HAL
open science

Méthodes et outils pour l'innovation produit/process

Jérémy Legardeur

To cite this version:

Jérémy Legardeur. Méthodes et outils pour l'innovation produit/process. Mécanique [physics.med-ph]. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2001. Français. NNT : . tel-00662411

HAL Id: tel-00662411

https://theses.hal.science/tel-00662411

Submitted on 24 Jan 2012

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.

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

N° attribué par la bibliothèque
Ð__Ð__Ð__Ð__Ð__Ð__Ð__Ð__Ð__Ð__Ð

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'INPG

Spécialité : « Mécanique, Conception, Géomécanique, Matériaux »

préparée au laboratoire : **Sols, Solides, Structures (3S) de Grenoble**

dans le cadre de **l'Ecole Doctorale « Mécanique et Energétique »**

présentée et soutenue publiquement

par

Jérémy Legardeur

le 14 décembre 2001

Titre :

Méthodes et outils pour l'innovation produit/process

Le cas de l'intégration des matériaux composites SMC

Directeur de thèse : *Jean-François Boujut*
Co-encadrant : *Henri Tiger*

JURY

S. Vajna,	Professeur, Université de Magdeburg	Président
P. Chedmail,	Professeur, Ecole Centrale de Nantes	Rapporteur
O. Garro,	Professeur, Université de Technologie de Belfort Montbéliard	Rapporteur
J.F. Boujut,	HDR, Institut National Polytechnique de Grenoble	Directeur de thèse
H. Tiger,	Ingénieur de recherche, CNRS	Co-encadrant
V. Bollard,	Responsable Laboratoire matériaux, société Renault VI	Examinateur
B. Weil,	Professeur, Ecole des Mines de Paris	Examinateur

REMERCIEMENTS

Je voudrais, par cette page, remercier l'ensemble des personnes qui ont, d'une manière ou d'une autre, contribué à ces travaux de thèse.

Je vais commencer par Jean-François Boujut et Henri Tiger qui sont principalement concernés par ces remerciements et qui ont toujours été à mes côtés pendant ces trois années de recherche. Merci très sincèrement à vous deux pour la confiance que vous m'avez accordée, et la contribution à ce travail tellement enrichissant à la fois sur le plan professionnel et également sur le plan personnel. Nous avons parfois discuté ensemble de la difficulté et de la versatilité des situations que l'on rencontre lors d'un encadrement d'une thèse... je pense que vous avez trouvé ici, pour ce qui me concerne, le ton parfait pendant ces années de travail en commun ! Merci Jeff, merci Henri !

Pour éviter d'oublier quelqu'un (ce qui serait impardonnable de ma part), je remercie l'ensemble des chercheurs des Laboratoires 3S et CRISTO pour les nombreuses discussions, riches à la fois de nouvelles idées, de nouvelles critiques, de nouveaux points de vue, et d'encouragements,... Merci également d'entretenir cette ambiance de travail très chaleureuse au sein de l'équipe CI, chacun contribuant à cette bonne humeur et cela quelque soit son statut ! Un grand merci également à Sébastien Voltz et à Jonathan Hey pour leur précieuse aide et leur contribution au développement d'ID².

D'autre part, je remercie également les différents partenaires industriels (Renault VI, Renault, Schneider Electric et Inoplast) de ces travaux de recherche et les personnes qui m'ont permis de réaliser cette recherche-intervention (je pense notamment à Fabienne Hours). Un grand merci à Véronique Bollard pour son suivi et sa participation active à ce travail chez Renault VI. Merci à Bernard Munoz, Denis Bussy, Nadine Le Guidec et les autres membres du Laboratoire Matériaux pour leur disponibilité et leurs précieux conseils. Je remercie également les membres du bureau d'études châssis de Renault VI (notamment Gilles Gaffarelli, Hervé Bataille, Claude Audebert, Patric Bertoïa) et l'ensemble des acteurs du projet du bouclier arrière qui ont contribué (chacun à leur manière !) à rendre cette expérience industrielle très riche en enseignements et en rebondissements pendant plus d'un an. De plus, je vais remercier l'entreprise Inoplast et particulièrement Yves Longueville, Jérôme Vidalie, Philippe Coudron, Patrick Romain, les techniciens de moulage et également Gérard Merle du laboratoire LMPC qui ont participé à cette aventure en partageant avec moi leur expérience sur les matériaux composites.

J'ai également une pensée pour un autre docteur en mécanique du 14 décembre 2001 : Olivier Poveda, binôme lors du stage ingénieur, co-locataire et co-auto-stoppeur lors du DEA, hôtelier et déménageur occasionnel lors de la thèse, contestataire, souvent stressé mais toujours avec humour et sujet d'une grande amitié au final. Par ailleurs, je souhaite bon courage aux futurs docteurs qui vont suivre : Bud (merci pour ton accueil), Miguel, Yoan, Hern, Marm, David, Gaby, Alex, Vincent, et les autres. Je vais conclure en ayant une pensée pour tous mes proches et ma famille qui m'ont toujours aidé tout au long de mes études. Merci également à ma première lectrice (elle se reconnaîtra !) pour son attention particulière aux quelques fautes d'orthographe du document !

Jey

TABLE DES MATIERES

Introduction **5**

Plan de la thèse **7**

Chapitre 1 : L'innovation et l'introduction des nouveaux matériaux : La problématique de l'intégration produit/process **9**

Partie I. De nouvelles technologies pour favoriser l'innovation **10**
I.1 Des matériaux nouveaux pour innover ? *10*
I.2 La polysémie du terme « nouveau matériau » *10*
I.3 Révolution ou évolution ? *11*
I.4 Les « nouveaux matériaux » dans les processus de conception : un décalage lié à l'asymétrie des connaissances *14*

Partie II. Un exemple d'intégration d'un « nouveau matériau composite » : le cas du bureau d'études châssis confronté au SMC **16**
II.1 Les origines du projet composite au BE châssis : une construction progressive de l'intégration du SMC *16*
II.2 Dispositif de recherche du Thème III *30*
II.3 De l'acier au matériau composite SMC : Quelles distances ? *34*

Partie III. Vers l'innovation par l'intégration produit/process de nouveaux matériaux ? **46**
III.1 Quand il est difficile d'ignorer les innovations ! *46*
III.2 L'intégration produit/process dans le co-développement *47*
III.3 Co-développement et asymétrie des connaissances *49*
III.4 L'hyperchoix des matériaux, mythe ou réalité? : un choix contraint pour l'intégration produit/process *50*

Chapitre 2 : Le bouclier qui n'existait pas **53**

Partie I. Du "plastoc" au SMC : Le concept de support feux arrière **54**
I.1 Une problématisation qui va se construire autour de l'intégration de fonctions *54*
I.2 La validation du concept SMC *61*
I.3 De la phase de prospective à la validation du concept : le rôle des tableaux concepts/critères comme porte-parole du projet composite *64*

Partie II. Un support feux que l'on nomma bouclier arrière **66**
II.1 La diffusion et la consolidation du concept au delà du BE : une nouvelle étape et l'élargissement du réseau *66*
II.2 L'innovation ou l'enjeu de l'intéressement et de l'enrôlement des acteurs *68*

II.3 Une nouvelle consultation chez le fournisseur : de nouvelles connaissances pour consolider l'innovation ... 69
II.4 Organiser la confrontation des savoirs sur le produit et sur le process ... 72

Partie III. L'arrivée de nouveaux acteurs dans le réseau : un déplacement de la problématisation pour répondre au double objectif du projet SMC ... 75
III.1 Des nouveaux critères d'évaluation pour le bouclier ... 75
III.2 A travers l'élargissement du réseau d'acteurs et l'enrichissement des grilles d'évaluation : l'innovation progresse ... 80
III.3 La phase de calculs et la demande de chiffrage ... 80

Partie IV. Quand la logique économique et le management des projets rattrapent l'innovation : le bouclier, une solution sur étagère ... 87
IV.1 Une première finalisation de la solution ... 87
IV.2 La logique économique et le management des projets ... 88

Partie V. Le retour du bouclier ou la réappropriation du projet ... 90
V.1 La standardisation du bouclier et l'intégration du coffre à outils ... 90
V.2 La réappropriation du projet du bouclier chez Renault VI ... 91

Partie VI. Retours sur l'instrumentation des phases amonts d'un projet ... 92
VI.1 Une construction progressive du cahier des charges ... 92
VI.2 Un nouvel outil mobilisé lors du projet composite : le tableau concepts/critères ... 93
VI.3 Vers un nouvel outil pour favoriser les apprentissages ? ... 94

Chapitre 3 : L'enjeu des phases préparatoires et le rôle des experts matériaux pour favoriser l'innovation ... 95

Partie I. Pourquoi une étude sur le rôle des Experts Matériaux ? ... 96
I.1 Retours sur l'histoire du bouclier ... 96
I.2 Quel acteur d'interface pour l'intégration des nouveaux matériaux dans les BE ? ... 98

Partie II. Les experts matériaux vus comme candidats au rôle d'acteur du changement ? ... 99
II.1 Trois modalités d'intervention pour les Experts Matériaux lors des phases de conception ... 100
II.2 Première configuration ... 101
II.3 Deuxième configuration ... 102
II.4 Troisième configuration ... 102

Partie III. Les phases préparatoires ... 104
III.1 Pourquoi parler de phases préparatoires ? ... 104
III.2 Un enjeu pour l'innovation : nommer, caractériser et donner un statut aux phases préparatoires ... 106

Partie IV. L'activité des EM lors des phases préparatoires ... 109
IV.1 La complémentarité des trois modalités d'intervention des EM ... 109

IV.2 Les diverses stratégies des Experts Matériaux ... 111
IV.3 La palette des compétences des Experts Matériaux ... 117
IV.4 Le problème de la reconnaissance des compétences de l'EM et des phases préparatoires ... 122
IV.5 Les phases préparatoires prises entre processus d'innovation et positionnement dans un projet : l'enjeu des irréversibilités ... 123
IV.6 Conclusions du chapitre ... 125

Partie IV. L'activité des EM lors des phases préparatoires ... 110
IV.1 La complémentarité des trois modalités d'intervention des EM ... 110
IV.2 Les diverses stratégies des Experts Matériaux ... 112
IV.3 La palette des compétences des Experts Matériaux ... 117
IV.4 Le problème de la reconnaissance des compétences de l'EM et des phases préparatoires ... 123
IV.5 Les phases préparatoires prises entre processus d'innovation et positionnement dans un projet : l'enjeu des irréversibilités ... 124
IV.6 Conclusions du chapitre ... 126

Chapitre 4 : Innovation, connaissances et dispositifs d'apprentissage ... 127

Partie I. L'innovation : de quoi parle-t-on ? ... 128
I.1 Vous avez dit innovation produit/process ? ... 128
I.2 Quelles définitions pour l'innovation ? ... 129
I.3 Entre invention et innovation : une série d'adaptations et de transformations .. 130
I.4 Un double sens pour l'innovation ... 131

Partie II. Conditions pour l'innovation produit/process ... 132
II.1 Une remise en cause de l'organisation et du réseau d'acteurs ... 132
II.2 Une remise en cause des conditions pour la création et le partage des connaissances ... 136
II.3 Une remise en cause des dispositifs d'évaluation ... 140

Partie III. L'innovation ou l'enjeu de la coopération, de l'acteur d'interface et des apprentissages ... 142
III.1 La coopération : un idéal-type pour l'innovation ... 142
III.2 Le rôle de l'acteur d'interface dans les processus d'innovation ... 144
III.3 les apprentissages au sein du processus de conception ... 146

Chapitre 5 : ID² : un outil pour favoriser la synthèse et la confrontation des points de vue lors des phases amont ... 151

Partie I. Une nouvelle problématique pour instrumenter l'innovation produit/process ... 152
I.1 Les outils s'inscrivent dans l'action ... 152
I.2 Vers un nouveau paradigme des outils d'aide à la conception distribuée ... 152
I.3 Positionnement par rapport aux outils pour l'innovation ... 154
I.4 La problématique de l'outil : l'innovation produit/process sous contrainte métier ... 155

Partie II. Conception et proposition d'un nouvel outil 158
II.1 Une construction de l'outil à partir du terrain 158
II.2 Un outil basé sur une représentation particulière du produit : le tableau concepts/critères 159
II.3 L'outil ID□: du TCC statique au TCC dynamique et enrichi 162
II.4 L'utilisation de l'outil ID□dans la dynamique des projets 179

Partie III. Conclusions, perspectives et limites de l'outil ID² 183
III.1 Un tableau de bord pour l'innovation 183
III.2 La réutilisation des informations et les apprentissages 184
III.3 Les limites et les perspectives pour ID□ 189

Conclusions et perspectives 193

Bibliographie 199

Table des figures 209

INTRODUCTION

Cette thèse s'inscrit dans la dynamique des travaux de recherche actuels qui portent sur le processus de conception des systèmes mécaniques. Le champ de questionnement de ces investigations porte sur les dispositifs permettant aux acteurs de concevoir des produits répondant au mieux au triptyque coût, qualité, et délai de mise sur le marché du produit et répondant, on le verra, de plus en plus à des objectifs d'innovation. C'est pourquoi la question des méthodes et outils d'aide à l'innovation sera plus particulièrement abordée.

Au début des années 1970, les recherches dans le domaine de la mécanique et de la productique portaient essentiellement sur les étapes de la production industrielle. Cependant, depuis une quinzaine d'années, la recherche s'est progressivement intéressée à analyser l'activité de conception. Cette évolution est liée au fait que cette phase représente un moment clé et stratégique parmi les étapes du cycle de vie du produit. Il est maintenant établi que la conception est l'étape qui permet de générer des réductions de coûts et de délais significatives pour la suite du processus. De ce fait, face à une concurrence de plus en plus forte, et qui s'inscrit dans un contexte de compétitivité mondiale, la plupart des objectifs des industriels et des laboratoires de recherche se fédèrent autour d'un nouveau concept désigné par le terme de conception concourante ou « concurrent engineering ». Cette course qui tend vers une meilleure adéquation du produit aux exigences du marché nécessite de prendre en compte au plus tôt et d'intégrer les contraintes de chaque étape du cycle de vie pour trouver un optimum global à cet ensemble.

Cependant, optimiser des produits, des procédés de fabrication présente une inévitable asymptote liée aux limites techniques et organisationnelles, mais également aux connaissances mobilisées lors de l'activité de conception. De plus, sur de nombreux marchés, la surcapacité de l'offre par rapport à la demande, et la guerre des prix entre les entreprises d'un même secteur, font que le besoin en performance et en enrichissement de fonctionnalités du produit s'accentue chaque année. Dans cette situation, les entreprises investissent de plus en plus dans des démarches de rationalisation de la conception mais doivent également innover pour se démarquer de la concurrence et prendre des parts de marché. Dans cet objectif d'innovation, les stratégies d'entreprises sont multiples et combinent plusieurs voies : favoriser la créativité pour trouver des nouveaux concepts, instaurer des co-développements avec des fournisseurs ou même des concurrents, favoriser les échanges avec les laboratoires de recherches et les centres de transfert de technologie, modifier des organisations, etc. Toutes ces stratégies sont mises en œuvre pour apporter des améliorations conséquentes aux produit et aux services proposés. Dans cette optique, le recours à de nouvelles technologies en termes de matériaux et de procédés de fabrication (ou process) constitue également un possible vecteur d'innovation.

Ainsi, dans le cadre de ces travaux de recherche, nous cherchons à comprendre et approfondir cette voie qui concerne la question de l'intégration produit/process de nouvelles technologies lors des phases amont de conception. Nous partons du postulat que l'on ne peut pas réellement contrôler le processus d'innovation et surtout, qu'on ne peut le prescrire *a priori*. Toutefois, nous faisons l'hypothèse, que ce processus peut se développer dans un cadre où les conditions et les supports sont propices à l'innovation. L'objectif de ces travaux n'est pas de proposer en soi une méthode pour innover, mais vise plutôt à favoriser et à instrumenter les conditions d'émergence d'un processus d'innovation dans le cas de l'intégration de nouvelles technologies. Par ailleurs, nous montrerons comment une étude empirique et inductive nous a conduit à spécifier et à proposer un outil visant à instrumenter ce processus complexe.

