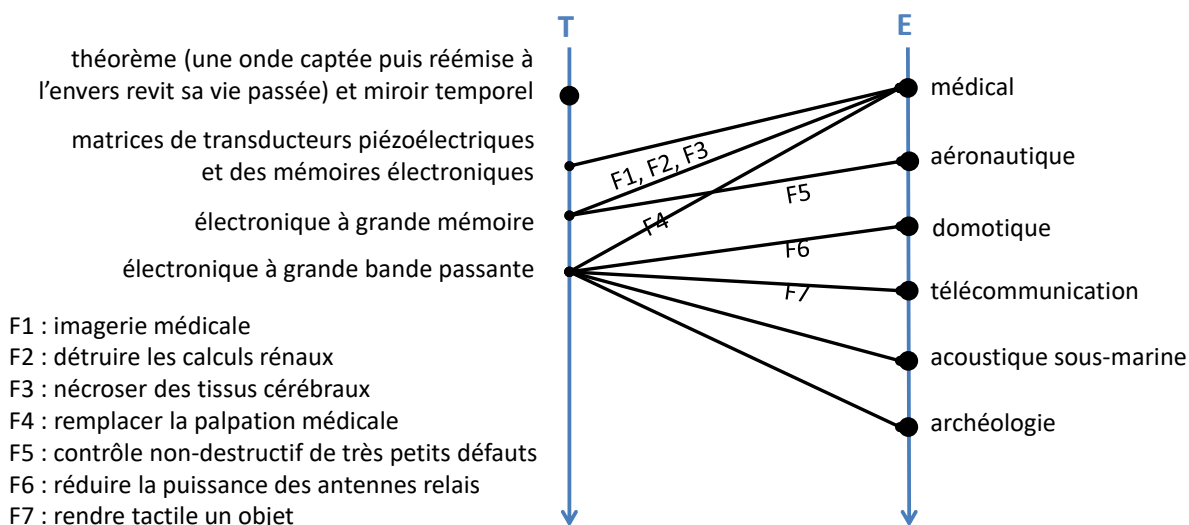


Figure 36 : le miroir temporel des ondes, un exemple d'expansion $\delta T/\Delta E$

Le cas Thermoélectricité, un exemple d'expansions $\delta T/\Delta E$

Finalement nous pouvons traiter le cas Thermoélectricité comme dernier exemple d'expansion $\delta T/\Delta E$. Il débute par l'exploration des propriétés basiques de la technologie des générateurs thermoélectriques à gauche dans la Figure 37. Avant cette recherche-intervention, le premier environnement exploré est le produit 1 à droite dans la Figure 37 ; trois zones d'implantation et une utilisation de la puissance électrique avait été identifiées. Suite à la rédaction de la fiche idée et à la demande de la direction de l'innovation de fournir plus d'applications, le produit 2 est exploré avec une zone d'implantation et une utilisation de la puissance électrique. Dans la continuité de cet effort le produit 3 est exploré identifiant deux nouvelles zones d'implantation et deux utilisations de la puissance électriques dans ce produit mais aussi une utilisation dans l'avion en complément des alternateurs principaux et une utilisation thermique dans le produit 1.

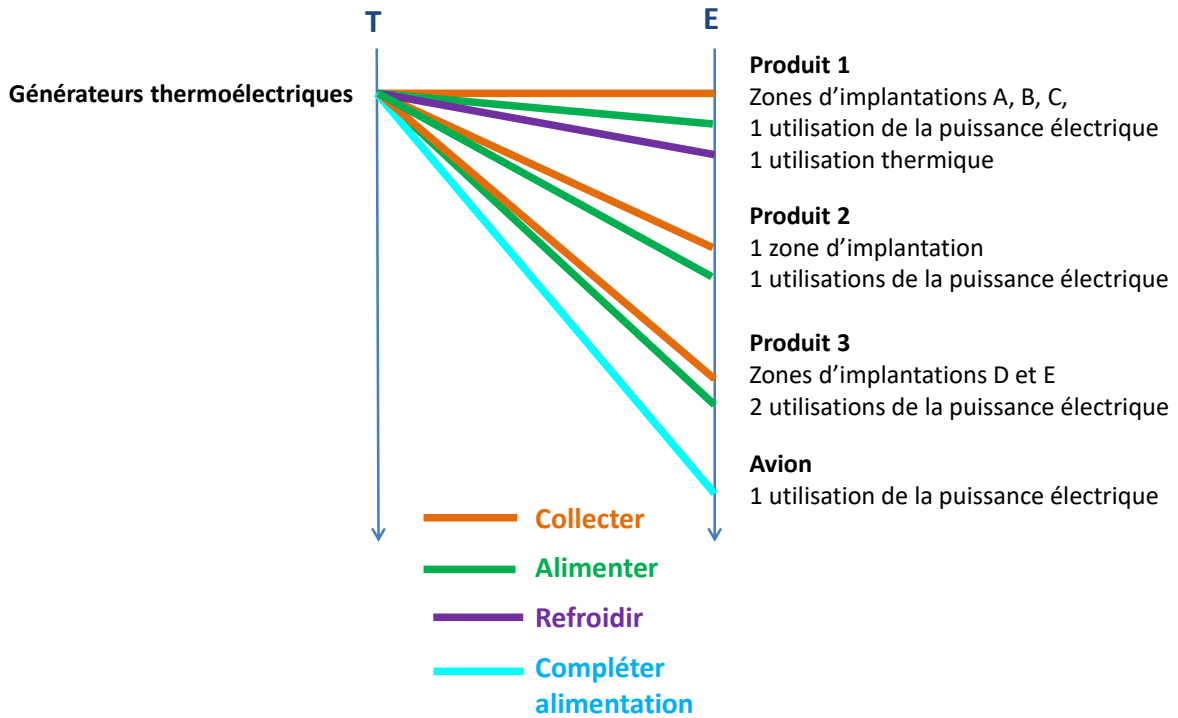


Figure 37 : Exploration de la fiche idée Thermoélectricité issue des DKCP de la direction de l'innovation Safran, un exemple d'expansion $\delta T/\Delta E$ (1/2)

Ensuite un atelier avec la présentation des travaux de R&T d'un fournisseur d'un composant du produit 3 intégrant de générateurs thermoélectriques permet un nouvel effort d'exploration des environnements. Les connaissances supplémentaires des environnements déjà identifiés permettent d'ajouter ou de reformuler des utilisations de la puissance électrique. L'utilisation électrique du produit 1 impactant le produit 4, un expert confirme une diminution de masse et d'encombrement significative. Une autre utilisation de la puissance électrique à bord de l'avion est explorée en profondeur en termes de puissance, de modèles d'avion concernés et de certification mais elle ne le sera plus pendant l'étude de faisabilité pour des raisons de puissances électriques. De façon plus superficielle, un nouvel expert engagé ponctuellement identifie que le produit 5 pourrait être éteint dans les phases au sol diminuant le bruit et permettant de nouvelles opérations dans certains aéroports. Aucun nouvel environnement ne sera exploré mais des raffinements importants auront lieu de la préparation du jalon de lancement de l'étude de faisabilité jusqu'à la fin de l'étude. En particulier des nouvelles zones d'implantation et utilisations de la puissance électrique sont identifiées. La plupart des utilisations de la puissance électrique acquièrent une valeur positive (compatible) ou négative (incompatible) lorsque les résultats des simulations de la puissance générée par chaque zone d'implantation à chaque phase d'un vol. Ces simulations sont critiques pour que la technologie des générateurs thermoélectriques passe le TRL 2, or on remarque que la variété des environnements n'augmente plus ce qui appuie la thèse que les TRL ne sont pas adaptés au *technology push*. L'état final de cette exploration est représenté dans la figure ci-après.

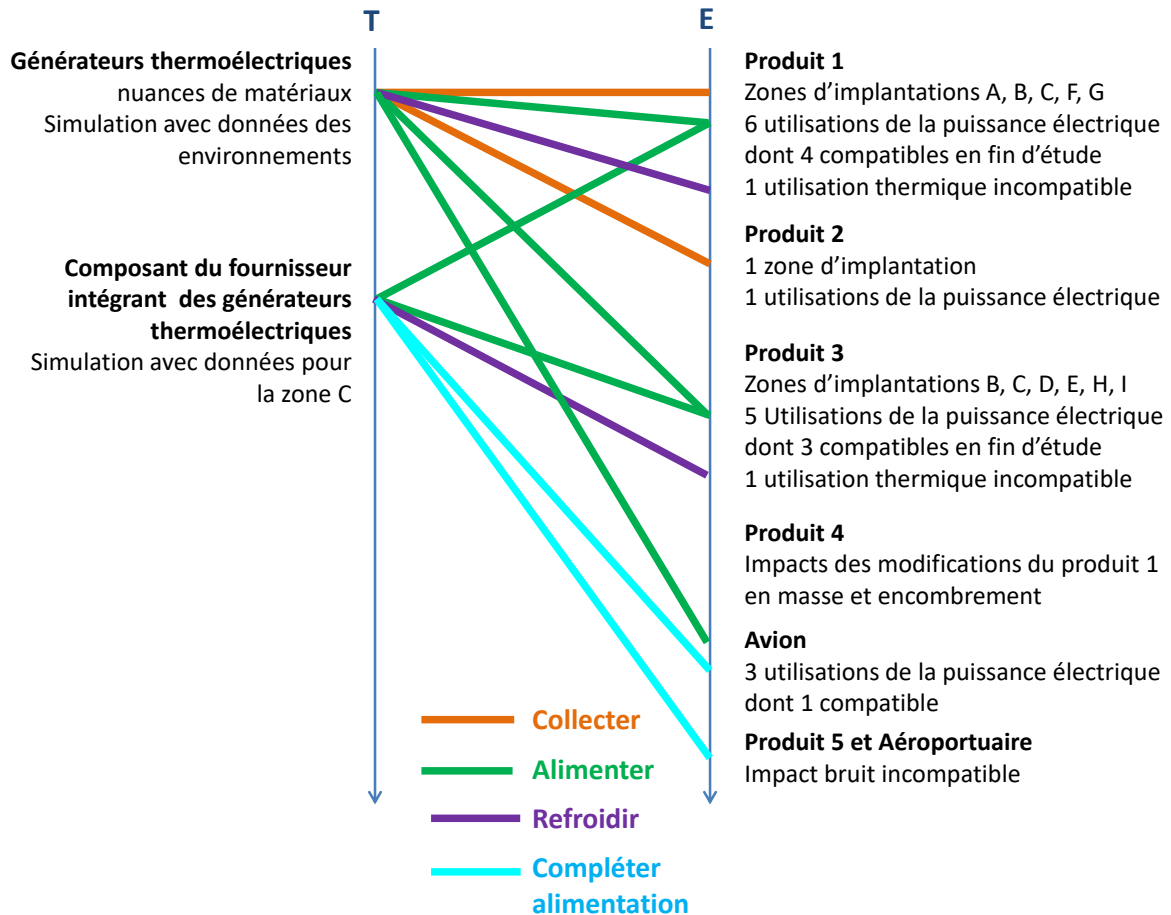


Figure 38 : Exploration de la fiche idée Thermoélectricité issue des DKCP de la direction de l'innovation Safran, un exemple d'expansion $\delta T/\Delta E$ (2/2)

Nous avons donc montré la viabilité d'une stratégie d'exploration des environnements en fixant les technologies ($\delta T/\Delta E$). Elle permet d'obtenir l'effet inverse de l'évaluation TRL ($\Delta T/\delta E$). A présent nous proposons une synthèse sur les expansions de la frontière Technologie-Environnement.

Synthèse : expansion de la frontière Technologie-Environnement par le contrôle de l'invariant Technologie ou Environnement

Le Masson, Dorst et Subrahmanian (2013) expliquent que la comparaison des différentes théories de la conception permet de clarifier leurs « ontologies invariantes ». Ces ontologies préviennent et introduisent les fixations propres à chaque théorie (Le Masson, Hatchuel et Weil 2011). Un exemple simple d'ontologie invariante est celle des modèles d'affaires proposée par Osterwalder (2004) qui donna ensuite le canevas du modèle d'affaires (*business model canvas*). A destination des entrepreneurs ou des entreprises établies mais innovantes, il s'agit d'un tableau dont la complétion assure la génération d'un modèle d'affaires. Chaque case (proposition de valeur, structure des coûts, modèle de revenus...) oriente l'exploration du concepteur ; ensemble elles forment la structure invariante de la méthode. Ce que le concepteur écrit dans les cases sont les variables, elles peuvent être relatives à n'importe quel secteur d'activité service, produit, sphère sociale etc. selon les connaissances activées par le concepteur. Si nous mettons en évidence les fixations introduites par

l'évaluation de maturité et son outil l'échelle TRL, nous devons proposer une alternative d'ontologie invariante. Dans cette section nous avons mis en avant que l'invariance des technologies et des environnements est propice à explorer la valeur le long d'une chaîne de conception, que l'invariance des environnements est propice à explorer les technologies et enfin que l'invariance des technologies est propice à explorer les environnements. Nous avons donc défini une ontologie invariante à trois dimensions représentée dans la figure ci-dessous.

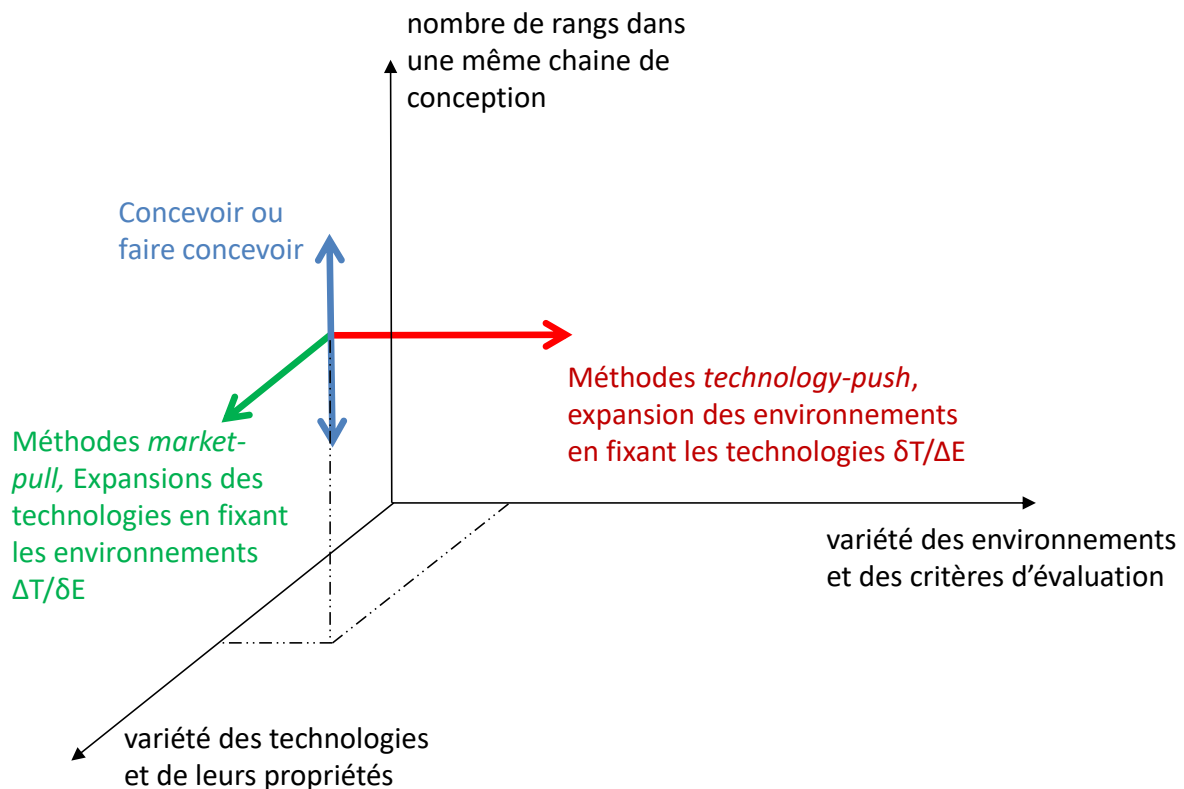


Figure 39 : Expansions de la frontière Technologie-Environnement dans notre ontologie invariante à trois dimensions

De même qu'Osterwalder (2004) proposait une ontologie invariante pour concevoir le modèle d'affaires, notre ontologie invariante s'applique à un objet précis. Il s'agit de la frontière Technologie-Environnement que nous définissons dans l'encadré suivant.

La frontière Technologie-Environnement est la limite conceptuelle entre la technologie conçue par son vendeur et l'environnement conçu par l'acheteur de la technologie. La valeur qui conditionne l'échange s'explore à cette limite. Dans l'inconnu, les expansions de cette frontière sont la conséquence de l'engagement conceptif de vendeurs et d'acheteurs piloté par le concepteur de valeur collective selon trois stratégies de conception :

- Invariance des technologies et des environnements pour étendre la chaîne de conception
- Invariance des environnements pour explorer des technologies variées ($\Delta T/\delta E$)
- Invariance des technologies pour explorer des environnements variés ($\delta T/\Delta E$)

Encadré 11 : Définition de la notion de frontière Technologie-Environnement et des stratégies d'expansion de celle-ci

Nous possédons donc une ontologie invariante qui permet de dépasser les fixations rencontrées dans l'application de l'échelle TRL. Mais elle ne répond pas à toutes nos questions de recherche. Lorsque Osterwalder (2004) propose l'ontologie des modèles d'affaires, elle est rapidement déclinée en canevas pratiques notamment le *business model canvas* et le *value model canvas* (Osterwalder 2011) qui constituent son substrat technique. Une difficulté plus prégnante encore est l'absence de modélisation des alternatives explorées en parallèle car on ne peut alors pas rendre compte d'une philosophie de convergence alors que nous établissons la condition de philosophie de convergence générative au chapitre 6 (augmenter la valeur de toutes les alternatives). Enfin comment vendeur et acheteur agissent-ils dans l'exploration de cette frontière qui ne correspond pas nécessairement aux frontières marchandes voire les ignore volontairement ? Nous allons donc introduire un formalisme plus précis pour modéliser l'action collective d'explorer la frontière Technologie-Environnement. Il doit aussi servir de cadre pour fonder des outils et des méthodes et modéliser la philosophie de convergence dans la section suivante.

Le formalisme C-K T / C-K E comme modèle d'action aux expansions de la frontière Technologie-Environnement de vendeurs et d'acheteurs concepteurs

Les modèles de la section précédente établissent comment éviter la fixation à la frontière Technologie-Environnement. Cependant ils ne vérifient pas la philosophie de convergence générative puisqu'ils ne représentent pas les alternatives explorées en parallèle. Dans cette section nous présentons donc le formalisme C-K T / C-K E comme modèle d'action sur lequel décliner outils et méthodes. Nous procédons en deux temps. D'abord nous présentons l'intérêt de séparer le raisonnement sur les technologies de celui sur les environnements. Ensuite nous présentons les opérateurs du formalisme qui modélisent les échanges dans l'inconnu. La robustesse du modèle est construite en s'appuyant sur les explorations Thermoélectricité et Caloducs dont deux ateliers étaient fondés sur ce modèle en cours d'élaboration.

Séparer le raisonnement dans l'inconnu sur les environnements de celui sur les technologies pour éviter la fixation

Présentement nous expliquons l'intérêt de séparer le raisonnement dans l'inconnu sur les technologies de celui sur les environnements en considérant les conditions de l'engagement conceptif émises au chapitre 6.

Concernant le substrat technique, nous émettions la condition qu'outils, méthodes et médias de communication n'induisent pas d'effet de fixation sur l'identité de l'objet mais au contraire favorisent sa transformation. L'ontologie de la frontière Technologie-Environnement défini dans la section précédente prévient la fixation sur les environnements et leurs critères d'évaluation. Pour rappel cette fixation a mis fin à l'exploration Thermoélectricité avant cette recherche-intervention et n'est pas évitée en appliquant l'échelle TRL. Or modéliser le raisonnement dans l'inconnu sur les environnements rend compte de la variété des environnements et de leurs critères d'évaluation explorés comme dans les cas d'engagement conceptif d'acheteurs traités au chapitre 6. De façon similaire, modéliser le raisonnement dans l'inconnu sur les technologies rend compte de la variété des technologies explorées comme dans les cas d'engagement conceptif de vendeurs traités au chapitre 6 (p138).

Séparer les deux raisonnements permet de mieux définir les figures d'acteurs qui doivent comporter un concepteur de valeur collective parmi les vendeurs et les acheteurs. Lors de la préparation du concepteur de valeur collective, il évite la fixation en anticipant une variété de concepts sur lesquels faire réagir les experts en travaillant sur les deux raisonnements. Pendant les échanges, les experts sollicités n'étant pas nécessairement déjà identifiés comme vendeur ou comme acheteur de technologies, mobiliser leurs compétences successivement avec le raisonnement sur les technologies puis avec le raisonnement sur les environnements maximise les opportunités d'expansion de la frontière Technologie-Environnement et évite la fixation. De plus, la rédaction de la fiche idée Caloducs présentée au chapitre 6 (p144) montrait qu'un acheteur peut posséder des connaissances importantes sur les technologies ; la préparation de l'atelier conception innovante du cas Caloducs montrait un vendeur de technologies qui connaissait un problème critique de certains environnements que réglerait sa technologie ; il n'est donc pas justifié de restreindre les vendeurs au raisonnement sur les technologies et de restreindre les acheteurs au raisonnement sur leurs environnements. Il est donc plus approprié de s'assurer que toute ressource dont bénéficie une exploration a l'occasion de contribuer au raisonnement sur les technologies et au raisonnement sur leurs environnements.

Cela correspond aussi à une philosophie de convergence générative. En effet nous définissions cette philosophie comme le but d'employer des ressources égales sur toutes les alternatives de façon à augmenter leur valeur puis à délaissier celles dont la valeur décroît ou stagne. Modéliser le raisonnement dans l'inconnu avec des alternatives à la fois sur les technologies et sur leurs environnements et les faire explorer par toutes les ressources disponibles concrétise cette philosophie. De plus cela est possible lors d'un atelier prolongé avec de nombreux participants ou lors de l'entretien du concepteur de valeur collective avec un expert. Ainsi le cas thermoélectricité

comportait un atelier avec des participants de 3 sociétés et un fournisseur qui traitait en alternance les technologies et les environnements. De plus, le doctorant menait quatre entretiens téléphoniques de trente minutes avec des experts de certains environnements portant sur la valeur pour l'environnement mais aussi sur la démonstration des générateurs thermoélectriques.

La théorie C-K étant une théorie du raisonnement dans l'inconnu, en accord avec les points précédents, nous proposons de modéliser le C-K sur les technologies et le C-K sur les environnements. Le paragraphe suivant explique alors les éléments constitutifs de ces C-K.

C-K sur les technologies (C-K T) et C-K sur les environnements (C-K E)

Dans ces paragraphes nous décrivons le C-K sur les technologies (C-K T) d'un fournisseur et le C-K sur les environnements (C-K E) de Safran dans le cas Thermoélectricité. Les données proviennent de présentations données lors d'un atelier récapitulé dans l'encadré ci-dessous. Elles sont représentatives des explorations menées par les concepteurs séparément car c'est la toute première interaction qu'eurent Safran et son fournisseur sur les générateurs thermoélectriques. Il fut organisé par un membre du *fab lab* d'une société (il participait à la rédaction de la deuxième version de la fiche idée Thermoélectricité et à sa présentation au Comité Innovation Système de sa société) et le doctorant pour la direction de l'innovation. Ces données concernant des explorations indépendantes sur les technologies et sur les environnements nous permettent d'établir les éléments constitutifs du C-K T et du C-K E. Ce premier cas où une frontière Technologie-Environnement coïncide déjà avec les frontières marchandes permet de mettre au point le formalisme avant de le mettre en action dans des cas plus inconnus dans lesquels ces frontières ne sont pas établies. De plus il permet de tirer la conclusion que des échanges entre les deux C-K sont nécessaires, rendant insuffisants les opérateurs de la théorie C-K.

Atelier Thermoélectricité

Titre de l'atelier dans la convocation par email : "Séminaire thermoélectricité (Safran + [fournisseur confidentiel])"

Participants experts des technologies

- Fournisseur : deux chefs de projet management thermique, un chef de projet simulation thermique, un consultant expert en générateurs thermoélectriques

Participants experts des environnements :

- Société 1 : un ingénieur
- Société 2 : un ingénieur intégration, un membre du *fab lab*, un électricien, un thermicien
- Société 3 : deux experts du réseau électrique de l'avion

Déroulement sur une demi-journée

- 1) Présentation par la société 2 de la fiche idée à tous les participants Safran (pas le fournisseur)

- 2) Présentation de la technologie du fournisseur prévu 1h dura 2h
- 3) Présentations des besoins de chaque société Safran prévues 1h fut réduites aux commentaires de la présentation
- 4) Conclusion entre participants Safran (pas le fournisseur)

Contenu des présentations

Société 2 : Introduction des projets Innovation, quatre concepts de zone d'intégration (surface chaude, surface froide, puissance générée estimée, utilisations prospectives de la puissance électrique), création de valeur, faisabilité technique

Fournisseur : améliorations incrémentales des composants fournis, amélioration avec les générateurs thermoélectriques, essai de générateurs thermoélectriques sur maquette, simulation numérique sur le composant fourni à la Safran (société 2).

Dans le C-K des technologies (C-K T), la base de connaissances initiale comporte des technologies connues. En l'occurrence certaines sont déjà échangées de façon marchande avec Safran (T_1 dans la Figure 40). Cette base de connaissances comporte donc des exigences de Safran (δE_0). Ainsi le fournisseur commence sa présentation par indiquer les concepts d'améliorations incrémentales des technologies déjà vendues. Dans un deuxième temps il relate les explorations menées de voies d'amélioration en rupture avec les générateurs thermoélectriques ($T_2?$). Les explorations comportent une maquette d'une application simple (T_{22}) et une technique d'intégration de générateurs thermoélectriques dans les composants traditionnels qui a fait l'objet récent d'un dépôt de brevet (T_{21}). Une estimation de la puissance générée a été effectuée grâce à des simulations numériques sur la base des exigences de Safran sur les températures extrêmes des composants. La performance est alors exprimée comme la puissance par unité de surface intégrant des générateurs thermoélectriques (P_0).

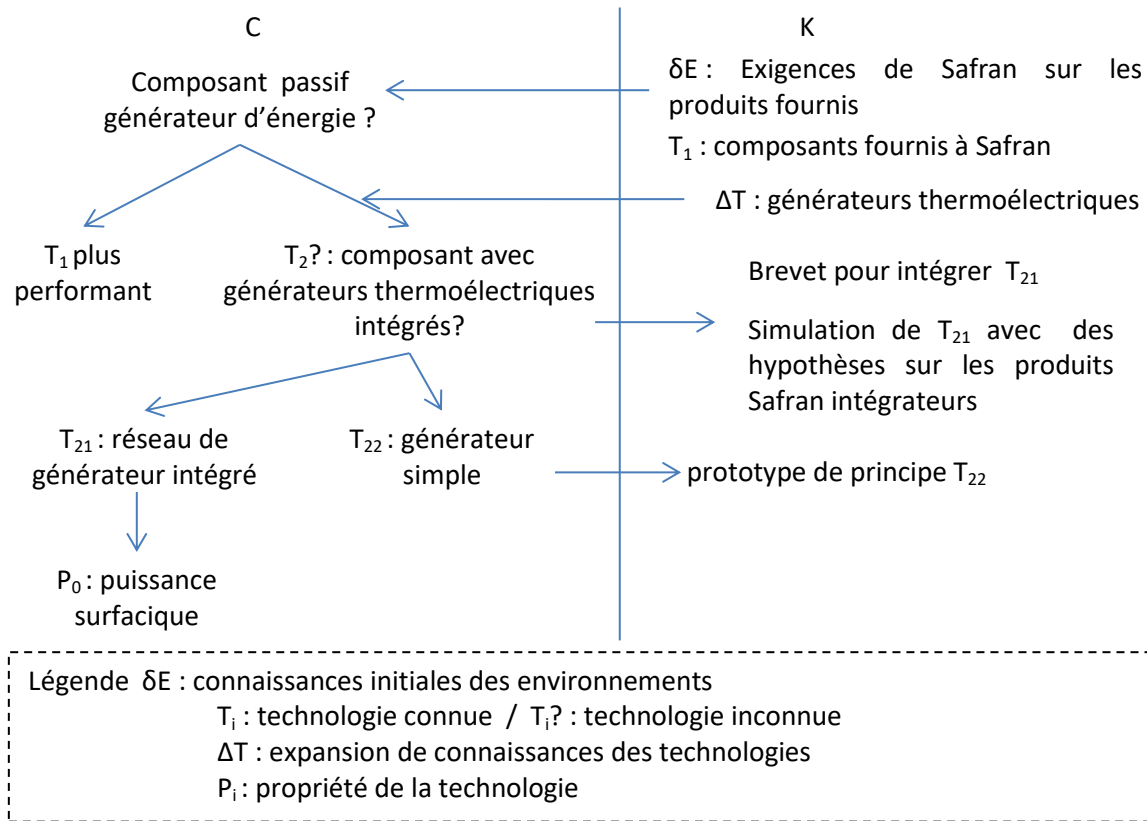


Figure 40 : C-K du collectif concepteur de technologies (C-K T) dans le cas Thermoélectricité d'après la présentation donnée par un fournisseur lors d'un premier atelier séparant l'exploration des technologies de celle des environnements – aucun échange avec les concepteurs d'environnements à ce stade

Dans le C-K des environnements (C-K E), la base de connaissances initiale comporte les produits Safran 1 et 3 mais aussi l'avion. En l'occurrence le produit 3 intègre déjà des composants du fournisseur donc leurs propriétés classiques sont connues. De plus les propriétés basiques des générateurs thermoélectriques sont connues de façon à identifier des zones d'implantation en activant la connaissance sur les architectures des produits (δT dans la Figure 41). Les concepts d'utilisation de la puissance électrique sont les plus inconnus avec parfois des fonctions à alimenter sans préciser dans quel produit (Avion→4 UPE?). La présentation est donnée par un expert du produit 3. Elle évoque la puissance générée comme critère d'évaluation de technologies (V₁). Un expert du produit 1 rappelle les limites de disponibilité identifiées avant cette recherche-intervention (V₂). Cela entraîne l'évocation de technologies de stockage comme les super capacités ou les roues inertielles (cela contribuerait au C-K T). Les experts d'une troisième société du groupe ajoutent la fiabilité grâce à la connaissance des architectures électriques et des contraintes de certification des avions (V₃).

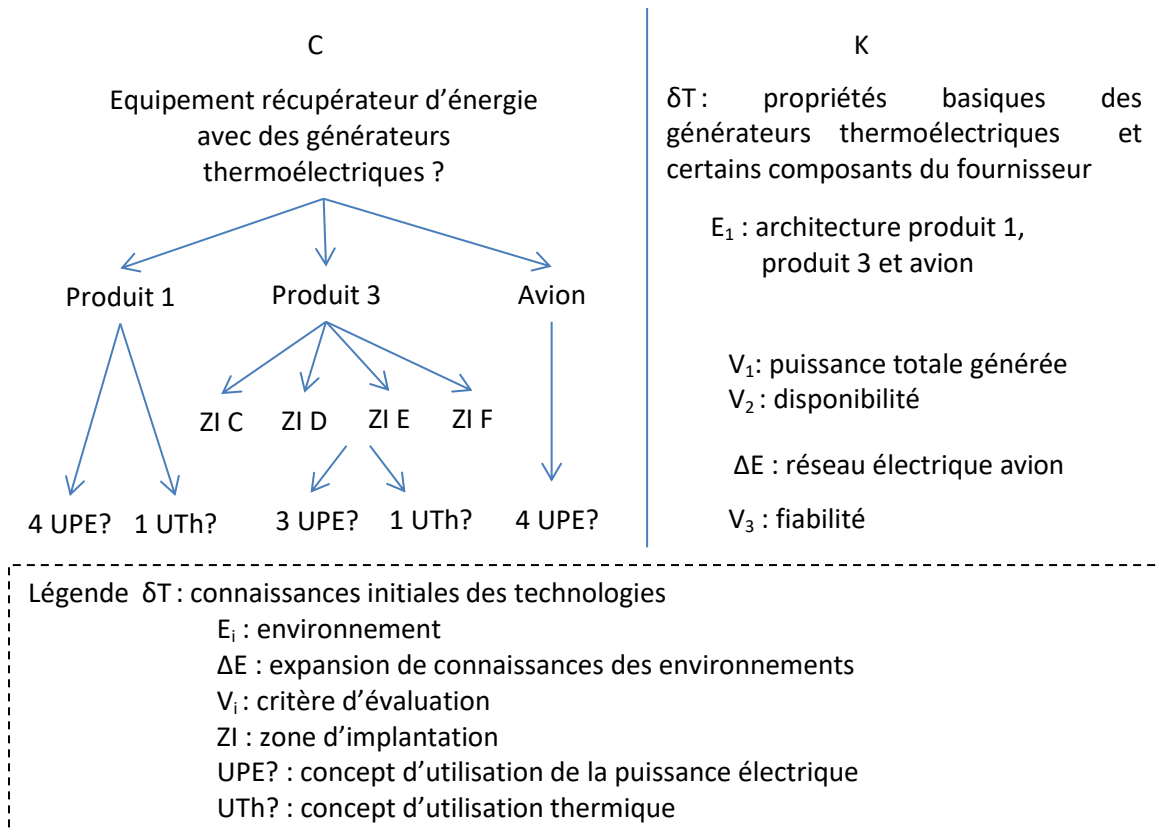
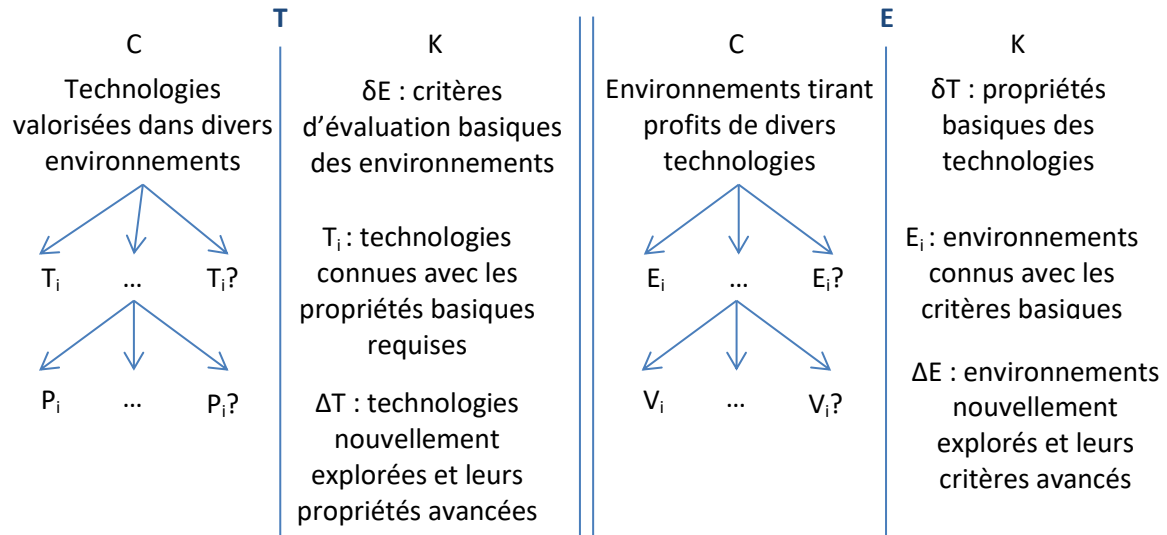


Figure 41 : C-K du collectif concepteur d'environnements (C-K E) dans le cas Thermoélectricité d'après la présentation donnée par une société lors d'un premier atelier séparant l'exploration des technologies de celle des environnements – aucun n'échange avec les concepteurs de technologies à ce stade

Ainsi ces cas de conception séparée de vendeur-concepteur de technologies et d'acheteur concepteur d'environnement permettent de généraliser les éléments constitutifs d'un C-K T réalisant les expansions $\Delta T/\delta E$ et d'un C-K E réalisant les expansions $\delta T/\Delta E$ comme indiqué dans la Figure 42. Le C-K T requiert comme base de connaissances initiale les critères basiques des environnements (δE) afin d'identifier des technologies connues correspondantes (T_i) et de générer des concepts de technologies ($T_i?$) qui proposent des nouvelles propriétés supplémentaires ($P_i?$). Leur exploration engendre les expansions des connaissances de technologies variées (ΔT).

Le C-K E requiert comme base de connaissances initiale les propriétés basiques des technologies (δT) afin d'identifier des environnements connus correspondants (E_i) et de générer des concepts d'environnements ($E_i?$) qui proposent des nouveaux critères d'évaluation ($V_i?$). Leur exploration engendre les expansions des connaissances d'environnements variés (ΔE).



Légende additionnelle

T_i : technologies connues / $T_i?$: technologies inconnues
 P_i : propriété de la technologie / $P_i?$: propriétés de la technologie inconnues
 E_i : environnements connus / $E_i?$: environnements inconnus
 V_i : critères d'évaluation connus / $V_i?$: critères d'évaluation inconnus

Figure 42 : Eléments constitutifs d'un C-K T et d'un C-K E dans divers situations

Grâce à ce modèle générique nous pouvons réinterpréter les échanges mettant en action l'engagement conceptif vus au chapitre 6 soit comme l'élaboration collaborative du C-K T soit comme l'élaboration collaborative du C-K E alors que ces réunions engagent à la fois des concepteurs de technologie et des concepteurs d'environnements.

Ainsi lorsque les technologies caloducs ont une valeur négative, la réunion organisée par la direction de l'innovation entre l'acheteur ayant rédigé la fiche idée et un vendeur de technologies s'interprète aisément avec le C-K T (Figure 43). Les connaissances initiales basiques des environnements (δE) sont les sources et besoins de chaleur dans l'avion qui ont été schématisés dans la fiche idée. La technologie des caloducs était connue avant et fait donc aussi partie des connaissances initiales (T_1). Le concepteur de technologies amène une expansion des connaissances ΔT en identifiant une technologie dont les propriétés satisfont les critères basiques (P_{01A} , P_{02A} , P_{03A}) et propose la propriété avancée d'interface à haut rendement avec les équipements sources et besoins de chaleurs.

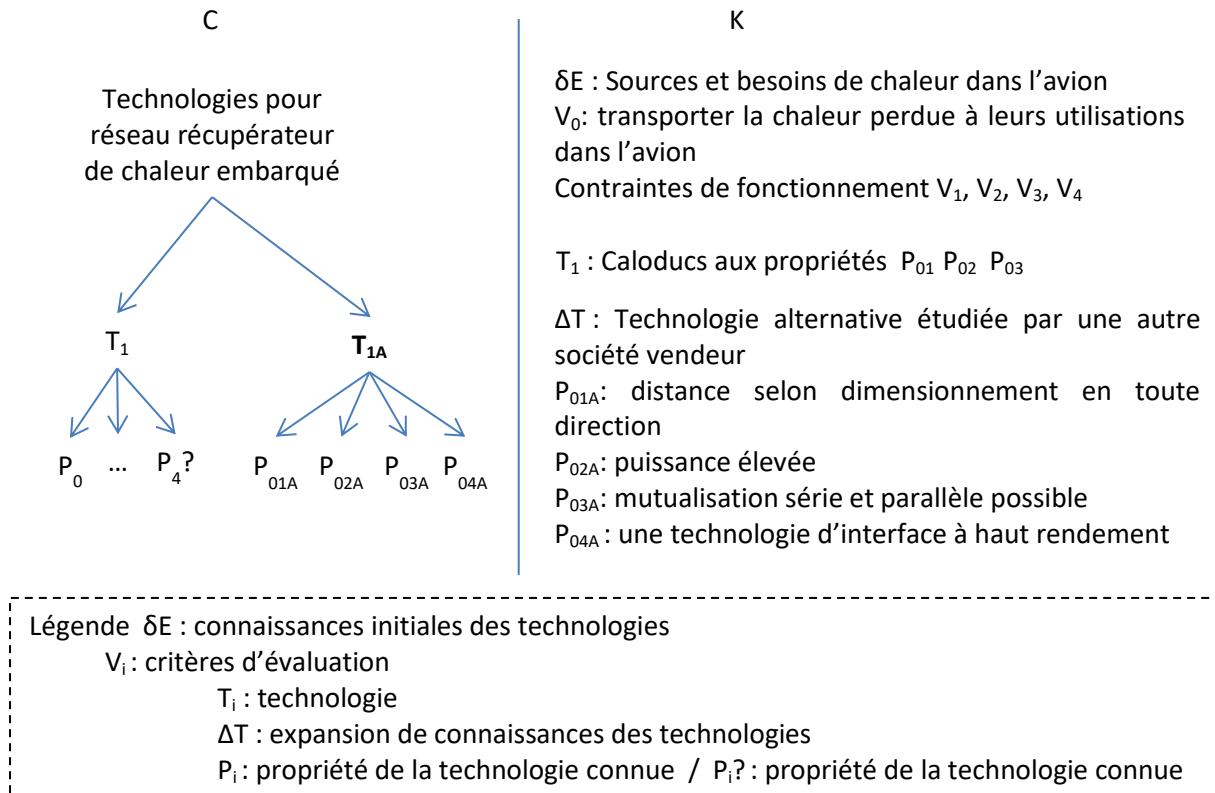


Figure 43 : C-K sur les technologies (C-K T) obtenu lors de la rencontre de concepteur de technologies et de concepteur d'environnements organisée par la direction de l'innovation dans le cas Caloducs

La préparation de l'atelier conception innovante consistant en l'édition d'un tableau avec vendeur et acheteur précédents ainsi que les experts de deux autres produits s'apparente à l'élaboration du C-K E. La réunion précédente fournit les connaissances initiales des propriétés basiques des technologies (δT) et de l'environnement avion (E_0). Les experts de produits supplémentaires, équipements de rang 1 dans l'avion, amènent des expansions des connaissances des environnements (ΔE) qui permettent de préciser les concepts de produits à explorer pendant l'atelier conception innovante ($E_1? \dots E_5?$). Remarquons que le concepteur de technologies contribue à cette expansion. En début de réunion il insistait sur la chaleur excédentaire qu'il faut parvenir à dissiper dans les produits futurs. Ce même acteur évoquait la difficulté de synchroniser sources et utilisations de la chaleur dans l'environnement (V_7). Concepteurs de technologies et concepteurs d'environnements respectent l'invariant sur les technologies au profit d'expansion sur les environnements.

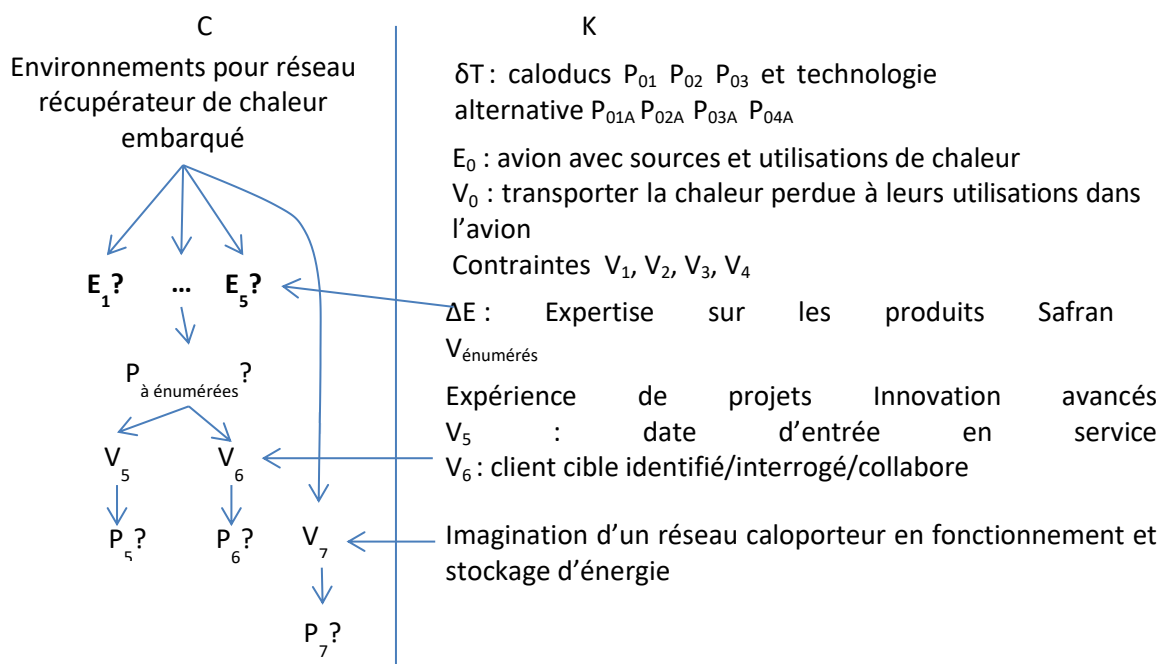


Figure 44 : C-K sur les environnements (C-K E) obtenu lors de la préparation d'un atelier conception innovante organisée par la direction de l'innovation dans le cas Caloducs

Nous avons montré les éléments constitutifs d'un C-K T et d'un C-K E d'une exploration à partir d'explorations menées séparément par des concepteurs de technologies et des concepteurs d'environnements. De plus nous avons montré que réunis, les deux types de concepteurs peuvent respecter l'invariant T ou E afin de fournir les expansions respectives ΔE ou ΔT . Enfin nous devons remarquer que le C-K T nécessite des connaissances minimales des environnements et réciproquement le C-K E nécessite des connaissances minimales des technologies. Autrement dit les deux C-K sont interdépendants. Nous devons donc définir des opérateurs entre les deux C-K ce que nous faisons à présent.

Définition d'opérateurs afin de piloter les interdépendances entre C-K T et C-K E

Nous avons montré que C-K T et C-K E ne sont pas totalement indépendants. Dans le cas thermoélectricité le fournisseur qui conçoit la technologie exprime sa performance en puissance surfacique alors qu'en parallèle Safran parvenait au critère de puissance massique. Ensuite le cas Caloducs confirmait que les connaissances initiales sur des technologies ou des environnements favorisent les expansions respectivement des environnements et des technologies. A présent nous allons donc définir les opérateurs permettant de réaliser des échanges entre C-K T et C-K E et de piloter les interdépendances. Nous nous appuyons principalement sur l'atelier conception innovante de l'exploration Caloducs organisé par le doctorant pour la direction de l'innovation résumé dans l'encadré suivant.

Atelier conception innovante de l'exploration Caloducs

Titre de l'atelier dans la convocation : " Atelier Innovation Transfert Thermique".

Participants experts des technologies

- Société 1 : un ingénieur conception et son ingénieur en chef expert

Participants experts des environnements :

- Société 2 : un architecte avant-projet, deux thermiciens
- Société 3 : un ingénieur intégration et un thermicien
- Société 4 : un ingénieur intégration aérothermique et un expert thermicien

Déroulement sur une journée

- 1) Une présentation des technologies, l'auditoire note des idées pendant la présentation
- 2) Deux présentations des environnements, l'auditoire note des idées pendant les présentations
- 3) Partage des idées et émission de nouvelles
- 4) Structuration des idées

Contenu des présentations

Société 1 : historiques des activités en échanges thermiques, détails sur deux échangeurs de chaleur, détails sur la technologie alternative aux caloducs, exemple d'intégration possible dans un produit inspirée d'anciens avions

Société 2 : management thermique de trois architectures actuelles, concepts d'amélioration du refroidissement, nouvelles architectures avec échange thermique

Société 4 : historique des produits, architecture actuelle, puissances thermiques à dissiper, classement des critères sur ce produit des compagnies aériennes

Remarquons que dans l'étape 3) de partage des idées et de génération de nouveaux concepts il n'y a pas de distinction en C-K T et C-K E. Les échanges sont libres ce qui différencie cette expérience des réunions mobilisées auparavant dans cette section afin de mieux modéliser les échanges entre C-K T et C-K E.

Nous définissons d'abord des opérateurs de connaissances uniquement, puis des opérateurs de connaissances d'un C-K vers les concepts de l'autre C-K, et finalement de concept d'un C-K vers les connaissances de l'autre C-K.

Opérateurs $K_E \rightarrow K_T$ et $K_T \rightarrow K_E$: échanges de connaissances entre concepteurs

Une première façon pour le C-K E d'acquérir les connaissances basiques des technologies est de "transférer" celles du C-K T. Concrètement il s'agit de conserver les mêmes acteurs participants. Ils peuvent introduire en début de réunion des acquis de la réunion précédente aux nouveaux acteurs. Les deux réunions du cas Caloducs ci-dessus montrent le phénomène lorsque les concepteurs de T et concepteur de E initiés indiquent en début de réunion le but de créer un projet Innovation motivé par l'apparition de technologies de transfert de chaleur de grande puissance. De façon abrégée nous

pourrons noter cet opérateur $K_T \rightarrow K_E$. Nous définissons aussi l'opérateur réciproque $K_E \rightarrow K_T$. Lorsqu'il ne s'agit pas de basculer d'un C-K à l'autre, l'atelier conception innovante montre que les présentations d'un participant aux autres activent cet opérateur. Des questions sont posées durant la présentation des technologies par les concepteurs de E, par exemple afin de préciser les topologies des échangeurs qui sont présentées (plaques, tubes...). Réciproquement, les concepteurs de T demandent des précisions sur l'emplacement des échangeurs dans les architectures présentés par les concepteurs de E.

Cependant l'atelier avec le fournisseur dans le cas Thermoélectricité montrait la limite du simple transfert de connaissances. En effet à plusieurs reprises au cours de sa présentation le fournisseur a indiqué qu'il nécessitait des exigences et que sans spécifications de besoin la conception stagnait. Safran n'était pas en mesure de les fournir. Cela nécessitait un effort de conception des utilisations de la puissance électrique des générateurs thermoélectriques malgré de fortes incertitudes sur la puissance électrique potentiellement générée. D'autres opérateurs sont donc à définir. Du point de vue théorique, les échanges de connaissances doivent permettre de générer des nouveaux concepts qui stimuleront de nouvelles explorations. Or les concepteurs de technologies et d'environnements étant réunis ils peuvent émettre directement des concepts ce qui tendrait à définir des opérateurs d'échange de K dans C.

Opérateurs $K_E \rightarrow C_T$ et $K_T \rightarrow C_E$: suggestions croisées de concepts

Les opérateurs des connaissances d'un acteur vers les concepts d'un autre ont été largement étudiés par Szpirglas (2006) afin d'expliquer les mécanismes de formation des quiproquos. Ils intervenaient alors dans la situation d'un acteur recevant une information en contradiction avec sa base de connaissance l'obligeant à concevoir le sens d'une telle information. Dans la situation de conception de la valeur par les expansions de la frontière Technologie-Environnement, l'atelier conception innovante de l'exploration Caloducs montre une facette avantageuse de ces opérateurs. Il les met en action lorsque les acteurs notent leurs idées pendant une présentation.

Nous pouvons d'abord définir l'opérateur $K_E \rightarrow C_T$ dont un exemple est le concept de technologie de lubrifiant à changement de phase ($T_4?$ dans la Figure 45). Lors de l'arrêt du circuit de refroidissement d'un produit, les composants à une température élevée transmettent de la chaleur par rayonnement à d'autres pièces qui ne sont plus refroidies (ΔE_1). La température croissante dégrade les pièces à moins d'une conception anticipant le phénomène. Précisément, les participants de l'atelier proposèrent la technologie de lubrifiant à changement de phase afin de disposer d'une capacité thermique absorbant la chaleur à la place des pièces sensibles ($T_4?$). Des problèmes d'étanchéité furent évoqués immédiatement et le concept n'a pas été exploré ultérieurement à notre connaissance.

De plus la « conformance » pour un échangeur de chaleur a été proposée par leurs intégrateurs ($P_{311}?$ dans la Figure 45). Si des travaux d'optimisation topologique suscités par l'enthousiasme autour de l'impression 3D existaient par ailleurs, la conformance concentre les critères de valeur les plus pertinents pour le concepteur d'environnements : la géométrie macroscopique avant l'optimisation microscopique (ΔE_2). Cette expansion de concept a eu un impact significatif car

quelques mois plus tard, les mêmes concepteurs de technologie avaient inclus ce concept à leur feuille de route technologique présentée lors d'un séminaire R&T (*TechDay*) sur le management thermique.

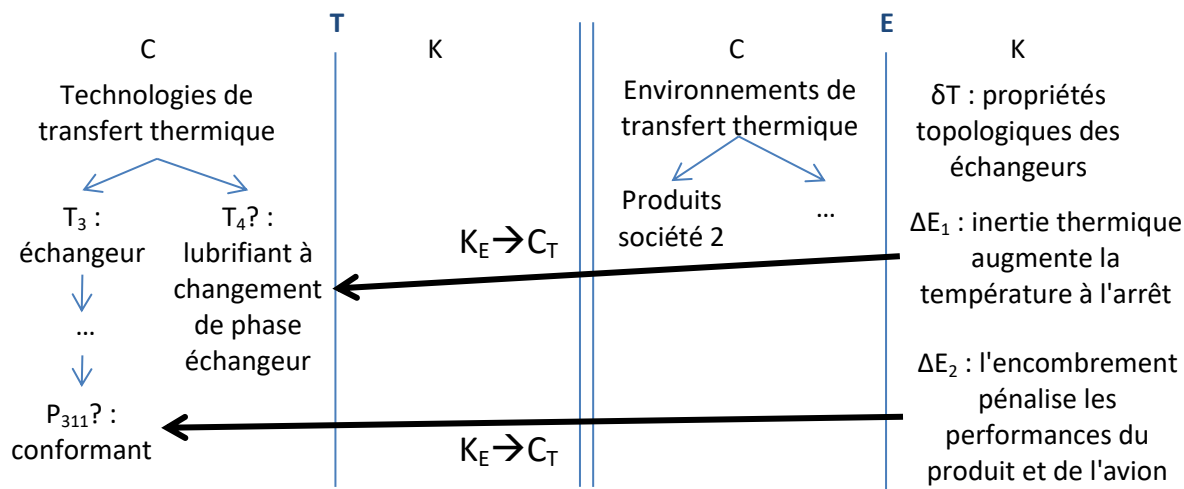


Figure 45 : L'exemple d'opérateur $K_E \rightarrow C_T$ donnant le concept d'échangeur conformant

Réciproquement les concepteurs de E obtiennent des suggestions par l'opérateur $K_T \rightarrow C_E$. La présentation des concepteurs de technologies montraient des échangeurs de chaleur d'un fluide à un autre qui avaient été développés à l'occasion de divers programmes (ΔT dans la Figure 46). Elle insistait sur la variété des fluides avec laquelle les concepteurs étaient désormais capables de concevoir des échangeurs (P_{31} , P_{32} , ...). Or les concepteurs d'environnements considéraient déjà le concept de circuit de refroidissement variable en fonction des phases de vol d'après la présentation qu'ils donnèrent ensuite. Cette connaissance sur la variété des fluides leur suggéra le concept de piloter le circuit de refroidissement pour qu'il change de fluide et donc de surface froide vers lesquelles dissiper la chaleur ($V_2?$). Différentes surfaces froides étaient identifiées suite à la formulation de ce concept.

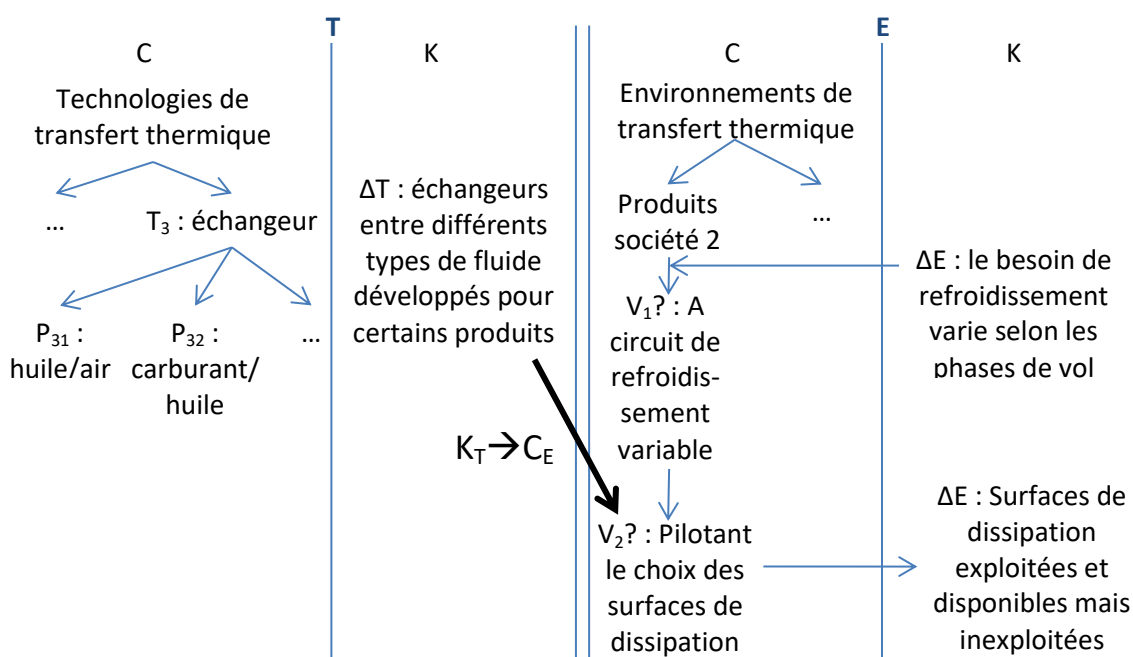


Figure 46 : L'exemple d'opérateur $K_T \rightarrow C_E$ donnant le concept de circuit de refroidissement pilotant les surfaces froides

Cependant chaque présentation intègre des concepts peu explorés ou parfois formulés mais aucunement explorés. Par exemple la technologie alternative aux caloducs est imaginée sous différentes formes par les concepteurs de technologies mais elle n'a jamais été construite matériellement. De plus les acteurs "rebondissent" lorsqu'un concept est formulé. Il est donc nécessaire de définir des opérateurs démarrant de l'espace des concepts pour modéliser les échanges à partir de technologies ou d'environnements inconnus.

Opérateurs $C_E \rightarrow K_T$ et $C_T \rightarrow K_E$: raisonnement sur l'hypothèse d'un inconnu réalisé

Comme vu ci-dessus, durant l'atelier conception innovante du cas Caloducs les acteurs formulent le concept d'environnement d'un produit pilotant le choix des surfaces de dissipation ($V_2?$ dans la Figure 47). Les concepteurs de technologies ont alors considéré ce concept pour proposer des technologies en adéquation. Par exemple ils proposèrent de conférer aux ailettes de refroidissement ($T_4?$) habituellement statiques ($P_{41}?$) la propriété de changer de forme grâce à des matériaux à mémoire ($P_{41}?$).

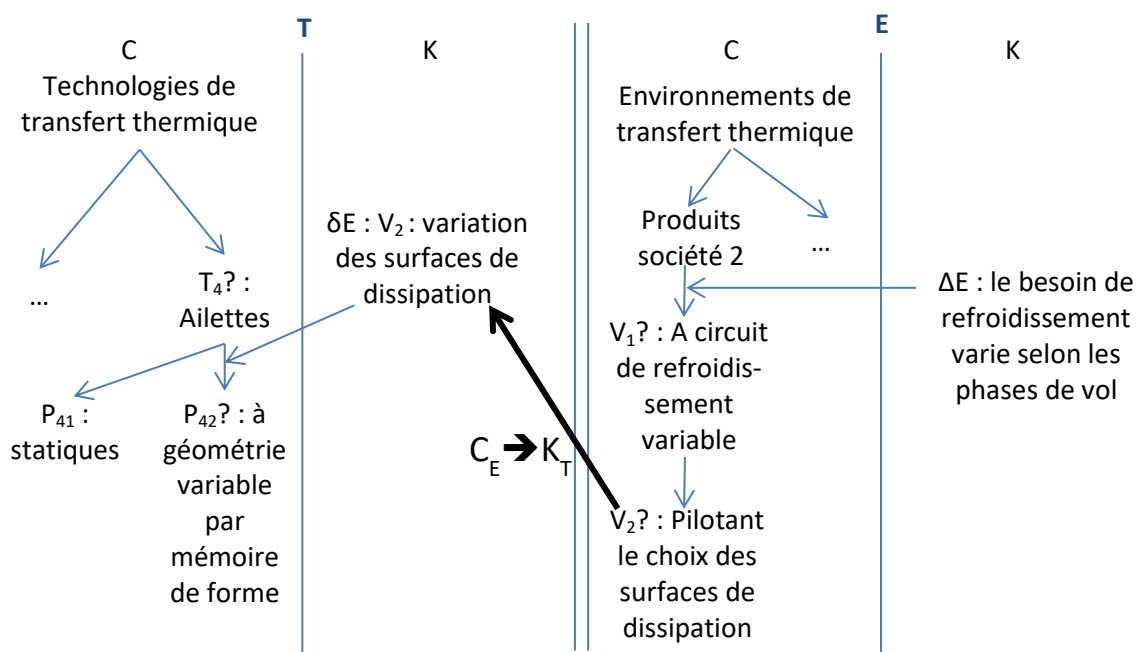


Figure 47 : L'exemple d'opérateur $C_E \rightarrow K_T$ donnant le concept de technologies d'ailettes à géométrie variable

Réciproquement le C-K E peut admettre comme connaissance des propriétés de technologies encore inconnues dans la base de connaissances du C-K T. Ainsi la technologie alternative aux caloducs est bien présentée comme un concept ($T_2?$ dans la Figure 48). Par contraste avec les échangeurs en opération sur des avions actuellement en service, le concepteur de technologies insiste qu'elle n'existe que dans l'état de l'art qui a été établi par du personnel qui a quitté la société et qu'elle n'a pas été expérimentée. Or les concepteurs d'environnements de la société 4 proposèrent d'employer

cette hypothétique technologie pour récupérer la chaleur excédentaire de leur produit pour chauffer l'air ambiant dans la cabine de l'avion. Malgré les difficultés techniques évidentes de cette architecture, il est identifié que ce concept est pertinent sur les avions dont l'air pressurant la cabine n'est pas prélevé des compresseurs des moteurs (*bleed air*) mais de l'air environnant l'avion et que ces avions se multiplieraient si les enquêtes sur les risques sanitaires liés au *bleed air* étaient confirmées et prises en compte par les autorités de certification.