Dans cette optique, notre démarche est double : tout d'abord, il s'agira d'analyser des situations effectives de travail pour définir la problématique dans laquelle s'inscrivent ces processus d'innovation. D'autre part, il s'agira également de proposer des outils et des méthodes destinés à être intégrés dans les organisations industrielles pour aider les acteurs dans leur activité, et cela, dans un contexte d'innovation. De ce fait, notre ambition est de proposer des outils nouveaux mais en tenant compte des pratiques existantes et des organisations déjà en place. Cette posture empirique s'oppose à une vision relativement déterministe qui considère la proposition d'un outil accompagnée d'un modèle rationnel *ad hoc*, où les hommes sont assimilés à des *facteurs humains* dont on s'attacherait à rendre prévisibles les comportements. En effet, nous affirmons que proposer de nouveaux outils dans le but d'instrumenter l'action de conception, nous interroge sur la place des acteurs, des savoirs et des relations que ceux-ci entretiennent dans l'usage de ces outils. Cette posture nous conduit à remettre en cause ces modèles rationnels en modifiant le terme de *facteur humain* au profit du terme d'*acteur* qui sous-entend qu'un acteur pense, agit, anticipe, développe des stratégies, et surtout qu'il s'inscrit dans des processus non prédictibles.

Avec cette posture, nous verrons comment la dynamique de l'innovation s'inscrit alors à plusieurs niveaux : au niveau des acteurs et de l'organisation, au niveau des connaissances et des processus d'apprentissages, au niveau des dispositifs d'évaluation des solutions et des outils mobilisés lors de l'activité de conception. La thèse, qui est ici développée, vise donc à montrer que l'instrumentation de l'action de conception dans le cadre de l'intégration produit/process de nouvelles technologies, nécessite d'être pensée au plus près de ces différents niveaux afin de permettre l'émergence de nouveaux outils d'aide dédiés à l'innovation. A ce sujet, nous verrons comment un outil, imaginé et développé pendant ces travaux de recherche, illustre cette nouvelle approche de l'instrumentation de la conception.

Plan de la thèse

Dans le premier chapitre, nous commencerons par spécifier, et relativiser, le terme de « nouvelle technologie » afin de préciser notre vue sur la notion d'intégration produit/process. En ce sens, nous montrerons que ce terme de nouvelle technologie est polysémique et qu'il dépend complètement du contexte particulier dans lequel s'inscrit le processus de conception. Pour cela, nous présenterons le contexte initial de notre terrain de recherche qui concerne un bureau d'études de l'entreprise Renault VI. Nous montrerons alors que dans le bureau d'études concerné, le choix des technologies est fortement orienté dès le début d'un projet et reste dans le domaine des technologies traditionnellement utilisées. Nous verrons alors que dans certaines configurations, la question du co-développement en phase amont entre le bureau d'études et un fournisseur expert d'une technologie différente peut venir renforcer la tension autour du choix du couple matériau/process. Nous verrons que cette situation est caractérisée, ici, par une asymétrie des connaissances et tend à reconfigurer les critères de choix concernant les technologies à retenir pour la suite du développement. Ce premier chapitre permettra de présenter la problématique de l'intégration produit/process de nouvelles technologies en phase amont de conception. Nous pourrons alors amorcer quelques réflexions sur l'instrumentation particulière de ces phases afin de favoriser l'innovation.

Dans le deuxième chapitre, nous aborderons cette thématique de l'intégration dans le cadre de l'usage et plus particulièrement dans le contexte du développement d'une pièce industrielle en bureau d'études. Nous retracerons alors l'histoire de la conception d'une nouvelle application en matériaux composites qui constitue la base des réflexions de cette thèse. La description du développement de cette pièce, dans lequel j'ai été fortement impliqué pendant les premiers temps de ces travaux de recherche, permettra alors d'illustrer le caractère instable d'un processus d'innovation impliquant l'intégration d'une nouvelle technologie. En effet, en favorisant une dynamique d'intégration produit/process en phase amont, nous allons voir que les potentialités et les contraintes du process peuvent se révéler comme un vecteur fort d'innovation. Par ailleurs, nous montrerons que la méthodologie de recherche intervention employée sur le terrain nous permet de développer une lecture et une compréhension fine de l'action qui s'est déroulée pendant les deux premières années de ces travaux de thèse. Ainsi, nous allons voir que ce projet va très vite introduire des ruptures de différentes natures dans le processus de conception, et notamment un repositionnement des acteurs de la conception, habitués généralement à un environnement où les dispositifs techniques et organisationnels sont largement stabilisés. Les observations effectuées sur les logiques d'acteurs impliqués, la dynamique des connaissances mobilisées, et les processus d'apprentissage alimentent les questions de la place de l'innovation en phase amont des projets et du rôle du fournisseur dans les processus d'intégration produit/process, et plus particulièrement lorsque le donneur d'ordre ne maîtrise pas la technologie et le process envisagés.

En analysant notre propre posture d'acteur lors de cette étude de terrain, nous avons pu identifier un acteur clé dans l'entreprise partenaire qui vise à favoriser l'intégration de

nouvelles technologies dans les bureaux d'études : l'expert matériaux. Dans le troisième chapitre, nous nous attacherons à caractériser le rôle joué par cet acteur au sein du processus de conception et nous montrerons son enjeu pour favoriser l'innovation. En effet, nous avons pu analyser l'activité de ces acteurs en suivant ces derniers sur le terrain, en observant leurs pratiques et en les interrogeant sur les méthodes qu'ils mettaient en œuvre pour proposer de nouvelles technologies aux bureaux d'études. Lors de cette étude, nous avons pu identifier plusieurs configurations d'intervention de ces acteurs dans des processus de conception. Cependant, nous nous sommes principalement intéressés à une étape amont, stratégique dans le développement de solutions innovantes, que nous avons qualifiée de « phase préparatoire au projet ». Nous montrerons que cette phase revêt souvent un caractère informel et non contractuel, et représente une opportunité intéressante pour le déploiement d'une innovation. En ce sens, nous découvrirons que c'est principalement lors de cette phase que l'expert matériaux consolide son idée d'une nouvelle combinaison produit/process originale, idée qui peut parfois conduire à l'émergence d'une application innovante. Cette phase préparatoire permet de formaliser les bases et d'établir une configuration pour le lancement d'un projet innovant à partir de l'idée proposée. Nous montrerons alors l'enjeu de légitimer les trajectoires empruntées par l'innovation et de donner un statut à ces phases stratégiques.

Suite aux résultats et aux analyses de terrain, nous pourrons alors spécifier plus finement notre vue sur l'innovation. C'est l'objet du quatrième chapitre qui nous permettra également de définir et de proposer le concept « d'innovation produit/process » pour caractériser les processus observés. En ce sens nous montrerons que l'innovation ne peut se développer que dans des conditions où la dynamique de l'organisation, des connaissances, et des dispositifs d'évaluation et des apprentissages, est également prise en compte. Nous soulignerons et nous identifierons la dimension importante d'un acteur particulier, nommé acteur d'interface dont l'enjeu est d'organiser la confrontation des savoirs et la mise à l'épreuve des points de vue dans le but de favoriser le développement de solutions innovantes aux interfaces des métiers.

Dans le cinquième et dernier chapitre, nous présenterons alors un outil informatique que nous avons progressivement spécifié et développé en s'appuyant sur les résultats précédents. Cet outil vise à apporter une aide opérationnelle en instrumentant les stratégies développées par l'acteur d'interface lorsqu'il se retrouve en situation de porteur de l'innovation produit/process. Nous présenterons alors les spécifications de cet outil dont les fondements sont articulés autour de quatre axes principaux : favoriser la mise en réseau des acteurs, construire un tableau de bord du projet, argumenter et crédibiliser les solutions proposées, capitaliser et réutiliser les informations pour favoriser les apprentissages. Nous montrerons alors la pertinence d'un tel outil dans un processus de conception collaborative et distribuée pour favoriser le développement de nouvelles solutions en phase amont de projet.

CHAPITRE 1 :

L'INNOVATION ET L'INTRODUCTION DES NOUVEAUX MATERIAUX : LA PROBLEMATIQUE DE L'INTEGRATION PRODUIT/PROCESS

L'objectif de ce chapitre est de préciser notre vue sur la question de l'innovation et notamment dans le cadre de l'intégration produit/process des nouveaux matériaux. Pour cela, nous présenterons notre vision des nouveaux matériaux, et un état de l'art de la situation actuelle concernant leur intégration dans les produits. Nous montrerons que cette intégration est un problème très complexe qui s'inscrit à plusieurs niveaux pour les entreprises. Pour cela, nous illustrerons ce propos, en présentant le contexte de notre étude de terrain où nous essayerons d'identifier les premiers freins, mais aussi les leviers existants concernant l'introduction d'un matériau composite particulier dans un bureau d'études. Cette description permettra de bien saisir la problématique dans lequel s'inscrit cette recherche de nouveaux outils et méthodes d'aide à l'intégration produit/process.

Sommaire du chapitre :

Partie I. De nouvelles technologies pour favoriser l'innovation 10
I.1 Des matériaux nouveaux pour innover ? 10
I.2 La polysémie du terme « nouveau matériau » 10
I.3 Révolution ou évolution ? 11
I.4 Les « nouveaux matériaux » dans les processus de conception : un décalage lié à l'asymétrie des connaissances 14

Partie II. Un exemple d'intégration d'un « nouveau matériau composite » : le cas du bureau d'études châssis confronté au SMC 16
II.1 Les origines du projet composite au BE châssis : une construction progressive de l'intégration du SMC 16
II.2 Dispositif de recherche du Thème III 30
II.3 De l'acier au matériau composite SMC : Quelles distances ? 34

Partie III. Vers l'innovation par l'intégration produit/process de nouveaux matériaux ? 46
III.1 Quand il est difficile d'ignorer les innovations ! 46
III.2 L'intégration produit/process dans le co-développement 47
III.3 Co-développement et asymétrie des connaissances 49
III.4 L'hyperchoix des matériaux, mythe ou réalité? : un choix contraint pour l'intégration produit/process 50

Partie I. De nouvelles technologies pour favoriser l'innovation

I.1 Des matériaux nouveaux pour innover ?

La plupart des produits que nous utilisons, de la brosse à dents à l'automobile, sont mono ou multi-matériaux, c'est à dire composés d'un ou plusieurs matériaux qui sont ajustés, combinés, et assemblés pour remplir des fonctionnalités bien précises. Cependant, ces matériaux sont souvent revêtus de couches de peinture, de traitements de finition ou cachés par d'autres pièces et au final, passent souvent de manière inaperçue et transparente aux yeux du client. En effet, nombreux sont encore les possesseurs d'un véhicule Espace Renault à ignorer que presque toute leur carrosserie est en composite. Par contre, le choix de ces matériaux est déterminant car la plupart des caractéristiques finales (tenue mécanique, design, aspect,…) du produit vont en dépendre. Aujourd'hui, accroître la fiabilité, alléger le poids, augmenter la recyclabilité, faciliter la maintenance, ou encore proposer de nouvelles fonctionnalités, sont des exemples d'enjeux auxquels sont confrontées les entreprises lors des choix de matériaux pour leurs produits. Vers les années 1980, les experts dans le domaine annonçaient une révolution imminente des matériaux et l'arrivée massive de « nouveaux matériaux » comme les composites et les céramiques, qui, par leur structure plus légère, plus résistante, et même plus « intelligente » (pour les matériaux à mémoire de forme) permettraient de concevoir des produits innovants.

Nous pouvons donc dire que cette étape stratégique du choix des matériaux dans le processus de conception peut représenter parfois un moment clé où certaines innovations ou futures innovations vont être retenues ou mises à l'écart. Cependant, nous insistons sur le fait que l'innovation n'est pas directement liée à l'introduction et l'intégration d'un nouveau matériau. En effet, en première approche, nous prendrons ici comme première définition de innovation, le processus qui débute par l'idée ou l'invention d'un nouveau concept jusqu'à son industrialisation et qui est caractérisé *in fine* par une sanction positive du client (cette première définition nous permet de préciser ce terme mais nous reviendrons plus largement sur cette définition dans le chapitre 4). Dans ce cas, nous faisons l'hypothèse qu'utiliser des nouveaux matériaux pour concevoir un système, peut augmenter les probabilités de proposer un produit nouveau qui se distinguera de la concurrence, et qui pourra se révéler par la suite être une innovation si ce dernier rencontre un accueil positif auprès des clients. Nous verrons que, concernant ces projets dits innovants, l'enjeu et la difficulté consistent à piloter un processus qui s'inscrit dans un contexte très instable à plusieurs niveaux et dont les résultats ne sont pas prédéterminés.

I.2 La polysémie du terme « nouveau matériau »

Avant de parler plus précisément de la thématique de l'innovation, il convient de s'interroger sur cette notion de "nouveauté" concernant les matériaux. En effet, aujourd'hui, que désigne-t-

on communément comme une "nouvelle technologie" dans le domaine des matériaux ? Nous pouvons penser à plusieurs possibilités : il peut s'agir de la découverte d'un "véritable" nouveau matériau ou d'un nouveau procédé de fabrication dont l'ensemble des spécialistes de la recherche et de l'industrie ne connaissait pas l'existence quelque temps auparavant (nous pouvons citer l'exemple original de la fibre arachnéenne qui à l'heure actuelle, est sujette à de nombreuses recherches pour ses qualités de résistance mécanique[1]). Par contre, ce cas est peu fréquent et l'on rencontre plus souvent des matériaux dont la nouveauté relève plus d'améliorations de l'existant (exemple des aciers à haute limite d'élasticité HLE ou même à très haute limite élastique THLE) ou des matériaux qui peuvent être parfois le résultat d'associations de matériaux entre eux (matériaux stratifiés métal + polymère) ou la combinaison de procédés de fabrication déjà connus (matériaux composites obtenus par injection + compression). De plus, pour réaliser des applications industrielles, le matériau et son procédé (ou process) de mise en oeuvre qui permet d'obtenir les pièces, ne peuvent plus être complètement dissociés : on parlera alors de "nouvelle technologie" pour qualifier une nouveauté soit sur le matériau ou le procédé associé, soit sur le couple matériau/process.

Cependant, nous pouvons dire que cette nouveauté peut être aussi complètement relative quand il s'agit d'amener des spécialistes d'un ou d'une famille de matériaux, à en utiliser un autre dont les applications existent déjà par ailleurs. Nous développerons plus en détail dans le paragraphe I.4 ce point important auquel certaines entreprises peuvent être confrontées. Ces définitions étant posées, nous pouvons essayer de voir quelle est l'évolution et la place de ces nouveaux matériaux dans les produits du marché, et notamment dans le domaine de l'automobile.

I.3 Révolution ou évolution ?

I.3.1 L'acier fait de la résistance

Le deuxième millénaire venant de se terminer, un constat concernant les prévisions annoncées sur l'évolution des matériaux et notamment concernant les matériaux composites ou céramiques dans le domaine de l'automobile montre que cette révolution n'a pas été si fulgurante. La plupart des experts dans le domaine des matériaux s'accordent à dire qu'il y a une lente évolution [Maeder 98] plutôt qu'une révolution. Chez Renault [Renault 94], on qualifie cette évolution de *révolution douce* ou d'une *révolution de velours*. Les nouveaux matériaux sont restés l'apanage du domaine spatial et de l'aéronautique, par contre, les autres industries, et notamment l'automobile, ont mis un frein à cet enthousiasme et effectué un retour au pragmatisme. En effet, si nous caricaturons les tendances générales dans l'automobile, nous pouvons dire que les céramiques après avoir fait rêver beaucoup

[1] Plusieurs recherches sont en cours pour obtenir ces fibres d'araignée de manière plus quantitative (et industrielles !) en injectant le gène de protéine de la soie d'araignée dans le patrimoine génétique d'animaux tels que la chèvre, le ver à soie,… Ce «nouveau procédé de fabrication» permettrait d'obtenir des quantités suffisantes de cette soie et pourrait remplacer avantageusement le Kevlar pour des applications de type gilets ou cagoules de protection pare-balles.

d'industriels au début des années 1980 (on a longtemps rêvé au moteur adiabatique en céramique) n'ont pas tenu leurs promesses et leurs utilisations sont revenues à des applications plus sages et plus localisées (les bougies). Concernant les plastiques et les composites, nous pouvons voir sur la figure 1 qu'ils n'ont pas encore remplacé les matériaux métallurgiques qui tiennent toujours la première place mais que leur part dans le poids total de l'automobile continue de progresser sagement chaque année. En effet, les graphes de répartition des matériaux dans un produit tel que le véhicule automobile montrent que les matériaux métalliques représentent encore près de 70 % du poids des véhicules bien que les nouveaux matériaux soient présentés comme révolutionnaires depuis plusieurs décennies.