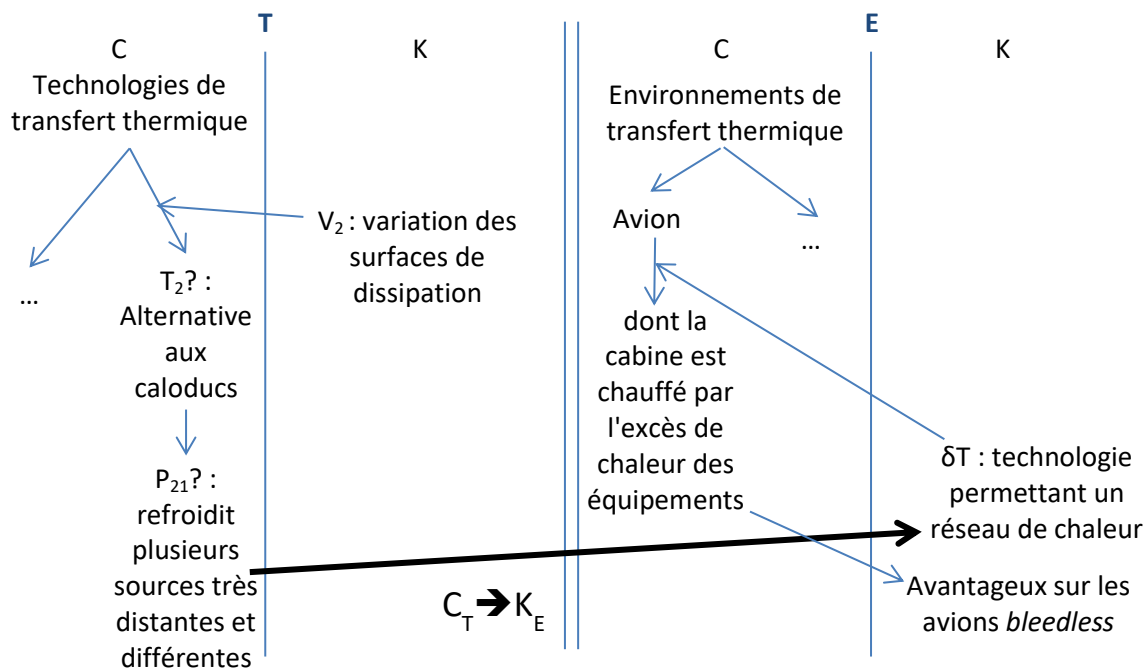


Figure 48 : L'exemple d'opérateur $C_T \rightarrow K_E$ donnant le concept chauffé par la chaleur excédentaire des équipements

Ce même opérateur eut un rôle critique dans le cas Thermoélectricité. Précédemment nous décrivions que séparément les concepteurs de technologies et les concepteurs d'environnements parvenaient à des dimensions de la valeur différentes, respectivement puissance surfacique et puissance massique. Durant l'atelier Thermoélectricité, le fournisseur présente la technologie avec une certaine puissance surfacique (P_1 dans la Figure 49) qui ne fait pas sens pour Safran qui demande la puissance massique (V_3). Théoriquement le fournisseur n'a qu'à diviser par la masse surfacique des générateurs thermoélectriques pour obtenir cette propriété. Cependant la masse surfacique dépend de nombreux paramètres notamment les matériaux qui sont eux-mêmes dépendant des conditions thermiques que présentent l'environnement puis la tension, le courant et la disponibilité exigés. Masse surfacique et puissance surfacique sont donc toutes deux très incertaines. Cependant l'expert accompagnant le fournisseur parvient à donner des valeurs approximatives dont les valeurs extrêmes satisfont le critère de Safran après division. Ce premier calcul incertain permettra l'engagement ultérieur des trois sociétés Safran. Il s'agira en premier lieu de participer à des ateliers pour diversifier la valeur des générateurs thermoélectriques. L'outil expérimenté pour cela a été évoqué dans le chapitre 6 (p145) et est décrit dans le chapitre suivant (p239).

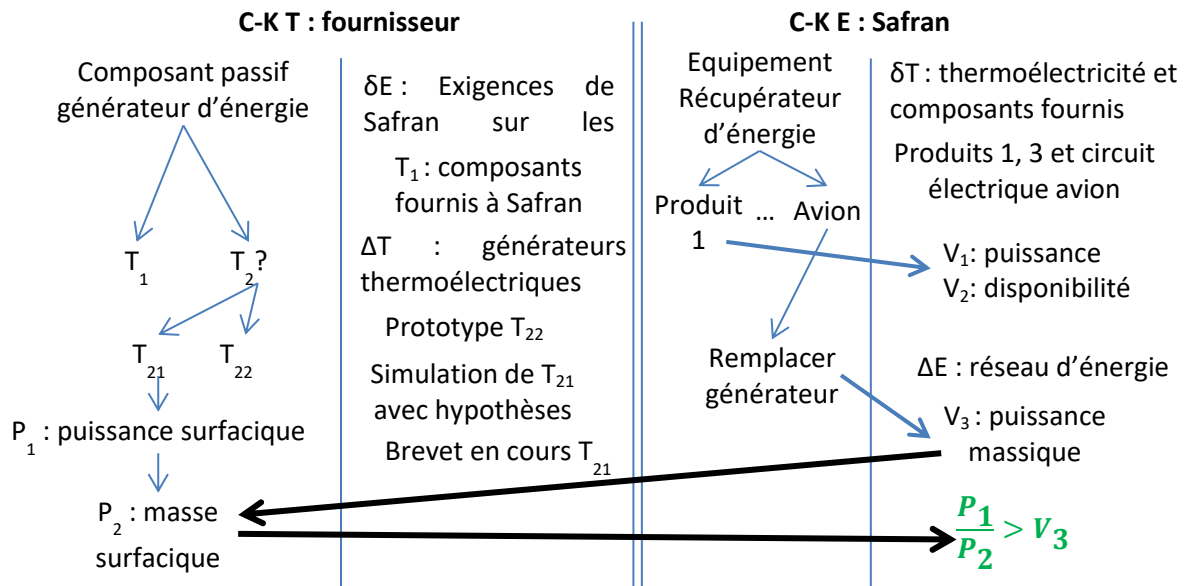


Figure 49 : L'exemple d'opérateur $C_T \rightarrow K_E$ permettant un premier calcul de la valeur qui engagera les ressources dans l'exploration ultérieure pour élaborer le C-K E

Nous n'identifions pas d'opérateurs supplémentaires. Du point de vue formel de la théorie C-K des opérateurs $C_T \rightarrow C_E$ et $C_E \rightarrow C_T$ ne respectent pas l'axiome de relativité des concepts à une base de connaissances. Cependant l'effet de provoquer des expansions de concepts chez un concepteur à partir des concepts de l'autre est bien obtenu avec les opérateurs $C_T \rightarrow K_E$ et $C_E \rightarrow K_T$. Nous avons donc terminé de décrire le formalisme C-K T / C-K E comme modèle d'action final aux échanges dans l'inconnu. Nous pouvons donc clôturer ce chapitre.

Conclusion de chapitre 9 : Quels outils et méthodes constituant le substrat technique au formalisme C-K T / C-K E d'expansion de la frontière Technologie-Environnement ?

Le formalisme C-K T / C-K E confère au modèle de l'engagement conceptif émis au chapitre 6 le pilotage des expansions de connaissances et la construction de la relation vendeur-acheteur qui lui manquaient. Tous deux résultent des expansions de la frontière Technologie-Environnement par un collectif de concepteurs. Le collectif agit alors en concepteurs de technologies et en concepteurs d'environnements plutôt qu'en vendeur et en acheteur. Ce modèle nécessite encore un substrat technique pour être systématiquement mis en action. Lorsque le concepteur de valeur collective pilote l'élaboration collaborative du C-K T ou du C-K E par le collectif en préparant ou faisant préparer des brouillons ou des présentations, quelles formes prennent-ils ? Il pourrait aussi diagnostiquer les fixations qu'a subies ce collectif en traçant les opérateurs effectués et les opérateurs possibles qui n'ont pas été mis en action.

Résumé de chapitre 9

La partie 4 montre que l'échelle TRL comme outil d'engagement de ressources n'est pas adaptée dans l'inconnu car elle limite les expansions des environnements et de leurs critères d'évaluations. Le chapitre 9 a pour but de construire un modèle d'action collective de la double expansion Technologie-Environnement dans lequel la relation vendeur-acheteur est endogène.

La première section définit les expansions à la frontière Technologie-Environnement. Le premier type d'expansion consiste à étendre la chaîne de conception conçue. Par exemple, certaines architectures d'avion nécessitent d'étendre la frontière moteur/avion des phénomènes aérodynamiques sur une pièce jusqu'aux opérations aériennes. **L'expansion des technologies en variété correspond plutôt aux méthodes *market-pull* et est favorisée par la fixation des environnements.** Le cas Frein froid mené en début d'intervention montre alors des expansions importantes des technologies mais ne bénéficia plus de ressources à cause d'une fixation sur les environnements. **L'expansion des environnements en variété correspond aux méthodes de *Technology-push* modernes, elle est favorisée par la fixation des technologies** comme le montre le cas des générateurs thermoélectriques dont la valeur est construite dans les produits de 5 sociétés Safran, de l'architecture électrique de l'avion et de l'aéroportuaire. **Ainsi nous avons défini trois stratégies d'expansion de la frontière Technologie-Environnement que doit fournir l'engagement conceptif de vendeurs et d'acheteurs piloté par le concepteur de valeur collective.**

La deuxième section définit le formalisme C-K T / C-K E comme modèle d'action à ces expansions. Séparer le raisonnement sur les technologies et celui sur les environnements vérifie les conditions de l'engagement conceptif en permettant (1) de rendre compte de la variété des technologies et des environnements favorisant la condition de substrat technique non fixant, (2) au concepteur de valeur collective d'engager des acteurs inconnus comme concepteurs de technologies donc vendeurs potentiels et concepteurs d'environnements donc acheteurs potentiels, (3) de modéliser les alternatives bénéficiant de ressources favorisant la condition de philosophie de convergence générative. **Le cas Thermoélectricité permet de définir les éléments constitutifs du C-K T et du C-K E en considérant les explorations séparées de fournisseur et de Safran. Le cas Caloducs permet de tester la réunion d'un collectif mixte élaborant soit le C-K T soit le C-K E. Cela met en avant les interdépendances entre C-K T et C-K E et appelle à les modéliser par des opérateurs entre les deux C-K.** Les opérateurs d'échanges de connaissances sont limités à celles disponibles alors que les concepteurs peuvent émettre des concepts. L'atelier conception innovante du cas Caloducs permet de démontrer les opérateurs de suggestions croisées de concepts $K_E \rightarrow C_T$ et $K_T \rightarrow C_E$ puis les opérateurs de raisonnement sur l'hypothèse d'un inconnu réalisé $C_E \rightarrow K_T$ et $C_T \rightarrow K_E$. **Ces opérateurs modélisant les échanges dans l'inconnu entre concepteurs de technologies et concepteurs d'environnements achèvent notre modèle d'action pour l'échange dans l'inconnu.**

Le chapitre se termine donc sur l'intention de fournir à Safran des outils et méthodes composant le substrat technique de ce modèle d'action parmi les nombreuses perspectives qu'ouvre le formalisme C-K T / C-K E.

Chapitre 10 – La méthode Pilotage de l'Exploration Par les Invariants Technologie et Environnement (PEPITE) et ses outils

Dans le chapitre précédent nous avons établi un modèle d'action pour l'échange dans l'inconnu : le formalisme C-K T / C-K E. Il suggère de nombreuses méthodes. Il peut permettre au concepteur de valeur collective pilotant une exploration de préparer les échanges entre vendeur concepteur de technologies et acheteur concepteur d'environnements même si ils sont inconnus. Il peut aussi lui permettre de diagnostiquer la fixation du collectif et préparer des nouvelles pistes d'exploration. L'objectif de ce chapitre est de fournir une méthode présentée comme la succession d'étapes et les outils pour mener chaque étape.

Le présent chapitre montre alors des outils limités en l'absence de modèle d'expansion de la frontière Technologie-Environnement. Ensuite il présente des outils fondés sur le formalisme C-K T / C-K E. Enfin il présente la méthode Pilotage de l'Exploration Par les Invariants Technologie et Environnement (PEPITE) en expliquant le déroulement de chaque étape et les outils mobilisables.

Outils limités par l'absence de pilotage de l'invariant Technologie ou Environnement

Dans cette section nous présentons des expérimentations qui témoignent des fixations à la frontière Technologie-Environnement subies par les acteurs si les outils ne sont pas construits pour les éviter. D'abord des représentations à l'effet réaliste d'un concept ne stimulent pas son élaboration. Ensuite des prototypes de concepts réalisés à partir de diagrammes C-K induisent des fixations sur la variété des environnements. Cela confirme l'intérêt de fonder des outils sur le formalisme C-K T / C-K E expliqué dans le chapitre précédent.

Représentations à l'effet réaliste d'un concept : recueillir une expertise sans élaborer le concept

Le web regorge de concepts présentés avec une image au rendu réaliste. Lorsque la possibilité est donnée aux internautes de réagir par des commentaires, on peut constater que nombreux relèvent des points durs, des dysfonctionnements, des raisons de ne pas poursuivre sa réalisation.




<p>Concept</p>	 <p>hoverless vertical-takeoff-and landing [VTOL]” HyperCommuter⁶⁹</p>	 <p>Scuba Breath (respirer dans l’eau)</p>	 <p>Design de bateau</p>
<p>Média</p>	<p>aviationweek.com</p>	<p>yankodesign.com</p>	<p>yankodesign.com</p>
<p>Exemple de commentaires</p>	<p><i>“I’m guessing that the aircraft will have to be certified for flight into known icing conditions but I haven’t read anything about the testing that has gone into that for this technology. I suspect hail hitting propellers turned upwards as well as ice flinging off multiple small propellers will be major considerations along with added weight due to snow accumulation on the wings and fuselage.”</i></p>	<p><i>“I am an Ex South African Navy Diving instructor [...] 2. Pure Physiology. The human lungs/diaphragm are designed for for breathing air at a pressure of 1 bar/atms (sea level) maximum. If you held your breath and dived to 10m your 5 liter lung capacity would be compressed into a volume of 2.5 liter.”</i></p>	<p><i>“A beautiful looking boat but as someone who has worked on “deck” for over ten years I have to agree with comments that it is impractical. You could never get the salt off that lattice, and no Hyun-Seok Kim, not even with high pressure washing. Also the wheelhouse right on the bow will never work in a sea. You wouldnt be able to stand”</i></p>

Tableau 28 : Exemples de concepts ayant bénéficié de retours d’experts inconnus

On pourrait qualifier cet engagement « d’indignation de l’expert » : l’incrédulité d’une proposition vis-à-vis d’une expertise amène à la déployer avec exhaustivité. Remarquons qu’une telle stratégie est un moyen d’exploration de connaissances mais on ne peut pas parler d’engagement conceptif puisque les experts ne modifie pas l’objet, ils offrent une critique. On pourrait les qualifier de concepteurs à condition d’indiquer qu’ils subissent des effets de fixation très importants sur l’objet conçu. La frontière Technologie-Environnement n’est pas modifiée par l’échange. Nous pouvons donc faire l’analyse que ces représentations indiquent que la conception est terminée (pas d’alternatives, représentations cherchant le réalisme) mais qu’un acteur doté d’une expertise pertinente parvient à identifier la part d’inconnu dissimulée. Ces outils ne peuvent donc pas servir

⁶⁹ Graham Warwick NASA pour Aviation Week & Space Technology le 1er juillet 2015 “Studies Solutions To Silicon Valley’s Traffic Gridlock”

une stratégie d'expansion de la frontière Technologie-Environnement. L'expansion des ressources d'exploration, c'est-à-dire des acteurs engagés dans l'effort de conception, est limitée aussi par le format de la discussion entre internautes dans nos exemples. Cependant leur identification est une première étape préalable. Il peut donc être utile de publier ce type de contenu sur l'intranet du groupe Safran ou parmi le réseau de fournisseur *et caetera* afin d'identifier des acteurs compétents. Idéalement, l'outil informatique doit permettre aux commentaires d'être anonymes mais aussi à l'émetteur du concept d'entrer en contact avec les émetteurs de commentaires pertinents. Il peut s'agir simplement de répondre aux commentaires en proposant un échange par email. Nous regrettons de ne pas avoir expérimenté de tels outils au sein de Safran qui se dote d'outils numériques.

A présent nous présentons les limites des diagrammes C-K d'après nos expérimentations.

Prototypes de concepts réalisés à partir de diagrammes C-K : expansion des environnements limités

Le travail des optionnaires Le Lous et Pajot (2010) débouchait sur la notion de prototypes de concepts afin d'éviter l'écueil des représentations réalistes qui fixent l'objet au lieu d'indiquer qu'il est en cours de conception :

« Un prototype de concept est un futur concept qui ne peut pour le moment être défini clairement sans perte de valeur. Prenons pour exemple la communication éphémère : le prototype de concept est l'ensemble des *uses cases* et des univers qui ont été définis autour de la communication éphémère. L'objectif est que chaque personne puisse se saisir du concept qui était à la base de la communication éphémère et générer à son tour un nouveau use case. Un prototype de concept est alors une classe de use cases » (paragraphe 4.2).

Les cas Frein froid et Opérations air/sol ont permis de tester l'hypothèse que les diagrammes C-K ont l'effet attendu de stimuler la conception, c'est-à-dire la génération de nouveaux concepts en plus du partage de connaissances pour évaluer ou rendre plus robuste un concept. Dans ces expériences, les diagrammes C-K servaient à structurer l'exploration puis étaient employés comme support de réunions. L'article IPDM rapportait les résultats positifs de ces expériences et donc encourageait à utiliser davantage la théorie C-K. Cependant l'engagement des acteurs ne dépassait pas celui d'échanges lors de la présentation d'une exploration dont le support est un diagramme C-K. L'article ICED comparait alors la méthode avec un seul C-K et celle distinguant C-K T et C-K E. Il s'appuyait sur les cas Thermoélectricité et Caloducs qui distinguent l'invariant T ou E et sur les cas Frein froid et Opérations air/sol qui utilisaient des diagrammes C-K sans mener cette distinction. Il analysait les connaissances explorées et montrait qu'elles sont plus pertinentes pour concevoir la valeur et donc maintenir des ressources lorsque l'exploration est pilotée par les invariants T et E. A présent nous détaillons les supports utilisés sur les explorations Frein froid et *Quick drop* pour expliciter les fixations rencontrées en l'absence de pilotage par les invariants Technologie et Environnement.

Nous mobilisons les données récoltées lors de la dernière réunion des explorations Frein froid et *Quick drop* résumées dans l'encadré suivant.

Données sur la réunion finale des explorations Frein froid et Quick drop

Intitulé de la réunion dans la convocation : « Point freinage froid et quick drop de freins chauds (fiches issues du DKCP) »

Participants :

- Société 1 : un ingénieur R&T et le directeur R&T
- direction de l'innovation : le pilote « pépinière », le doctorant, le directeur

Déroulement de la réunion : le doctorant présente les explorations menées avec des diagrammes C-K (voir figures ci-après) puis les autres participants interagissent avec la présentation et entre eux.

Concepts de technologies générés :

- simplifier le freinage
- vidange de fluide ayant accumulé l'énergie de freinage
- chauffer le circuit d'huile de freinage ou autre circuit d'huile
- moteur générateur linéaire pour convertir l'énergie cinétique directement en énergie électrique utilisable
- ventiler la baie en vol*

Concepts d'environnements générés :

- aéroport à enceinte fermée pour garder la chaleur
- aéroport avec un réseau calorifère
- chauffer un autre avion
- piste avec un générateur électrique linéaire
- atterrissage basse vitesse (pas de récupération)*

* concepts évoqués par les participants et non inclus dans les supports mais ayant été générés auparavant, ils ne sont donc pas nouveaux pour ce collectif

Comme nous le présentons dans l'encadré ci-dessus, les interactions des participants avec la présentation génèrent des concepts. Nous reprenons leur genèse en expliquant une partie des supports utilisés.

Comme il l'est enseigné dans les formations des théories de la conception innovante⁷⁰, la théorie C-K permet de rétro-concevoir une idée afin prévenir certaines fixations. C'est ce que font les deux premières planches du support de la réunion (Figure 50 et Figure 51). La rétro-conception proposée contraste le *dominant design* du freinage dissipant l'énergie à la récupération de l'énergie cinétique

⁷⁰Le doctorant a suivi les formations Conception, Recherche et Innovation (CRI), Conception de Produits et Innovation (CPI) et des cours de l'option ingénierie de la conception (option IC) dispensés par l'école des Mines.

de l'avion. Les deux fiches idées apparaissent alors comme des attributs du concept de « systèmes pour immobiliser l'avion au sol – en ralentissant l'avion – en récupérant l'énergie ».

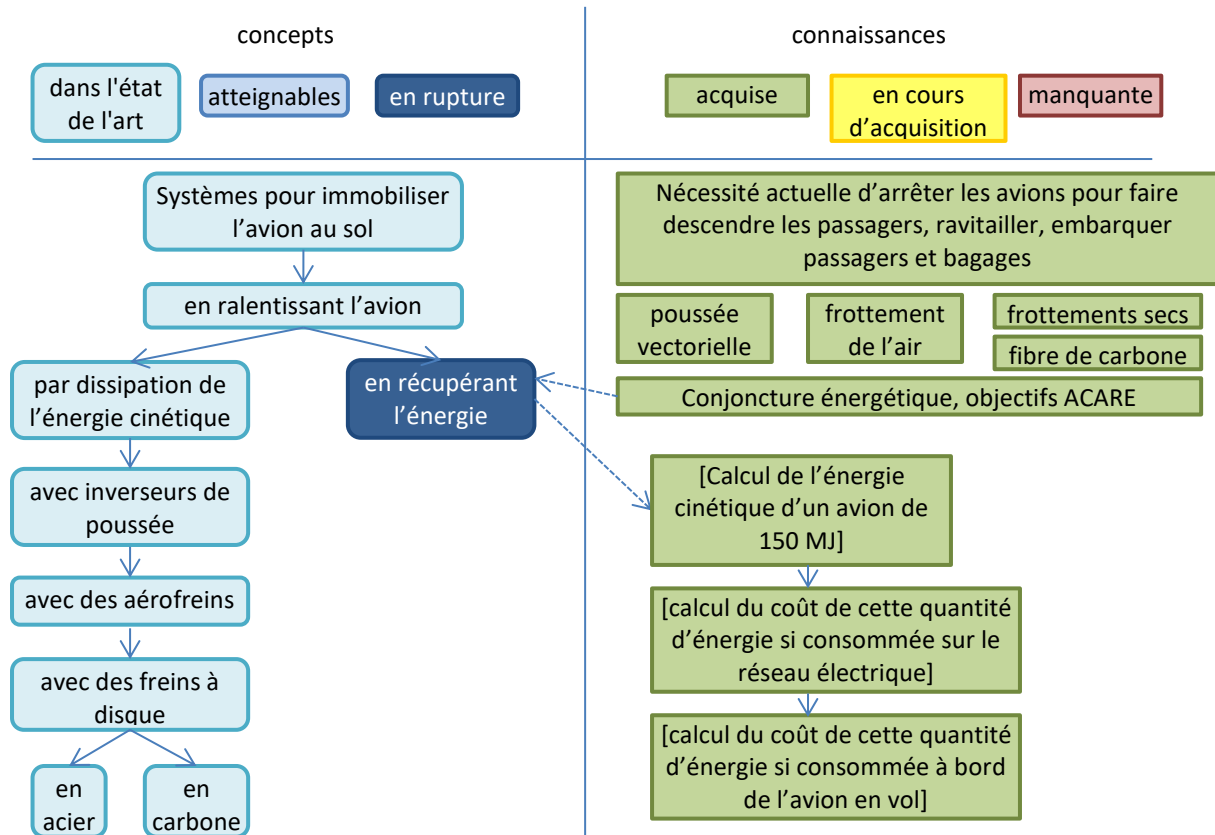


Figure 50 : Supports de la réunion finale des explorations Frein froid et Quick drop (1/4) – ils sont fondés sur la théorie C-K sans distinguer d'invariant T ou E car ces explorations avaient lieu en début d'intervention

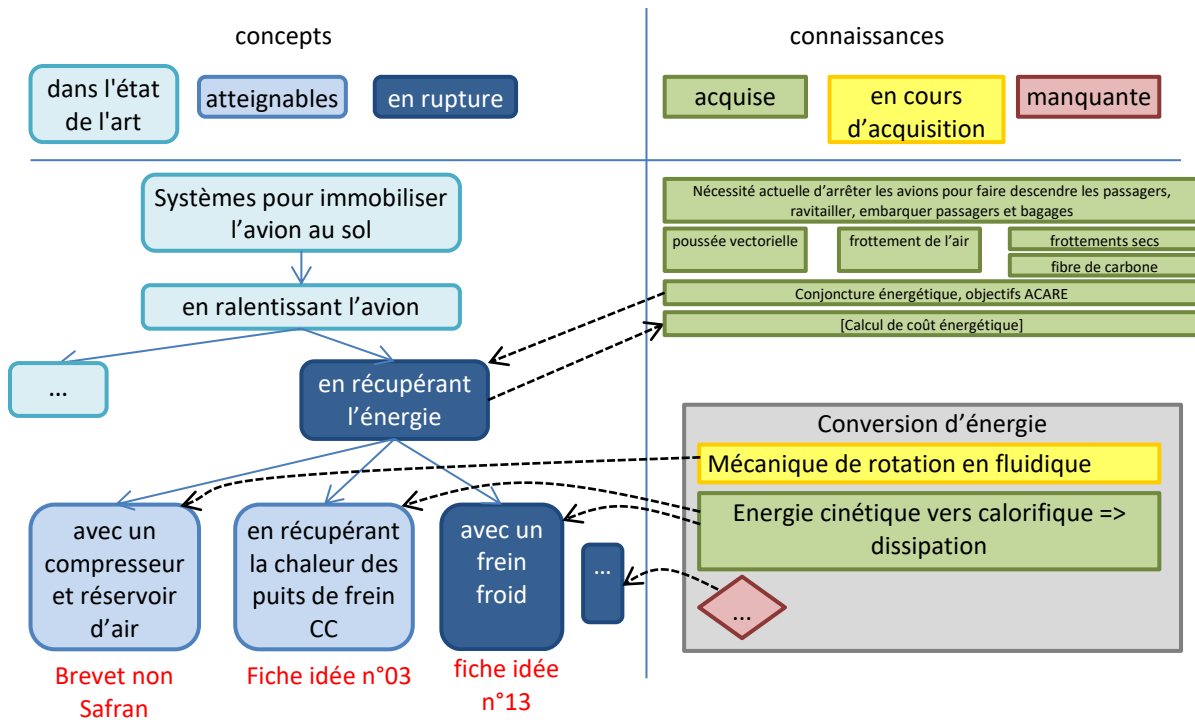


Figure 51 : Supports de la réunion finale des explorations Frein froid et Quick drop (2/4) – ils sont fondés sur la théorie C-K sans distinguer d'invariant T ou E car ces explorations avaient lieu en début d'intervention

La réunion entre d'abord dans le détail de la fiche idée *quick drop*. Elle propose de récupérer l'énergie accumulée dans les puits de chaleur soit en retirant les freins une fois l'avion arrêté soit en employant l'air chaud dans lequel est dissipée l'énergie (Figure 52). La cabine de l'avion et le couloir d'embarquement sont des concepts d'environnements qui pourraient être réchauffés par l'énergie récupérée déjà évoqués par l'exploration. Les participants générèrent en plus les concepts d'aéroport à enceinte fermée, d'aéroport avec un réseau calorifère récupérant cette énergie et de chauffer un autre avion en complément.

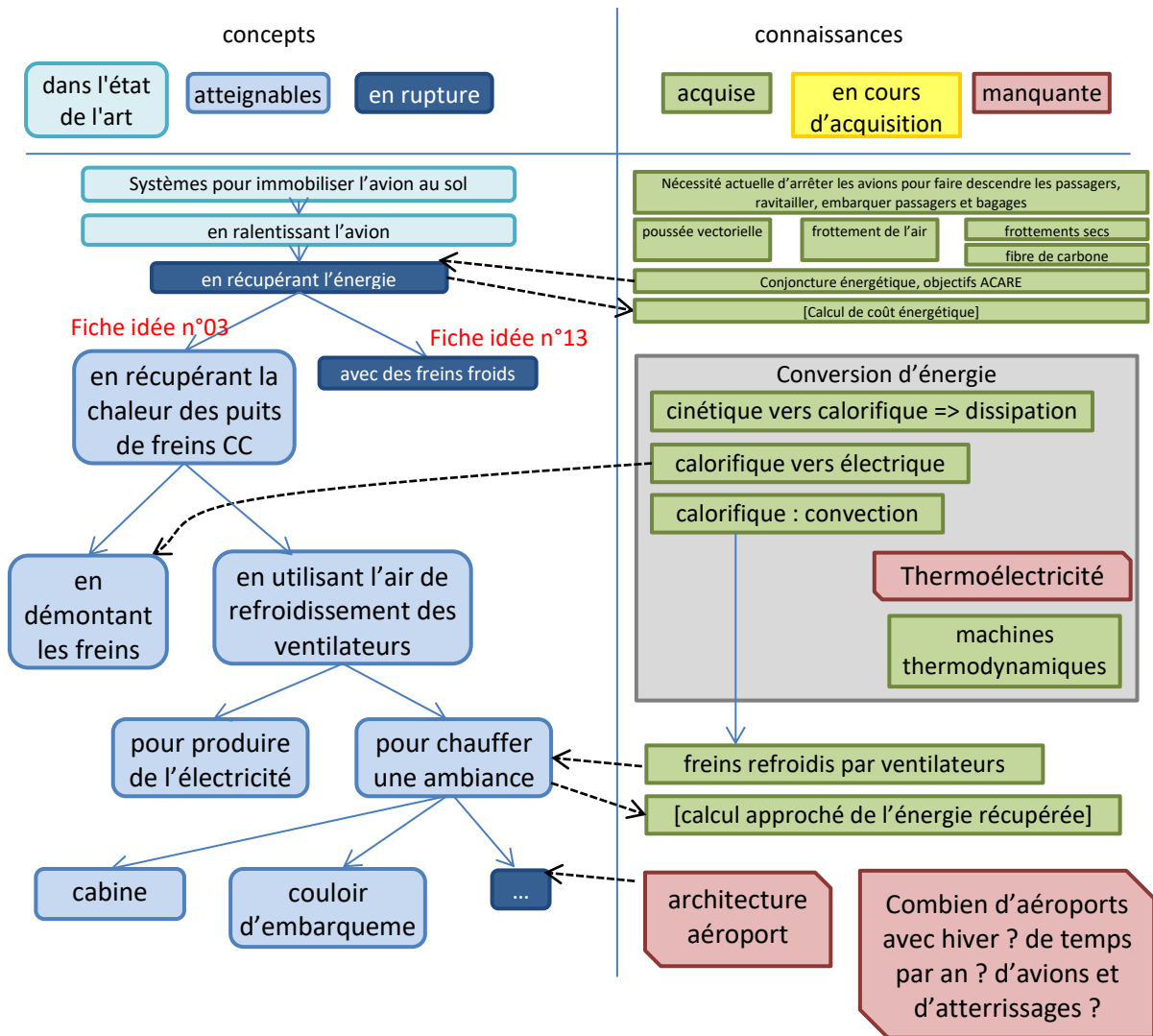


Figure 52 : Supports de la réunion finale des explorations Frein froid et Quick drop (3/4) – ils sont fondés sur la théorie C-K sans distinguer d'invariant T ou E car ces explorations avaient lieu en début d'intervention

Ensuite la réunion aborde la fiche idée Frein froid. Le support mettait en évidence que seules les technologies de conversion en énergie électrique avaient été explorées (Figure 53). Si l'exploration se limitait aux technologies rotatives, les participants évoquèrent différents systèmes avec des moteurs linéaires (exemple : Maglev). Afin de minimiser la masse embarquée par l'avion, le concept de piste intégrant un moteur-générateur linéaire convertissant l'énergie cinétique de l'avion en énergie électrique fut généré. D'autres planches détaillaient cette exploration parvenant à des concepts aux valeurs négatives. Les participants générèrent l'alternative de vidanger un fluide caloporteur entourant les freins.

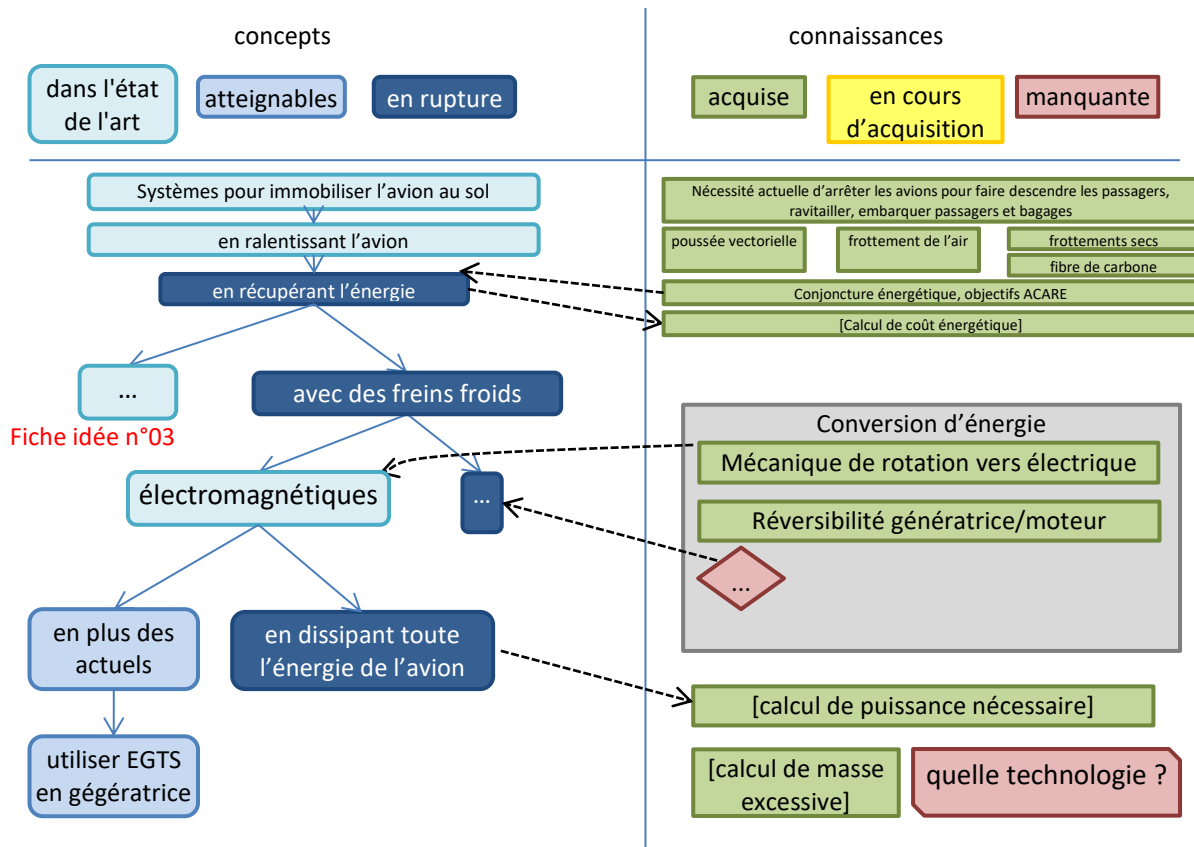
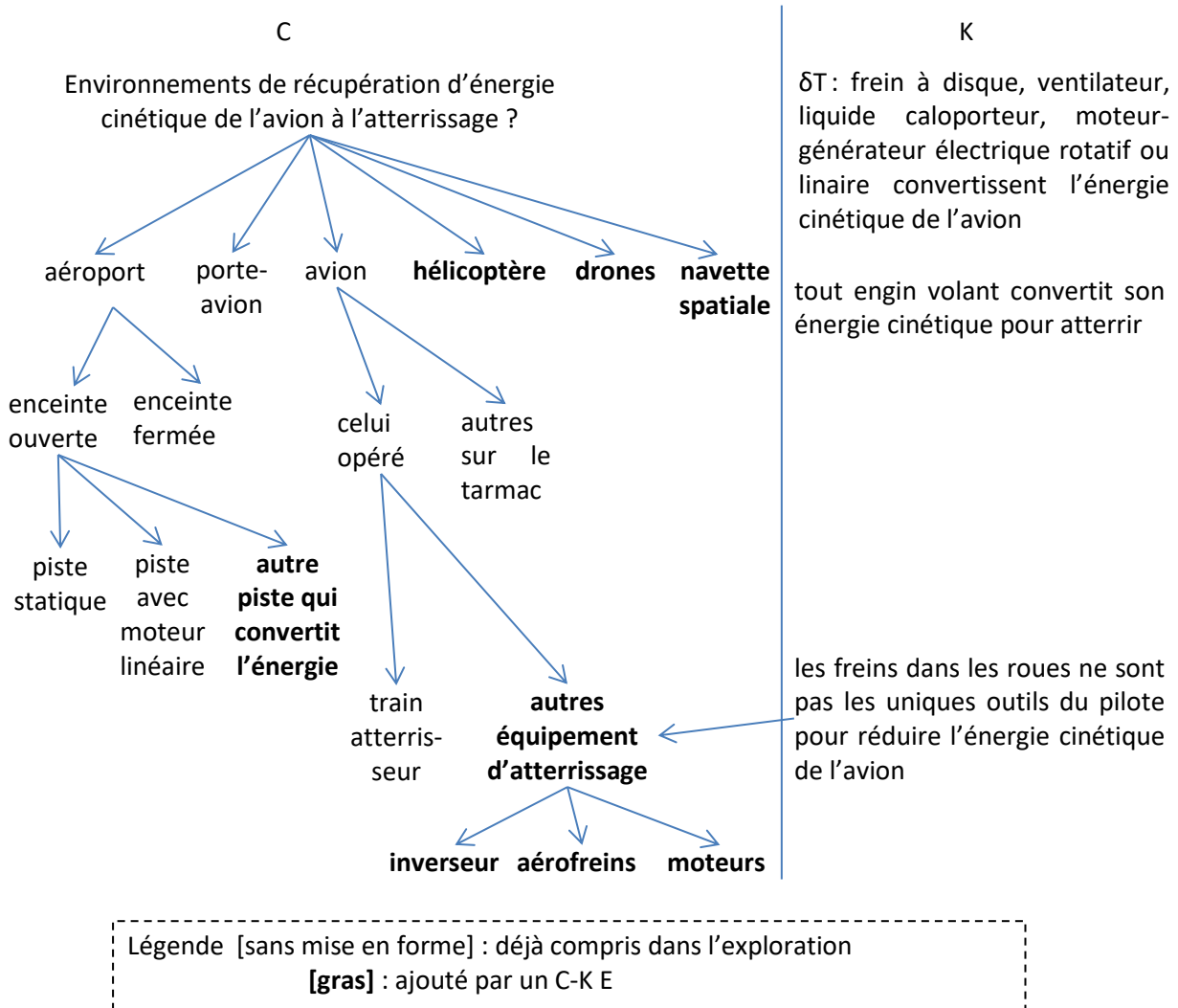


Figure 53 : Supports de la réunion finale des explorations Frein froid et Quick drop (4/4) – ils sont fondés sur la théorie C-K sans distinguer d'invariant T ou E car ces explorations avaient lieu en début d'intervention

Finalement les participants évoquaient le concept d'atterrissage basse vitesse qui évite de dissiper autant de chaleur et possède d'autres avantages pour les opérations aériennes. Cette conclusion amenait à basculer les ressources de la direction de l'innovation (le doctorant et le pilote pépinière) vers la fiche idée portant sur l'atterrissage basse vitesse qui avait déjà été rédigée. Ne portant plus du tout sur la récupération d'énergie, ce basculement marque la fin des explorations Frein froid et Quick drop et le début de l'exploration Opérations air/sol.

Nous évoquons la fixation des environnements de l'exploration Frein froid dans le chapitre 9 (p205). Dans la Figure 54, nous représentons le C-K E qui aurait pu être tracé si nous avions été doté du formalisme C-K T / C-K E. Il met en avant que malgré les nouveaux concepts générés durant la réunion finale ainsi que les efforts d'exploration la précédant, la variété des environnements est très restreinte. En particulier l'exploration est fixée sur les trains d'atterrissage alors que d'autres équipements qui sont des produits du groupe Safran participent à convertir l'énergie cinétique de l'avion. A un niveau plus élevé, d'autres environnements sont aussi pertinents. En particulier celui des hélicoptères dont Safran est fournisseur des moteurs et des trains d'atterrissage pouvait être exploré facilement de façon à mieux employer les ressources. Plus précisément, un expert fut mobilisé moins d'une demi-journée pour déterminer par une simulation la chaleur récupérable dans l'air refroidissant les puits de chaleur. Le doctorant dressa une feuille de calcul déterminant l'énergie récupérée par un moteur électrique réversible installé dans les roues et les économies réalisées par

l'opérateur de l'avion selon l'utilisation de l'énergie. Or ces conclusions s'avèrent peu décisives dans le calcul de la valeur du point de vue du directeur R&T. Ces ressources eurent donc été mieux employées à explorer des environnements variés et d'autres critères de valeur qu'à calculer la quantité d'énergie récupérée ou celle requise pour chauffer une ambiance.



K

δT : frein à disque, ventilateur, liquide caloporteur, moteur-générateur électrique rotatif ou linéaire convertissent l'énergie cinétique de l'avion

tout engin volant convertit son énergie cinétique pour atterrir

les freins dans les roues ne sont pas les uniques outils du pilote pour réduire l'énergie cinétique de l'avion

Légende [sans mise en forme] : déjà compris dans l'exploration
[gras] : ajouté par un C-K E

Figure 54 : C-K E dont aurait pu bénéficier les explorations Freins froids et Quick Drop – séparer le raisonnement sur les environnements met en évidence d'autres aéronefs et d'autres équipements explorables à moindre coût car les compétences sont détenues par des sociétés Safran

Les diagrammes C-K furent aussi employés pour le cas Opération air/sol dont le degré de confidentialité ne permet de les montrer que de façon schématique (voir Figure 57). Cependant le papier ICED montrait que les expansions de connaissances des technologies étaient très abondantes mais ne permettaient pas à l'exploration d'acquérir de la valeur. Au contraire des expansions des connaissances des environnements moins abondantes débloquent le financement de la direction de l'innovation. Cependant nous pouvons faire l'analyse que de façon involontaire, les C-K considéraient d'abord la technologie comme invariante en ne traitant que les opérations aériennes. Ces parties des C-K permirent d'identifier une équipe experte des opérations aériennes chez Safran. Celle-ci fournit proactivement des nouvelles connaissances en effectuant des simulations

numériques d'opérations d'avions ainsi qu'une base de données significatives pour la valeur de l'exploration.

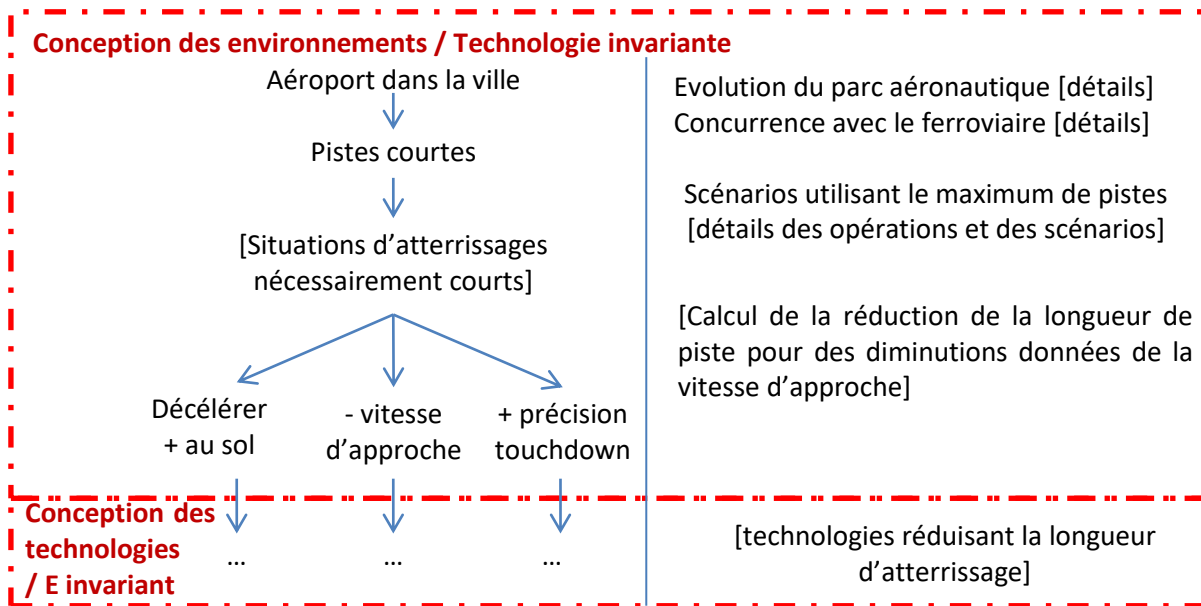


Figure 55 : Forme des C-K utilisés pour engager successivement deux experts dans l'exploration Opérations air/sol qui partageront des connaissances importantes des technologies et permettent d'identifier une équipe experte des opérations aériennes chez Safran qui mobilisa ensuite ses ressources

Ayant montré les limites des outils sans pilotage des invariants Technologie et Environnement, nous allons proposer des outils pour mener ce pilotage.

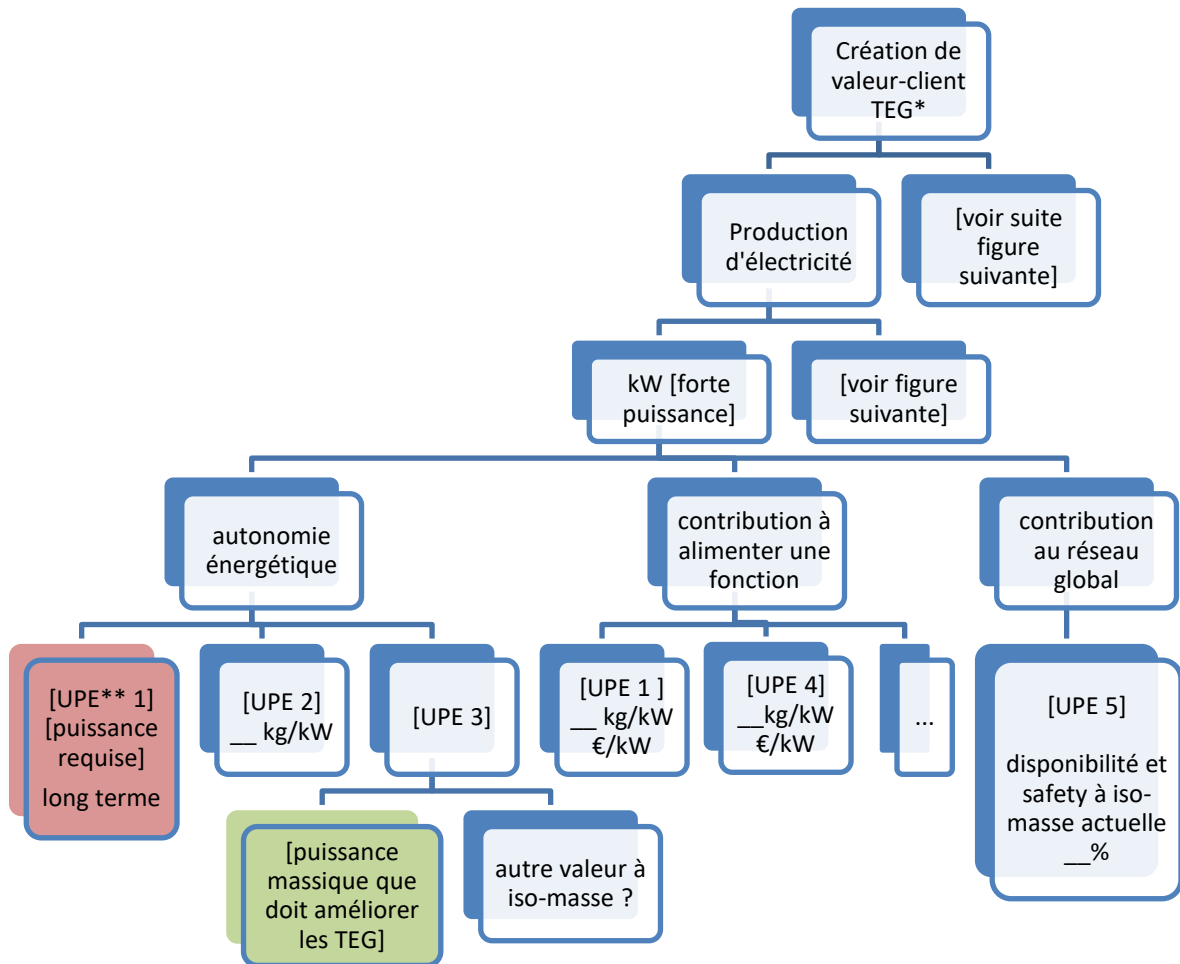
Outils fondés sur le pilotage de l'invariant Technologie ou Environnement

Cette section présente les outils testés qui sont fondés sur le formalisme C-K T / C-K E ou du moins sur le pilotage des invariants Technologie ou Environnement. Nous abordons d'abord les diagrammes qui explicitent les concepts d'un C-K E. Ensuite nous expliquons les principes de technologies prétextes et de besoins prétextes afin d'engager des concepteurs respectivement d'environnements et de technologies.

Outils d'élaboration du C-K E : consolider un *value model*

Dans le cas Thermoélectricité, suite à l'atelier avec le fournisseur, l'exploration bénéficiait d'un calcul positif mais très incertain de la valeur. Cependant la direction de l'innovation ne souhaite pas prendre le risque de financer un projet reposant sur une unique dimension de la valeur qui pourrait s'avérer négative. Elle emploie alors l'engagement des acteurs résultant de ce calcul pour explorer des environnements. En effet diverses potentielles utilisations de la puissance électrique sont identifiées mais il n'est pas établi que le critère de puissance massique s'applique à toutes. De plus le seuil accordant une valeur positive à la technologie peut varier pour chaque utilisation de la puissance électrique. Le doctorant prépare donc un brouillon d'arborescence qui s'apparente à un C-

K E afin que les différents experts l'éditent. Le concept initial est « création de valeur-client des générateurs thermoélectriques ». Ces brouillons sont représentés Figure 56 et Figure 57.



*TEG est l'abréviation anglaise pour générateurs thermoélectriques (ThermoElectric Generator)
 ** UPE désigne utilisation de la puissance électrique

Figure 56 : Brouillon d'arbre de C-K E transformé par les experts de 3 sociétés dans le cas Thermoélectricité (1/2)

Les acteurs convinrent que la voie consistant à résoudre des problèmes thermiques (Figure 57, à droite) n'avait pas de valeur suite aux apprentissages que permit la rencontre avec le fournisseur et l'expert en générateurs thermoélectriques (le critère principal est la conductivité thermique). Il reste la production d'électricité. La ségrégation « autonomie énergétique - contribution à alimenter une fonction - contribution au réseau global » est restructurée en deux voies sur des critères précisés par les experts. Trois utilisations de la puissance électrique sont raffinées mais leurs valeurs restent inconnues (par exemple la masse actuelle est précisée mais celle des générateurs thermoélectriques reste à établir).

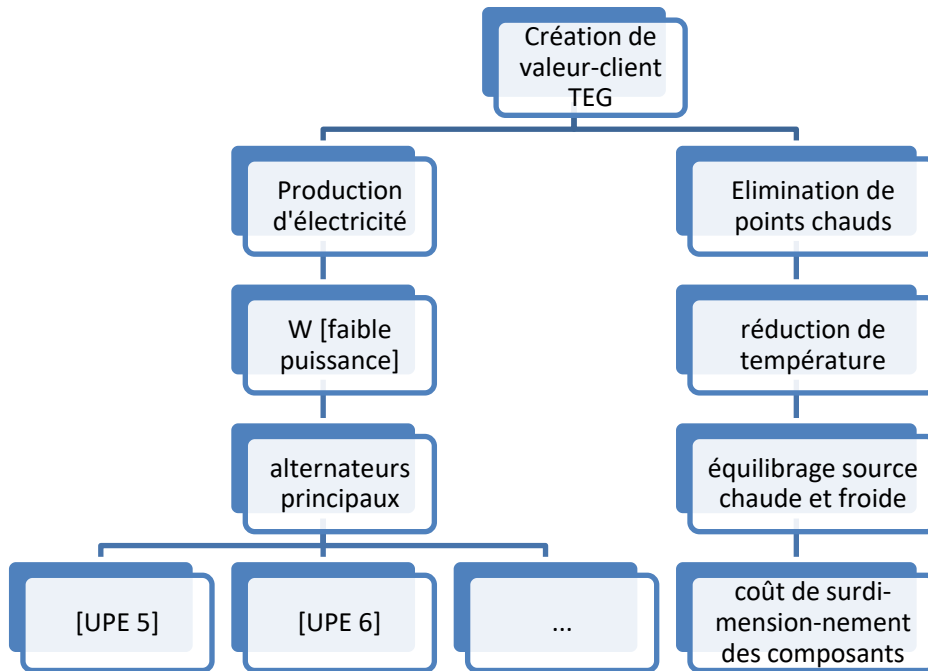


Figure 57 : Brouillon d'arbre de C-K E transformé par les experts de 3 sociétés dans le cas Thermoélectricité (2/2)

Le même type d'outil est employé dans le cas Caloducs après une phase de reconstruction du collectif qui a suivi l'atelier conception innovante. Cette réunion avait pour but d'asseoir la volonté du collectif de passer un jalon de lancement d'étude de faisabilité de la direction de l'innovation en clarifiant le projet de démonstration et le *value model*. Ce dernier est donc précisé en éditant un brouillon d'arborescence de la valeur présentée dans la Figure 58. Pendant la séance les experts ont éliminé trois voies, ont ajouté deux voies, ont reformulé cinq concepts, enfin ils ont raffiné toutes les alternatives autant que possible. Un acheteur qui précédemment n'émettait que des points durs participe à augmenter la valeur en partageant les résultats d'une pré-étude antérieure ne portant pas sur la technologie alternative aux caloducs mais sur la même modification du produit qu'elle permet. Le gain potentiel de bilan énergétique, donc de consommation de l'aéronef, est alors significatif. Suite à cela des ressources abondantes seront employées à préparer le jalon de lancement d'étude de faisabilité.

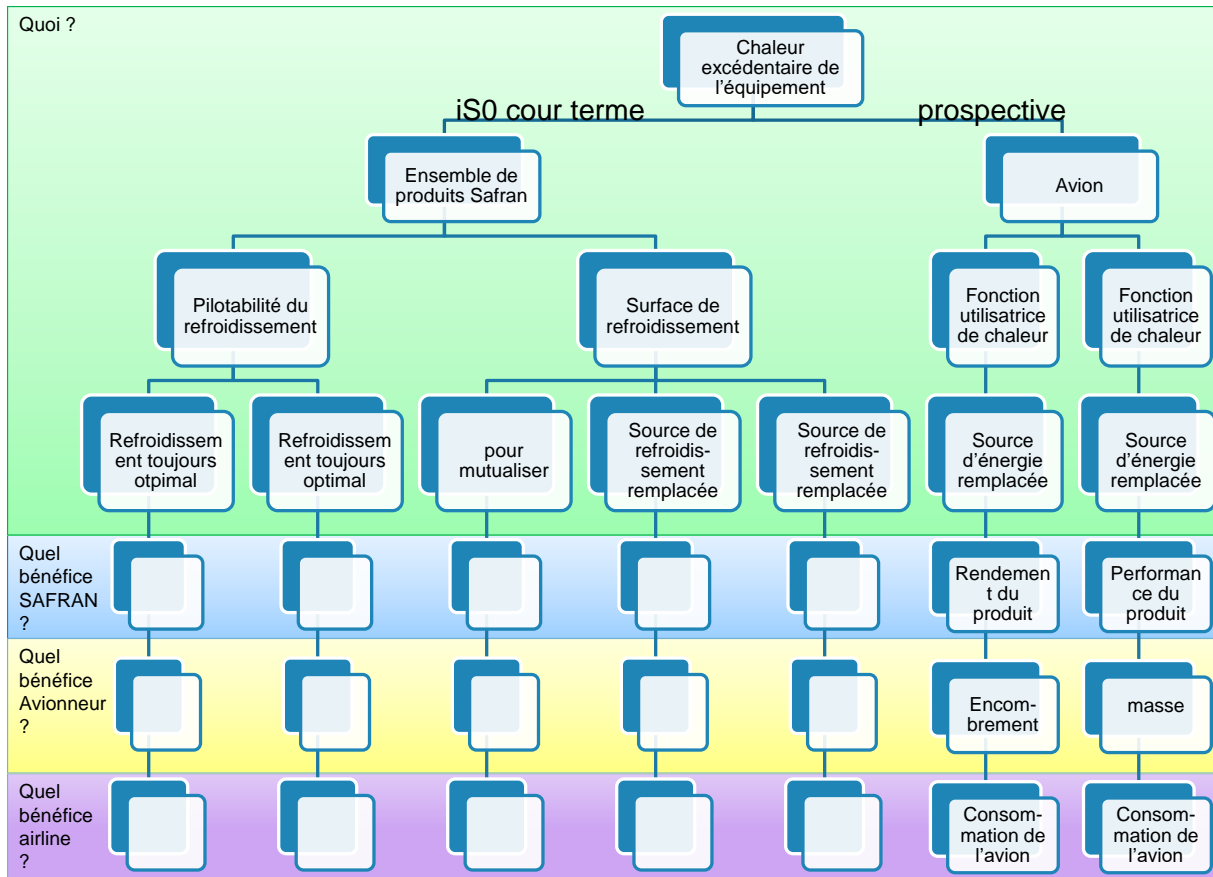


Figure 58 : Brouillon d'arbre de C-K E transformé par les experts de 3 sociétés dans le cas Caloducs (le document a été modifié pour enlever son caractère confidentiel)

Afin de reproduire ces expériences fructueuses nous proposons l'outil « arbre de valeur » représenté dans la Figure 59. Il s'agit d'un canevas à compléter. Il diffère des canevas de proposition de valeur (Figure 60) en ce qu'il est extensible comme l'indique les caractères « ... » en plus de la structure invariante qu'il propose. Nous évoquons déjà au chapitre 6 (p145) les expérimentations ci-dessus de cet outil pour démontrer la condition de philosophie de convergence générative. En effet d'après nos expériences cet outil permet de consolider le *value model* que le pilote de l'exploration a noté le long des réunions et entretiens. Cet outil permet au concepteur de valeur collective de réaliser le pilotage des dimensions de la valeur que nous évoquons en conclusion de la partie 3. L'utilisation de cet outil pour étendre la variété des environnements et des critères d'évaluation n'a pas été testée. Des tests supplémentaires sont nécessaires dans les phases plus en amont. Le pilotage était assuré par la direction de l'innovation mais rien ne s'oppose à ce qu'il soit confié directement aux sociétés dans le cadre d'explorations.

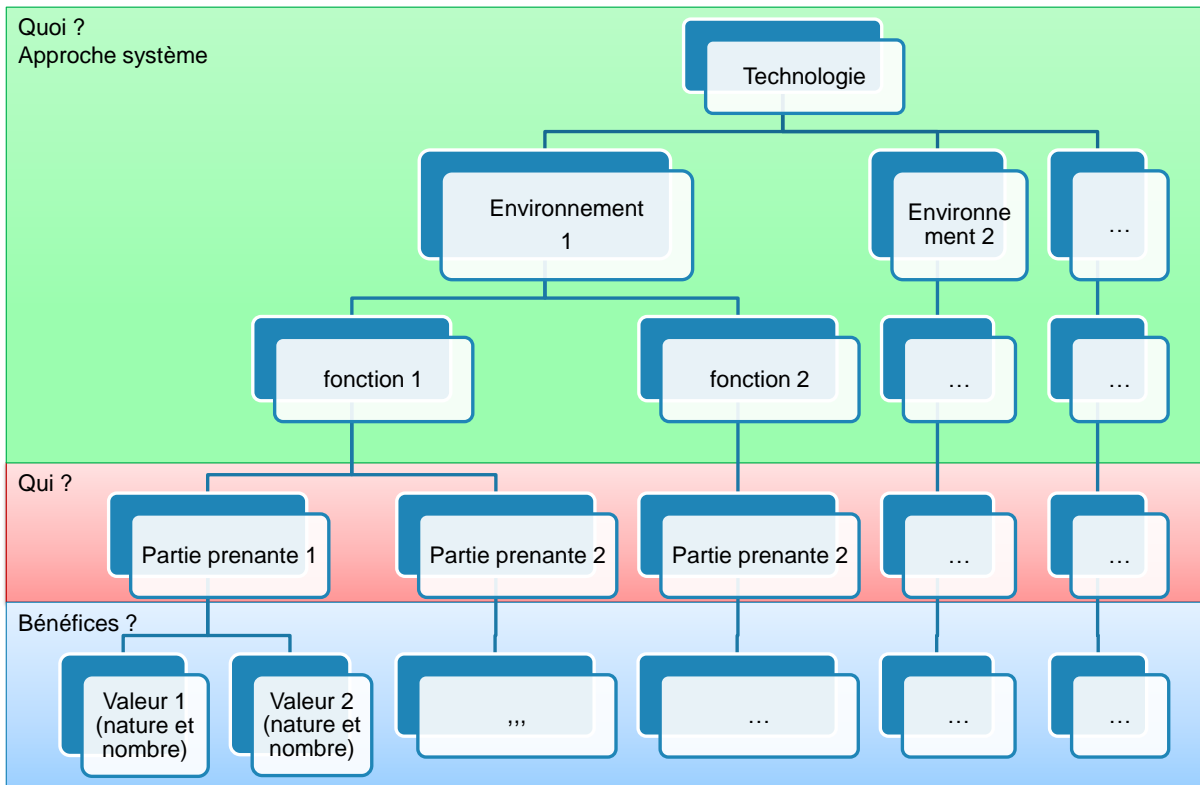


Figure 59 : Outil « arbre de valeur » recommandé à Safran pour que le pilote d’une exploration engage différents métiers dans l’exploration du value model d’un concept au stade de la créativité

Le marchand Marcel souhaite acquérir des pommes de terre à l’agriculteur Hubert afin de les revendre plus cher. Quelle valeur propose Marcel à ses clients lui permettant de vendre plus cher que Hubert ?

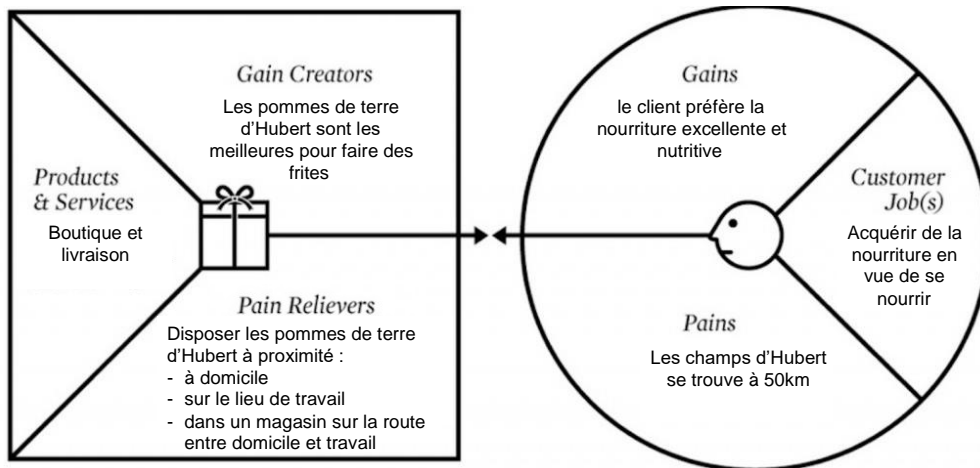


Figure 60 : Canevas de conception de la proposition de valeur proposé par Osterwalder (2012) rempli avec un exemple de notre composition

L’autre inconvénient du canevas de proposition de valeur est qu’il ne représente les échanges qu’entre deux acteurs uniquement. Ainsi nous proposons de cartographier les échanges entre acteur du réseau de valeur au préalable afin de l’appliquer sur les échanges les plus pertinents en suivant les étapes de la Figure 61. Cette méthode a été expérimentée dans le cas Thermoélectricité (elle était

exigée comme livrable de l'étude de faisabilité). Elle a mis en avant la valeur capturable par d'autres entités du réseau de valeur que Safran (fournisseur de générateurs thermoélectriques, fournisseur de composant les intégrant, avionneur...).