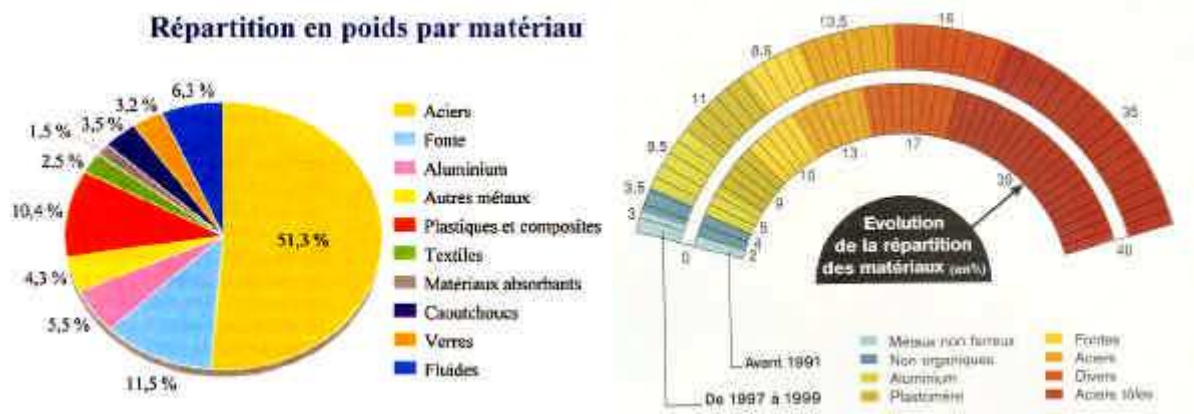


Figure 1 : Répartition et évolution des matériaux dans une automobile (source [Maeder 00] [Renault 00])

I.3.2 Un nouveau paysage concurrentiel : les nouveaux matériaux aiguillons pour les anciens matériaux

Bien que cette révolution dans la répartition n'ait pas été aussi spectaculaire, il y a eu des changements notables dans le paysage des matériaux qui expliquent que les nouveaux venus restent encore minoritaires par rapport aux matériaux plus traditionnels. Notamment, l'arrivée de ces nouvelles technologies a initié une nouvelle concurrence et a forcé les technologies traditionnelles à évoluer. En effet, dans l'automobile, l'acier a conservé sa première position grâce aux développements qu'ont mis en place les sidérurgistes : la moitié des produits proposés aujourd'hui par ces derniers n'existaient pas il y a cinq ans. Cette concurrence a donc permis d'initier toute une série d'évolutions des matériaux qui offrent maintenant un très grand panel d'utilisation. Un autre point concernant l'évolution des matériaux dans les applications, concerne le caractère multi-matériaux des produits qui s'accentue de plus en plus (surtout dans l'automobile). En effet, il faut maintenant intégrer un matériau (qu'il soit traditionnel ou nouveau) parmi les autres en tenant compte des problèmes de voisinage entre eux (différence de taux de dilatation, différence d'aspect et de rendu, incompatibilité de recyclage, etc.). De ce fait, il faut souligner que le chemin est très long entre le moment où un nouveau matériau est envisagé pour une pièce automobile et celui où la pièce, réalisée avec ledit matériau, est intégrée sur le véhicule en série. Généralement, il faut compter environ une dizaine d'années pour franchir les différentes étapes de recherches sur le matériau, de mise au point de maquettes et prototypes, de lancement et essais sur véhicules «niches» de petites

séries, et enfin l'utilisation sur une application en grande série. A ce sujet, nous pouvons nous demander si le terme de nouveau matériau est toujours adapté lors de la sortie du produit !

I.3.3 Quels indicateurs pour décrire le degré d'innovation ?

Nous voyons que le graphe de la répartition en poids des matériaux entre 1991 et 1999 (figure 1), révèle une courbe d'évolution montrant une certaine inertie au changement. Cependant, nous proposons de remettre en cause la pertinence de ce seul indicateur en terme de poids pour qualifier le taux de pénétration et d'intégration de ces nouveaux matériaux. De plus, concernant l'innovation, nous allons voir que cet indicateur n'est pas nécessairement adapté pour caractériser la nouveauté apportée par ces matériaux.

Tout d'abord, il faut tenir compte des différences de densité entre l'ensemble des matériaux constituant le véhicule. Il semble évident que les plastiques et les composites, du fait de leur faible poids par rapport à l'acier présenteront des courbes et des taux de pénétration qui seront « lissés » par ce facteur de rapport de densité. Par contre, il serait intéressant de visualiser ce taux de pénétration en comparant l'évolution des matériaux par fonction élémentaire du produit. Prenons l'exemple de l'évolution de la fonction aile pour automobile : cette fonction a connu plusieurs évolutions : l'acier qui était utilisé auparavant est souvent remplacé de nos jours par des matériaux comme le SMC ou le noryl GTX. Avec ce nouvel indicateur par fonction, le taux de pénétration des matériaux composites par rapport à l'acier pourrait représenter presque 100% (si l'on néglige les éléments de fixation de type insert, vis, qui restent en matériaux métalliques) sur les véhicules qui ont suivi cette évolution. Dans ce cas, cet indicateur serait plus représentatif pour caractériser l'innovation apportée par l'intégration du composite pour cette fonction « aile ». En effet, le remplacement de l'acier par du composite ou du plastique permet de réduire considérablement le poids de la fonction mais également augmente la tenue mécanique des ailes aux petits chocs. On voit ici comment quelques grammes de matériaux composites ou de plastique parmi les 10,4% du graphique de la figure 1, peuvent représenter des innovations majeures sur plusieurs fonctions. Cependant un tel indicateur serait difficile à mettre en place sur la totalité du produit, car d'une part, il nécessite de pouvoir découper le véhicule en fonctions élémentaires représentatives, et d'autre part, il faudrait pouvoir tenir compte de l'apparition de nouvelles fonctions qui n'existaient pas auparavant (exemple des airbags, des systèmes de corrections de trajectoires, etc.).

De plus, réduire l'innovation au processus d'intégration de nouveaux matériaux serait une vue très partielle de l'innovation. Nous avons déjà dit qu'il n'y a pas un lien direct entre l'utilisation d'un nouveau matériau et l'innovation : changer de technologie ne permet pas d'innover à coup sûr et inversement, on peut très bien innover sans changer de technologie ! Nous avons également fait remarquer que l'innovation ne se décrète pas, et que l'on peut difficilement la prévoir et la planifier dans l'action. Cette problématique soulève alors la question des indicateurs concernant l'innovation en cours de processus de conception : comment savoir si l'on travaille sur un projet innovant ou plus exactement comment savoir si l'on travaille sur un projet qui a des chances d'aboutir à un produit innovant ? Quels sont les

indicateurs que l'on peut mobiliser pour la décision de développer ou non une solution ou un concept porteur d'innovation. Les indicateurs précédents et les indicateurs en général, montrent ici leurs limites pour caractériser l'innovation car ils nécessitent une rationalisation a posteriori et impliquent de connaître à l'avance les résultats et les retours des clients sur une action de conception en cours. De ce fait, si on ne peut vraiment prévoir l'innovation, l'enjeu est de trouver des indicateurs qui permettent de caractériser une situation de conception innovante par rapport aux situations de conceptions plus routinières. En effet, la difficulté est de trouver des indicateurs et des outils d'analyse pour suivre l'objet technique qui est en train d'être conçu sans connaître son avenir (s'il sera performant, rentable et donc innovant). Il semble alors intéressant de s'attacher à caractériser des situations effectives de conception en allant sur le lieu de ces dernières afin d'identifier des indicateurs potentiels dans l'action qui soient représentatifs de l'innovation. Dans notre cas, nous allons voir que l'indicateur d'asymétrie de connaissance concernant la technologie impliquée, peut se révéler comme un indicateur potentiel de l'innovation.

I.4 Les « nouveaux matériaux » dans les processus de conception : un décalage lié à l'asymétrie des connaissances

Dans le cadre de cette thèse, nous avons eu l'occasion de nous placer dans un contexte industriel et nous avons pu observer et caractériser une dimension différente et complémentaire dans la notion de nouvelle technologie en nous plaçant dans le cas de la conception de produits en bureau d'études (BE). En effet, dans le contexte d'un BE, ou même d'une entreprise, il semble évident que l'ensemble des technologies et des matériaux existants sur le marché ne sont pas tous employés pour concevoir les produits proposés par l'entreprise. Paradoxalement, comme nous l'avons précédemment annoncé dans le paragraphe I.2, nous pouvons alors employer le terme de nouvelle technologie pour désigner des matériaux ou des procédés de mise en œuvre connus et industrialisés depuis de nombreuses années. En effet, introduire et intégrer une technologie connue ailleurs mais différente de celles utilisées traditionnellement par un bureau d'études, conduit les acteurs à se retrouver face à une "nouvelle technologie" sur laquelle ils n'ont pas encore d'expérience pratique de conception. Dans cette situation, il existe une asymétrie des connaissances liée au manque d'expérience, créant un décalage entre les connaissances générales que l'on peut avoir sur un matériau (ses caractéristiques générales, ses principaux avantages et inconvénients, …) et les connaissances qui se construisent dans l'action de conception autour de ce matériau (comment le modéliser ? Quelles sont les règles et les ajustements de conception à utiliser ? ...). Mais dans un contexte très contraint par les questions de délai au niveau des bureaux d'études, l'appréhension de ce décalage oriente souvent les acteurs vers un choix de matériau plus traditionnel sur lequel ils ont déjà développé une certaine expertise. Pourtant, si ce choix permet de converger plus rapidement vers une solution acceptable, nous faisons l'hypothèse que l'innovation peut se jouer à ce niveau en ouvrant le champ des alternatives impliquant des matériaux différents et en s'appuyant sur les connaissances des experts dans le domaine. Dès lors, nous pouvons voir ici s'affirmer un enjeu stratégique à identifier les asymétries et les décalages de connaissances pour constituer de nouveaux indicateurs pour l'innovation.

Face à cette problématique, nous avons besoin de trouver des modèles théoriques pour comprendre et caractériser ce processus complexe qu'est l'innovation. La réalité du terrain nous a conduit alors à utiliser des modèles descriptifs et explicatifs pour les confronter avec les faits observés et le caractère instable que nous avons pu rencontrer. A ce sujet, dans le domaine de la sociologie de l'innovation, [Callon et Latour 85] et [Callon 86] proposent le *modèle de la traduction* pour caractériser l'innovation comme un processus non-linéaire, interactif et itératif avec l'idée d'une transformation et d'un déplacement des acteurs et des objets. Avec ce modèle, l'objet technique est vue comme le résultat d'une négociation entre acteurs qui se transforme en fonction des traductions et des processus d'intéressement des acteurs impliqués. Ce modèle permet de compléter et de remettre en cause les raisons du succès d'une innovation. En effet, le succès d'une innovation n'est pas seulement lié à sa faculté de se répandre d'elle-même par contagion grâce à ses qualités intrinsèques. Le succès d'une innovation peut s'expliquer également par ses capacités à susciter l'adhésion de nombreux alliés qui vont la faire progresser. Dans ce cas, on a recours à modèle de l'intéressement [Akrich et al 88] où le destin d'une innovation dépend de la participation active de tous ceux qui sont décidés à la faire avancer. Ce modèle de la traduction offre une vision plus représentative et réaliste du caractère chaotique et indéterminé de l'innovation que nous avons pu rencontrer sur le terrain. En effet, dans notre cas, nous avons pu voir que l'adoption d'un nouveau matériau ne repose pas uniquement sur ses caractéristiques techniques, et ses avantages ne suffisent pas pour autant à le faire accepter dans un BE. Pour être adoptée, l'innovation qui peut être favorisée par ce nouveau matériau, doit être transformée, modifiée et déplacée en tenant compte de son lieu d'application. Adopter une innovation nécessite de l'adapter et cette adaptation résulte d'une élaboration collective et interactive. Si l'innovation est vue comme un déplacement, notre hypothèse concernant les indicateurs s'affirme : peut-on suivre ce déplacement en évaluant le décalage et l'asymétrie des connaissances ?

Nous proposons au lecteur d'illustrer ce décalage par l'exemple industriel tiré de notre terrain de recherche. C'est pourquoi, dans la seconde partie de ce chapitre, nous allons retracer le contexte initial d'un projet de développement de pièce composite chez Renault VI. Nous verrons aussi comment cette problématique de l'intégration d'une nouvelle technologie au sens où nous l'avons définie, soulève à la fois un problème technique complexe mais également s'inscrit avec une forte dimension organisationnelle et sociale. Nous caractériserons les difficultés qui existent pour remettre en cause les technologies existantes et nous montrerons que le processus de sélection de la technologie pour un produit est fortement orienté par les pratiques et les logiques des acteurs, les connaissances et les outils mobilisés dans l'action de conception. Nous verrons alors que proposer un nouveau matériau dans ce contexte nécessite de déplacer les acteurs et le produit dans une situation différente de celles des processus de conception plus routiniers et tend à se retrouver alors dans une situation innovante.

Partie II. Un exemple d'intégration d'un « nouveau matériau composite » : le cas du bureau d'études châssis confronté au SMC

II.1 Les origines du projet composite au BE châssis : une construction progressive de l'intégration du SMC

II.1.1 Le contexte de cette recherche

Avant de décrire notre expérience de terrain, il faut retracer le contexte et les motivations industrielles de cette étude qui nous ont conduit à engager cette recherche au sein d'un bureau d'études. Tout d'abord, la question initiale de ce travail de recherche portait sur les méthodes et outils d'aide à la conception de pièces en matériaux composites de type SMC, abréviation des termes *Sheet Molding Compound* (voir présentation de ces matériaux dans le paragraphe II.1.3). Cet axe fait partie d'une dynamique de recherche et de développement dans le domaine des composites SMC, mise en place depuis 1997 au sein d'un réseau de laboratoires de recherche et d'entreprises de la région Rhône Alpes. Ce groupement avait été mis en place suite aux enjeux que nous allons présenter dans le prochain paragraphe et les demandes industrielles, conscientes des lacunes de certains BE vis à vis de ces matériaux, et du retard en général des Européens par rapport aux Américains dans le domaine des composites.

II.1.2 Les enjeux d'une recherche sur les matériaux composites

II.1.2.1 De profonds changements dans l'industrie américaine

En 1982, une étude du Centre de Prospective et d'Evaluation du Ministère de la Recherche concernant la substitution des matériaux plastiques et des composites aux matériaux conventionnels dans l'industrie américaine [Bayen 82], faisait ressortir plusieurs tendances.