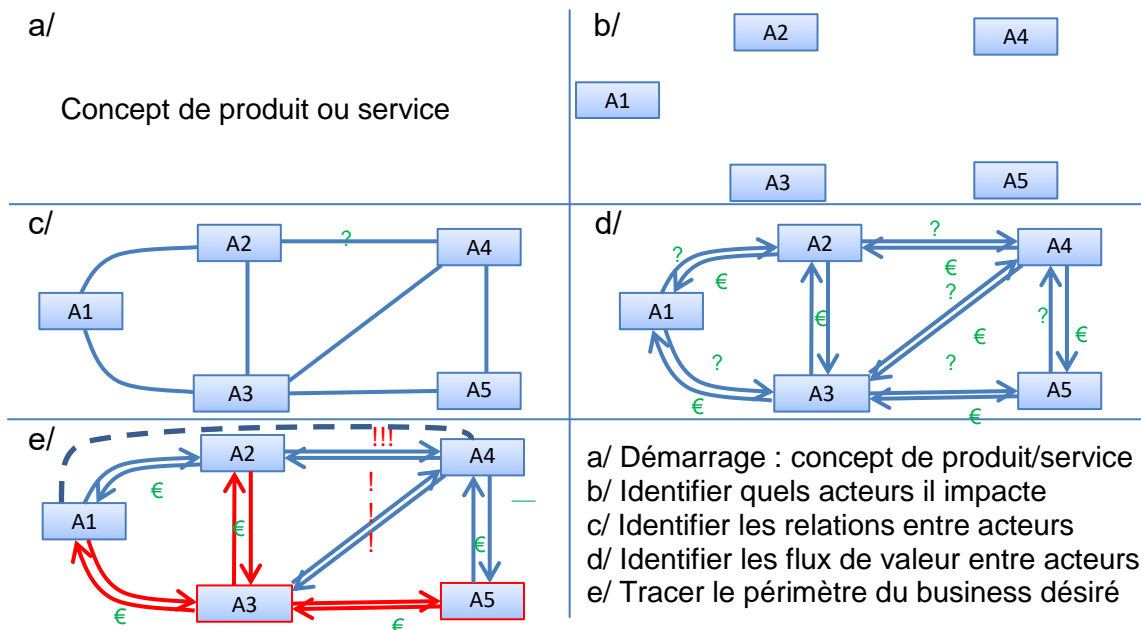


Figure 61 : Méthodologie de cartographie des échanges marchands au sein d'un réseau de valeur en construction

Enfin nous recommandons d'utiliser le canevas de proposition de valeur pour affiner l'adéquation entre l'offre de Safran et la demande des clients nécessaire à tout produit commercialisé. Par exemple dans le cas Thermoélectricité, il mettait en évidence que l'offre faite aux compagnies aériennes n'était pas limpide. Or l'implication des clients dans les stades plus avancés des projets Innovation est obligatoire comme nous le verrons avec le cas EGTS.

Nous avons donc terminé de décrire les outils d'élaboration du C-K E. Ils permettent d'éviter la fixation sur les technologies aux dépens des environnements (elles seules sont conçues) constatée en appliquant l'échelle TRL ou en engageant des experts avec des C-K sans invariant T ou E. Cela correspond à la mission *business* que se donne la direction de l'innovation. Ces outils permettent le pilotage d'un collectif un minimum formé. A présent nous décrivons concrètement comment engager des acteurs dont la compétence peut augmenter la valeur d'une exploration.

Des technologies prétextes à engager des concepteurs d'environnements

Nous mobilisons la notion de prétexte découverte lors d'un entretien avec un praticien ayant exercé dans les *fab labs* d'Alcatel Lucent puis de Safran : l'acteur porteur d'une idée réalise un prototype qui est prétexte au dialogue avec des acteurs peu accessibles (hiérarchie, client, expert très sollicité...). Afin d'approfondir la notion de prétexte, nous mobiliserons le cas EGTS (Electrical Green Taxying System) qui est le premier projet à avoir été piloté par la direction de l'innovation. Nous avons recueilli les données par des entretiens semi directifs avec le directeur aux ventes et au marketing du programme EGTS en plus des informations divulguées lors des réunions d'équipe de la direction de

l'innovation. A présent nous allons étudier qu'est-ce qu'un prétexte à concevoir des environnements tels que des gains significatifs pour les utilisateurs finaux ou des bouleversements dans l'architecture de systèmes techniques. Les cas EGTS et Thermoélectricité nous amèneront à définir la notion de technologie prétexte facilement manipulable en pratique pour engager des concepteurs.

Etude de cas EGTS : un moteur dans les roues prétexte à concevoir la valeur dans l'environnement opérationnel d'un avion

Le cas EGTS présente l'originalité d'avoir déplacé la frontière Technologie-Environnement considérée sur la chaîne de conception dont fait partie Safran. Usuellement le groupe conçoit à la frontière Equipement/Avion mais le cas EGTS présente un effort important à la frontière Avion/Opérations. Il n'a pas fait l'objet d'intervention des chercheurs mais son avancement plus important permet une approche plus large des phénomènes étudiés. Nous verrons que de façon surprenante, les acteurs continuent d'explorer la valeur alors que des calculs très fins et satisfaisant la vente sont disponibles.

L'EGTS est un système proposé par Safran aux compagnies aériennes en option lors de l'achat d'avions neufs ou en montage sur des avions déjà livrés (rétrofit). Or la plupart des équipements sont conçus selon les exigences techniques des avionneurs ; autrement dit les équipementiers conçoivent à la frontière Equipement/Avion et les avionneurs à la frontière Avion/Opérations. Le cas EGTS étend donc la frontière Technologie-Environnement usuelle Equipement/Avion en intégrant les opérations. Il peut être décrit comme une technologie aux propriétés suivantes :

- Technologie de l'EGTS : moteur dans les roues du train d'atterrissage
- propriété 1 de l'EGTS : permet le roulage sans allumer les moteurs principaux
- propriété 2 de l'EGTS : permet le recul de l'avion de façon autonome sans utiliser un tracteur de piste.

Etant connu que le critère pour un opérateur (compagnie aérienne) est le coût opérationnel, il est possible aux équipes EGTS d'estimer l'impact des deux propriétés ci-dessus sur ce critère : l'EGTS permet approximativement une réduction de coût opérationnel de 200k\$/avion/an. Elle se calcule à partir de l'économie de kérosène au sol (non-utilisation des réacteurs de l'avion), l'absence de tracteur pour faire reculer l'avion et la surconsommation en croisière engendrée par l'ajout de masse sur l'avion. Ce chiffrage est une ébauche du *value model* de l'EGTS.

Ce chiffrage approximatif est prétexte à convoquer une réunion avec un opérateur (compagnie aérienne) pour lui faire une présentation commerciale dont deux types d'arguments lui sont présentés :

- Les résultats de calculs plus fins s'appuyant sur une base de données en expliquant toutes les hypothèses du calcul (distance en vol, temps de roulage...) afin de démontrer la réduction de coût opérationnel.
- Des critères de valeur qui ont été explorés avec les opérateurs précédemment rencontrés mais dont la connaissance des équipes EGTS est insuffisante pour les intégrer dans le calcul, par exemple
 - L'autonomie de l'avion et par conséquent l'amélioration de la ponctualité des vols

- L'interdiction d'utiliser les moteurs pour le roulage sur certains emplacements
- Le déplacement de l'avion vers les hangars de maintenance de nuit
- La perte de temps occasionnée par l'attente de l'extinction des moteurs ayant servi au roulage pour sortir les bagages.

Le premier type d'argument suscite l'intéressement et fera l'objet d'une négociation sur le prix de vente. Mais avant cela, les acteurs opèrent un processus exploratoire qui pourrait déboucher sur un calcul différent de la valeur grâce au deuxième type d'arguments. En effet, lorsque l'équipe commerciale EGTS présente le cas d'un aéroport interdisant d'utiliser les moteurs pour le roulage sur certains emplacements, l'opérateur est invité à activer des connaissances sur des aéroports qu'ils opèrent qui limiteraient aussi le roulage avec les moteurs. Cette activation permettant de reconnaître une valeur potentielle, il pourrait dédier des ressources à quantifier les déplacements que cela représente et donc les adjoindre au calcul de coût opérationnel.

Dans notre cadre théorique, l'équipe EGTS est conceptrice de technologies et engage la compagnie aérienne comme conceptrice d'environnements dans l'exploration de nouveaux critères de valeur à combiner dans le calcul du coût opérationnel. L'EGTS exprimé par un brouillon de bouleversement de son environnement est donc le prétexte à cet engagement. Autrement dit le prétexte est la technologie et son *value model*.

L'EGTS est déjà un programme. Le concept est donc beaucoup plus stable et connu que nous le ciblons dans la présente thèse. Nous étudions donc le cas Thermoélectricité où l'inconnu est plus radical pour vérifier dans l'inconnu les enseignements majeurs apportés par l'étude de cas EGTS.

Etude de cas Thermoélectricité : les générateurs thermoélectriques prétextes à explorer des énergies perdues et les fonctions les utilisant dans l'avion et les équipements Safran

Dans le cas Thermoélectricité, la technologie des générateurs thermoélectriques nécessite l'exploration de divers environnements pour acquérir de la valeur. A présent nous nous concentrons sur la relation entre Safran et le fournisseur car les barrières de propriété industrielle en plus des frontières organisationnelles accentuent le besoin de prétexte à l'exploration ou même à échanger des informations.

Dans un premier temps la technologie du fournisseur est prétexte à convoquer les experts Safran à un atelier dans lequel elle leur sera présentée. Lorsque la technologie est présentée, certaines propriétés font réagir les experts d'environnements, notamment la puissance surfacique quantifiée. Bien que très incertaine, divisée par la masse surfacique elle permet aux experts d'environnements de comparer la technologie sur le critère de la puissance massique qui est utilisé pour le réseau électrique de l'avion. Ce calcul incertain mais prometteur entrainera l'engagement des acteurs à réduire cette incertitude. Cependant la direction de l'innovation, agissant en concepteur de valeur collective, profita de cet engagement pour élaborer un arbre de concept décrit ci-précédent. Cela permet de restructurer les utilisations de la puissance électrique et d'identifier des critères de valeur ou d'affiner leurs seuils. L'étude de faisabilité mena à son terme la réduction d'incertitude sur

la puissance massique des générateurs thermoélectriques qui s'avérait trop faible pour les utilisations de type réseau électrique global de l'avion. La figure suivante récapitule l'importance de la technologie prétexte pour mettre en action les opérateurs du formalisme C-K T / C-K E. Notamment l'opérateur $C_T \rightarrow K_E$ que permet la présentation des fournisseurs eut un rôle critique en permettant de formuler le premier calcul positif de la valeur.

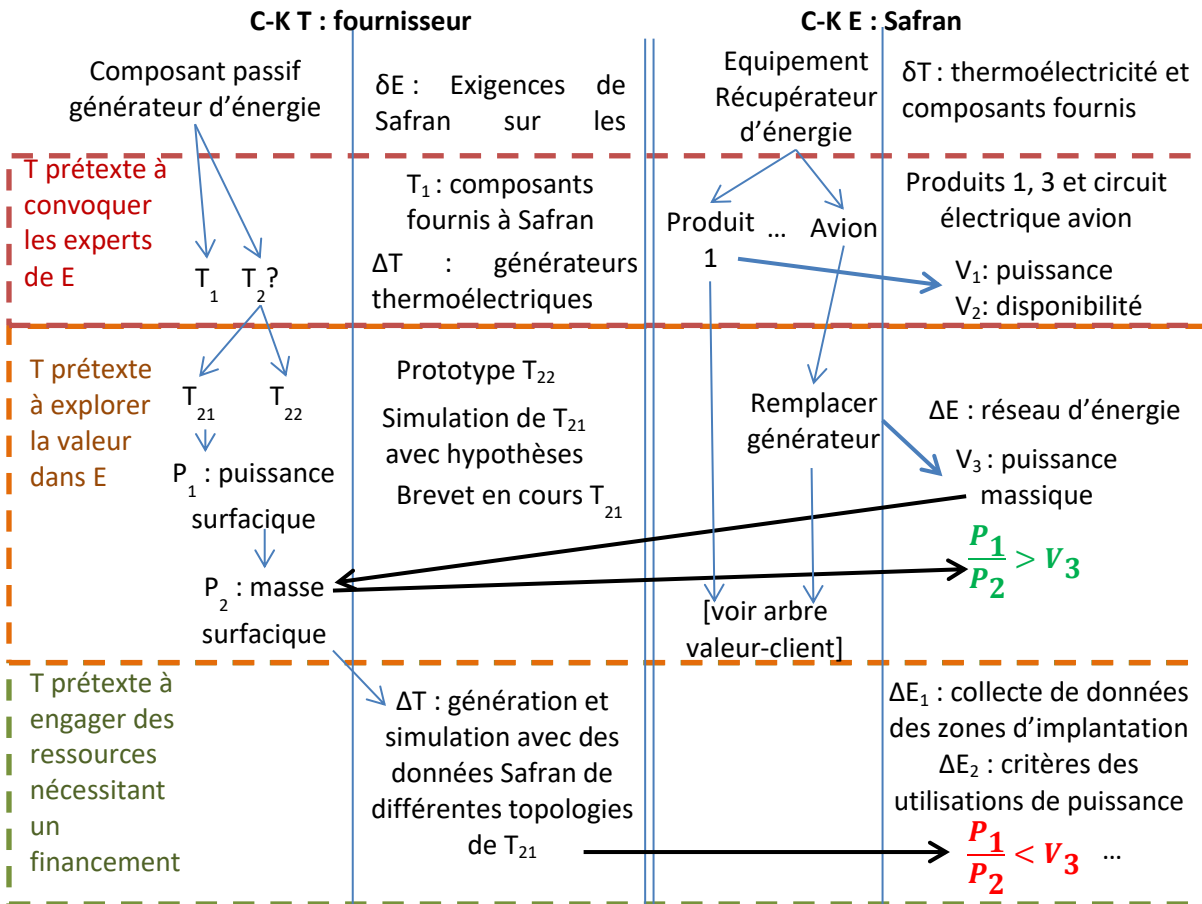


Figure 62 : Les générateurs thermoélectriques, une technologie prétexte à différents niveaux d'engagement d'exploration de leur valeur dans différents environnements

Les phénomènes de technologie prétexte observés dans le cas EGTS sont donc vérifiés dans l'inconnu. Nous pouvons ainsi proposer une définition de cette notion.

Une technologie prétexte est un nouveau concept de technologie permettant d'engager des acteurs dans l'exploration de ses environnements (applications, usagers, architectures susceptibles de l'intégrer...). Pour cela, elle est présentée avec des exemples de bouleversements positifs des environnements (gains, *value model*...).

Encadré 12 : Définition d'une technologie prétexte

Réciproquement, nous devons à présent fournir l'outil pour engager des concepteurs de technologies.

Des besoins prétextes à engager des concepteurs de technologies

Afin d'étudier comment est concrètement obtenu l'engagement d'acteurs dans l'exploration de technologies, nous mobilisons une fois de plus le cas EGTS puis les cas Caloducs et Opérations airs/sol qui se placent davantage dans l'inconnu.

Etude de cas EGTS : les besoins des opérateurs prétextes à engager les avionneurs dans la conception d'un avion équipé de l'EGTS

Nous avons vu que Safran avait étendu la frontière Technologie-Environnement d'Equipement/Avion à Avion/Opérations en engageant les opérateurs dans l'exploration de valeurs inconnues avec le prétexte de l'EGTS. Pour cela il était nécessaire de traduire les propriétés de l'EGTS dans le critère coût opérationnel des opérateurs. Cependant l'innovation n'aboutit que si elle est intégrée sur un avion par un avionneur d'où la nécessité d'engager aussi un avionneur. Nous reprenons donc l'évolution de l'engagement de trois avionneurs, deux d'avions de ligne et un d'avions d'affaire. Nous montrons alors que la valeur créée pour les opérateurs est prépondérante sur la nouveauté de la technologie pour engager les avionneurs. Le besoin des opérateurs que pourrait satisfaire l'EGTS est le stimulant au travail de l'avionneur.

Avionneur de ligne 1

L'équipe EGTS a présenté son produit au département R&T de l'avionneur qui a identifié des points durs techniques au travers de plusieurs ateliers et a proposé une solution d'architecture. Cependant la commercialisation de l'EGTS sur un modèle d'avion nécessite qu'il soit inséré dans un programme. La décision du programme nécessite un certain niveau de maturité technique (en cours avec la R&T), mais aussi l'aval des achats. Le département achat a pour mission principale la réduction des coûts d'approvisionnement. Sur ce critère, l'EGTS constitue un achat supplémentaire et de plus ajoute de la masse à l'appareil. L'aval du département achat n'est donc pas obtenu. L'équipe EGTS chercha donc d'autres alliés pour défendre sa cause auprès du programme. S'agissant d'un équipement en option directement vendu par l'équipementier comme les moteurs et non pas par l'avionneur, l'équipe EGTS a rencontré l'équipe commerciale de l'avionneur de façon exceptionnelle. Le produit leur était donc présenté en insistant sur la réduction de coût opérationnelle permise aux opérateurs. L'équipe commerciale de l'avionneur engagea des travaux pour comparer cette information avec une autre innovation qui adressait le même besoin des opérateurs. Elle conclut que l'EGTS peut représenter un avantage concurrentiel s'il fait l'objet d'un partenariat privilégié.

D'après notre formalisme, nous pouvons faire l'analyse que le dialogue avec les départements R&T et achats était positionné à la frontière Equipement/Avion de façon classique. L'EGTS s'apparente alors à une technologie prétexte. Par contre le dialogue avec le département commercial se positionnait à la frontière Avion/Opérations. Le besoin des opérateurs fut le prétexte final à l'engagement de l'avionneur dans l'exploration de la valeur.

Avionneur de ligne 2

L'équipe EGTS rencontra le département développement de produit pour présenter l'EGTS. Cet avionneur n'entreprit pas des travaux d'étude de faisabilité technique spontanément. Un plateau commun avec les équipes EGTS serait dédié si un intérêt commercial était avéré. L'équipe EGTS présenta alors une analyse de marché sommaire : le type d'opérateur cible déduit des caractéristiques des vols opérés pour lesquels l'EGTS réduit le coût opérationnel, à savoir des courtes distances et un nombre élevé de rotations par jour. L'avionneur mena une étude de marché et conclut que leurs clients ne faisaient pas partie du segment cible de l'EGTS, bloquant le projet. Après analyse, l'équipe EGTS exploita l'information que ces études avaient été menées sur une base de données réduite à un continent pour faire elle-même une étude de marché sur une base de données plus vaste. La présentation de cette nouvelle étude a permis de reprendre les négociations.

Dans cet exemple, le déplacement de la frontière Technologie-Environnement d'Équipement/Avion à Avion/Opérations a été spontané. C'est le marché, c'est-à-dire la quantité de clients de l'avionneur dont il pourrait satisfaire le besoin qui est prétexte à son engagement.

Avionneur d'affaire

L'équipe EGTS a d'abord présenté le produit sous un angle technique à cet avionneur. Dans un second temps elle présenta la réduction de coût opérationnel pour les opérateurs. Elle découvre alors que ce critère de valeur est secondaire. La concurrence en aviation d'affaire se fait principalement sur la portée des avions. Les avionneurs offrent la possibilité de relier, par exemple, Londres à Hong Kong sans escale. La masse additionnelle de l'EGTS est donc très pénalisante. L'équipe commerciale EGTS a donc tenté d'engager l'avionneur dans l'exploration de l'autonomie au sol. Le résultat ne fut pas suffisant pour que l'avionneur perçoive de la valeur et s'engage ultérieurement.

Nous avons donc montré que le besoin des opérateurs (concepteurs d'environnements) que pourrait satisfaire l'EGTS est le prétexte à l'engagement des avionneurs (concepteurs de technologies). Nous allons vérifier ces phénomènes lorsque l'inconnu est plus important.

Etude de cas Caloducs et Opérations air/sol : engagement financier et conceptif de technologies obtenu en prétextant la satisfaction d'un besoin

Dans le cas opérations air/sol, en parallèle de l'exploration de la fiche idée atterrissage basse vitesse, une société Safran initiait un projet auprès d'un avionneur et demanda un financement de la direction de l'innovation. Ce projet avait l'appui de la direction de l'innovation pour un potentiel financement notamment grâce aux perspectives de valeurs pour les opérateurs que mettait en avant l'exploration de la fiche idée. Mais à un certain stade, la direction de l'innovation refusa le financement jusqu'à ce que l'avionneur explicite les éléments de *value model*, c'est-à-dire la valeur créée pour les opérateurs et le volume du marché (le nombre d'avion à équiper). De tels éléments ayant été fournis, un financement par la direction de l'innovation des activités des sociétés Safran a

été opéré. Or d'après notre cadre théorique, le groupe Safran est concepteur de technologies à la frontière Equipement/Avion dans ce cas. C'est donc le besoin pouvant être satisfait par les technologies Safran qui déclenche l'engagement financier de Safran.

Dans le cas caloducs, nous décrivons que l'arborescence C-K E engageait le collectif dans l'exploration de critères de valeur. Un acheteur de la technologie qui jusqu'à présent ne générait que des points durs partageait les résultats d'une pré-étude. Elle estimait le gain potentiel de bilan énergétique, donc de consommation de l'aéronef, associé à des modifications de l'architecture du produit. Ce gain est d'une quantité importante. Or la technologie alternative aux caloducs permet potentiellement de telles modifications d'architecture. L'objectif d'une étude de faisabilité serait donc de démontrer la technologie et la nouvelle architecture. Cet objectif permet à l'exploration nécessaire à la préparation du jalon de lancement de l'étude de faisabilité de bénéficier d'autant de ressources que l'étude de faisabilité elle-même dans le cas Thermoélectricité. De plus lors du jalon il était présenté quatre architectures reposant chacune sur des technologies différentes. Bien que deux sociétés s'identifiaient comme vendeuses de la technologie alternative aux caloducs auprès de la troisième qui définissait les architectures du produit, elles sont devenues conceptrices d'autres technologies nécessaires aux architectures alternatives. Cela s'est confirmé à la fin de l'étude de faisabilité lorsqu'une hybridation de deux architectures émergeait car la suite du projet adoptait à la fois la technologie alternative aux caloducs et une technologie innovante d'échangeurs de chaleur dont la démonstration était confiée aux mêmes sociétés.

Grâce à ces différents cas nous pouvons désormais proposer une définition de la notion de besoin prétexte.

Un besoin est un concept désiré par un acteur prêt à acheter une technologie pour qu'il soit réalisé. Il est prétexte à engager des vendeurs dans la conception de nouvelles technologies lorsque l'une d'entre elles a le potentiel de le satisfaire.

Encadré 13 : Définition de besoin prétexte

Nous avons terminé d'étudier les outils fondés sur le pilotage de l'invariant Technologie ou Environnement. Nous pouvons donc décrire la méthode PEPITE dans lesquels ils s'insèrent.

Méthode Pilotage de l'Exploration Par les Invariants Technologie et Environnement (PEPITE)

Méthodologie PEPITE en six étapes

Présentement nous expliquons la méthode Pilotage de l'Exploration Par les Invariants Technologie et Environnement (PEPITE) mis au point avec la direction de l'innovation Safran. Elle permet de piloter une exploration en explorant la valeur à la frontière Technologie-Environnement en appliquant les principes d'invariance des technologies ou des environnements sans manipuler le formalisme C-K T / C-K E ou même la théorie C-K. Pour cela elle est constituée d'une liste d'étapes que nous présentons

et qui est récapitulée dans la Figure 63. Elle s'adresse au pilote de l'exploration d'un champ d'innovation. Ensuite nous précisons les éléments de démonstration de la méthode qu'apportent les cas Thermoélectricité et Caloducs.

1/ Champ d'innovation : Le point d'entrée de la méthode est l'expression d'un champ d'innovation. L'exemple de Swatch pour ces expansions des technologies puis des environnements est pertinent (Garel 2015). Le directeur général avait formulé le concept d' « une montre au coût de production 60% inférieur à l'actuel ». Ce champ d'innovation nécessita d'explorer des nouveaux procédés de fabrication mais aussi de reconcevoir la montre pour diminuer son nombre de pièces et la rendre compatible avec les nouveaux procédés. Il était donc très inconnu. De plus il était désirable car la concurrence japonaise des montres quartz entraînait le déclin de toute l'industrie des montres suisses. Comme le montre les cas mobilisés dans ce manuscrit, il peut s'agir de concepts dont la valeur est inconnue à la sortie de DKCP. Il peut aussi s'agir de concepts générés avec une mise en œuvre précédente de la méthode PEPITE.

2/ Identifier des concepts de technologies et d'environnements : Cette étape est une préparation préalable à la formation d'un collectif. Il est préférable de dresser deux C-K conformément au chapitre précédent : un C-K des technologies et un C-K des environnements. Cela a l'avantage d'identifier des fixations potentielles aux étapes suivantes afin de mener le pilotage pour les dépasser. Elle peut aussi être menée en effectuant un brainstorming en deux parties. D'abord « Comment ça peut marcher ? » est un exemple de question de brainstorming qui permet d'identifier des technologies existantes à explorer ou de générer des nouveaux concepts. Ensuite « *A quoi et à qui ça sert ?* » est un exemple de question qui permet d'identifier les environnements des technologies. Cependant le brainstorming ne permet pas de dépasser les fixations des acteurs en particulier si il n'est pas individuel (voir revue de littérature de Gillier, Piat et Kazakci (2014)).

3/ Identifier des experts⁷¹ de technologies et d'environnements : Cette étape permet d'identifier les personnes dont les compétences constituent un apport sur les concepts déterminés à l'étape précédente. Conformément à la première section de ce chapitre, une façon de mener cette étape consiste à diffuser sur des réseaux (communautés d'experts, réseau collaboratif d'entreprise, communautés des *fab labs*...) des représentations réalistes afin de provoquer la réaction d'experts. Il convient ensuite de s'entretenir avec les experts identifiés avant leur participation. Nous suggérons d'interagir autour du C-K T et du C-K E afin de cerner quel serait l'apport de leur participation mais aussi afin qu'ils s'engagent dans l'exploration de la valeur comme décrit dans le chapitre 6. Cela peut permettre d'identifier d'autres experts plus pertinents comme dans le cas Opération air/sol.

⁷¹ En employant le terme expert, nous ne souhaitons pas limiter les participants aux individus qui ont ce statut dans l'échelle de carrière du département Ressources Humaines. Un expert est un individu qui détient des connaissances rares et contribuant à l'exploration en cours.

4/ Atelier conception innovante : Cette étape consiste à réunir les experts identifiés pour qu'ils explorent en collectif le champ d'innovation. Pour cela, la condition est d'obtenir leur participation. Le champ d'innovation formulé initialement et les entretiens précédents peuvent suffire. Si ce n'est pas le cas il est possible d'avoir recours aux résultats de la section précédente concernant les prétextes. Ainsi la présentation d'une technologie qui pourrait bouleverser positivement un environnement contribue à obtenir la participation des experts de cet environnement. Elle est prétexte à explorer ces bouleversements. Réciproquement la présentation de nouveaux besoins de l'environnement d'une technologie ou de besoin inchangé mais qui n'a pas encore bénéficié de nouvelle technologie contribue à obtenir la participation des experts de technologies. La notion de prétexte est d'autant plus pertinente qu'un expert dans la position d'acheteur qui participerait pour apprendre les propriétés d'une technologie particulière sera impliqué dans la conception d'autres technologies et leurs environnements. Réciproquement l'expert de technologie dans la position de vendeur sera impliqué dans la conception de ses environnements et d'autres technologies. Les participants sont donc mis en relation ; et cette relation n'est pas celle de vendeur-acheteur mais de concepteur de technologies et de concepteur d'environnements.

Concernant le déroulement de l'atelier une fois les conditions de participation remplies, nos expérimentations recommandent de succéder des présentations composées pour moitié d'acquis (de concepts connus) et pour moitié de perspectives (de concepts peu explorés). La préparation des présentations fait donc aussi l'objet d'un pilotage dans la mesure du possible. Par exemple, l'expert de nombreuses technologies qu'il ne peut pas toutes présenter devrait équilibrer le temps de présentation de technologies déjà vendues, matures, et de technologies en émergence. De même l'expert de nombreux utilisateurs finaux devrait présenter à la fois des utilisateurs acquis et des utilisateurs prospects. Pendant les présentations, nous recommandons que l'auditoire pose des questions et note des idées. Une fois toutes les présentations données, les participants partagent leurs idées et en proposent des nouvelles. Enfin nous proposons d'agglomérer les idées de technologies et d'environnement par fonction (ou usage). C'est-à-dire qu'un concept consolidé est de la forme {technologies alternatives assurant la fonction, fonction, environnements alternatifs bénéficiant de cette fonction}.

5/ Exploration des concepts consolidés : Suite à cet atelier nous proposons d'organiser des réunions sur chaque concept consolidé. Le premier type de réunion explore les critères de valeurs des environnements. Nous recommandons alors d'employer l'outil « arbre de valeur » décrit dans la section précédente (Figure 59). Le deuxième type de réunion explore les démonstrations à mener des technologies. Des outils d'ingénierie plus classiques existent à ces fins. La philosophie est celle de l'évaluation sur l'échelle TRL avec la génération d'un plan de maturation des technologies ou de l'évaluation préliminaire de risque avec plan de mitigation. Cependant ces méthodes nécessitent un « allègement » à ce stade, c'est-à-dire que les ressources qu'elles nécessitent sont importantes compte-tenu de l'inconnu restant.

6/ Jalon de début de projet : A ce stade il convient de préparer un jalon de lancement d'étude de faisabilité en complétant les livrables requis (les critères de passage du jalon) pour les concepts consolidés bénéficiant encore de l'engagement des acteurs.

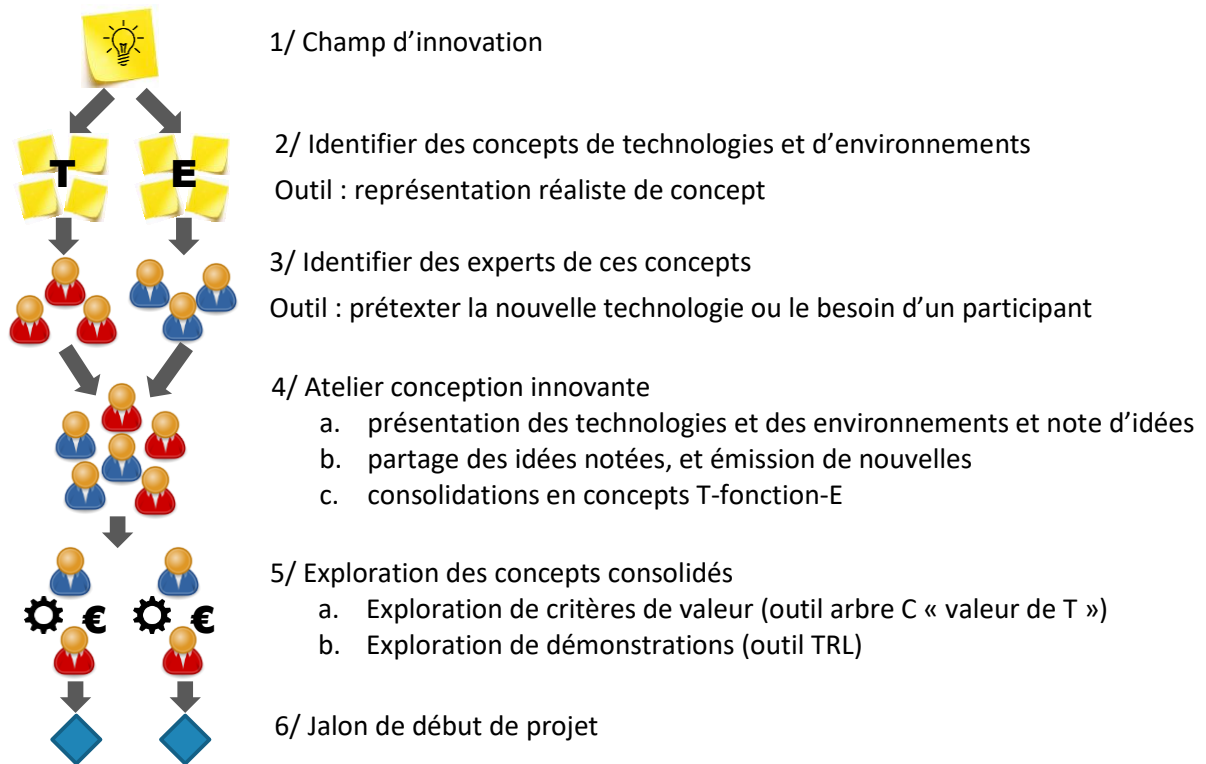


Figure 63 : Les étapes de la méthode Pilotage de l'Exploration Par les Invariants Technologie et Environnement (PEPITE) afin de piloter la créativité du champ d'innovation au projet – elle est fondée sur la construction de la valeur par les expansions de la frontière Technologie-Environnement en fixant l'invariant Technologie ou Environnement

Nous avons terminé la méthodologie PEPITE. A présent nous explicitons les éléments de sa démonstration que fournissent les cas Thermoélectricité et Caloducs.