Tout d'abord, il apparaissait à cette époque une forte poussée des plastiques et composites en général et des thermodurcissables en particulier dans des secteurs à fort volume de l'industrie américaine (automobile, électroménager, etc.), traditionnellement gros consommateurs de matériaux conventionnels. En effet, les constructeurs automobiles américains commençaient à étudier et mettre en place des ateliers et des usines spécialement adaptés à la production de grande série de composants plastiques de grandes dimensions (exemple de l'usine Ford de Milan – Michigan). Cette forte poussée s'accompagnait d'une réelle organisation en filière, constituée d'un utilisateur prescripteur, de fabricants de matière première, de fabricants de matériel de mise en œuvre, pour favoriser l'intégration progressive des matériaux plastiques. Toute cette dynamique entraînait un redéploiement de l'emploi des matériaux dans certains secteurs (automobile, électroménager), conduisant à une cascade de conséquences en amont et en aval. En effet, on assistait alors aux Etats-Unis à un développement des productions des résines de base et de la pétrochimie en général et, en parallèle, à une baisse des carnets de commande de la sidérurgie, et dans une moindre mesure des producteurs d'alliages légers. De

plus, ce mouvement entraînait une redistribution du secteur des machines outils en fonction de la baisse des commandes des machines pour la fabrication de pièces en matériaux traditionnels au profit des équipements pour la mise en œuvre des matériaux plastiques. Les plus grands fabricants de machines-outils comme Cincinnati Milacron, se reconvertissaient dans les machines de mise en œuvre des plastiques (presse à injection, SMC, RIM, etc.) qui représentaient alors 50 % de leur chiffre d'affaires. En ce qui concerne les aciéristes, certains, conscients du problème, se diversifiaient en créant des filiales plastiques (exemple de Bethleem Chemical, filiale de Bethleem Steel, le plus grand sidérurgiste américain à l'époque). L'étude montrait alors qu'une profonde mutation était en cours dans le secteur automobile américain liée à l'emploi massif des matériaux nouveaux à base de plastiques renforcés à hautes performances. De plus, cette étude soulevait alors plusieurs interrogations et inquiétudes concernant le retard des européens par rapport aux USA. En effet, les auteurs de l'étude alertaient sur le fait que cette mutation pouvait rendre plus difficile la position concurrentielle des fabricants automobiles européens. Face à cette menace technologique, l'étude concluait alors sur la nécessité d'engager des programmes de recherche et de développements avec des associations industrielles sectorielles en partenariat avec des laboratoires universitaires.

Même si cette étude annonçait un peu trop vite la prédominance future des plastiques et des composites (un châssis automobile « tout en plastique » était annoncé pour 1984), force est de constater qu'aujourd'hui un certain nombre d'entre eux font partie des matériaux qui ont réussi à s'imposer dans le paysage concurrentiel. En effet, si l'on regarde l'évolution de la production américaine de composites, on observe qu'entre 1991 et 1999, cette production a augmenté de 43 %. Cependant, comme l'annonçait l'étude, cette croissance des composites a montré un certain décalage dans le temps pour le marché européen. Aujourd'hui, d'une manière générale et au regard des données de l'agence Rhône Alpes pour la maîtrise des matériaux (figure 2), il existe toujours un certain retard des européens par rapport à nos voisins d'outre Atlantique conduisant à un certain déséquilibre dans le marché mondial des composites.

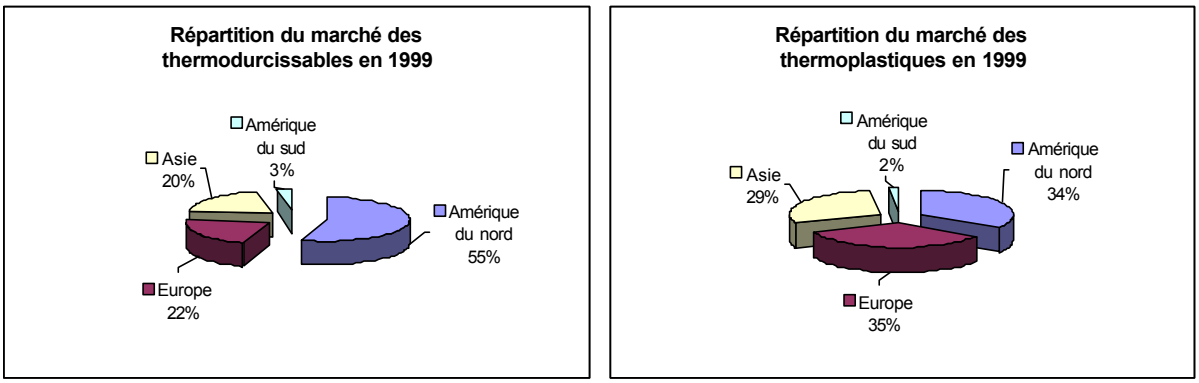


Figure 2 : Répartition du marché mondial des thermoplastiques et des thermodurcissables en 1999 (source Agence Rhône Alpes pour la maîtrise des matériaux)

II.1.2.2 Le cas des matériaux SMC

Parmi les bénéficiaires de cette croissance générale dans le domaine des composites, les SMC figurent parmi les premiers. En effet, ceux-ci ont réussi à pénétrer fortement le secteur des transports et notamment de l'automobile. La première application industrielle en SMC est apparue en 1969 sur un déflecteur arrière d'air de wagon de la société Chrysler [Dieffenbach 97] et c'est au début des années 1970 que la Chevrolet Corvette a été dévoilée avec les premières applications automobiles en SMC. Plus récemment, en 1999, on comptait environ 500 applications différentes de SMC sur 130 modèles différents de véhicules provenant de 28 constructeurs de l'industrie automobile mondiale. Parmi ces constructeurs, Ford et General Motors restent les plus avancés dans l'utilisation de ces matériaux.

II.1.3 Présentation du matériau SMC et de sa filière[2]

Le SMC (*Sheet Molding Compound*) est un matériau que l'on peut définir en français comme un mat (ou feuille) que l'on peut mouler par compression. C'est un matériau de la famille des matériaux composites de type organique car il est constitué de plusieurs éléments : une matrice polymère thermodurcissable et un renfort. Le terme « thermodurcissable » signifie que la réaction chimique n'est pas réversible et implique que la pièce obtenue ne peut plus être déformée par la chaleur à l'opposé des thermoplastiques. La production de pièces en SMC peut se décomposer en deux phases : la fabrication du mat pré-imprégné (assemblage d'une matrice et d'un renfort) et le moulage par compression de la forme de la pièce à partir de ces mats. Cependant, même si on le désigne sous le terme générique de SMC, il faut savoir que ce matériau correspond à une large famille de matériaux qui peuvent être formulés « à la carte » en fonction de l'application désirée. En effet, en jouant sur la composition et la quantité des différents éléments qui constituent le SMC, on peut obtenir une gamme de produits (voir figure 3) pouvant aller de l'application semi-structurelle (de type face-avant, boucliers, etc.) à une application de pièce d'aspect avec une surface de classe A (pièces carrosserie).

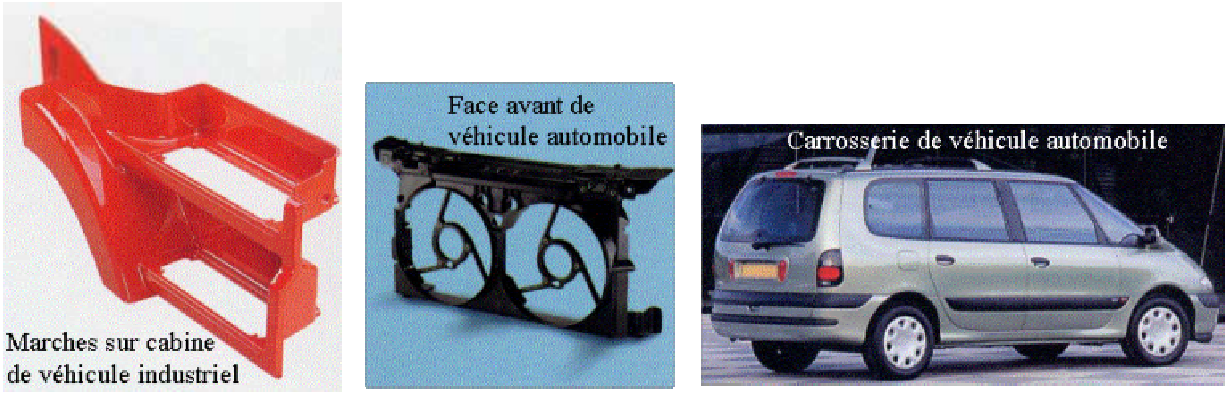


Figure 3 : Quelques exemples d'applications SMC dans le domaine du transport

[2] Cette présentation est une synthèse des observations et des données recueillies dans les entreprises partenaires du projet et notamment chez Mecelec, fabriquant de mats SMC et Inoplast, transformateur de SMC.

De plus, les recherches actuelles sur les matières premières et le process permettent une évolution constante de ces matériaux qui continuent d'augmenter avantageusement leurs caractéristiques (baisse des temps de cycle pour augmenter les cadences de fabrication des pièces, amélioration de leur tenue mécanique, de leur mise en peinture, etc.). Cependant, même si ces recherches vont dans le sens des problématiques et des attentes industrielles, il faut noter que les connaissances sur les caractéristiques du process de ces matériaux et leur évolution restent encore relativement peu formalisées et partagées. Même si on ne peut dresser une liste exhaustive des possibilités de ces matériaux car ils dépendent de l'application envisagée, nous pouvons toutefois citer les principaux avantages qui sont régulièrement mis en avant par les transformateurs ou dans la littérature :

- des possibilités de réduction des coûts et des investissements avec une bonne adéquation aux petites séries grâce à des prix de pièces finies et des coûts outillages associés très compétitifs par rapport à certains process (emboutissage, moulage) de l'acier ou de l'aluminium,
- des possibilités de réduction de poids grâce au rapport raideur/densité intéressant de ces matériaux,
- des possibilités de réalisations de formes complexes pour l'intégration de fonctions et la réduction du nombre de pièces grâce à une liberté de forme des pièces moulées.

De ce fait, au regard de ses qualités intrinsèques, le SMC est un matériau qui semble présenter un fort potentiel de nouvelles applications, notamment dans le domaine de l'automobile et des transports. Par contre, nous allons voir que les procédés de fabrication de la matière et des pièces présentent des spécificités propres à ce matériau. Ainsi, depuis les années 1970 et les premières applications en SMC[3], les acteurs de la filière SMC ont su progressivement maîtriser ce procédé de fabrication qui reste encore parfois très empirique sur certains points et sur lesquels nous reviendrons lors de notre description. Dès lors, nous verrons que les principaux avantages cités précédemment, confrontés avec ceux des technologies concurrentes déjà en place, ne suffisent pas pour autant pour faire accepter ce matériau dans certains bureau d'études.

II.1.3.1 la réalisation du mat pré-imprégné

Nous allons maintenant entrer dans une description plus technique concernant la première étape du procédé SMC qui concerne la fabrication du mat pré-imprégné. Cette étape s'effectue en trois phases principales :

- Phase 1: Fabrication de la pâte mère
- Phase 2: Dosage et ajout des agents colorants et agents de mûrissement, charges

[3] Dans le domaine de l'automobile, nous citerons les premiers exemples du capot moteur de la Chevrolet Corvette, des boucliers de la Renault 5 et de la Fiat 128 en 1975 [Rossi 83], des portes de la Peugeot 305 en 1979 [Massey 81], des faces avant de la Citroën GSA, Visa et Peugeot 405 dans les années 1980 [Cusset 88], le capot de la BX Citroën en 1982 [Labonne 83], la carrosserie du Renault Espace [Ollive 88], etc.

- Phase 3: Imprégnation des fibres avec la pâte

La matrice d'un matériau SMC peut être assimilée à une sorte de pâte constituée de plusieurs éléments dont le principal est une résine (essentiellement de type polyester insaturé, voire époxydique, ou phénolique). Cette matrice sert à donner la forme générale à la pièce et transmet les contraintes au renfort. Un système catalyseur inhibiteur permet d'accélérer la polymérisation de la résine lors de la mise en forme de la pièce SMC. L'inhibiteur empêche la résine de polymériser dans les premières phases de l'opération de mise en forme, puis le catalyseur prend le relais pour accélérer la formation de la chaîne polymère à partir du monomère de base.

La résine contient un agent de mûrissement qui forme des liaisons acide base. La création de ces liaisons augmente la viscosité de la pâte SMC (voir courbe de la figure 4) et permet de rendre le matériau manipulable (cette réaction permet d'obtenir pour les mats, une consistance proche de la pâte à modeler).

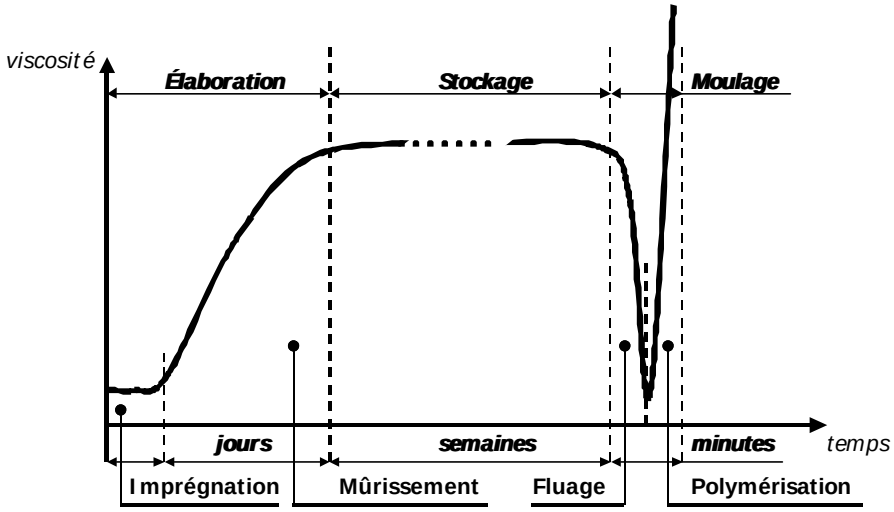


Figure 4 : Evolution de la viscosité en fonction des étapes de production du SMC

Cette réaction acide base ne fait pas intervenir la polymérisation et les liaisons créées sont à faible covalence et seront détruites facilement sous l'action de la chaleur et la pression. Un agent démoulant interne est également rajouté en faible concentration pour faciliter le démoulage de la pièce SMC après sa mise en forme. Finalement, des charges minérales permettent de modifier les caractéristiques du mat SMC et de la pièce finie. Ces modifications interviennent à tous les niveaux, résistance mécanique, résistance à la corrosion, masse volumique, retrait lors du moulage. Eventuellement, l'ajout de pigments permet de teindre dans la masse les pièces SMC (procédé appelé IMC pour In Mold Coating). La phase d'imprégnation s'effectue sur une machine d'imprégnation SMC (voir figure 5) qui récupère

le mélange effectué dans un giroflux[4]. La pâte finale obtenue est alors répartie vers les deux racles de la machine qui servent de réservoirs tampon et permettent un débit de pâte sur les deux films protecteurs (généralement en polyéthylène).

Le renfort, qui donne et détermine les caractéristiques mécaniques (résistance) à la pièce finale en SMC, est le plus souvent de la fibre de verre. Cette fibre de verre, enroulée comme une bobine de fil appelée *rowing*, est découpée en une multitude de petites longueurs de 10 à 50 millimètres (voir figure 5). Ces petits bouts de fibres sont déposés par gravité de manière complètement aléatoire pour former une couche de fibres enchevêtrées sur une couche de résine inférieure. Ces deux couches sont alors recouvertes d'une couche supérieure de résine et l'ensemble passe dans un train de calandrage pour homogénéiser l'ensemble et assurer l'imprégnation des fibres par la résine. Au final, on obtient une feuille de quelques millimètres d'épaisseur composée de trois couches interpénétrées : une couche de fibre prise entre deux couches de résine. L'ensemble est recouvert des deux côtés par les deux films protecteurs et peut être récupéré en fin de chaîne sous forme de rouleau. Il faut noter que les caractéristiques mécaniques de la pièce SMC dépendent de la proportion massique de fibre de verre dans la pièce (appelé taux de renforcement qui évolue généralement entre 10 et 40%). Cependant, il faut aussi remarquer que l'augmentation du taux de renforcement peut entraîner des problèmes d'imprégnation des fibres par la résine (il se produit alors le phénomène appelé essorage des fibres) qui va à l'encontre d'une bonne tenue mécanique.

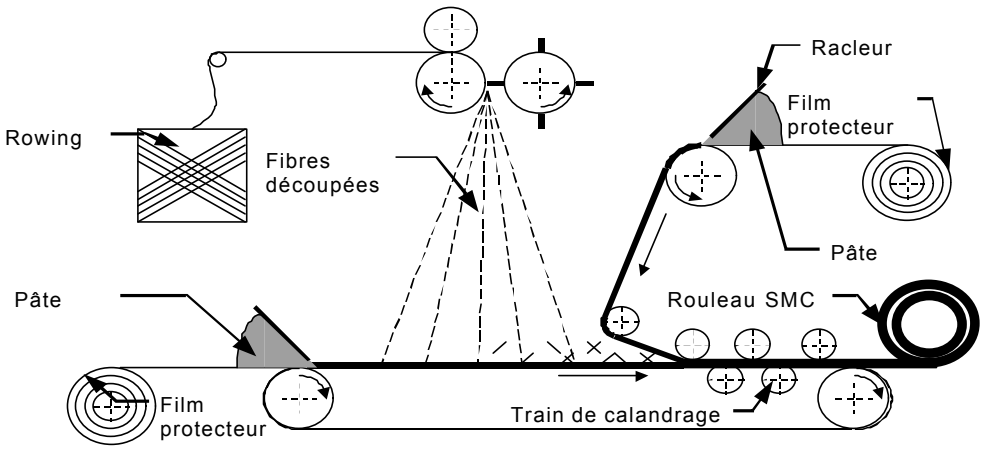


Figure 5 : Préparation des mats SMC

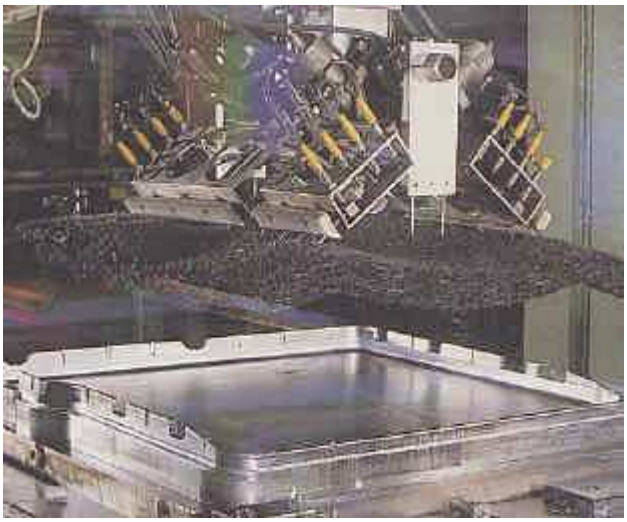
Suite à cette étape, le SMC se présente alors sous forme de rouleaux de mat pré-imprégné d'une largeur d'environ de 2 mètres. Pour que le mûrissement du matériau soit complet, ces rouleaux sont alors stockés pendant quelques jours dans des chambres contrôlées en température et en hydrométrie. Le mat SMC ainsi fabriqué peut être stocké pendant plusieurs semaines, cependant, cette période de stockage est très critique. En effet, il existe alors un risque d'amorçage de la polymérisation car le matériau est encore très sensible à la

[4] Le giroflux est un récipient qui permet de doser et de mélanger les différents éléments de la pâte.

température et à l'humidité. Malgré les protections, les caractéristiques du SMC peuvent évoluer d'un lot à l'autre de rouleaux et influer sur la qualité finale des pièces moulées.

II.1.3.2 L'opération de moulage des pièces

La deuxième étape dans la transformation du SMC est une opération de moulage des mats SMC par compression à chaud. Cette opération nécessite l'utilisation et la fabrication d'un moule pour chaque pièce qui est actionné par une presse hydraulique de compression. Ces moules sont fabriqués généralement dans de l'acier où une empreinte est obtenue par électroérosion (voir figure 6).



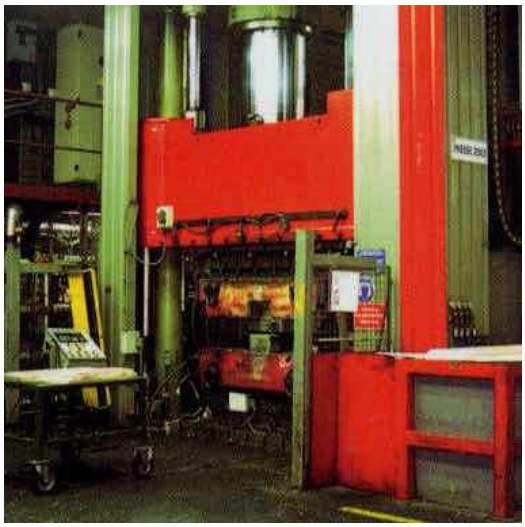


Figure 6 : Moule et presse du procédé SMC (source Inoplast et [Alliance 97])

Sa finition comporte un traitement de surface qui est fonction de la classe et de l'aspect souhaité pour la pièce. On distingue les moules de série, réalisés en acier traité, des moules de prototype, réalisés en aluminium. Les différences concernent le coût d'achat : 700KF à 2500KF pour un moule série en fonction des dimensions et de la complexité de la pièce, comparé à un moule prototype qui représente en moyenne le quart du prix d'un moule série. Cependant, les durées de vie sont différentes : plusieurs dizaines de pièces pour un moule prototype, et plusieurs années d'utilisation à des cadences de 800 pièces/jour pour un moule série[5]. Avant l'utilisation sous la presse, les moules sont placés dans une zone de préchauffe pendant plusieurs heures afin de préparer le moule à sa température d'utilisation. Son transport est ensuite effectué (généralement avec un transpalette car les moules pèsent plusieurs dizaines de tonnes) jusqu'à la presse. La plupart des grands transformateurs de pièces SMC possèdent une variété de presses allant de 400 à 3000 tonnes qui peuvent recevoir plusieurs moules en fonction de leurs dimensions (voir figure 6). Cette organisation nécessite de gérer une planification d'affectation des différentes presses en fonction de la demande car

[5] Il faut noter ici qu'il existe un problème lié aux cadences d'utilisation et notamment pour les petites séries qui ne correspondent pas à l'heure actuelle à des solutions économiques et techniquement valables en terme d'amortissement et de rentabilité des moules série en acier. Cependant, plusieurs études et recherches sur des moules fabriqués en nouveaux matériaux sont en cours, afin de répondre à des marchés plus spécifiques.

il faut compter entre une demi-heure et une heure pour effectuer le changement d'un moule sous une presse et tenir compte des temps de chauffage et préchauffage. Une fois que le moule est affecté à une presse, le lancement du moule débute par le branchement du circuit de chauffe afin de pouvoir régler la température des deux parties du moule : la matrice et le poinçon (voir figure 7). Les températures du poinçon se situent vers les 140-145° par contre la matrice est chauffée à une température plus élevée que le poinçon (10 degrés de différence environ) pour éviter tout problème de blocage lié à la dilatation de la matière. En effet, les moules SMC sont quasi-hermétiques (il existe un jeu de 0,5 à 1 dixième entre la matrice et le poinçon) et à pression positive (le moule supérieur ne repose pas sur des cales en fin de course et peut ainsi exercer une pression effective sur la matière jusqu'au démoulage).

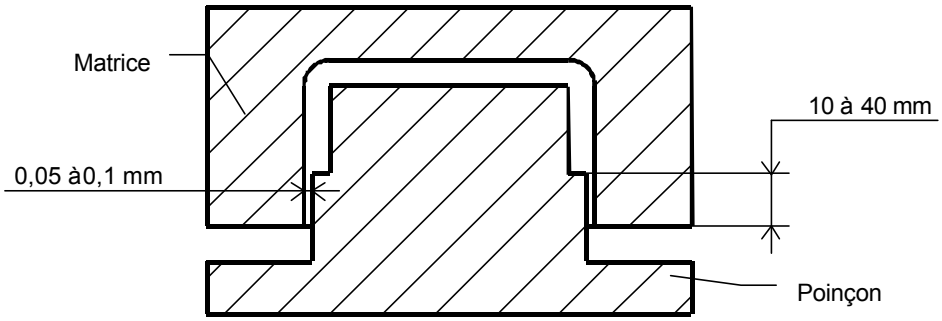


Figure 7 : Représentation schématique d'un moule SMC

Les réglages préliminaires sont effectués par un acteur très important dans la production de pièce SMC : le technicien de moulage. Ce dernier vérifie en plusieurs points la température du moule pour repérer les zones froides. Il règle ensuite les paramètres de pression et de vitesses de déplacement de la partie supérieure du moule et ajuste également les cales de sécurité qui servent à bloquer la presse en butée uniquement en cas de manque de matière. Les vitesses sont réglées par paliers : un premier correspond à une approche rapide, le second correspond à une vitesse lente qui permet un premier contact avec la matière et un début de compression, le dernier palier correspond à une vitesse très lente pour terminer la phase de compression. Plusieurs essais à vide permettent de vérifier le bon fonctionnement des vérins (presse et éjecteurs de pièces). Ensuite, pour les premières moulées, on vaporise un agent démoulant afin de faciliter l'extraction des premières pièces. La matière première est découpée en plusieurs tranches ou bandes à partir des rouleaux pour obtenir un empilement dont la masse est légèrement supérieure à quelques grammes près par rapport à celle de la pièce voulue. Ces empilements sont alors placés manuellement en un ou plusieurs endroits du moule et définissent ce que l'on appelle le plan de chargement. Ce plan de chargement est une étape très importante pour la qualité finale des pièces car il conditionne le fluage (déplacement) de la matière dans le moule. De ce fait, il influe principalement sur la qualité finale de l'aspect mais également sur la tenue mécanique des pièces. En effet, le plan de chargement va conditionner le mouvement de la matière dans le moule et déterminer le bon remplissage ou non de ce dernier et définir ce que l'on appelle les lignes de recollement de matière dans le moule (voir les étapes de la figure 8). En fonction du placement des empilements de mats

(étape 1), sous l'effet de la pression, la matière va se déplacer suivant la géométrie du moule (étape 2). Parfois, il se peut que ces écoulements de matière se divisent (étape 3), et se rejoignent en un endroit du moule que l'on désigne par la ligne de raccordement (étape 4). A ce niveau, il se produit un phénomène de rencontre entre deux flux de matière qui ne s'interpénètrent pas toujours de manière homogène à cause de la présence de fibre de verre et des phénomènes d'essorage.

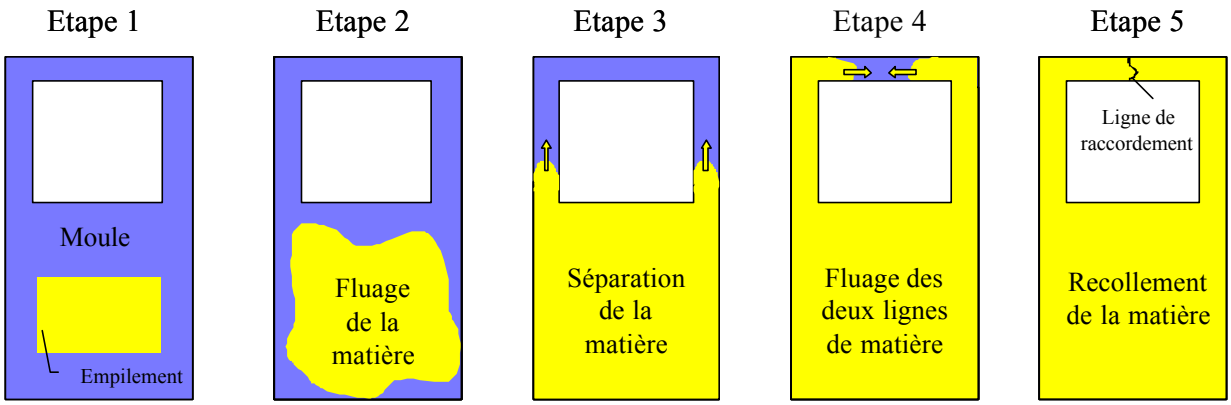


Figure 8 : Fluage et raccordement du SMC dans le moule

Ce point est très important car contrairement à ce que l'on pourrait penser, la tenue mécanique optimale d'une pièce en SMC ne correspond pas assurément à une valeur maximum du taux de renforcement. Par contre, cette tenue mécanique optimale est une combinaison d'un taux de renforcement optimal et d'une configuration particulière du plan de chargement permettant de favoriser une homogénéité de la matière dans le moule et le long des lignes de raccordement. A ce sujet, nous verrons par la suite que les concepteurs essayent de prévoir ces plans de chargement afin d'orienter les lignes de raccordement sur des zones peu sollicitées mécaniquement. Cependant, face à une lacune actuelle des outils de modélisation du comportement de la matière dans le moule, cette prévision concernant les plans de chargement se fait essentiellement grâce à des connaissances empiriques sur le process. Parmi les acteurs détenant cette connaissance, le technicien de moulage est un acteur qui développe une grande expertise et un savoir-faire sur le process. Cette connaissance est le fruit de son activité journalière en tant que régleur et ajusteur (température, pression, plan de chargement, temps de cuisson) auprès des moules qui lui permet de développer une forte compétence très empirique sur le procédé de fabrication de pièces SMC. Il semble qu'il existe un enjeu à intégrer d'avantage cet acteur dans le processus de conception des pièces SMC. Nous retrouvons ici des analogies avec le cas des filières d'extrusion de profilés aluminium exposé dans [Ravaille et Cescutti 98] où, dès la phase de conception, l'intégration et le partage des connaissances des acteurs du process spécialisés dans le réglage des filières aluminium ont permis une réduction significative des défauts sur les profilés. Cependant, nous touchons ici à une difficulté et une particularité du SMC où les connaissances concernant ce matériau sont encore très empiriques, peu formalisées et donc difficilement partageables entre les acteurs.

Revenons maintenant sur les étapes du process. La matière est déposée dans le moule selon le plan de chargement et, une fois fermé, le moule reste en compression sur la matière pendant un temps de « cuisson » variant de 1 à 2 minutes, réglé au préalable par le technicien de moulage. Pendant la phase de fluage, l'agent inhibiteur empêche la polymérisation de la résine polyester pour éviter un remplissage non homogène du moule et des mauvaises caractéristiques mécaniques de la pièce. Quand le moule est presque rempli, l'agent catalyseur amorce la polymérisation. Cette dernière n'est pas toujours homogène et sa durée est fonction de l'épaisseur de la pièce. La polymérisation étant une réaction exothermique, la température augmente jusqu'à atteindre un pic exothermique, puis la température redescend (voir figure 9).

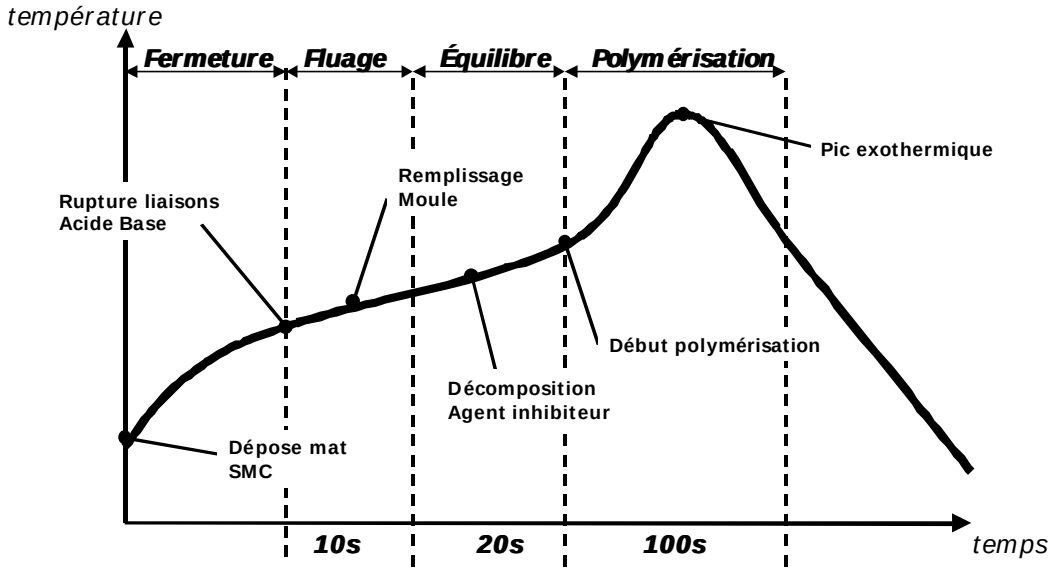


Figure 9 : Evolution de la température lors du moulage SMC

A l'ouverture, un opérateur peut ensuite prendre la pièce obtenue dont le démoulage est facilité par les éjecteurs du moule. Il faut noter que la pièce présente déjà une raideur suffisante pour être manipulée même si la polymérisation peut continuer en sortie de moule. Un premier contrôle visuel ou à l'aide de bleu de méthylène[6], permet de juger si la pièce obtenue est de bonne qualité. Puis, la pièce est ébavurée pour enlever le léger surplus de matière sur sa périphérie, et continue vers les étapes suivantes qui peuvent comporter des phases d'usinage, de montage d'éléments de fixation (inserts, rondelles de serrage,...), des étapes de finition (ponçage, apprêt, peinture, montage de pièces supplémentaires (poignées, feux,...), une phase d'emballage et de stockage et finalement la livraison chez le client.