Les éléments de démonstration de PEPITE fournis par les cas Thermoélectricité et Caloducs

Les encadrés suivants présentent les données la démontrant à chaque étape. En effet toutes n'ont pas été testées exactement telles que dans la méthodologie ci-dessus. Cependant nous avons préféré tenir compte du retour d'expérience de ces premières expérimentations.

Dans le cas Thermoélectricité, la fixation sur cette technologie n'est pas en accord avec la méthodologie ci-dessus. En effet le champ d'innovation indique « micro générateur » pour éviter une fixation des technologies, or aucune ressource n'a été employée à explorer d'autres technologies de micro-générateur, ce que recommanderait l'étape 2 de PEPITE. Un autre point différent est que le fournisseur, c'est-à-dire les experts des technologies, ne participe pas à la conception des environnements. Pourtant à de nombreuses reprises le fournisseur demandera des exigences techniques afin d'optimiser les matériaux et le circuit de générateurs thermoélectriques. La méthode

PEPITE est donc plus facile à mettre en œuvre en interne du groupe ou avec des extérieurs sans risque de concurrence sur une même chaîne de valeur.

Données du cas Thermoélectricité démontrant la méthode PEPITE

1/ Champs d'innovation ou concept innovant

Micro générateurs pour le harvesting d'énergie généralisé

2/ Identifier des concepts de technologies et d'environnements

en T : **générateurs thermoélectriques** (remarque : fixation sur une seule technologie)

en E : **divers produits Safran dans lesquels sont identifiés des zones d'implantation, des utilisations de la puissance électrique et des utilisations thermiques**

3/ Identifier des experts des technologies et des environnements

Fournisseur

Ingénieur intégration, thermicien et autre de produits Safran ; experts du réseau électrique de l'avion

(remarque : pas de technique spécifique)

4/ Atelier conception innovante

a/ **présentation des concepts de zones d'implantation et d'utilisations**

présentation du fournisseur des travaux d'intégration des générateurs thermoélectriques dans les composants qu'il fournit

b/ **utilisations de la puissance électrique générée** (remarques : pas d'incitation à générer des idées, absence des experts des technologies)

c/ **restructuration des types d'utilisations de la puissance électrique**

5/ Exploration des concepts consolidés

a/ **suite de la restructuration et raffinement des critères d'évaluation avec l'outil proposé** (remarque : une seule technologie)

b/ **différentes réunion de définition des démonstrations**

6/ Jalon de début de projet

Jalon de lancement d'étude de faisabilité passé

Dans le cas Caloducs, la différence principale avec la méthodologie PEPITE est dans la consolidation des concepts. En effet, l'atelier conception innovante sur une journée laissait peu de temps et d'énergie à cette étape positionnée en fin de journée. Il est possible qu'une convergence plus progressive ait été menée si une réunion supplémentaire avait été dédiée à cette consolidation.

De plus, au moment d'élaborer la méthode PEPITE, des membres de la direction de l'innovation analysaient que d'après la méthodologie, l'exploration aurait dû intégrer du personnel thermicien des avionneurs ou du moins d'autres environnements en dehors du groupe Safran. Ils relevèrent qu'il est insuffisamment pratiqué d'intégrer des experts des environnements en dehors du groupe Safran

dans les explorations. La méthode s'inscrit donc dans une approche collaborative de l'innovation. La priorité de cette recherche-intervention était la collaboration entre toutes les entités du groupe Safran. L'extension de la méthode PEPITE au-delà des frontières du groupe industriel constitue une perspective pertinente pour la recherche académique et l'industrie.

Données du cas Caloducs démontrant la méthode PEPITE

1/ Champs d'innovation ou concept innovant

Recyclage de chaleur à bord de l'avion

2/ Identifier les thèmes en deux parties = rédaction fiche idée

en T : **réseaux de caloducs embarqués, échangeurs, alternative aux caloducs**

en E : **sources et utilisations de chaleur à bord de l'avion**

(remarque : d'autres E sont facilement identifiables hors du groupe)

3/ Identifier des experts de technologies et des environnements

Thermiciens de produits 1, 3 et 4, experts équipements d'une société interne fournisseur, divers ingénieurs spécialistes techniques

(remarque : d'autres participants possibles)

4/ Atelier conception innovante

a/ **présentation des technologies échangeurs, alternatives aux caloducs**

présentation des difficultés thermiques produit 1 et produit 4, présentation de nouvelles architectures du produit 1

b/ **technologies (composites, échangeurs...) et environnements générés (cabine chauffée par l'excès de chaleur...)**

c/ **consolidation en 8 thèmes dont 4 de type Technologie, 2 de type Environnement et 1 de type fonction**

(remarque : consolidation pas tout à fait en {Technologies}-fonction-
{Environnements} a pu limiter l'exploration et accélérer la convergence)

5/ Exploration des concepts consolidés

a/ **exploration avec l'outil arborescent d'un concept consolidé**

b/ **différentes réunions de définition des démonstrations sur le même concept**

6/ Jalon de début de projet

Jalon de lancement d'étude de faisabilité passé

Nous avons fourni des outils et une méthodologie consistant en une liste d'étapes fondés sur le pilotage des invariants Technologie et Environnement et le formalisme C-K T / C-K E. Nous pouvons donc conclure ce chapitre.

Conclusion de chapitre 10 : PEPITE, une méthodologie linéaire de l'échange dans l'inconnu

Le formalisme C-K T / C-K E fournit le modèle d'action aux échanges dans l'inconnu. Il suggère de nombreux outils et méthodes. Nous avons fourni quelques exemples. Nous avons testé la représentation de l'arbre de concepts du C-K E. Elle s'avère fructueuse pour consolider les fonctions d'une technologie dans des environnements variés, explorer des nouveaux critères d'évaluation et affiner le seuil de critères déjà identifiés. Les technologies prétextes favorisent la participation d'experts à l'élaboration du C-K E (avec ou sans représenter le C-K). Enfin la méthode Pilotage de l'Exploration Par les Invariants Technologies et Environnements (PEPITE) permet d'étendre ces résultats sans fixation sur une seule technologie. Sa méthodologie élaborée par toute la direction de l'innovation Safran assure sa reproductibilité au sein du groupe. Nous pouvons donc conclure cette partie ainsi que ce manuscrit de thèse.

Résumé de chapitre 10

Ce chapitre fournit des outils et une méthode fondés sur le formalisme C-K T / C-K E, modèle d'action pour l'échange dans l'inconnu.

D'abord il montre des outils limités par l'absence de pilotage de l'invariant Technologie ou Environnement. Des représentations réalistes d'un concept permettent de recueillir une expertise mais sans aucune élaboration du concept. Par contre nous obtenons l'effet d'engager dans la conception en réalisant des prototypes de concepts à partir de diagrammes C-K pour les explorations Frein Froid, *Quick drop* et Opérations air/sol. Cependant **ces diagrammes C-K induisent des fixations sur la variété des environnements (Frein Froid et *Quick drop*) ou même sur les connaissances des environnements (Opérations air/sol).**

Nous testons donc des outils fondés sur le pilotage de l'invariant Technologie ou Environnement. **Des représentations de l'arbre de concepts de C-K E permettent de consolider les fonctions d'une technologie dans des environnements variés, d'explorer des nouveaux critères d'évaluation et d'affiner le seuil de critères déjà identifiés. Basés sur ces résultats nous proposons donc l'outil « arbre de valeur ».** Par ailleurs, les cas EGTS, Thermoélectricité, Caloducs et Opérations air/sol montrent le rôle des prétextes pour engager des concepteurs. **Ainsi des technologies sont prétextes à engager des acheteurs d'une technologie pouvant bouleverser les environnements dans la conception de nouveaux environnements variés. Réciproquement des besoins sont prétextes à engager des vendeurs d'une technologie qui pourrait les satisfaire dans la conception de technologies variées.**

Enfin **la méthodologie Pilotage de l'Exploration Par les Invariants Technologie et Environnement (PEPITE) consiste en six étapes.** Les cas Thermoélectricité et Caloducs fournissent des démonstrations plus ou moins fidèles de chaque étape.

1/ Champ d'innovation : PEPITE démarre d'un concept inconnu, désirable, dont la valeur n'est pas calculable et généré par la méthode DKCP (cas de cette thèse) ou une démarche PEPITE précédente.

2/ Identifier des concepts de technologies et d'environnements : un pilote aguerri éditera un C-K T et un C-K E mais l'important est de mener deux génération d'idées distinctes.

3/ Identifier des experts de technologies et d'environnements : nous suggérons de diffuser des représentations réalistes afin d'identifier les experts par leur réaction indignée puis de les engager dans la conception de la valeur en leur présentant le C-K T et le C-K E comme des brouillons.

4/ Atelier conception innovante : nous suggérons de prétexter des technologies à acheter et des besoins à satisfaire, le but est de réunir des experts pour concevoir une plus grande variété de technologies et d'environnements puis de les consolider en les regroupant par fonction.

5/ Exploration des concepts consolidés : Chaque concept consolidé est exploré d'une part sur la valeur dans les environnements et d'autre part sur la démonstration des technologies.

6/ Jalon de début de projet : le jalon de lancement d'étude de faisabilité peut être préparé pour les concepts consolidés restant.

L'extension de la méthode PEPITE au-delà des frontières du groupe industriel constitue une perspective pertinente pour la recherche académique et l'industrie.

Conclusion de la partie 5 : le modèle d'action pour l'échange dans l'inconnu, un modèle d'expansion de la frontière Technologie-Environnement

Pour conclure cette partie nous récapitulons les résultats obtenus puis nous identifions leurs limites au regard de nos hypothèses de recherche et de l'objectif de cette recherche-intervention.

Résultats de la partie 5 : formalisme C-K T / C-K E, arbre de valeur, technologies et besoins prétextes, PEPITE

La partie 3 a fourni le modèle d'engagement de ressources dans l'inconnu, l'engagement conceptif. La partie 4 mit à l'épreuve l'application de l'échelle *Technology Readiness Levels* (TRL) et identifia qu'elle induit des fixations des environnements. Le modèle d'action pour l'échange de technologies innovantes dans l'inconnu est donc celui d'un pilotage des expansions des technologies et des environnements ; son substrat technique doit supporter ces expansions du collectif sans induire de fixations.

Pour cela le chapitre 9 suit le principe des théories de la conception de définir une ontologie invariante qui introduit des fixations pour favoriser certaines expansions, autrement dit de définir un cadre pour favoriser la créativité. Il définit la notion de frontière Technologie-Environnement comme la limite conceptuelle entre la technologie conçue (échangeur, générateurs thermoélectriques...) par son vendeur et son environnement (train d'atterrissage, turbomachine, avion...) conçu par l'acheteur de la technologie. La valeur qui conditionne les échanges s'explore à cette limite qui est en expansion. La décision de concevoir plutôt que d'externaliser la conception est un premier type d'expansion de la frontière Technologie-Environnement mais elle suppose une chaîne de conception établie et donc limite la part d'inconnu ($\delta T/\delta E$). Les méthodes *market-pull* ou les TRL fixent les environnements pour explorer des technologies variées ($\Delta T/\delta E$). Les méthodes *technology-push* modernes au contraire des TRL fixent les technologies pour explorer des environnements variés ($\delta T/\Delta E$). Donc l'ontologie invariante que nous proposons est soit la technologie lorsque les environnements sont conçus soit les environnements lorsque les technologies sont conçues. Cela permet de modéliser l'objet sur lequel agissent les acteurs et l'effet attendu de l'action collective mais pas les actions elles-mêmes.

Pour modéliser les actions, nous proposons le formalisme C-K T / C-K E. Séparant le raisonnement sur les technologies et celui sur les environnements il offre deux classes d'actions. Dans la première le collectif qui ne distingue pas nécessairement des vendeurs et des acheteurs élabore soit le C-K T (expansions $\Delta T/\delta E$) soit le C-K E (expansions $\delta T/\Delta E$) ; les échanges dans l'inconnu se modélisent par les opérateurs de chaque C-K. Dans la seconde certains acteurs sont concepteurs de technologies et élaborent le C-K T et d'autres sont concepteurs d'environnements et élaborent le C-K E ; les échanges dans l'inconnu se modélisent par des opérateurs entre le C-K T et le C-K E que nous définissons. Les

ateliers des cas Thermoélectricité et Caloducs organisés sur ce modèle fournissent les données les démontrant. Le chapitre 9 répond donc à notre question de recherche sur le modèle d'action.

Le chapitre 10 fournit un substrat technique à ce modèle composé d'outils chacun déployé à une étape donnée d'une méthode linéaire. L'étape 1 est le démarrage avec un champ d'innovation, une fiche idée dont la valeur est inconnue d'après nos expériences mais pas seulement. L'étape 2 ébauche une frontière Technologie-Environnement en identifiant des concepts de technologies et d'environnements en démarrant le C-K T et le C-K E. L'étape 3 identifie des experts pertinents. Les représentations réalistes permettent de recueillir des connaissances sans générer de concepts mais peuvent être utiles à identifier les experts en les diffusant largement. Les diagrammes C-K évitent cet écueil mais induisent des fixations sur les environnements. Nous recommandons donc d'engager les experts identifiés individuellement dans la conception en les faisant réagir au C-K T et au C-K E. L'étape 4, l'atelier conception innovante met en action les opérateurs entre C-K T et C-K E pour déboucher sur des adéquations entre des nouvelles technologies et des nouveaux environnements formant alors des concepts consolidés. L'étape 5, l'exploration des concepts consolidés engage ses experts en élaborant successivement son C-K E avec l'outil « arbre de valeur » puis sa démonstration technique avec les outils d'ingénierie tels que les TRL. L'étape 6 consiste à préparer le jalon de lancement d'étude de faisabilité en suivant les outils décisionnels de la direction de l'innovation.

Concernant les figures d'acteurs, notre modèle de l'échange de la partie 1 comprenait un collectif vendeur et un collectif acheteur de technologies. La partie 3 mettait en avant la nécessité qu'un acteur parmi ces collectifs engage ses ressources à préparer les échanges dans l'inconnu en explorant la valeur pour les deux parties de l'échange ; nous l'appelions concepteur de valeur collective. La partie 5 pourvoit cet acteur d'un cadre pour dépasser les fixations des autres et d'outils. Elle tend à systématiser cet acteur en définissant le rôle de la direction de l'innovation dans l'inconnu. Elle peut prétexter des technologies bouleversant les environnements auprès d'acheteurs pour les engager en tant que concepteurs d'environnements des technologies. Inversement elle peut prétexter des besoins auprès des vendeurs d'une technologie pour les engager dans la conception de multiples technologies variées. Enfin elle peut engager tous ces acteurs ensemble successivement dans la conception des technologies puis dans la conception des environnements. Les frontières initiales sont alors ignorées pour être reconstruites. Les éventuelles relations vendeur-acheteur initiales sont remplacées par des relations concepteur de technologie - concepteur d'environnements. Si de la valeur est générée comme l'adéquation entre des nouvelles technologies et des nouveaux environnements, la direction de l'innovation finance les études des concepteurs des technologies les démontrant et les études d'architectures spécifiant des exigences pour les technologies exécutées par les concepteurs d'environnements. Peu à peu une ingénierie des systèmes concourante se met en place comme dans le cas Caloducs au moment de l'écriture de ce manuscrit.

Concernant la question de la philosophie gestionnaire, la partie 3 établissait la nécessité d'une philosophie de convergence générative et non pas décisionnelle. Le formalise C-K T / C-K E favorise cela en représentant d'une part les alternatives des technologies que les ressources explorent en

affinant leurs propriétés, et d'autre part les environnements que les ressources explorent en affinant leurs critères (outil arbre de valeur).

Finalement la partie 5 complète bien les réponses à nos questions de recherche qui faisaient défaut dans les parties 3 et 4. A présent nous abordons les limites de la partie 5.

Limites de la partie 5 : expérimentations limitées de PEPITE

Certains points de la méthodologie PEPITE sont des propositions qui appliquent nos résultats théoriques mais qui n'ont pas été expérimentés.

Ainsi nous proposons à l'étape 3 de présenter à la fois le C-K T et le C-K E aux experts identifiés pour les engager dans la conception. En effet nous avons d'une part expérimenté l'entretien avec un expert sans support visuel présentant le concept et interrogeant sur la valeur de la technologie dans divers environnements puis sur la démonstration de la technologie à quatre reprises pour le cas Thermoélectricité. Cela favorise l'exploration de connaissances participant à augmenter la valeur (voir le cas NECT dans l'article ICED). D'autre part nous avons expérimenté l'entretien avec comme support visuel un diagramme C-K à deux reprises pour le cas Opération air/sol et nous avons constaté une fixation des environnements (voir article IPDM). Nous avons expérimenté l'entretien avec l'arbre de valeur auprès d'un thermicien pour le cas Thermoélectricité. La fusion des avantages de chacun de ces outils conduit à la proposition de présenter le C-K T et le C-K E. L'expérimentation pourrait révéler des nouvelles difficultés mais aussi des nouveaux bénéfices.

A l'étape 4, nous proposons de consolider les concepts en regroupant par type d'adéquation entre Technologie et Environnement, c'est-à-dire par fonction. En effet une technologie isolée ou un environnement isolé n'a pas de valeur dans les théories de la conception (voir chapitre 2, pages 80 à 82). Mener cette agglomération de façon systématique pourrait s'avérer peu pratique en collectif.

PEPITE invite à ne pas limiter l'exploration au groupe industriel mais à inclure des experts au-delà de ses frontières. Or le cas Thermoélectricité suggère que fournisseur et client auront des difficultés à élaborer ensemble le C-K T et le C-K E. Cela renforce l'intérêt d'une modélisation des échanges entre les deux C-K qui oblige à définir de nouveaux opérateurs mais limite l'action collective. Cependant l'atelier Thermoélectricité était le tout premier fondé sur la séparation des invariants Technologie et Environnement. Les perspectives d'amélioration sont importantes. Un exemple simple est la gestion du temps de parole. En dépassant le temps de présentation initialement prévu afin d'intégrer les pistes d'amélioration réglée des produits, le fournisseur limita le partage de connaissances de Safran qui aurait pu lui permettre de participer à la conception d'un environnement valorisant les générateurs thermoélectriques. Enfin, suite à l'atelier conception innovante du cas Caloducs, une des sociétés a spontanément souligné que l'esprit de groupe et la coopération qu'elle y trouva ne sont pas évidents à obtenir.

Désormais nous pouvons conclure ce manuscrit de façon plus générale.

Conclusion générale

Sommaire de la conclusion générale

Synthèse des résultats	262
Modèle de l'échange entre vendeur et acheteur de technologie innovante intégrant l'inconnu	262
Modèle d'expansion de la frontière entre des technologies et des environnements.....	263
La méthode « Pilotage de l'Exploration Par les Invariants Technologie et Environnement » et l'outil « arbre de valeur » évitant la fixation.....	264
La figure du concepteur de valeur collective assurant que vendeurs et acheteurs agissent en concepteurs.....	265
La philosophie de convergence générative pour concevoir et non pas décider	265
Apports empiriques.....	266
Deux explorations ont dépassé la vallée de la mort chez Safran.....	266
La direction de l'innovation Safran désormais dotée d'outils et d'une méthode pour passer la vallée de la mort	267
Diagnostic des barrières à l'innovation induits par les TRL	267
Contribution théorique : dans l'inconnu vendeur et acheteur s'engagent dans la conception de la frontière entre des technologies et des environnements	268
Introduction de l'inconnu dans les modèles d'échange	269
La relation entre concepteurs, un dépassement des limites de la relation marchande dans l'inconnu.....	269
Concepteurs de technologies, d'environnements et de valeur collective, un dépassement des limites de vendeur et acheteur dans l'inconnu	270
Le formalisme C-K T / C-K E, modèle d'échange construisant la valeur et la relation entre les acteurs.....	271
Des outils et une philosophie gestionnaire dépassant les fixations classiques limitant la part d'inconnu dans l'échange	272
Limites et perspectives	274
Limites de notre cadre théorique	274
Reproductibilité des résultats dans l'organisation Safran	275
Généralisation à d'autres organisations que Safran.....	275

Afin de conclure cette recherche-intervention, nous proposons de revenir sur les points suggérés par la définition d'Albert David (2000) : « La recherche intervention consiste à aider, sur le terrain, à concevoir et à mettre en place des modèles, outils et procédures de gestion adéquats, à partir d'un projet de transformation plus ou moins complètement défini, avec comme objectif de produire à la fois des connaissances utiles pour l'action et des théories de différents niveaux de généralité en sciences de gestion. »

Ainsi nous commencerons par rappeler la problématique d'échanger dans l'inconnu au sein de Safran qui définit le projet de transformation et nous synthétiserons les résultats obtenus. Ensuite nous expliciterons les apports empiriques, c'est-à-dire l'aide que nos résultats constituent pour le terrain Safran. Après cela nous présenterons en quoi ces résultats contribuent aux sciences de gestion en toute généralité. Enfin nous aborderons les limites de cette recherche-intervention dont certaines ouvrent des perspectives.

Synthèse des résultats

Pour synthétiser nos résultats, nous présentons d'abord un rappel de la problématique et du cadre théorique amenant à formuler des questions de recherche précises. Ensuite nous abordons chaque question avec notre hypothèse initiale et les résultats obtenus.

Modèle de l'échange entre vendeur et acheteur de technologie innovante intégrant l'inconnu

Cette recherche-intervention identifiait une opportunité de recherche consistant à étudier le phénomène de vallée de la mort (manque de ressources entre Recherche et Développement) dans la perspective de l'échange sur le terrain de la direction de l'innovation Safran. En effet, la mission de la direction de l'innovation est d'enrayer le phénomène de vallée de la mort en procédant à des échanges avec les sociétés du groupe. La gestion de projets de démonstration de concepts de nouveaux produits fournit alors un modèle adéquat à ces échanges portant sur la réduction d'incertitudes. Mais dans l'inconnu un modèle reste à fournir. En effet à la suite de deux démarches DKCP pilotées par la direction de l'innovation, les concepts élaborés par des acteurs de toutes les sociétés du groupe entrent dans une vallée de la mort. Les échanges s'interrompent lorsque l'exploration de nouvelles connaissances n'est plus pilotée par des consultants comme elle l'était avec les phases K des DKCP. La problématique d'échanger dans l'inconnu est donc identifiée afin d'aider le terrain Safran à se transformer.

Afin de caractériser les spécificités introduites par l'inconnu dans l'échange, nous avons proposé un modèle de l'échange intégrant l'inconnu. Il suppose un vendeur de technologie innovante aux propriétés P_i et un acheteur avec ses critères d'évaluation V_i . La valeur conditionnant l'échange résulte d'un calcul entre P_i et V_i . Les conséquences de ces hypothèses sont une situation d'échange dans le connu et trois situations d'échange dans l'inconnu. Ces trois situations caractérisent les

difficultés rencontrées par les fiches idées inexplorées. Dans la littérature, le modèle de l'échange marchand correspond à la situation d'échange dans le connu car même si les acteurs sont mutuellement inconnus ils connaissent les marchés intermédiaires. Le modèle de la décision dans l'incertain permet d'étaler la réduction d'incertitudes sur les propriétés de la technologie, par contre la construction de la valeur quand elle est inconnue n'est pas modélisée et les critères d'évaluation ne sont régénérés. Le modèle de l'intéressement limite l'exploration à des adaptations locales même si le réseau d'acteur est en expansion. Enfin le modèle divergence-convergence de la créativité montre des difficultés à régénérer les critères de valeur même en sollicitant un grand nombre d'acteurs. Ainsi les limites de la littérature coïncident avec les difficultés rencontrées par le terrain. Nous mobilisons alors le cadre suggéré par Hatchuel et Weil (1990) pour formuler nos questions de recherche : Quel est le modèle d'action collective aux explorations de P_i et V_i ? Quel est son substrat technique ? Quelles sont ses figures d'acteur ? Quelle est sa philosophie gestionnaire ?

Modèle d'expansion de la frontière entre des technologies et des environnements

Concernant le modèle d'action, les théories de la conception innovante permettent de formuler l'hypothèse de construction d'un modèle qui génère la relation vendeur-acheteur et les expansions de connaissances de types technologie (ΔT) ou environnement (ΔE) ; celles-ci étant la conséquence d'un engagement de ressources et co-évoluant avec des concepts de propriétés de technologies (P_i ?) ou de critères d'évaluation (V_i ?) formant des calculs inconnus de la valeur.

Cette hypothèse nous a amené à établir un modèle d'engagement de ressources dans l'inconnu (partie 3). En effet, les fiches idées Thermoélectricité et Caloducs issues des DKCP ont bénéficié de ressources d'exploration bien qu'elles ne respectaient pas les conditions prescrites par les théories classiques et seulement partiellement celle d'engagement contractuel des théories de la conception. Nous avons alors exploré l'hypothèse d'« engagement conceptif ». En étudiant les cas Thermoélectricité et Caloducs, nous avons défini l'engagement conceptif par l'emploi d'une ressource (minimale) permettant d'engager des ressources supplémentaires en (1) explorant des dimensions de la valeur afin de leur conférer un statut logique positif et (2) identifiant des dimensions de la valeur inconnues. Le pilotage de la ressource minimale disponible est donc critique. Or le modèle d'engagement de ressources qu'emploie Safran (partie 4), à savoir l'évaluation des technologies sur l'échelle des *Technology Readiness Levels* (TRL), n'a pas permis aux fiches idées issues des DKCP de bénéficier de ressources car il fixe les environnements et leurs critères d'évaluation. Nous avons donc défini la notion de frontière Technologie-Environnement comme la limite conceptuelle entre la technologie conçue par son vendeur et l'environnement conçu par l'acheteur de la technologie. L'étude de cas révèle trois stratégies d'expansion de cette frontière conceptuelle : étendre la chaîne de conception, générer des nouvelles technologies en fixant les environnements, enfin générer des nouveaux environnements en fixant les technologies. Nous avons élaboré le « formalisme C-K T / C-K E » afin d'obtenir un modèle qui vérifie les conditions de l'engagement conceptif (elles sont décrites dans les paragraphes suivants). Dans ce modèle, le C-K T

fournit les expansions des technologies et de leurs propriétés, le C-K E fournit les expansions des environnements et de leurs critères d'évaluation. Les échanges dans l'inconnu sont modélisés soit par les opérateurs du C-K T ou du C-K E élaboré par un collectif ne distinguant pas vendeur et acheteur, soit par des opérateurs entre le C-K T et le C-K E qui modélisent respectivement le raisonnement des vendeurs et le raisonnement des acheteurs. Les expansions du C-K T mobilisent des experts de technologies ; les expansions du C-K E mobilisent des experts d'environnements ; le modèle les met en relation pour concevoir de nouvelles technologies et de nouveaux environnements et non pas vendre ou acheter une technologie. Ainsi plusieurs ateliers furent pilotés sur ce modèle dans les cas Thermoélectricité et Caloducs, la deuxième question de recherche permet d'expliquer comment les préparer et les mener.

La méthode « Pilotage de l'Exploration Par les Invariants Technologie et Environnement » et l'outil « arbre de valeur » évitant la fixation

Concernant le substrat technique, les théories de la conception innovante permettent de formuler l'hypothèse qu'il supporte l'exploration sans induire des effets de fixation sur les acteurs. Nous montrons que cette hypothèse est une condition de l'engagement conceptif (partie 3). En effet des fixations singulières à chaque exploration (exemple : stocker l'énergie pour les concepts de récupération d'énergie) sont évitées grâce à des brouillons spécifiques comme supports de réunions. Cependant un substrat technique plus systématique reste à fournir. Safran emploie déjà l'échelle TRL mais elle n'est pas compatible avec la condition précédente (partie 4). En effet, une échelle TRL comporte des critères préétablis d'affectation de chaque niveau applicable à un type défini d'environnement (exemple : tolérance aux dommages sur la base de résultats d'essais dans un certain équipement à un certain TRL). Or l'engagement conceptif requiert que des nouveaux environnements et leurs critères puissent être explorés. Nous avons donc expérimenté des outils fondés sur le formalisme C-K T / C-K E (partie 5). Basé sur la représentation des concepts du C-K E, nous proposons l'outil « arbre de valeur ». Il permet de consolider les fonctions d'une technologie dans des environnements variés, explorer des nouveaux critères d'évaluation et affiner le seuil des critères déjà identifiés. De plus nous avons montré que des technologies et des besoins sont prétextes à engager acheteurs et vendeurs dans la conception d'une variété de technologies et d'environnements. Finalement, afin de mettre en action les modèles de cette thèse de façon systématique, nous avons proposé la méthode « Pilotage de l'Exploration Par les Invariants Technologie et Environnement (PEPITE) ». Elle est composée de six étapes ; la connaissance de la théorie C-K est facultative pour les mener. Notre question de recherche sur les figures d'acteurs oblige à expliciter les acteurs qui y prennent part et leurs rôles.

La figure du concepteur de valeur collective assurant que vendeurs et acheteurs agissent en concepteurs

Concernant les figures d'acteurs, les théories de la conception innovante permettent de formuler l'hypothèse qu'un 3^{ème} acteur, ni vendeur, ni acheteur, est nécessaire pour échanger dans l'inconnu. Cette hypothèse oblige à interroger si un vendeur et un acheteur suffisent dans le modèle de l'engagement conceptif. Nos résultats indiquent que ce n'est pas le cas. En effet l'engagement conceptif nécessite qu'un acteur emploie ses ressources à la préparation des échanges dans l'inconnu en explorant la valeur pour toutes les parties de l'échange dans le but de les engager dans la conception ; nous appelons cet acteur « concepteur de valeur collective » (partie 3). Pour mener l'évaluation d'une technologie sur l'échelle TRL, un acteur mène bien un travail préparatoire. Cependant il n'est pas de nature à explorer la valeur pour toutes les parties de l'échange (partie 4). Au contraire, le formalisme C-K T / C-K E permet à cet acteur de modéliser le raisonnement dans l'inconnu de chaque partie de l'échange (partie 5). Ainsi lorsqu'un concept du C-K T requiert d'explorer des nouvelles connaissances, elles sont typiquement explorées en engageant un acteur dont l'expertise est pertinente comme concepteur de technologies. De même les expansions du C-K E forment un collectif concepteur d'environnements. Technologies et besoins prétextes permettent d'engager des acteurs qui agissent initialement en acheteur ou en vendeur comme concepteurs. Le concepteur de valeur collective met en relation tous ces concepteurs lors d'ateliers qui leur permettent d'échanger à partir de l'étape 4 de la méthode PEPITE. Cette méthode s'appuie systématiquement sur le concepteur de valeur collective. Ainsi il est souhaitable que cette figure d'acteur soit professionnalisée au sein de la direction de l'innovation. Cet acteur est aussi le garant d'une certaine philosophie qui est le résultat de notre dernière question de recherche.

La philosophie de convergence générative pour concevoir et non pas décider

Concernant la philosophie gestionnaire, les théories de la conception innovante permettent de formuler l'hypothèse qu'explorer la valeur pour vendeur et acheteur implique d'inhiber la philosophie du calcul sur le connu. Cette hypothèse oblige à comprendre le but des acteurs lorsqu'ils agissent selon le modèle de l'engagement conceptif (partie 3). Or l'étude du cas Thermoélectricité montre que c'est la philosophie de sélectionner des technologies sur la base de critères connus qui met fin à l'exploration avant cette recherche-intervention. Ainsi la philosophie de convergence décisionnelle d'engager des ressources importantes sur l'alternative de plus grande valeur doit être inhibée. En effet l'engagement conceptif nécessite que les acteurs adoptent la philosophie de convergence générative qui veut employer des ressources égales sur toutes les alternatives de façon à augmenter leur valeur puis à délaisser celles dont la valeur décroît ou stagne. Cette philosophie est bien celle des procédures d'évaluation TRL des agences gouvernementales américaines (partie 4). En effet elles préconisent de ne pas se contenter du TRL actuel pour décider quelle alternative poursuivre mais d'estimer les ressources nécessaires pour augmenter la maturité jusqu'au TRL 6. Le formalisme C-K T / C-K E rend compte de la philosophie de convergence adoptée en modélisant les

alternatives de technologies et d'environnements de façon dynamique (Partie 5). D'après nos expériences cette philosophie est difficile à maintenir pour passer l'étape 4 à l'étape 5 de PEPITE.