Pour terminer le parcours du cycle de vie d'une pièce en SMC, plusieurs possibilités sont envisageables pour le recyclage des pièces fabriquées avec ce matériau. En effet, la première

[6] Le bleu de méthylène permet de révéler les petites fissures qui sont difficilement visibles à l'œil nu.

opération consiste à récupérer et broyer les pièces en fin de vie. Le résultat obtenu peut être alors utilisé comme charge pour fabriquer d'autres pièces ou bien être injecté dans la formulation des revêtements autoroutiers afin d'en améliorer la tenue aux fissures. A ce sujet, suite à la pression exercée par les principales industries consommatrices de SMC (transport et électrotechnique) concernant des attentes en terme de recyclage à l'échelle industrielle, plusieurs associations de fabricants de SMC et de matières premières ont vu le jour en Europe (ERCOM en 1991) et en en France (VALCOR) pour s'occuper de cet aspect.

II.1.3.3 Les spécificités de la filière SMC

Les différentes étapes de la fabrication de la matière première à l'industrialisation d'une pièce en SMC, nécessitent de faire intervenir et coopérer un grand nombre d'acteurs : des chimistes et des transformateurs de minéraux (verriers) pour la fabrication des matières premières (résines, fibre de verre), des fabricants de pré-imprégnés pour la réalisation des mats, des moulistes (pour fabriquer les outillages), des transformateurs (pour les opérations de moulage), et finalement le donneur d'ordres ou client (voir figure 10).

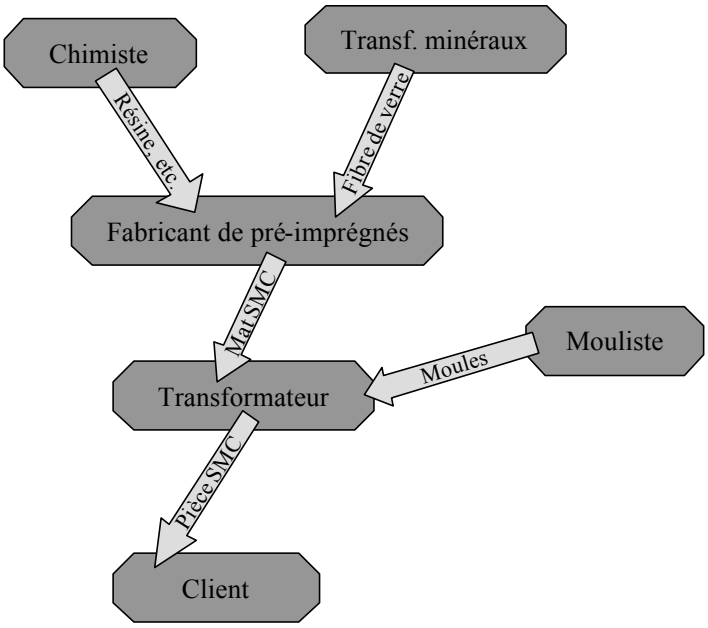


Figure 10 : La filière de production d'une pièce SMC

Il faut noter qu'il existe des disparités importantes de taille entre les différents protagonistes de cette filière. Si les chimistes et les transformateurs de minéraux (les verriers) sont généralement de grandes entreprises appartenant à de grands groupes multinationaux, les moulistes, les fabricants de pré-imprégnés et les transformateurs sont généralement de petites entreprises (de quelques employés) ou parfois des entreprises moyennes pour les plus grands de ce marché. La taille de l'entreprise du client est variable car le marché du SMC touche les PME comme les grandes entreprises dans différents secteurs. Ces effets de taille peuvent venir influer les relations qu'entretiennent ces acteurs au sein de la filière. De plus, il faut remarquer que les entreprises les plus petites sont celles qui sont au plus près du procédé SMC et qui néanmoins, possèdent ces compétences et le savoir-faire empirique sur la

conception et la fabrication de ce matériau. De ce fait, grâce à leurs compétences sur le SMC, ces entreprises conservent une certaine position stratégique au sein de cette filière par rapport aux grandes entreprises.

Cependant, il faut noter que l'utilisation des SMC nécessite une industrie amont (fabricants de matière première, de mat SMC, moulistes, transformateurs) qui soit forte économiquement, innovante et bien structurée pour rivaliser avec les industries leaders déjà en place comme la sidérurgie. En effet, l'objectif est d'assurer une continuité et une coordination de l'amont vers l'aval pour proposer des pièces SMC compétitives au client final. Ceci implique également de posséder une taille économique critique et une dimension internationale permettant de rivaliser sur des marchés significatifs. A ce sujet, une démarche a déjà été initiée au début des années 1990 aux Etats-Unis où 6 sociétés (GEN-CORP, BUDD, PREMIX GMS, ROCK WELL, EAGLE-PICHER, GOOD-YEAR) contrôlaient 80 % de la transformation du SMC et présentaient une très forte intégration verticale (mouliste, matières premières, transformation). De plus, l'industrie américaine des composites avait mis en place un programme de recherche et développement sur les SMC dans le domaine des transports : le SMC Automotive Alliance (SMCAA) regroupant de nombreux acteurs de la filière SMC et soutenue par de grands groupes de l'industrie automobile comme Ford et General Motors. De son côté l'Allemagne s'est également engagée dans cette voie en créant en 1993 un groupement nommé « The European Alliance for SMC ».

II.1.3.4 Les spécificités de la conception des pièces SMC

La conception de pièces SMC est une activité complexe et spécifique car elle dépend de nombreuses caractéristiques et de facteurs du process qui ne sont pas encore complètement maîtrisés et formalisés. De plus, le procédé de fabrication SMC fait face à un problème de variabilité sur la qualité des pièces qui complexifie davantage l'activité de conception de ces dernières.

Par exemple, le déplacement et l'orientation des fibres lors de l'étape de fluage confèrent à ce matériau un comportement mécanique avec des caractéristiques d'anisotropie très marquées. Si certaines recherches en cours [Le Corre et al. 00] essayent de prévoir ces orientations de fibres pour la modélisation du matériau et tenir compte de cette anisotropie, les outils de simulations et de calculs actuels montrent ici leur limite en terme d'assistance aux concepteurs.

Nous avons également soulevé au paragraphe II.1.3.2, le problème des plans de chargement qui influent sur la tenue mécanique et le remplissage du moule. Cette caractéristique doit être prise en compte dès la phase de conception et notamment lors de la définition des éventuels systèmes d'assemblages de la pièce SMC.

De plus, il faut noter que la forme d'une pièce SMC est obtenue en même temps que le matériau est élaboré. En effet, nous avons vu que lors de la formation de la pièce dans le

moule, il y a une action conjointe physico-chimique très complexe, conditionnée par de nombreux paramètres (pression, température, plan de chargement, temps de cuisson, etc.) qui influent sur la qualité finale des pièces. De plus, les caractéristiques du procédé par compression et du matériau SMC autorisent des formes complexes mais impliquent une forte dépendance entre la forme de la pièce et la formulation du matériau.

De ce fait, concevoir un application en SMC nécessite de penser de manière interactive à la conception de la pièce et à ses contraintes mais également à la formulation de la matière et aux paramètres et caractéristiques liés au procédé de moulage par compression. Cependant, comme nous l'avons vu précédemment, nous sommes en face d'un manque de formalisation et de modélisation de ces phénomènes liés aux différentes étapes de fabrication du SMC.

Cette spécificité nécessite une intégration produit/process très forte mais dans un contexte où les connaissances sont encore très empiriques sur certains points importants du développement. Dès lors, les coopérations et les collaborations entre les différents acteurs de la filière prennent une dimension très stratégique et complexe. Sur le schéma de la figure 10, la filière de production d'une pièce SMC semble se dérouler de manière linéaire et séquentielle, par contre, l'activité de conception avec ce type de matériau composite nécessite des coopérations à plusieurs niveaux entre les différents acteurs de la filière. De plus, ces coopérations s'inscrivent dans un contexte industriel avec des modalités de partage des informations complexifiées par les aspects de concurrence. La figure 11 montre un exemple non exhaustif des différentes situations et relations que peuvent entretenir ces acteurs au sein de la filière et nous permet d'illustrer ces effets de la concurrence.

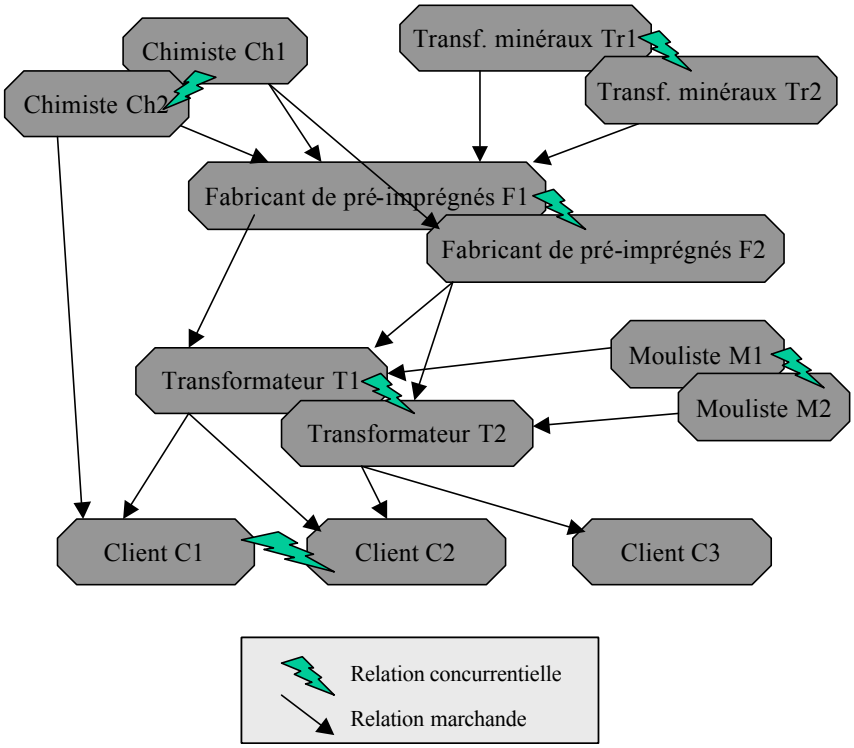


Figure 11 : Le réseau d'acteurs de la filière SMC et des exemples de leur relation

Sur la figure 11, prenons l'exemple du transformateur T1 qui fournit des pièces pour les clients C1 et C2. Les relations de coopération qu'entretient T1 avec ses donneurs d'ordres peuvent être influencées par le fait que ses clients sont concurrents sur un marché. De même, le transformateur T1 peut également être sensible au fait que son client C2 travaille également avec son concurrent (le transformateur T2). Les acteurs peuvent ainsi être incités à garder certaines informations ou résultats pour éviter une diffusion à leurs concurrents. Inversement, ils peuvent bénéficier de certains développements et résultats de collaborations de leurs partenaires avec un concurrent. Ce réseau contraint par des questions de concurrence et de confidentialité, ainsi que les effets de taille présentés précédemment, problématisent d'avantage la question des coopérations entre ces acteurs qui peuvent être freinées ou accélérées suivant les cas.

II.1.4 Présentation du projet Action Composites

En réponse à l'enjeu que peut représenter l'utilisation des SMC dans l'industrie des transports et de l'électrotechnique, et des difficultés liées à cette filière, un consortium de recherche pluridisciplinaire portant sur ces matériaux a été mis en place en région Rhône Alpes en 1997. Ce consortium est composé de 6 laboratoires de recherche situés à Grenoble, Lyon, et Chambéry spécialisés dans les domaines de la conception mécanique, de la mécanique des matériaux, de la chimie des matériaux, de la physique des matériaux, et de la sociologie industrielle. Egalement, 4 partenaires industriels (RENAULT SA, RENAULT V.I, INOPLAST, SCHNEIDER ELECTRIC) font partie de ce consortium et sont, soit des transformateurs, soit des clients-utilisateurs de pièces SMC. Cette action de recherche sur le SMC est organisée autour de 3 thèmes d'étude qui correspondent à trois approches complémentaires (voir figure 12).

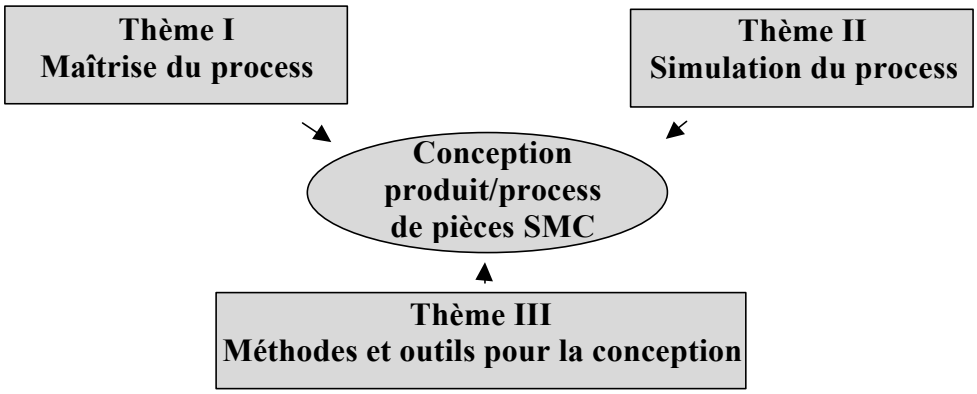


Figure 12 : Consortium de recherche du projet Action Composites

Le thème 1 est une **approche expérimentale** qui a pour but la détermination des caractéristiques rhéologiques des constituants, matrice et renfort, pendant le mûrissement, et pendant la mise en forme afin d'identifier les paramètres influant sur la qualité des pièces en SMC.

Le thème 2 concerne la **modélisation** et la **simulation numérique** du comportement du SMC dans le moule d'une part, à partir de modèles viscoplastiques couplés d'autre part, en utilisant une approche biphasique.

Le thème 3 est directement en relation avec cette thèse et concerne les **méthodologies** et les **outils d'aide à la conception** qui peuvent être des points de passage indispensables pour une intégration en amont plus efficace de ces matériaux dans les processus de conception. Le but est ici de mettre à jour et de créer des connaissances nécessaires sur la conception des pièces SMC afin de développer ou adapter des outils ou des méthodes pour aider les acteurs dans les projets impliquant ces matériaux composites.

De ce fait, les thèmes 1 et 2 sont orientés principalement sur le procédé de fabrication et tendent d'une certaine manière à formaliser et modéliser le comportement du matériau afin de l'intégrer dans des outils de simulation. Le thème 3, qui nous concerne directement dans cette thèse, est orienté sur la conception de pièces SMC et les connaissances relatives à cette activité. En effet, lors de la conception, les connaissances et les outils mobilisés sont multiples et portent à la fois sur le produit et sur le process. L'enjeu consiste à imaginer des dispositifs permettant de rapprocher et de confronter ces connaissances pour une intégration produit/process effective. Dans cette optique, le thème 3 s'appuie sur un dispositif de recherche interdisciplinaire que nous allons présenter dans le prochain paragraphe.

II.2 Dispositif de recherche du Thème III

II.2.1 Une collaboration interdisciplinaire CRISTO-3S-LMPC pour une approche socio-technique

L'activité de conception est une activité dont la dimension collective et interactive est primordiale. Il est maintenant établi que cette activité est distribuée entre un nombre important d'acteurs comme nous venons de le voir dans les paragraphes précédents. Le projet Conception Intégrée du Laboratoire 3S (Sols, Solides, Structures) a pour objet de développer des outils et/ou des méthodes pour aider les acteurs dans cette activité complexe qu'est la conception distribuée. Parallèlement, au laboratoire CRISTO (Centre de Recherche : Innovation Socio-Technique et Organisations industrielles), certains travaux portaient sur la conduite de projet et notamment [Jeantet et Tiger 88] sur l'activité de conception de machine-outil. Le croisement et le lien entre ces thématiques montraient alors un enjeu à développer un programme de recherche commun qui à été initié en 1990 entre les deux laboratoires. Ce programme a permis un rapprochement progressif entre mécaniciens et sociologues pour construire une posture commune et ouvrant un nouveau champ de recherche qui vise à développer simultanément, et de manière interactive, les connaissances sur l'activité de conception et de nouveaux outils d'aide dédiés à cette activité. La collaboration initiée maintenant depuis plus de dix ans entre les deux laboratoires, se traduit par de nombreuses recherches communes et thèses co-encadrées sur lesquelles nous reviendrons plus précisément au cours de cette thèse. C'est dans cette dynamique que s'inscrit également cette thèse et par

ailleurs, dans le cadre d'une recherche portant sur les méthodes et outils concernant la conception de pièces en matériaux composites SMC, il nous a paru également très intéressant de nous entourer de spécialistes du SMC du laboratoire LMPC (Laboratoire Matériaux Polymères Composites) de Chambéry.

II.2.2 Une méthodologie de recherche intervention

Dans cette optique, appréhender et instrumenter cette activité de conception, nécessite d'aborder le terrain industriel par une approche résolument inductive. En effet, avec cette approche, le terrain industriel est vu comme un lieu et une source d'observation des pratiques de conception permettant une construction conjointe (industriels et chercheurs) d'une problématique. Cette posture modifie la vision du terrain industriel que l'on rencontre souvent dans le domaine des sciences pour l'ingénieur qui considère le terrain industriel comme un lieu d'application et de validation des théories. Dans notre cas, le terrain n'est pas seulement un lieu d'application, mais également un lieu permettant l'expérimentation et la confrontation des concepts et des outils imaginés à partir de la réalité du terrain. Dans notre recherche sur les composites, le passage par le terrain s'est rapidement révélé comme une étape incontournable car nous étions très tôt confrontés à un manque de connaissance sur l'activité de conception impliquant des matériaux composites tels que les SMC. Au départ de cette recherche, nombreuses étaient nos questions : Qui sont les concepteurs des applications en SMC ? Quels sont les problèmes rencontrés liés aux spécificités du SMC ? Quelles sont les connaissances mobilisées et qui les détient ? Quels outils sont utilisés ? Pour y répondre, il a donc été nécessaire d'aller observer dans les entreprises les acteurs en situation de conception effective afin de comprendre l'action et de définir le cadre de cette recherche et la problématique.

L'action de conception qui nous intéresse ici, est par essence de nature mécanique mais nous avons commencé à montrer dans les paragraphes précédents, que cette activité n'est pas uniquement technique, ni le résultat de l'application de savoirs scientifiques et technologiques. Elle présente également une forte dimension sociale [Buccarelli 88] car elle est portée par des acteurs qui vont réfléchir, inter-agir, s'opposer, développer des stratégies et en ce sens, elle constitue bien un objet d'intérêt pour le sociologue. Cependant, les logiques des acteurs, leurs relations avec les autres membres de l'organisation, les passions, les habitudes, les valeurs pour lesquelles les acteurs vont se battre et les variables pertinentes pour en décrire le fonctionnement ne sont pas des données que l'on peut appréhender sans être au plus près de l'action et sans une observation directe de l'activité de conception. L'objectif est de comprendre cette action sans se restreindre à une plate description d'objets et de mécanismes dont les acteurs seraient absents. Nous avons besoin de voir au plus près cette action de conception, nous en imprégner, et la décrire, pour l'interroger puis prendre du recul. De ce fait, il en résulte des descriptions qui ne sont pas uniquement neutres, car complétées par des interprétations et des points de vue confrontés aux observations du terrain. De ce fait, ce travail de recherche se veut résolument interdisciplinaire par un co-encadrement mécanicien et sociologue pour comprendre cette activité complexe de la conception. Cette

méthodologie demande alors au doctorant issu d'une formation génie mécanique de s'imprégner des problématiques, des concepts et des méthodes des sciences sociales pour guider son approche et sa réflexion sur l'action de conception.

II.2.3 L'étude de terrain : une posture particulière d'observateur et d'acteur

Notre entrée sur le terrain par une immersion de longue durée dans les entreprises partenaires, nous permet de décrire finement la réalité du travail quotidien des acteurs. Dans cette posture « d'observation participante » de l'action en train de se dérouler, nous sommes tout d'abord des mécaniciens observateurs qui peuvent rentrer dans la conception et s'efforcer de comprendre son contenu afin de saisir ce qui se joue réellement entre les acteurs. De ces descriptions du terrain ressort une caractéristique prépondérante de notre approche qui cherche à rendre compte de la performance c'est à dire qui « cherche à comprendre l'action et ce qu'elle produit » [Vinck 99]. Pour cela, nous observons les pratiques quotidiennes et nous nous attachons à comprendre les logiques et les stratégies développées par les acteurs.

Cependant, dans cette posture d'observation participante, notre position de mécanicien observateur n'est pas totalement neutre et ne cherche pas à être complètement objective. Nous allons voir que dans le cadre de cette recherche sur la conception de pièce SMC, il a été nécessaire d'initier et de soutenir la proposition et l'intégration de ces matériaux dans le BE. Dès lors, notre statut initial de mécanicien observateur, va progressivement se compléter d'une posture d'acteur. En effet, notre simple présence modifie le contexte dans lequel nous nous trouvons. Nous sommes sur le terrain et nous modifions l'action car les acteurs sont au courant de notre recherche, et par conséquent, agissent en tenant compte de ce paramètre. Nous posons des questions, nous travaillons et discutons sur les objets qu'ils produisent, ils nous soulignent des détails qu'ils estiment importants, ils nous font des confidences ou inversement nous cachent des informations, ils nous introduisent dans certaines réunions. Bref, les interactions existent, sont inévitables, et influent sur nos descriptions. Cependant, même un ethnologue ne peut avoir cette prétention de l'objectivité car sa propre présence sur le terrain modifie également la réalité de l'action des acteurs. Mais en partant de ce principe, notre position va encore plus loin : puisque l'observateur modifie le contexte dans lequel il se trouve immergé, autant qu'il le fasse consciemment en se positionnant clairement comme acteur du changement analysant les perturbations provoquées par sa présence. La position de l'observateur n'est plus objective mais la réalité est faite de dynamiques d'action avec lesquelles l'observateur, de par sa présence, entre en interaction. Dans ce cas, autant en accepter ce principe et s'interroger sur ce que produit cette position d'observateur et d'acteur. A ce sujet, dans le domaine de la gestion, [Moisdon 84] utilise le terme d'interaction continue pour qualifier cette méthodologie de recherche intervention où les chercheurs et les acteurs de l'entreprise échangent constamment des points de vue et des modes de représentation issus de leurs champs respectifs de contraintes et d'enjeux. Cependant, ces champs sont rarement superposables et l'ajustement de ce décalage rend l'interaction susceptible de produire de nouvelles connaissances, à la fois pour les chercheurs et pour les acteurs de l'entreprise. Les

questions que nous nous posons en tant que chercheurs sont aussi celles que peuvent se poser des acteurs de l'entreprise. Qu'est-ce qui fait que certains dispositifs de conception sont efficaces ou non et pourquoi peuvent-ils produire des effets positifs ou néfastes ? Comment analyser l'activité des acteurs, et notamment le travail de conception, pour développer et proposer de nouvelles méthodes et de nouveaux outils ? Quels sont les enseignements que l'on peut mettre à jour de ces situations d'usage et des pratiques effectives pour la conception des instruments de l'action ?

Ces questions n'ont pas une réponse simple et générale pour les chercheurs, et également pour les acteurs dans l'entreprise qui sont pourtant au cœur de cette action. En effet, comme le souligne [Moisdon 97], les acteurs n'ont qu'une perception limitée des différents champs de force qui conditionnent leur fonction. D'autre part, ils ne sont que partiellement conscients de la façon dont leurs propres représentations se sont peu à peu constituées pour les guider dans leurs choix quotidiens, enfin, même si leur connaissance des problèmes était complète, il ne la livreraient sans doute pas spontanément à un observateur extérieur. Il convient donc d'entrer plus finement dans les détails de l'action avec les acteurs en participant, en interne, à des projets de manière interactive. Cette approche permet alors de saisir comment les logiques d'action et les stratégies développées par les acteurs se coordonnent, s'opposent et tant à guider le fonctionnement global. Dans la dynamique de l'action, les questions, les réflexions et tous les échanges entre chercheurs et acteurs sur le terrain permettent de recueillir alors une matière première (les corpus des observations, des entretiens, etc.) qui comporte d'une part une certaine description de l'action, mais également les réflexions des chercheurs et des acteurs sur l'action. Nous retrouvons ici l'intérêt et l'enjeu de la conversation réflexive avec la situation présentée dans [Schön 91] qui considère que « la réflexion en cours d'action et sur l'action » (traduction de *reflexion in action*) permet d'édifier de nouvelles théories sur des cas particuliers de situations en mettant à jour la complexité des actions.

Cette posture de recherche intervention constitue une action forte dans l'organisation en place, et cette action est source de nouvelles connaissances. Cependant, cette méthodologie s'appuie sur plusieurs principes [Hatchuel 88]

- un « principe de rationalité accrue » : il traduit une action sur les connaissances en place mais également sur les interactions des acteurs, l'objectif étant la recherche d'une meilleure adéquation entre ces éléments.
- un « principe d'inachèvement » : c'est à dire qu'aucun acteur ne contrôle totalement le processus d'intervention. A l'instar de la situation de notre projet de développement de pièce SMC (cf. paragraphes suivants), personne n'est sûr du résultat de l'action, y compris les initiateurs.
- un « principe de scientificité et d'isonomie » : l'intervenant ou le chercheur s'interroge sur les conditions de validation des savoirs qui sont en place dans l'organisation et prend en compte l'ensemble des points de vue en présence.

- un « principe de deux niveaux d'interaction » :
  - le dispositif d'intervention : l'intervenant ou « l'acteur délocalisé » construit ses relations aux acteurs en fonction du déroulement de l'intervention sur le terrain. D'une part il complexifie l'organisation dans laquelle il se trouve. D'autre part, il n'existe pas de procédure d'intervention prédéfinie mais une action sur laquelle il faut porter attention, car porteuse des changements et de l'émergence de nouvelles connaissances.
  - l'évolution des connaissances : à travers la confrontation des connaissances des acteurs du processus et celles de l'intervenant.

Cependant, ce principe de confrontation des points de vue entre chercheurs et acteurs de l'entreprise suppose que ces derniers se prêtent réellement à un tel jeu. Cette condition implique que cette opération doit constituer un réel enjeu pour que les acteurs, soumis à leurs contraintes habituelles et journalières, acceptent cette étude. Dans le cas de notre recherche, nous avons vu qu'il existe un enjeu industriel certain concernant la conception de pièces avec ces matériaux SMC, cependant, nous allons voir (paragraphe II.3.1.3) que cet enjeu n'est pas perçu de manière identique par tous les acteurs au sein des entreprises partenaires et plus encore au sein de différents services d'une entreprise. Notre recherche intervention va consister à œuvrer dans le sens d'une construction et d'un partage de cet enjeu auprès d'un nombre important d'acteurs.

Le paragraphe suivant ainsi que le chapitre 2 sur l'histoire de la conception d'une pièce SMC, nous donneront l'occasion d'illustrer ces différents principes et de montrer également que le statut du chercheur sur le terrain peut évoluer en fonction du contexte de l'étude. Au cours du paragraphe suivant, nous allons retranscrire nos premières observations et analyses faites dans l'entreprise Renault VI de façon à permettre au lecteur de comprendre le contexte industriel initial que nous avons rencontré pour cette étude de terrain. Cette description permettra de mieux cerner les difficultés auxquelles est soumise l'intégration d'un « nouveau matériau » comme le SMC dans un bureau d'études. Le but d'une telle description est de mettre à jour les raisons qui poussent les acteurs à rester dans des technologies utilisées traditionnellement et tend à illustrer le décalage des connaissances que nous avons identifié précédemment et qui peut caractériser une situation innovante.

II.3 De l'acier au matériau composite SMC : Quelles distances ?

II.3.1 RENAULT V.I. et les composites

II.3.1.1 Un acteur particulier pour l'intégration des composites : le Laboratoire Matériaux

Dans le cadre du projet Action Composites, notre principal interlocuteur chez Renault VI est un service particulier de l'entreprise que l'on désignera par le terme de Laboratoire Matériaux. En effet, si l'on retrace l'histoire de cette entreprise avec les composites, on

s'aperçoit que cet acteur a joué un rôle particulier pour favoriser l'introduction de ces matériaux dans l'entreprise.

Le Laboratoire Matériaux est un département qui a plusieurs fonctions et missions au sein de l'entreprise. Tout d'abord, il doit assister et conseiller l'ensemble des bureaux d'études (et également les sites de fabrication) pour la spécification des matériaux (tant organiques que métalliques) par un appui technique lors des projets. Il a aussi à charge de réaliser des essais et des expertises sur pièces détériorées lors des tests sur bancs de simulation, pistes d'essais, ou chez le client. Il assure la gestion des teintes des véhicules, la validation des gammes de traitements de surface, de peinture et collage. Il coordonne également les actions dans le domaine de la protection de l'environnement pour l'ensemble des sites de l'entreprise (notamment pour l'obtention de la certification ISO14000). Pour terminer, son rôle est d'assurer également une veille technologique et d'analyses de la concurrence en terme de nouvelles applications produit/process. Pour cela, le laboratoire est organisé en plusieurs équipes : matériaux métalliques, matériaux organiques, fluides fonctionnels et pollution, protection peinture, et environnement industriel. Dans le cadre de cette recherche sur le SMC, nous avons essentiellement travaillé avec l'équipe matériaux organiques qui regroupe plusieurs experts spécialisés dans les matériaux organiques et leurs procédés associés (technologies des polymères, des composites, et élastomères). Chaque expert matériaux (EM) est rattaché à un bureau d'étude de l'entreprise et son rôle est d'apporter des éléments techniques lors des projets dans le choix des matériaux organiques ainsi que de valider les propositions des fournisseurs, soit à partir de dossiers techniques d'essais que les EM auront réalisés eux-mêmes ou bien sous traités, soit après réalisation au laboratoire des essais. De ce fait, depuis la création de ces postes au début des années 1990, les EM ont joué un rôle très stratégique dans l'introduction de nouveaux matériaux comme les composites. Nous reviendrons plus en détail sur ces acteurs au chapitre 3 qui sera consacré essentiellement à l'étude de leur rôle, notamment dans le cadre de l'intégration de nouveaux matériaux dans les BE.