Ces résultats sur nos questions de recherche constituent une aide pour la direction de l'innovation Safran que nous expliquons dans la section qui suit.

Apports empiriques

Cette recherche-intervention est venue en aide à la direction de l'innovation Safran sur trois points majeurs. D'abord les échanges dans l'inconnu interrompus à la fin de l'intervention des consultants ont été repris amenant deux explorations au stade de projet. Ensuite des outils et méthodes ont été fournis pour piloter les futurs échanges dans l'inconnu. Enfin une meilleure compréhension de l'outil TRL peut éviter certaines barrières aux échanges dans l'inconnu.

Deux explorations ont dépassé la vallée de la mort chez Safran

Les DKCP étaient clôturés par la désignation de fiches-idées à explorer. Conjointement avec les sociétés, chaque fiche était affectée d'une société pilote et de sociétés contributrices. Cependant, dans les mois qui suivirent, trois fiches ne furent ni rédigées ni explorées et huit fiches furent rédigées par un acteur isolé mais restaient à l'abandon ensuite. Donc un phénomène de vallée de la mort apparaît à nouveau alors que la direction de l'innovation a pour mission de l'enrayer, plus précisément elle assure le pilotage des ressources manquantes entre Recherche (R&T) et Développement (programmes). Un outil intranet devait faciliter les échanges élaborant les fiches ; il ne fut pas utilisé par les sociétés. **Ainsi le premier apport de cette thèse est la reprise des échanges dans l'inconnu : cinq fiches idées furent explorées.** Sur ce point, le simple ajout du doctorant comme ressource de la direction de l'innovation est la cause principale. Ce sont par ordre chronologique les cas Frein froid, *Quick drop*, Opérations air-sol, Thermoélectricité et Caloducs. La chronologie est significative : ce sont les explorations qui ont bénéficié des modèles les plus aboutis des chercheurs qui ont entraîné les échanges les plus conséquents, autrement dits qui ont « survécu » le plus loin dans le processus d'innovation. Ainsi les explorations Frein froid et *Quick drop* ont été interrompues à cause de fixation des environnements (voir partie 5), l'exploration Thermoélectricité a pris fin à la suite d'une étude de faisabilité qualifiable de modeste, enfin l'exploration Caloducs a dépassé le stade d'étude de faisabilité. Ce dernier projet implique trois sociétés du groupe et le département Recherche et Technologie central (Safran Tech). **En définitive, ce sont les efforts de modélisation des échanges dans l'inconnu et l'expérimentation de ces modèles qui ont permis aux explorations Thermoélectricité et Caloducs d'atteindre des phases projet.**

La direction de l'innovation Safran désormais dotée d'outils et d'une méthode pour passer la vallée de la mort

Afin de reproduire le modèle d'échange dans l'inconnu auquel nous aboutissons, nous avons élaboré conjointement avec les membres permanents de la direction de l'innovation la méthode PEPITE. Elle permet d'explorer un champ d'innovation par les expansions de la frontière Technologie-Environnement. La maîtrise du formalisme C-K T / C-K E ou même de la théorie C-K est facultative pour la déployer. Elle nécessite un acteur concepteur de valeur collective, c'est-à-dire un pilote qui mène la méthode. Cet acteur est plus probablement membre de la direction de l'innovation d'après nos résultats car l'exploration de nouveaux concepts pour identifier des nouveaux produits fait partie de sa mission. Cependant la situation où une société ou une autre direction centrale pilote l'exploration d'un champ d'innovation n'est pas exclue ; la méthode n'a pas besoin de modification pour cela *a priori*.

L'outil « arbre de valeur » permet à la direction de l'innovation de remplir la composante *business* de sa mission dans l'inconnu, avant les phases projet. C'est un levier pour approfondir un concept non pas sur la dimension technique mais sur la valeur qu'il apporte au client, notamment auprès d'ingénieurs. En effet notre retour d'expérience sur les cas Thermoélectricité et Caloducs montre que disposer de personnel du marketing permet de chiffrer le volume du marché mais pas nécessairement de construire le *value model*. En effet l'identification de la nature de la valeur nécessite l'expertise des environnements qu'intégreraient les technologies, dans notre cas il s'agissait d'ingénieurs. Le support après-vente a fourni ponctuellement aussi une expertise précieuse grâce à son contact avec les clients.

De façon générale, cette méthode rompt les silos organisationnels ce qui contribue à la composante transverse de la mission de la direction de l'innovation. Cela est vérifié entre sociétés du groupe Safran. Le déroulement de la méthode avec des acteurs extérieurs au groupe est une perspective majeure pour repousser les frontières de l'innovation. Remarquons que la notion de technologie ou de besoin prétextes à engager dans la conception des experts agissant initialement en vendeur ou en acheteur est montrée avec le cas EGTS. Or dans ce cas, Safran engage des concepteurs au-delà des frontières du groupe, c'est-à-dire des avionneurs et des compagnies aériennes.

Diagnostic des barrières à l'innovation induits par les TRL

La thèse fournit une compréhension des effets de l'échelle *Technology Readiness Levels (TRL)* sur les capacités d'innovation d'une entreprise. Un premier point est que les TRL ne sont pas une méthode *technology-push* mais bien *market pull*. En effet, affecter un TRL à une technologie suppose de connaître l'environnement qu'elle intègrera. Ainsi une évaluation TRL formelle ne concerne les produits que d'une société Safran. Malgré une procédure commune, chaque société adopte des critères de passage de TRL en silos.

L'évaluation TRL hypothétique que nous avons décrite dans le chapitre 8 (Figure 28, p184) indique les améliorations à mener pour en faire un outil à la fois *market pull* et *technology-push*. D'abord il faut considérer que le TRL n'est pas intrinsèque à une technologie mais bien relatif à la fois à la technologie et à l'environnement. Concrètement le TRL est différent selon le produit dans lequel on intègre la technologie, ou même l'architecture au sein d'un même produit. En conséquence les critères de passage des TRL ne doivent pas être préétablis et tenus pour vrais mais remis en question puis réinventés. L'évaluation formelle des TRL nécessite alors un collectif élargi en impliquant les concepteurs de technologie et plusieurs sociétés voire des clients. Un point des TRL qui initialement allait dans ce sens était que pour passer un TRL, il faut questionner quelles sont les conditions d'essai pertinentes pour démontrer un certain niveau de TRL. Cependant, de façon générale, dans chaque société du groupe Safran, le type d'essai permettant de franchir chaque niveau TRL est préétabli.

Lors d'une évaluation TRL collaborative, dans l'inconnu (dans les phases amont avec de multiples alternatives de technologies et de produits les intégrant), les TRL ne doivent pas servir comme critère de décision d'engagement de ressources. Il est préférable d'identifier les ressources requises pour augmenter le TRL de toutes les alternatives. En effet les agences américaines repoussent la fixation sur une alternative au stade où un plan de maturation est envisagé pour chacune d'entre elle. C'est bien le cas dans les procédures des agences américaines mais pas le cas de la procédure Safran et nous ne l'avons pas non plus observé en pratique.

En appliquant ces points, les TRL cessent de définir des jalons à passer successivement mais deviennent un outil de questionnement des concepteurs pour faire progresser la valeur de leurs idées. Cette nouvelle compréhension des TRL pourrait permettre à Safran d'améliorer leur usage. Elle serait favorisée par une nouvelle intervention de chercheurs puisque il s'agit d'expérimenter la refonte d'un outil de gestion.

Nous avons décrits l'aide que constitue cette recherche-intervention au terrain Safran, à présent nous décrivons sa contribution théorique aux sciences de gestion.

Contribution théorique : dans l'inconnu vendeur et acheteur s'engagent dans la conception de la frontière entre des technologies et des environnements

La contribution théorique de la présente thèse pour les sciences de gestion se résume à un modèle d'échange dans l'inconnu. Or un modèle d'échange dans l'inconnu nécessite des révisions profondes des modèles d'échange dans le connu fourni par la littérature. Elles portent sur la relation, les acteurs, la génération des objets échangés et de la relation, les outils et la philosophie gestionnaires.

Introduction de l'inconnu dans les modèles d'échange

En premier lieu l'inconnu dans l'échange porte sur les acteurs. LE modèle de l'échange marchand contournait cet inconnu en introduisant des marchés intermédiaires connus des acteurs (Walras 1874, Keen 2009). Des critiques de ce modèle portent sur le « mythe du troc » et la « valeur substance », mais cela n'empêche pas les sciences de gestion d'adopter en grande partie les théories de la valeur (Bowman et Ambrosini 2002). Le modèle de l'échange marchand est en difficulté dès lors qu'un peu d'inconnu sur le bien échangé est introduit, par exemple lorsqu'il est connu dans ces grandes caractéristiques mais qu'un travail de conception détaillée reste à fournir. Ainsi Midler, Garel et Kessler (1997) montraient les limites de l'échange marchand lorsque l'objet échangé est en cours de conception comme dans le modèle du co-développement. La limite principale était alors de ne pas rémunérer l'effort de conception du vendeur. En fait dès lors que l'objet acheté requiert un effort de conception, les vendeurs sont réduits à un panel de fournisseurs auquel l'acheteur soumet un appel d'offre (Maniak et Midler 2008). D'autre part des techniques d'évaluation des fournisseurs permettent leur sélection (Le Dain, Calvi et Cheriti 2008). Dans le modèle marchand, il est donc nécessaire à un acheteur de connaître les vendeurs si la conception n'est pas terminée. Le modèle marchand de l'échange ne traite donc pas simultanément l'inconnu sur les acteurs et l'inconnu sur l'objet échangé ; ils semblent incompatibles.

Une première contribution de la thèse est donc d'avoir introduit un modèle d'échange intégrant l'inconnu sur l'objet (chapitre 2, p47). A présent nous devons expliquer les conséquences de ce modèle d'après les résultats décrits dans la section précédente.

La relation entre concepteurs, un dépassement des limites de la relation marchande dans l'inconnu

Testart (2001) décrivait la relation marchande comme portant uniquement sur les biens échangés. Mais lorsque la conception du bien n'est pas terminée la relation entre les parties de l'échange s'enrichit.

Dans la relation client-fournisseur, Zirpoli et Camuffo (2009) montraient que le client opte pour des modes de coordination très différents selon le degré de compétence qu'il détient sur l'objet qu'il achète. La relation client-fournisseur n'est réciproque que dans la situation extrême de « co-conception critique » en comparaison à celles de sous-traitance, de développement délégué ou de co-conception stratégique (Le Dain, Calvi et Cheriti 2010 ; Le Dain 2015, pages 47 à 58). La relation de co-innovation est alors préférable à celle de co-développement mais suppose un engagement portant sur le processus de conception qui n'était pas pleinement vérifié (Maniak 2010). La collaboration est co-construite et les deux partenaires doivent définir conjointement l'objet de la collaboration (Le Dain 2015, p59). Cela nécessite d'anticiper le problème identifié par Caglio et Ditillo (2008) d'appropriation de la valeur qui nécessite que la valeur créée soit conjointement reconnue par les deux parties. Précisément le modèle de la présente thèse conçoit la valeur qui sera partagée.

Nous contribuons donc à cette littérature en fournissant un modèle d'étape antérieure aux phases projet d'une relation client-fournisseur, lorsque l'objet est initialement inconnu⁷².

La relation client-fournisseur est donc une relation marchande qui tolère que la conception de l'objet échangé ne soit pas achevée. Mais nos résultats montrent que pour accroître l'inconnu, la relation entre concepteurs prédomine. La relation entre concepteurs est caractérisée par une symétrie et un rapport de prescription qui est réciproque (Hatchuel 1994, 2001). C'est-à-dire que « chacun d'entre eux va indiquer à l'autre les prescriptions qu'il doit respecter pour que leurs deux interventions soient compatibles et aboutissent à telle ou telle performance d'ensemble. Mais aucune de ces prescriptions ne va complètement déterminer l'espace d'apprentissage de chaque concepteur ». Cette définition rend peu compte de la logique d'échange. Hooge (2010) définissait la relation en conception comme « un engagement actif qui contribue à l'action collective par l'apport de ressources comme des compétences adaptées ou des moyens financiers ». En effet l'auteur montrait qu'il peut être défavorable d'accroître le nombre d'alliés sur le modèle de l'intéressement. Cette deuxième définition rend davantage compte de la cession ou de la mise en gage d'une ressource d'une partie de l'échange, cependant pour rendre complètement compte de la logique d'échange il faut distinguer deux parties de l'échange et faire apparaître la contrepartie à cette contribution. Or d'après nos résultats, le minimum de déterminisme sur l'objet conçu et les acteurs qui permette de distinguer deux parties de l'échange consiste à séparer le raisonnement sur les technologies de celui sur les environnements. **La contribution de la présente thèse est donc que lorsque l'échange se place dans l'inconnu, la relation ne portant plus sur des biens connus comme dans la relation marchande, elle porte sur des technologies et des environnements. Elle se caractérise par des prescriptions réciproques de technologies avec de nouvelles propriétés et d'environnements avec de nouveaux critères d'évaluation résultant d'un engagement dans la conception des acteurs.**

A présent nous devons expliquer la transformation des acteurs que suppose cette relation.

Concepteurs de technologies, d'environnements et de valeur collective, un dépassement des limites de vendeur et acheteur dans l'inconnu

Markham (2010) s'appuyait sur la théorie des rôles (Shaw et Costanzo 1982) : « Les acteurs jouant un rôle prennent une position ou une position associée dans toute relation, telle que vendeur-acheteur, patron-employé »⁷³. Pour compenser le manque de ressources dans la vallée de la mort, il propose de distinguer les rôles informels suivants

⁷² La relation avec le fournisseur dans le cas Thermoélectricité fournit les données

⁷³ Texte original : *"Role players assume a position or an associated position in any given relationship, such as seller-buyer, boss-employee, or customer-designer-actor"*

- le champion identifie les idées, prend conscience de leur valeur, prépare leur acceptation résultant de leur vente dans l'organisation, enfin il cherche des ressources de démonstration auprès de sponsors
- les sponsors fournissent de l'assistance pour démontrer la valeur alors que l'organisation n'a pas accepté l'idée dans un projet formel, ils débloquent des ressources de développement de gardiens,
- les gardiens (*gatekeeper*) ont accès aux ressources nécessaires et prennent la décision de les céder au champion (Reid et Brentani 2004)

De façon similaire, la théorie acteur-réseau permettait à Koch et Leitner (2008) d'observer des employés qui vendent leurs idées dans l'entreprise. La contribution des auteurs porte alors sur la forme d'organisation spontanée qu'adoptent ses employés.

La limite de ces descriptions des acteurs dans la vallée de la mort et qu'elle ne rend pas compte de leur capacité à raisonner dans l'inconnu, à transformer l'idée initiale. Notamment Reid et Brentani (2004) adoptant un cadre théorique décisionnel évoquent le phénomène de construction de la valeur sans l'expliquer. **La contribution de la présente thèse est de montrer que dans l'inconnu, l'échange nécessite que les acteurs initialement vendeurs et acheteurs agissent en concepteurs de technologies et d'environnements pour construire la valeur.** D'après nos résultats cela est rendu possible par le travail préparatoire d'un concepteur de valeur collective. **Alors que la primauté d'un acteur central était reprochée à la théorie acteur-réseau (Star et Griesemer 1989 ; Pohl, Styhre et Elmquist 2009), la stricte nécessité d'un concepteur de valeur collective pour échanger dans l'inconnu tend à la défendre.**

La transformation de ces acteurs suppose qu'ils suivent un modèle d'action différent. En particulier ce modèle doit générer la relation et les biens échangés, c'est-à-dire construire la valeur. Nous devons donc décrire notre contribution sur ce point.

Le formalisme C-K T / C-K E, modèle d'échange construisant la valeur et la relation entre les acteurs

La théorie C-K modélisait déjà la construction de la valeur (Le Masson, weil et Hatchuel 2010). Cependant elle ne modélise pas les échanges mais uniquement leurs effets pour un seul collectif concepteur. Il est nécessaire de distinguer deux raisonnements de conception pour cela. Szpirglas (2006), Kazakçi (2007) et Gillier (2010) avaient déjà fourni un effort théorique significatif allant en ce sens. Cependant dans la perspective de l'échange, ils présentent les hypothèses limitantes que les acteurs se connaissent ou qu'un environnement de travail les met en relation. La présente thèse propose de distinguer le raisonnement dans l'inconnu sur les technologies et celui sur les environnements ; elle élabore alors formalisme C-K T / C-K E. Initialement, le concepteur de valeur collective mène ses deux raisonnements de façon à identifier les acteurs dont l'expertise contribue à la construction de la valeur, ensuite il les met en relation pour concevoir et les positionne en concepteurs de technologie ou d'environnements. **Notre contribution est donc de proposer un**

modèle qui génère la relation et les objets échangés, autrement dit qui modélise l'expansion du collectif et de la valeur. Cette contribution est récapitulée dans le tableau suivant qui compare les modèles multi-acteurs de la conception.


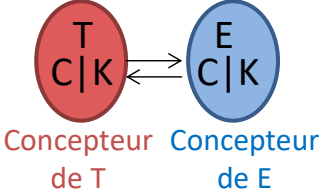
Théorie	Acteurs	Médias	Schéma de synthèse
<i>Quiproquo</i> (Szpirglas 2006)	mutuellement connus	non	$\overset{1}{C K} \rightleftharpoons \overset{2}{C K}$
<i>C-K-E</i> (Kazakçi 2007)	mutuellement inconnus (dans l'hypothèse)	Environnement de travail	$C K^? \rightleftharpoons E \rightleftharpoons K C^?$
<i>Matching</i> (Gillier 2010)	mutuellement connus	non	$\overset{1}{C K} \rightleftharpoons \overset{2}{C K}$
<i>Building</i> (Gillier 2010)	mutuellement connus	Environnement de travail	$\overset{1}{C K} \rightleftharpoons E \rightleftharpoons K \overset{1}{C}$
C-K T / C-K E en alternance	Concepteur de T et concepteur de E sont confondus au sein d'un collectif, le concepteur de valeur collective pilote ce que conçoit ce collectif (T ou E)	Arbre de valeur	
C-K T / C-K E qui échantent	Concepteurs de T et concepteurs de E sont connus, le concepteur de valeur collective organise les échanges	Technologies et besoins prétextes	

Tableau 29 : Le formalisme C-K T / C-K E, une contribution aux formalismes multi-acteurs de la conception – dans ce modèle la relation et l'objet échangé sont endogènes

Finalement, nous devons expliquer la limite des outils de gestion existant pour échanger dans l'inconnu.

Des outils et une philosophie gestionnaire dépassant les fixations classiques limitant la part d'inconnu dans l'échange

La littérature des modèles de décision (Thomke 2003) ou de créativité (Brown *et al.* 2010) indiquait que les prototypes de produits permettent d'acquérir des nouvelles connaissances sur le besoins des clients et des utilisateurs. L'ontologie invariante de la frontière Technologie-Environnement proposée dans la partie 5 permet de diagnostiquer les fixations qu'induisent ces théories. D'abord ces théories limitent l'exploration à un segment très restreint de la chaîne de conception, à savoir la frontière produit/utilisateur. De plus la variété des environnements explorés est limitée. Thomke

(2003, chapitre 7) montre un *toolkit* de parfumeur accessible aux clients afin de déplacer l'expérimentation du fournisseur chez le client pour favoriser l'exploration de ses besoins. Cela permet d'engager les concepteurs d'environnements (les clients) à un stade où une grande part d'inconnu est déjà explorée (il s'agit de parfums fabriqués avec des essences connues pour des clients connus qui combinent des critères prédéterminés dans le *toolkit*). De même Schrage (1996) montrait avec l'exemple du prototype de tube de dentifrice l'engagement d'un client dans la conception de son besoin. Mais la part d'inconnu est très restreinte (c'est un tube de dentifrice pour un client connu). Ingy Brown (2013) montrait déjà que certains biens dits « disjonctifs » stimulent le raisonnement dans l'inconnu de la part d'usagers. Mais ces usagers-concepteurs ne sont pas en relation avec le vendeur du bien, il n'y a pas d'échanges. **Notre contribution consiste alors à proposer les outils d'engagement des clients comme concepteurs d'environnements du bien échangé alors qu'il est inconnu.** C'est l'outil arbre de valeur dont la méthode PEPITE garantit un usage dans le bon contexte.

Par contre Hatchuel et Weil (1990) indiquaient qu'il est plus difficile de préserver la philosophie initiale dans laquelle opère un outil de gestion. De façon évidente, les modèles auxquels parvient la présente thèse sont plus proches d'une philosophie de la créativité que de la décision. Pourtant dans le modèle divergence-convergence de la créativité, la convergence est une prise de décision, un choix. Dans un contexte où le paradigme décisionnel limite les capacités de conception des entreprises (Le Masson, Weil et Hatchuel 2010), **la contribution de la philosophie de convergence générative que nous avons définie est de rendre la créativité indépendante de la décision.**

Dans le modèle de l'intéressement, la philosophie est encore différente. La convergence apparaît dans la mise à l'épreuve des représentations de la conception en cours. Ainsi des représentations économiques du modèle d'affaires permettent de le mettre à l'épreuve de la valuation (Eyquem-Renault 2011). La valuation désigne initialement le calcul du prix d'une entreprise à vendre. De plus en plus d'auteurs élargissent la notion à l'évaluation de concepts, c'est-à-dire au calcul d'un acteur de la quantité de ressources qu'il s'engage à investir dans l'exploration ou la réalisation du concept (Le Gal 2016). Des travaux précédents ont déjà montré l'intérêt de l'évaluation holistique intuitive des idées (Magnusson, Netz et Wästlund 2014) et même de l'évaluation générative (Sukhov, A., P. Magnusson et L. Olsson 2015). **La présente thèse suggère de distinguer la valuation décisionnelle (calcul de la valeur sur des dimensions connues comme le prix, la valeur actualisée nette...) de la valuation générative (génération de nouvelles dimensions inconnues de la valeur mais qui engage les acteurs à les explorer).**

Nous avons terminé de décrire les contributions aux sciences de gestion que constitue la présente thèse. Nous décrivons ses limites pour terminer ce mémoire.

Limites et perspectives

Nous proposons trois types de limites à ce travail de thèse : celles de notre cadre théorique, celles concernant la reproduction de nos résultats par l'entreprise Safran, enfin celles concernant la généralisation à d'autres entreprises.

Limites de notre cadre théorique

Afin de traiter la problématique d'échanger dans l'inconnu, nous avons proposé un modèle d'échange de technologie intégrant l'inconnu. Cela est lié à la composante stratégique majeure de la technologie dans l'entreprise Safran ou plus généralement dans le secteur aéronautique. Il est possible que la présente thèse ne traite qu'un type restreint d'échange dans l'inconnu alors qu'il en existe toute une variété. En particulier la modélisation de la valeur adoptée pourrait s'avérer limitante, même si elle présente des grandes similitudes avec des théories formelles de la conception de tout type d'artefacts et non pas seulement de technologies. En outre, l'échange est une notion qui affecte toutes les sciences sociales et notre revue de littérature ne peut pas être considérée comme exhaustive. Par exemple nos travaux ne tiennent pas compte de la psychologie ou des profils de personnalité des acteurs alors que d'après nos observations les praticiens y attachent une certaine importance. Certaines personnes sont réputées pour avoir beaucoup d'idées, d'autres pour être sceptiques, d'autres pour leur capacité d'abstraction... or cela impacte la génération de calculs inconnus, leur désirabilité et donc la qualité de l'engagement conceptif. Cette limite reflète néanmoins l'originalité de nos travaux vis-à-vis des études sur l'influence de l'environnement de travail qui sont abondantes.

Un autre champ théorique qui pourrait consolider nos résultats est celui des modèles d'affaires, de la création et de la capture de la valeur. La conception de réseaux complexes de valeur est-elle possible avec nos modèles ? Faudrait-il étendre le formalisme C-K T / C-K E pour multiplier les frontières (C-K T₁ | C-K E₁/T₂ | C-K E₂/T₃ | C-K E₃) ? Les retours d'expérience sur le canevas de proposition de valeur montrent qu'il a le défaut de ne représenter qu'un seul client⁷⁴. Les modèles et outils de la présente thèse n'ont pas cette difficulté mais des expérimentations ultérieures permettront d'identifier leurs difficultés et donc de mieux comprendre les contextes adéquats pour les utiliser.

Le champ théorique de la formation des équipes entrepreneuriales est aussi pertinent. En effet les récents travaux sur la constitution des équipes entrepreneuriales décrivent la quête stratégique de ressources ou l'attraction interpersonnelle comme un processus décisionnel (Ben-Hafaïedh 2012). Or nos résultats suggèrent que l'engagement d'acteurs dans la conception de l'entreprise, du projet entrepreneurial ou du modèle d'affaires est conditionné par une convergence non pas décisionnelle

⁷⁴ <http://blog.strategyzer.com/posts/2015/2/19/5-common-mistakes-to-avoid-when-using-the-value-proposition-canvas> consultée le 22 octobre 2016

mais générative. Ce paradoxe est riche de questionnement scientifique et suggère de nouvelles expérimentations sur des terrains variés.

Reproductibilité des résultats dans l'organisation Safran

La transformation de l'entreprise Safran aidée par cette recherche-intervention n'est pas tout à fait complète. Si méthodes et outils ont été fournis et expliqués à la direction de l'innovation, nous n'avons pas observé leur utilisation par des membres permanents de la direction durant la durée limitée de cette recherche-intervention. Des explications manquantes ou mêmes des révisions de la méthode pourraient survenir lors de premières utilisations par d'autres acteurs que le doctorant.

La stricte nécessité du concepteur de valeur collective pour échanger dans l'inconnu suggère de professionnaliser cette fonction. Elle ne doit pas être confondue avec un directeur de projet. Or d'après nos ultimes observations, la direction de l'innovation ne comporte pas de membre permanent dont la mission est de gérer les échanges dans l'inconnu en agissant en concepteur de valeur collective. Cela pourrait compromettre l'exploitation des résultats de la présente thèse. Moisdon (1984) précisait déjà que la recherche-intervention transforme les organisations : « le chercheur en gestion apparaît comme une sorte de stimulateur, relativement modeste, de l'enrichissement organisationnel ; il sait que le changement n'est possible que si les acteurs sont convaincus de la nécessité de modifier l'équilibre des logiques stabilisées qui constituent la marche de l'ensemble ». La transformation organisationnelle n'est pas tout à fait complète dans le cas de Safran dans la mesure où un acteur pourrait manquer à l'avenir. Par ailleurs, Kokshagina (2014) débouchait sur une conclusion similaire lorsqu'elle identifiait la figure de *cross application manager*. De même Agogué (2012) suggérait de pérenniser la figure d'architecte de l'inconnu. Nous recommandons donc la professionnalisation du concepteur de valeur collective.

Comme le précisaient Hatchuel et Weil (1990), l'introduction d'une nouvelle figure d'acteur dans une organisation nécessite de penser ses interactions avec celles existantes. Le risque est une crise identitaire et un rejet de la nouvelle figure par les figures existantes. Ainsi la perspective pour Safran de professionnaliser le concepteur de valeur collective applicable à court terme peut aussi constituer une opportunité de recherche à part entière.

Généralisation à d'autres organisations que Safran

Yin (1984), définissait quatre composantes de la validité scientifique d'une étude de cas : validité construite, validité interne, validité externe et fiabilité (pages 40 à 45). La validité externe coïncide avec une critique de la recherche-intervention portant sur la généralisation des résultats à d'autres organisations (McKay et Marshall 2001). Concrètement nos résultats sont-ils vrais dans toute entreprise ?

Ainsi le diagnostic de la fixation des environnements et de leurs critères d'évaluation est propre à l'entreprise Safran. Rappelons que, même si une fixation similaire était observée dans les secteurs

pharmaceutique (Elmqvist et Segrestin 2007), automobile (Backman *et al.* 2007), ou dans l'entrepreneuriat technologique (Eyquem-Renault 2011), d'autres secteurs ne reposent pas sur la technologie comme le fait l'aéronautique. Ainsi dans d'autres secteurs les entreprises ne comportent pas de département Recherche et Technologie. Notre cadre analytique distinguant technologies et environnements appliqué à une autre entreprise pourrait permettre de diagnostiquer la fixation inverse : la variété des technologies stagne mais leurs applications sont en permanence renouvelées. Quelles sont alors les différences gestionnaires ? Enfin, il est possible que des fixations différentes ne soient pas identifiables avec ce cadre analytique.

La fixation des environnements est favorisée par l'échelle *Technology Readiness Levels* (TRL). Nous avons étudié cet outil plus largement que dans l'organisation Safran avec les procédures des agences gouvernementales américaines. Elles sont très pertinentes car elles ont expérimenté l'outil sur des durées et dans des secteurs différents. Cependant il est possible qu'un écart existe entre les pratiques réelles et les procédures de ces organisations. Cela ouvre la perspective d'une étude, éventuellement quantitative, sur un panel d'organisations large et varié. En effet les TRL sont employés par des entreprises dans de nombreux secteurs mais aussi par des investisseurs de capital-risque, par la Commission Européenne ou par des instituts de recherche.

Bibliographie

AFN, A. f. d. n. (1991). ANALYSE DE LA VALEUR, ANALYSE FONCTIONNELLE. EXPRESSION FONCTIONNELLE DU BESOIN ET CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL. PARIS, Association française de normalisation.

Aggeri, F. (1998), Environnement et pilotage de l'innovation: un modele dynamique du developpement durable: le cas du recyclage automobile (thèse), ENSM PARIS,

Aggeri, F. (2015). "Les phénomènes gestionnaires à l'épreuve de la pensée économique standard." *Revue française de gestion*(5): 65-85.

Agogué, M. (2012), Modéliser l'effet des biais cognitifs sur les dynamiques industrielles: innovation orpheline et architecte de l'inconnu (thèse), Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris,

Agogué, M., E. Berthet, T. Fredberg, P. Le Masson, B. Segrestin, M. Stoetzel, M. Wiener et A. Yström (2013). A contingency approach of open innovation intermediaries-the management principles of the "intermediary of the unknown". 13th Annual Conference of the European Academy of Management, EURAM 2013.

Agogué, M., K. Levillain et S. Hooge (2015). "Gamification of Creativity: Exploring the Usefulness of Serious Games for Ideation." *Creativity and Innovation Management* 24(3): 415-429.

Akrich, M., M. Callon et B. Latour (1988). A quoi tient le succès des innovations? 1: L'art de l'intéressement; 2: Le choix des porte-parole. Gérer et comprendre. Annales des mines.

Alexander, C., R. Loué, J. Engelmann et J. Sinizergues (1964). De la synthèse de la forme (original : Notes on the Synthesis of Form). traduction de 1971 publiée à Paris par Dunod (original datant de 1964 publié par Harvard University Press).

Anderlini, L. et H. Sabourian (1992). "Some notes on the economics of barter, money and credit." *Barter, exchange and value: an anthropological approach*: 75-106.

Andries, P. et K. Debackere (2006). "Adaptation in new technology-based ventures: Insights at the company level." *International Journal of Management Reviews* 8(2): 91-112.

Arnoux, F. (2013), Modéliser et organiser la conception innovante: le cas de l'innovation radicale dans les systèmes d'énergie aéronautiques (thèse), Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris,

Backman, M., Börjesson, S., & Setterberg, S. (2007). Working with concepts in the fuzzy front end: exploring the context for innovation for different types of concepts at Volvo Cars. *R&d Management*, 37(1), 17-28.

Banke, J. (2010, July 31, 2015). "Technology readiness levels demystified." NASA, NASA. Retrieved 5 mai, 2016.

Barbier, M., F. Aggeri, P. Caron, B. Kurek et P. Le Masson (2012). Les fibres de l'innovation. SFER.

Bellec, Y., P. Corsi et D. Lafon (2014). Introducing a critical maturation phase within industrial DKCP processes. 7th SIG Design Theory Paris Workshop, SIG on Design Theory of the International Design Society.

- Ben Mahmoud-Jouini, S., C. Midler, V. Cruz et N. Gaudron (2013). Creative artefacts: how stimulators, demonstrators and prototypes contribute to the creative processes ? . 20th International Product Development Management Conference. Paris.
- Ben-Hafaïedh, C. (2013). "Essai de modélisation de la constitution des équipes entrepreneuriales." *Vie & sciences de l'entreprise*(1): 11-36.
- Biseau, G. (2004). *Snecma-Sagem: une fusion en quête de sens Libération*.
- Bishop, G. L. et S. P. Magleby (2004). A review of technology push product development models and processes. ASME 2004 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, American Society of Mechanical Engineers.
- Borup, M., N. Brown, K. Konrad et H. Van Lente (2006). "The sociology of expectations in science and technology." *Technology Analysis & Strategic Management* 18(3-4): 285-298.
- Boujut, J.-F. et E. Blanco (2003). "Intermediary objects as a means to foster co-operation in engineering design." *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* 12(2): 205-219.
- Bowman, C. et V. Ambrosini (2000). "Value creation versus value capture: towards a coherent definition of value in strategy." *British Journal of Management* 11(1): 1-15.
- Braha, D. et Y. Reich (2003). "Topological structures for modeling engineering design processes." *Research in Engineering Design* 14(4): 185-199.
- Brown, I. (2013). *Entre firme et usagers: des biens génératifs d'usages. Théorie des biens comme espaces de conception* (Thèse de doctorat, École nationale supérieure des mines de Paris).
- Brown, T., B. Katz et L. Nicolaïeff (2010). *L'esprit design*. Paris, Pearson.
- Buchenau, M. et J. F. Suri (2000). Experience prototyping. Proceedings of the 3rd conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques, ACM.
- Caglio, A., & Ditillo, A. (2008). A review and discussion of management control in inter-firm relationships: Achievements and future directions. *Accounting, Organizations and Society*, 33(7), 865-898.
- Calvi, R. et M.-A. Le Dain (2003). Le partage de l'activité de conception entre un client et ses fournisseurs : quels modes de coordination adopter ? *La Métamorphose des organisations : créer, innover, relier*. T. F. e. B. W. Sous la dir. de, Eds l'Harmatan: 200-215.
- Cañibano, L., M. Garcia-Ayuso et P. Sanchez (2000). "Accounting for intangibles: a literature review." *Journal of Accounting Literature* 19: 102-130.
- Carlile, P. R. (2004). "Transferring, translating, and transforming: An integrative framework for managing knowledge across boundaries." *Organization science* 15(5): 555-568.
- Cautela, C. et M. Simoni (2014). The evolutionary dynamics of product design during the early phases of a technological change. An explorative research in Italian lighting industry. 21st International Product Development Management Conference, Limerick, Irlande (2014).
- Chesbrough, H. (2015). What's Next for Open Innovation Research and Practice. Discours donné le 24 juin 2015 à la conférence R&D Management à Pise en Italie.

- Chidamber, S. R. et H. B. Kon (1994). "A research retrospective of innovation inception and success: the technology–push, demand–pull question." *International Journal of Technology Management* 9(1): 94-112.
- Christiansen, J. K. et C. J. Varnes (2007). "Making decisions on innovation: meetings or networks?" *Creativity and Innovation Management* 16(3): 282-298.
- Clark, P. A. et K. Starkey (1988). *Organization transitions and innovation-design*, Pinter London.
- Comrey, A. L., W. B. Michael et B. Fruchter (1988). "Obituary: JP Guilford (1897–1987)."
- Cooper, R. G. (1983). "The new product process: an empirically-based classification scheme." *R&d Management* 13(1): 1-13.
- Cooper, R. G. (1994). "Third-generation new product processes." *Journal of Product Innovation Management* 11(1): 3-14.
- Cooper, R. G. (2006). "Managing technology development projects." *Research-Technology Management* 49(6): 23-31.
- David, A. (2000). *La recherche intervention, un cadre général pour les sciences de gestion*. IXe Conférence Internationale de Management Stratégique, Montpellier.
- Demil, B. et X. Lecocq (2015). *Crafting an innovative business model in an established company: The role of artifacts*. *Business models and modelling*, Emerald Group Publishing Limited: 31-58.
- DOE (2011). *Technology Readiness Assessment Guide*.
- Doganova, L. (2010), *Faire valoir l'exploration collective: dynamiques, instruments et résultats des partenariats avec des spin-offs académiques* (thèse), École Nationale Supérieure des Mines de Paris,
- Donaldson, K. M., K. Ishii et S. D. Sheppard (2006). "Customer value chain analysis." *Research in Engineering Design* 16(4): 174-183.
- Drazin, R., M. A. Glynn et R. Kazanjian (2000). "Purpose-built theories: A reply to Ford." *Academy of Management Review*: 285-287.
- Elmqvist, M. et B. Segrestin (2007). "Towards a new logic for Front End Management: from drug discovery to drug design in pharmaceutical R&D." *Creativity and Innovation Management* 16(2): 106-120.
- Elmqvist, M. et B. Segrestin (2009). "Sustainable development through innovative design: lessons from the KCP method experimented with an automotive firm." *International Journal of Automotive technology and management* 9(2): 229-244.
- Eris, O. (2003). *Asking generative design questions: a fundamental cognitive mechanism in design thinking*. International Conference on Engineering Design, Stockholm.
- Eris, O. (2007). "Insisting on truth at the expense of conceptualization: can engineering portfolios help?" *International Journal of Engineering Education* 22(3): 551.
- Eyquem-Renault, M. (2011), *Analyse pragmatique du business model et performances de marché dans l'entrepreneuriat technologique* (thèse), École Nationale Supérieure des Mines de Paris,

- Finke, R. A., T. B. Ward et S. M. Smith (1992). "Creative cognition: Theory, research, and applications."
- Foray, D. (2010). *L'économie de la connaissance, La découverte*.
- G., L. L. et P. S. (2010), *La recherche en application aux Bell Labs - Comment mieux concevoir des moyens de communication (thèse)*, Centre de Gestion Scientifique, MINES ParisTech,
- Galindo, J. L. (2000). *A case history of the United States Army RAH-66 Comanche helicopter*, DTIC Document.
- GAO (1999). *Better Management of Technology Development Can Improve Weapon System Outcomes. Best Practices*. United States General Accounting Office.
- GAO (2007). *Major Construction Projects Need a Consistent Approach for Assessing Technology Readiness to Help Avoid Cost Increases and Delays*. U. S. G. A. Office.
- Garel, G. (2015). "Lessons in Creativity from the Innovative Design of the Swatch." *Technology Innovation Management Review* 5(7): 34-40.
- Gidel, T. (1999), *La maîtrise des risques par la conduite effective du processus décisionnel dans les projets de conception de produits nouveaux (thèse)*,
- Gillier, T. (2010), *Comprendre la génération des objets de coopération interentreprises par une théorie des co-raisonnements de conception: vers une nouvelle ingénierie des partenariats d'exploration technologique (thèse)*, Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL,
- Gillier, T., S. Hooge et G. Piat (2013). *Framing the scope of value in exploratory projects: An expansive value management model*. International Product Development Management Conference.
- Gillier, T. et G. Piat (2008). *Co-designing broad scope of technology-based applications in an exploratory partnership*. INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE-DESIGN 2008.
- Gillier, T., G. Piat et A. Kazakci (2014). *The creation of breakthrough concepts by design teams*. 14th annual conference of Euram Academy of Management.
- Glaser, M. et B. Miecznik (2009). "TRIZ for reverse inventing in market research: a case study from WITTENSTEIN AG, identifying new areas of application of a core technology." *Creativity and Innovation Management* 18(2): 90-100.
- Goldenberg, J. et D. Mazursky (2002). *Creativity in Product Innovation*, Cambridge University Press.
- Gopalakrishnan, S. et F. Damanpour (1994). "Patterns of generation and adoption of innovation in organizations: Contingency models of innovation attributes." *Journal of engineering and technology management* 11(2): 95-116.
- Gorod, A., B. Sauser et J. Boardman (2008). "System-of-systems engineering management: A review of modern history and a path forward." *Systems Journal, IEEE* 2(4): 484-499.
- Guennif, S. (2000), *Incertitude, confiance et institution en échange marchand: recherche des fondements de la confiance et application au cas de la sous-traitance dans le secteur de la mécanique de précision (thèse)*, Paris 13,
- Guilford, J. P. (1956). "The structure of intellect." *Psychological bulletin* 53(4): 267.

Hamel, G. et C. K. Prahalad (1990). "Corporate imagination and expeditionary marketing." *Harvard business review* 69(4): 81-92.

Hatchuel et Weil (1990). *L'expert et le système*, ENSMP.

Hatchuel, A. (1992). "L'intervention de chercheurs en entreprise. Eléments pour une approche comparative." *Education permanente*(113): 73-88.

Hatchuel, A. (1999). "Connaissances, modèles d'interaction et rationalisations-De la théorie de l'entreprise à l'économie de la connaissance." *Revue d'économie industrielle* 88(1): 187-209.

Hatchuel, A. (2000). "Quel horizon pour les sciences de gestion? Vers une théorie de l'action collective." A. David, A. Hatchuel, R. Laufer (Eds.), *Les nouvelles fondations des Sciences de Gestion*, Vuibert-FNEGE: 7-43.

Hatchuel, A. (2001). "Towards Design Theory and expandable rationality: The unfinished program of Herbert Simon." *Journal of management and governance* 5(3): 260-273.

Hatchuel, A. (2006). "Quelle analytique de la conception? Parure et pointe en design." *Le design. Essais sur des théories et des pratiques*. Sous la dir. de Brigitte Flamand. Editions du Regard.

Hatchuel, A. (2014). *Generic fractality and design theory*. design theory Special Interest Group of the Design Society. MINES ParisTech, Paris, France.

Hatchuel, A. (2015). "Apprentissages collectifs et activités de conception." *Revue française de gestion*(8/n°253 (première publication dans la *Revue française de gestion* n° 99, juillet-août 1994)): 121-137.

Hatchuel, A. (2015). *Epistémologie et méthodologie qualitative* cours Master GDO.

Hatchuel, A., P. Le Masson, Y. Reich et B. Weil (2011). A systematic approach of design theories using generativeness and robustness. DS 68-2: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11), *Impacting Society through Engineering Design*, Vol. 2: Design Theory and Research Methodology, Lyngby/Copenhagen, Denmark, 15.-19.08. 2011.

Hatchuel, A., P. Le Masson, Y. Reich et B. Weil (2011). A systematic approach of design theories using generativeness and robustness. DS 68-2: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11), *Impacting Society through Engineering Design*, Vol. 2: Design Theory and Research Methodology, Lyngby/Copenhagen, Denmark, 15.-19.08. 2011.

Hatchuel, A. et H. Molet (1986). "Rational modelling in understanding and aiding human decision-making: About two case studies." *European Journal of Operational Research* 24(1): 178-186.

Hatchuel, A. et B. Weil (2002). *La théorie CK: Fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception*. Colloque «Sciences de la conception» tenu à Lyon les 15 et 16 mars 2002.

Högman, U. et H. Johannesson (2013). "Applying stage-gate processes to technology development—Experience from six hardware-oriented companies." *Journal of engineering and technology management* 30(3): 264-287.

Hooge, S. (2010), *Performance de la R&D en rupture et des stratégies d'innovation: organisation, pilotage et modèle d'adhésion* (thèse), École Nationale Supérieure des Mines de Paris,

Hooge, S., M. Agogué et T. Gillier (2012). A new methodology for advanced engineering design: Lessons from experimenting CK Theory driven tools. *International Design Conference-Design 2012*.

Hooge, S. et A. David (2014). What makes an efficient theme for a creativity session? XXIIth International Development Management Conference (IPDMC).

Jansson, D. G. et S. M. Smith (1991). "Design fixation." *Design Studies* 12(1): 3-11.

Jean, F., P. Le Masson et B. Weil (2014). Convince me or commit me? Avoid the cognitive trap induced by non-human actors in early stages of NPD. 21st International Product Development Management Conference, Limerick: Irlande (2014). [Article IPDM]

Jean, F., Le Masson, P., & Weil, B. (2015). « Engage engineers as designers to generate new meanings in concept generation ». Article présenté au séminaire R&D Management Conference 2015 à Pise en Italie. [Article R&DM]

Jean, F., P. Le Masson et B. Weil (2015). Inverse Technology C-K in Environment C-K to overcome design fixation. International Conference on Engineering Design ICED 2015. Milan. [Article ICED]

Jean, F., Le Masson, P., & Weil, B. (2015). « Sourcing Innovation: probing Technology Readiness Levels with a design framework ». Article présenté au séminaire SIG Innovation EURAM In-between event 2015 à Paris en France. [Article EURAM]

Kazakçi, A. (2007), La théorie CKE comme fondement théorique pour les assistants de conception : DesigNAR, un assistant de synthèse de concept basé sur la théorie CKE (thèse), Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris,

Keen, S. (1993). "Use-value, exchange value, and the demise of Marx's labor theory of value." *Journal of the History of Economic Thought* 15(01): 107-121.

Keen, S. (2009). "The roving cavaliers of credit." Steve Keen's Debt Watch [http://cdn.debtdeflation.com/blogs/wpcontent/uploads/reports/KeenDebtwatchNo31February2009CavaliersOfCr edit. pdf](http://cdn.debtdeflation.com/blogs/wpcontent/uploads/reports/KeenDebtwatchNo31February2009CavaliersOfCr%20edit.pdf).

Klasing Chen, M. (2015), Conception "low cost" innovante dans des réseaux de valeur complexes: Le cas du transport public (thèse), Paris, ENMP,

Koch, R. et K.-H. Leitner (2008). "The Dynamics and Functions of Self-Organization in the Fuzzy Front End: Empirical Evidence from the Austrian Semiconductor Industry." *Creativity and Innovation Management* 17(3): 216-226.

Kokshagina, O. (2014), Doctorat ParisTech (thèse), Centre de Gestion Scientifique, Mines ParisTech,

Krishnan, V. et K. T. Ulrich (2001). "Product development decisions: A review of the literature." *Management science* 47(1): 1-21.

Kroll, E., P. Le Masson et B. Weil (2014). "Steepest-first exploration with learning-based path evaluation: uncovering the design strategy of parameter analysis with C–K theory." *Research in Engineering Design* 25(4): 351-373.

Labatut, J. (2009), The management of common goods: design processes and cooperation regimes in the management of animal genetic resources (thèse), École Nationale Supérieure des Mines de Paris, <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00005220>

Legardeur, J. (2009), Le management des idées en conception innovante: pour une hybridation des outils d'aide aux développements créatifs (Habilitation à Diriger des Recherches), Université Sciences et Technologies-Bordeaux I,

- Le Dain (2015). Développement de produit nouveau avec les fournisseurs : les didascalies d'une collaboration performante (Habilitation à diriger des recherches). Gestion et management. Université de Grenoble Alpes, 2015
- Le Dain, M.-A., R. Calvi et S. Cheriti (2010). "Developing an approach for Design-or-Buy-Design decision-making." *Journal of Purchasing and Supply Management* 16(2): 77-87.
- Le Dain, M.-A. et V. Merminod (2014). "Le partage de connaissances dans un projet de codéveloppement. Le cas des black box." *Revue française de gestion* 40(239): 121-142.
- Le Gal (2016). Les épreuves de valuation dans le design de services innovants : le rôle des représentations visuelles (thèse de doctorat). Université Grenoble Alpes
- Le Lous et Pajot (2010), "La recherche en applications aux Bell Labs : comment mieux concevoir des MOYENS de communication", mémoire de travaux d'option Ingénierie de la Conception, MINES ParisTech
- Le Masson, P., F. Aggeri, M. Barbier et P. Caron (2011). "Taming Technological Bubbles by Managing Generative Expectations. The "Building with Hemp" Case Study." *Technology Analysis & Strategic Management*.
- Le Masson, P., K. Dorst et E. Subrahmanian (2013). "Design theory: history, state of the art and advancements." *Research in Engineering Design* 24(2): 97-103.
- Le Masson, P., A. Hatchuel et B. Weil (2011). "The interplay between creativity issues and design theories: a new perspective for design management studies?" *Creativity and Innovation Management* 20(4): 217-237.
- Le Masson, P. et B. Weil (2001). De la R&D à la R.I.D. [S.l.], [s.n.].
- Le Masson, P. et B. Weil (2014). Réinventer l'entreprise : la gestion collégiale des inconnus communs non appropriables. L'entreprise, point aveugle du savoir.
- Le Masson, P., B. Weil et A. Hatchuel (2006). Les processus d'innovation: Conception innovante et croissance des entreprises, Lavoisier Paris.
- Le Masson, P., B. Weil et A. Hatchuel (2010). Strategic management of innovation and design, Cambridge University Press.
- Le Masson, P., B. Weil et A. Hatchuel (2014). Théorie, méthodes et organisations de la conception, Transvalor-Presses des Mines.
- Legeais, D. (2012). Droit commercial et des affaires, 20e éd., Sirey, Paris, 2013.
- Legeais, D. (2015). Droit commercial et des affaires, 22e éd., Sirey, Paris, 2013.
- Lelebina, O. (2014), La gestion des experts en entreprise: dynamique des collectifs de professionnels et offre de parcours (thèse), Paris, ENMP,
- Lieberman, J. N. (1977). Playfulness: its relationship to imagination and creativity, Academic Press.
- Loch, C. H., M. E. Solt et E. M. Bailey (2008). "Diagnosing Unforeseeable Uncertainty in a New Venture*." *Journal of Product Innovation Management* 25(1): 28-46.

- Macaulay, S. (1963). "Non-contractual relations in business: A preliminary study." *American sociological review*: 55-67.
- Magnusson, P. R. (2003). "Benefits of involving users in service innovation." *European Journal of Innovation Management* 6(4): 228-238.
- Magnusson, P. R. (2009). "Exploring the Contributions of Involving Ordinary Users in Ideation of Technology-Based Services*." *Journal of Product Innovation Management* 26(5): 578-593.
- Magnusson, P. R., J. Netz et E. Wästlund (2014). "Exploring holistic intuitive idea screening in the light of formal criteria." *Technovation* 34(5): 315-326.
- Mangematin, V. (1998). *La confiance: un mode de coordination dont l'utilisation dépend de ses conditions de production*, HAL.
- Maniak, R. (2009), *Les processus de co-innovation-Caractérisation, Evaluation et Management: le cas de l'industrie automobile (thèse)*, Ecole Polytechnique X,
- Maniak, R. et C. Midler (2008). "Shifting from co-development to co-innovation." *International Journal of Automotive technology and management* 8(4): 449-468.
- Mankins, J. C. (1995). "Technology readiness levels." White Paper, April 6.
- Mankins, J. C. (2009). "Technology readiness assessments: A retrospective." *Acta Astronautica* 65(9): 1216-1223.
- Marchand, S. (2014). Mathias Fink, le pape du retournement temporel. *L'opinion*. lopinion.fr.
- Marheineke, M., H. Habicht et K. M. Möslin (2014). *Standing in Misunderstanding: Analyzing Boundary Objects' Effectiveness in Innovation Communities*. R&D Management Conference 2014, Stuttgart, Allemagne.
- Markham, S. K. (2002). "Moving technologies from lab to market." *Research-Technology Management* 45(6): 31-42.
- Markham, S. K. (2004). "Product champions: Crossing the valley of death." Belliveau P, Griffin A, Somermeyer SM the PDMA Toolbok for New Product Development: 119-140.
- Markham, S. K., S. J. Ward, L. Aiman-Smith et A. I. Kingon (2010). "The valley of death as context for role theory in product innovation." *Journal of Product Innovation Management* 27(3): 402-417.
- McCarthy, I. P., C. Tsinopoulos, P. Allen et C. Rose-Anderssen (2006). "New Product Development as a Complex Adaptive System of Decisions." *Journal of Product Innovation Management* 23(5): 437-456.
- McKay, J. & Marshall, P. (2001). *The dual imperatives of action research*. *Information Technology & People*, 14, 46-59.
- McQuade, T. J., S. W. Salant et J. A. Winfree (2010). "Markets with untraceable goods of unknown quality: a market failure exacerbated by globalization." Available at SSRN 1585235.
- Mednick, S. (1962). "The associative basis of the creative process." *Psychological review* 69(3): 220.

- Mer, S., A. Jeantet et S. Tichkiewitch (1995). "Les objets intermédiaires de la conception: modélisation et communication." J. Caelen et K. Zreik, *Le communicationnel pour concevoir*, Europa Productions: Paris.
- Mhay, S. et C. Coburn (2009). "Request for. Procurement Processes (RFT RFQ RFP RFI)." *The Negotiation Experts*. Retrieved from negotiations.com May 29: 2009.
- Midler, C., G. Garel et A. Kessler (1997). "Le co-développement, définitions, enjeux et problèmes." *Education permanente*(131): 95-108.
- Midler, C., G. Minguet et M. Vervaeke (2009). *Working on Innovation*, Taylor & Francis.
- Midler, C., G. Minguet et M. Vervaeke (2009). *Working on innovation*, Routledge.
- Moisdon, J.-C. (1984). "Recherche en gestion et intervention." *Revue française de gestion* (article réédité en 2015 pages 21-39 du N° 253) 47-48.
- Morgan, J. (2008). *Manufacturing Readiness Levels (MRLs) and Manufacturing Readiness Assessments (MRAs)*, DTIC Document.
- Morgan, J. (2015). *Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook*. O. M. T. P. I. c. w. T. J. S. I. M. W. Group. Version 2.4 August 2015
- Myers, S. et D. Marquis (1969). *Successful Industrial Innovation*. National Science Foundation. Washington, DC.
- Myers, S. et D. G. Marquis (1969). "Successful Commercial Innovation." National Science Foundation.
- Naggar, R. (2015). "Le canevas de la créativité: Un modèle économique pour la gestion du savoir et des idées."
- NASA (2007). *NASA Systems Engineering Handbook*, DIANE Publishing.
- Nolte, W., R. Kruse et L. FacetApp (2012). *Readiness level proliferation*, Wright-Patterson Air Force Base, Fairborn OH: Air Force Research Laboratory. http://www.dtic.mil/ndia/2011system/13132_NolteWednesday.pdf retrieved.
- O'Brien, H. L. et E. G. Toms (2008). "What is user engagement? A conceptual framework for defining user engagement with technology." *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 59(6): 938-955.
- O Reilly, C. A. et M. L. Tushman (2004). "The ambidextrous organization." *Harvard business review* 82(4): 74-83.
- Orléan, A. (2011). *L'empire de la valeur: refonder l'économie*, Seuil.
- Osterwalder, A. (2004). "The business model ontology: A proposition in a design science approach."
- Osterwalder, A. (2012). "Achieve product market fit with our brand new value proposition designer canvas." *Business Model Alchemists*.
- Paun, F. (2011). *Demand Readiness Level as equilibrium tool for the hybridization between Technology Push and Market Pull Approaches*. ANR-ERANET Workshop. 8th February.

- Pavie, X., C. Jouanny, D. Carthy et F. Vérez (2015). *Le design thinking au service de l'innovation responsable*. Paris, Maxima L. du Mesnil.
- Poetz, M. K. et M. Schreier (2012). "The Value of Crowdsourcing: Can Users Really Compete with Professionals in Generating New Product Ideas?" *Journal of Product Innovation Management* 29(2): 245.
- Pohl, H., A. Styhre et M. Elmquist (2009). "The concept of interesement: the story of a power-split technology for hybrid electric vehicles." *International Journal of Innovation Management* 13(01): 47-64.
- Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance : with a New Introduction*, Free Press.
- Porter, M. E. (1990). *Competitive Advantage of Nations*, Free Press.
- Purcell, A. T. and Gero, J. S. (1996) 'Design and other types of fixation', *Design Studies*, 17(4), 363-383.
- Raiffa, H. (1968). "Decision analysis: introductory lectures on choices under uncertainty."
- Reich, Y. (1995). "A critical review of general design theory." *Research in Engineering Design* 7(1): 1-18.
- Reich, Y., A. Hatchuel, O. Shai et E. Subrahmanian (2012). "A theoretical analysis of creativity methods in engineering design: casting and improving ASIT within C-K theory." *Journal of Engineering Design* 23(2): 137-158.
- Reid, S. E. et U. De Brentani (2004). "The fuzzy front end of new product development for discontinuous innovations: A theoretical model." *Journal of Product Innovation Management* 21(3): 170-184.
- Riot, J. (2013), *Le management de l'environnement à travers ses instruments: De la diffusion d'outils à la construction de dynamiques d'action collective pour l'innovation environnementale* (thèse), Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris,
- Rochelandet, F. (2010). *Économie des données personnelles et de la vie privée*, La Découverte.
- Rogers, E. (1983). *Diffusion of innovation* 2nd ed, Free Press, New York.
- Rothwell, R. (1992). "Successful industrial innovation: critical factors for the 1990s." *R&d Management* 22(3): 221-240.
- Rothwell, R. (1992). "Successful industrial innovation: critical factors for the 1990s." *R&d Management* 22(3): 221-240.
- Sadin, S. R., F. P. Povinelli et R. Rosen (1989). "The NASA technology push towards future space mission systems." *Acta Astronautica* 20: 73-77.
- Safran (2010). *SPEC : à la recherche de l'avion plus électrique*. SAFRAN magazine, Safran.
- Sapir, J. (2002). "Le Troc et le Paradoxe de la Monnaie." *Journal des anthropologues*. Association française des anthropologues(90-91): 283-303.

- Saren, M. A. (1984). "A classification and review of models of the intra-firm innovation process." *R&d Management* 14(1): 11-24.
- Savage, L. J. (1972). *The foundations of statistics*, Courier Corporation.
- Schrage, M. (1996). *Cultures of prototyping. Bringing design to software*. W. Terry, ACM: 191-213.
- Segrestin, B. (2003), *Managing exploratory partnerships: specificities, crises and forms of rationalization (thèse)*, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00000601>
- Servet, J.-M. (1993). "L'institution monétaire de la société selon Karl Polanyi." *Revue économique* 44(6): 1127-1150.
- Servet, J.-M. (2001). "Le troc primitif, un mythe fondateur d'une approche économiste de la monnaie." *Revue numismatique* 6(157): 15-32.
- Shaw, M.E. and Costanzo, P.R. (1982). *Theories of Social Psychology*. McGraw-Hill.
- Star, S. L. et J. R. Griesemer (1989). "Institutional ecology, translations' and boundary objects: Amateurs and professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39." *Social studies of science* 19(3): 387-420.
- Steinhorst, U. et P. Commin (2013). "EADS Innovation Nursery: faire mûrir les initiatives innovantes." *Le journal de l'école de Paris du management*(4): 32-38.
- Straub, J. (2015). "In search of technology readiness level (TRL) 10." *Aerospace Science and Technology* 46: 312-320.
- Suh, N. P. (1990). *The principles of design*, Oxford University Press New York.
- Sukhov, A., P. Magnusson et L. Olsson (2015). *A conceptual model of the idea construct in innovation contexts: Laying the groundwork for a generative idea assessment approach*. 2015 Academy of Management Annual Meeting. Vancouver, Canada.
- Szirglas, M. (2006), *Genesis and mechanisms of qui pro quo (misunderstanding): theoretical and organisational approach of new forms of industrial risk management (thèse)*, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00002027>
- Taurand, F. (1986). "Le troc en économie monétaire." *L'Actualité économique* 62(2): 236-256.
- Teece, D. J. (1998). "Capturing Value from Knowledge Assets: The New Economy, Markets for Know-How, and Intangible Assets." *California Management Review* 40(3 (Spring)): 55-79.
- Teece, D. J., G. Pisano et A. Shuen (1997). *Dynamic Capabilities and Strategic Management*, John Wiley and Sons: 509.
- Testart, A. (2001). "Échange marchand, échange non marchand." *Revue française de sociologie* 42(4): 719-748.
- Tushman, M. L. et C. A. O'Reilly (1996). "The ambidextrous organizations: managing evolutionary and revolutionary change." *California Management Review* 38(4): 8-30.
- Verganti, R. (2008). "Design, meanings, and radical innovation: A metamodel and a research agenda." *Journal of Product Innovation Management* 25(5): 436-456.

Verganti, R. (2013). *Design driven innovation: changing the rules of competition by radically innovating what things mean*, Harvard Business Press.

Vinck, D. (2009). "De l'objet intermédiaire à l'objet-frontière." *Revue d'anthropologie des connaissances* 3(n°1): 51-72.

Vinck, D., A. Jeantet et P. Laureillard (1996). "Objects and Other Intermediaries in the Sociotechnical Process of Product Design: an exploratory approach." *The role of design in the shaping of technology*: 297-320.

Von Hippel, E. (1986). "Lead users: a source of novel product concepts." *Management science* 32(7): 791-805.

Wald, A. (1950). "Statistical decision functions."

Walras, L. (1874). *Éléments d'économie politique pure ou Théorie de la richesse sociale*, réédition de 1926 par Pichon et Durand-Auzias à Paris et Rouge à Lausanne.

Yin, R. K. (1984). *Case study research: Design and methods*, Sage publications. Edition consultée : Fourth Edition (2009) - *Applied Social Research Methods Series Volume 5*

Zirpoli, F. et A. Camuffo (2009). "Product architecture, inter-firm vertical coordination and knowledge partitioning in the auto industry." *European Management Review* 6(4): 250-264.

Résumé

Dans leurs processus d'innovation, les grandes entreprises subissent un manque de ressources entre Recherche et Développement appelé *vallée de la mort*. Le groupe Safran s'est doté d'une direction de l'innovation afin de le compenser. Son fonctionnement est fondé sur une logique d'échange avec les sociétés du groupe. Mais dans les phases amont, lorsque les échanges comportent des inconnus, ils s'interrompent brutalement. En particulier des fiches idées issues de DKCP ne sont pas explorées. **Cette recherche-intervention ambitionne donc d'établir un modèle d'action collective pour échanger dans l'inconnu. Elle défend la thèse que dans l'inconnu, vendeurs et acheteurs de technologies innovantes s'engagent dans la conception de la frontière entre des technologies et des environnements.**

Face aux limites des modèles d'échange marchand, de décision, d'intéressement et de créativité, cette thèse adopte un modèle d'échange intégrant l'inconnu et un cadre analytique issu des théories de la conception innovante. Elle propose le modèle de *l'engagement conceptif* de ressources. Elle explicite les limites de l'outil conventionnel d'échange de technologies dit *Technology Readiness Levels* adopté chez Safran. Elle propose alors de modéliser les échanges entre vendeurs et acheteurs de technologies comme l'exploration de la frontière Technologie-Environnement en suivant le formalisme *C-K T / C-K E* construit. Finalement la méthode *Pilotage de l'Exploration Par les Invariants Technologie-Environnement (PEPITE)* est élaborée avec la direction de l'innovation Safran sur la base de deux cas d'exploration ayant effectivement passé la vallée de la mort durant l'intervention des chercheurs.

Mots Clés

Management de l'Innovation, conception innovante, échanges dans l'inconnu, engagement de ressources, Technology Readiness Levels, recherche-intervention

Abstract

Innovation processes of large companies experience a lack of resources between Research and Development, i.e. the *valley of death*. Safran created its Innovation Department to counterbalance. It is based on exchanges with the subsidiaries. However such exchanges cannot be processed in most early stages, when they include unknowns. For instance, ideas generated through the DKCP method remain unexplored. **This intervention-research aims at establishing a model of collective action to exchange in the unknown. It defends the thesis that, in the unknown, sellers and buyers of innovative technologies engage in the design of the boundary between technologies and environments.**

Facing the limits of classic models of exchanges of economy, decision, intéressement and creativity, this thesis adopts a design-theories framework. It proposes the model of *design engagement* of resources. It explains the limits of a common tool for exchanging technologies, i.e. *Technology Readiness Levels*. It proposes to model exchanges between seller and buyer as the exploration of the Technology-Environment boundary. To do so it constructs the *C-K T / C-K E formalism*. Finally, the method *Steering Exploration Through Technology and Environment Invariants ("Pilotage de l'Exploration Par les Invariants Technologie-Environnement" (PEPITE)* in French) is constructed in collaboration with Safran Innovation Department. It is based on two cases of explorations which passed the valley of death within the researchers intervention.

Keywords

Innovation Management, Innovative Design, Exchanges in the Unknown, Resources Engagement, Technology Readiness Levels, Intervention-Research