II.3.1.2 Les « BE » : des compétences très hétérogènes sur les matériaux composites

Les composites chez RENAULT V.I. ont une longue histoire jalonnée d'expériences diverses, riches en enseignements et en rebondissements que l'on peut mettre en parallèle avec l'évolution technico-économique de ces matériaux. Le savoir-faire industriel de RENAULT V.I. sur les composites a été développé par l'intégration de l'unité de transformation des Composites sur le site de Vénissieux jusqu'à son externalisation en 1995. Les composites sont aujourd'hui utilisés sur des applications aussi variées que les panneaux de carrosserie (portes, pavillons, calandres), les pièces semi-structurelles (face avant, boucliers avant), les pièces du compartiment moteur (couvre culasse, cuvette d'huile). Le véhicule phare de la gamme, le Magnum qui est commercialisé depuis 1990, contient environ 160 Kg de SMC. Cependant, il faut noter que l'histoire de RENAULT V.I. avec les composites révèle des inégalités entre les bureaux d'études que nous avons rencontrés au cours de notre étude de terrain. En effet, les

BE sont des départements transversaux qui ont une activité sur toutes les gammes de véhicule : la gamme « haute » avec l'exemple du Magnum, la gamme «haute économique » avec l'exemple du Premium, la gamme « légère et intermédiaire » avec l'exemple du Midlum. Ils sont regroupés en fonction du périmètre d'études sur le véhicule. Ainsi, nous distinguerons les principaux départements qui sont le BE cabine, le BE moteur, le BE châssis. Chacun de ces départements a développé un parcours et des approches différentes en matière de conceptions composites. Si nous croisons nos différents contacts sur le terrain et les observations faites dans [Salinas 98], nous pouvons dresser schématiquement une typologie de l'ouverture de ces différents BE vers les composites :

- Le BE cabine est un département qui doit innover et qui aime innover pour pouvoir se démarquer par rapport à la concurrence (la cabine d'un véhicule industriel est un élément très visible et reste la partie « en contact direct » avec l'utilisateur). De ce fait, c'est un BE qui est très ouvert aux possibilités offertes par les nouveaux matériaux pour la liberté de style. De plus, la plupart des concepteurs maîtrisent déjà plusieurs technologies : matériaux métalliques, plastiques et composites.
- Le BE moteur est un département avec une forte culture métallurgique mais qui s'ouvre progressivement aux matériaux comme les composites et les plastiques grâce aux actions du Laboratoire Matériaux. En effet, ce BE est amené de plus en plus à étudier ces alternatives à cause des contraintes de réglementation (notamment sur la pollution). Par contre, les concepteurs de ce BE ont développé moins d'expertise sur les matériaux organiques que le BE cabine.
- Le BE châssis est dans l'ensemble un département qui possède une très forte culture métallurgique et qui est moins ouvert à l'utilisation des matériaux composites et plastiques. Cependant, quelques applications utilisant des matériaux organiques ont pu être mise en place (coffres à outils, ailes sur tracteur, et réservoirs en plastique). Ainsi, la partie cadre-châssis qui constitue la structure du véhicule reste un lieu où les technologies métalliques sont peu remises en cause.

Nous voyons que ces différences d'utilisation peuvent être reliées au périmètre d'action et d'études de ces BE. Par ailleurs, nous allons voir que les connaissances explicites et tacites ainsi que les apprentissages de ces BE face aux composites sont des éléments qui peuvent expliquer les situations actuelles.

II.3.1.3 Un double enjeu pour le Laboratoire Matériaux concernant le « projet composite »

Suite aux premiers essais d'une traverse châssis en SMC réalisée par Mack Truck (filiale de RENAULT V.I. aux Etats Unis), le Laboratoire Matériaux a vu l'occasion avec le projet Action Composites, de diffuser son expertise concernant le SMC auprès d'un bureau d'études non-spécialiste du composite. Le laboratoire propose alors aux responsables BE de la fonction châssis de développer une nouvelle application en SMC en partenariat avec les chercheurs du thème 3 (3S-CRISTO-LMPC). L'enjeu est double pour le laboratoire car ce projet est

l'occasion de renforcer ses liens avec le BE cadre-châssis, traditionnellement peu utilisateur de ce type de matériau. Par ailleurs, proposer ce projet au niveau de cette fonction du véhicule, permet de tester un développement de pièce en SMC de type semi-structurelle[7]. Or, ce segment des applications semi-structurelles, correspond à un marché du SMC présentant un fort potentiel d'évolution et d'innovation pour ce type de matériau qui est souvent utilisé principalement pour les pièces d'aspect. Les chercheurs voient également la possibilité d'élaborer et de construire une problématique sur la performance des dispositifs permettant de mieux intégrer les métiers du produit (le châssis) et ceux du process (le SMC).

En octobre 1998, les responsables du BE châssis acceptent finalement cette proposition du Laboratoire Matériaux, bien que l'enjeu de l'utilisation de ce matériau ne soit pas vraiment identifié et qu'aucun besoin réellement précis en pièces composites ne soit alors exprimé de leur part. Le projet est alors perçu par les représentants du BE châssis comme l'occasion d'essayer des applications technologiques nouvelles et différentes de celles employées habituellement[8]. De ce fait, le positionnement du « projet composite » est perçu comme un projet recherche rattaché au Laboratoire Matériaux et non au BE châssis. En effet, les concepteurs du BE sont rattachés à des projets véhicules, alors que le «projet composite » n'avait pas de rattachement officiel au sein de ce BE. Nous voyons ici qu'il existe une différence de positionnement et d'enjeu de ces services vis-à-vis du projet Action Composites. D'une part, le Laboratoire Matériaux est conscient de l'enjeu de travailler sur l'intégration du SMC. Il est également au départ de cette demande concernant une recherche intervention des chercheurs. D'autre part, le BE qui va alors devenir le terrain principal de nos recherches, est un service dont l'enjeu est à ce moment peu identifié et non prioritaire concernant ce matériau SMC. Ce point particulier est important pour la suite du déroulement du terrain car nous avons vu que la recherche intervention nécessite de partir d'une demande des acteurs concernés pour que ces derniers puissent réellement s'investir dans l'étude.

II.3.2 Le SMC et le BE cadre châssis

II.3.2.1 Une représentation et une catégorisation des composites

Le positionnement du projet composite, nous amène à nous retrouver dans la configuration d'un acteur détaché dans le BE avec une mission particulière : trouver des applications en SMC dans le châssis d'un véhicule industriel. De ce fait, les premières interrogations du BE et également les nôtres en tant que chercheurs concernant l'utilisation de ce matériau sur ce produit particulier, nous conduisent à engager une phase de prospective afin de cerner et d'analyser des applications potentielles de ce matériau sur cette fonction.

Cette phase débute par une série d'entretiens avec les différents responsables de fonctions du BE châssis qui sont sollicités afin de recueillir plusieurs orientations d'études. Lors de ces

[7] Ce terme signifie que la pièce sera probablement située dans un environnement avec des sollicitations mécaniques relativement importantes pour du SMC.

[8] A cette époque, le SMC n'a jamais été réellement étudié pour une application sur le châssis dans le BE.

entretiens, nous avons pu observer une certaine réticence ainsi qu'une classification du SMC et des matériaux composites en général, suivant deux visions qui s'opposent. En effet, nous pouvons noter que les quelques propositions recueillies concernent uniquement des propositions de remplacement pièce à pièce. Les responsables de fonctions proposent d'adapter la pièce existante et le cahier des charges à une conception qu'ils qualifient de « plus composite ». Pour certains acteurs, il faut principalement baisser ou augmenter les épaisseurs, et modifier légèrement les formes des pièces pour les adapter au matériau proposé. Nous pouvons noter que le manque de connaissance sur le SMC de la part des personnes interrogées, conduit à des propositions qui se situent dans le prolongement de ce qui se faisait jusqu'ici en acier. Elles n'intègrent pas ou peu les potentialités nouvelles comme la possibilité de réalisations de formes complexe que peut offrir ce nouveau matériau. Les personnes interrogées révèlent ici, les réflexes et les habitudes de leur « culture métallique » qu'elles essayent toutefois d'adapter à la « culture composite ».

Dans les propositions des responsables de fonctions, se reflètent également un certain préjugé, et un manque de confiance en ce type de matériau trop éloigné de la « culture acier ». Il faut souligner que le critère de tenue mécanique est omniprésent dans les propositions, mais ce dernier est mobilisé de manière complètement paradoxale. A la fois, on le mobilise pour imaginer surtout des applications très peu sollicitées mécaniquement, et à la fois pour précisément remplacer l'acier qui ne résiste pas toujours dans certaines applications structurelles. Cette opposition paradoxale traduit une vision presque binaire du SMC, perçu soit comme un plastique avec de trop faibles caractéristiques mécaniques par rapport à l'acier pour envisager une application châssis, soit comme un matériau composite véhiculant une image de haute technologie (associée certainement aux matériaux comme le carbone et le kevlar) avec un rapport résistance mécanique / poids intéressant pouvant permettre d'envisager de remplacer l'acier sur des applications qui ont des problèmes de fiabilité. En plus du critère de résistance mécanique, le critère de coût est également fortement mobilisé pour justifier les propositions de pièces. Si l'on veut bien accorder un faible coût au SMC quand on l'associe au plastique, il en est autrement quand on l'associe aux composites dits de haute technologie. Schématiquement, nous pouvons représenter cette vision du SMC dans le BE d'études concerné par la figure 13.

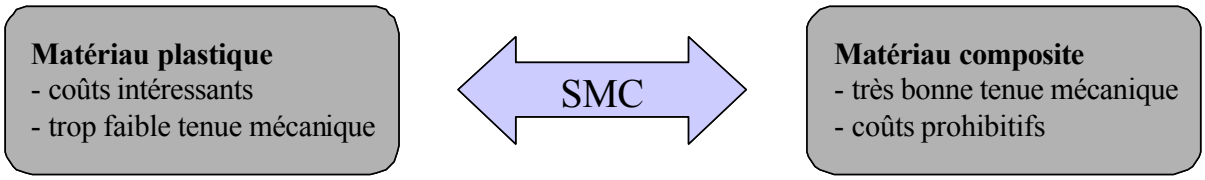


Figure 13 : Deux visions extrêmes du SMC par les acteurs du BE

Cette catégorisation du SMC est relativement réductrice car nous avons vu que le SMC pouvait correspondre à un panel très large d'utilisations en adaptant la formulation de la matière première aux contraintes de l'application souhaitée. Nous pouvons voir ici un premier décalage en termes de connaissance sur les caractéristiques générales du matériau et un

paradoxe en termes de perception des capacités du matériau. Ce décalage s'explique par le fait que cette double vision se construit sur des critères classiques mobilisés par les acteurs du BE. Ces derniers ne peuvent pas réellement saisir les potentialités de ce nouveau matériau car ils utilisent leurs propres grilles d'évaluation traditionnelles. Dans cette situation, il n'y a pas d'introduction de nouveaux critères pour venir compléter ces grilles d'évaluations et permettre de déplacer cette vision. Nous voyons ici un enjeu pour l'innovation qui nécessite un enrichissement des dispositifs d'évaluation par l'introduction de nouveaux critères d'évaluations.

II.3.2.2 Des connaissances tacites alimentées par des projets antérieurs qui renforcent le décalage

Lors des entretiens avec les différents responsables de fonctions, plusieurs interrogations et propositions de notre part, sur des applications potentielles sont parfois mises à l'écart, montrant que l'intégration d'un matériau est confrontée à de nombreux critères de choix qui s'inscrivent et se confrontent également avec l'histoire des projets. A ce sujet, nous allons prendre l'exemple d'une pièce du châssis qui avait été envisagée suite à nos discussions avec un acteur calcul. Cette pièce, qui est constituée d'un profilé en tube acier sur lequel sont soudées deux platines de chaque côté, semblait être soumise à des contraintes mécaniques acceptables pour du SMC suite aux résultats de simulation mécanique. Par contre, une certaine réticence du responsable de la fonction pouvait se ressentir face à notre proposition d'étudier cette pièce en SMC. Cette réticence s'expliquait alors par le fait que les premières versions de la traverse actuelle en acier avaient posé des problèmes de rupture lors des premiers essais. De ce fait, pour le responsable de la fonction, il semblait peu envisageable d'utiliser des matériaux plus « fragiles » comme le SMC ! Cependant, après une étude plus approfondie, il ressortait que cette pièce avait cassé au niveau des soudures des platines, celles-ci présentant, des zones fragiles à cause de ce type d'assemblage. Nous voyons ici que le critère de tenue mécanique doit être analysé plus finement car il ne permet pas d'écarter la possibilité d'une pièce en SMC. En effet, celle-ci, obtenue par un procédé de moulage et non par soudure, ne posséderait certainement pas les mêmes caractéristiques mécaniques dans les zones fragiles. Cet exemple illustre bien la difficulté d'introduire un nouveau matériau dans la continuité d'un projet de pièce existante. Cet exemple renforce également la difficulté d'accepter une étude de conception (et même de reconception) avec du SMC en se basant uniquement sur des « connaissances et des réflexes de conception acier » où l'utilisation de l'évaluation d'un critère, réalisée souvent très vite et de manière incomplète, ne permet pas d'analyser efficacement la nouveauté.

Dans l'exemple précédent, nous venons de voir comment l'historique d'un projet de pièce existante peut influer sur le choix d'un matériau pour une application. Par ailleurs, l'intégration d'un matériau est un processus qui possède également sa propre histoire au sein d'une entreprise. Nous avons dit que le SMC n'était pas utilisé au sein du BE châssis, mais l'histoire de plusieurs projets restés au domaine de l'étude ou appliqués dans d'autres BE impliquant du SMC peuvent venir influencer les critères de choix pour l'adoption d'un

matériau dans le BE châssis. D'une manière plus générale, nous avons pu observer que les connaissances tacites mobilisées par les acteurs confrontés à un nouveau matériau, étaient souvent le résultat d'une interprétation et d'une analyse personnelle de versions plus ou moins officieuses des projets antérieurs impliquant le matériau en question. Comme l'a justement fait remarquer un industriel lors d'une conférence organisée dans le cadre du centenaire de l'Institut National Polytechnique de Grenoble : *Dans une entreprise, un projet qui a réussi, on en parle à trois personnes, par contre un projet qui a échoué, on en parle à dix !* Cette devise a pu être vérifiée lors de nos premières investigations concernant le SMC dans le BE en question. Cette constatation ne va pas dans le sens de l'intégration d'un matériau car elle contribue à renforcer le décalage entre les connaissances génériques du matériau qui sont en partie alimentées par ces connaissances tacites des projets antérieurs, et les connaissances construites en cours d'action de conception. En effet, les connaissances tacites basées sur des échecs de projets antérieurs contribuent à développer un argumentaire pour le rejet d'un tel matériau alors que les connaissances que l'on va construire en cours d'action permettent de favoriser le développement d'une certaine expertise et l'intégration progressive du matériau. Nous allons voir que dans cette situation, même un matériau présentant des caractéristiques intrinsèques intéressantes ne réussit pas à s'imposer de lui-même sans une remise en cause des dispositifs existants dans un environnement relativement stabilisé.

II.3.3 Le BE châssis : un cadre de conception relativement stable

II.3.3.1 Une forte culture métallurgique et une certaine vue de l'intégration produit-process

Les technologies de l'acier et de la fonte sont majoritairement utilisées au niveau des véhicules industriels et plus particulièrement au niveau du châssis depuis l'origine et la création de l'entreprise par Marius Berliet. Il faut rappeler que l'entreprise était à une époque, totalement intégrée et possédait sa propre forge, sa fonderie, son atelier d'emboutissage et de décolletage pour réaliser l'ensemble de ces pièces métalliques. Cette utilisation quasi-uni-matériau au niveau de cette fonction depuis les années 1900 ont conduit deux, et parfois trois générations de concepteurs à développer une grande connaissance produit-process des possibilités du matériau acier. Les expériences accumulées et les apprentissages sont très inégaux entre les matériaux métalliques et les matériaux organiques et la plupart des pièces de cette fonction châssis sont conçues et optimisées dans le cadre de la technologie acier.

II.3.3.2 Stabilité des produits

La configuration technique du châssis est relativement stable : le découpage en pièces et le périmètre d'études est classique et s'inscrit dans l'histoire du produit qui vise à une standardisation forte des grandes familles de pièces du châssis : les longerons longitudinaux et les traverses latérales (voir figure 14). Ce découpage est aussi fortement lié à la technologie employée car les technologies acier et notamment les procédés d'obtention utilisés pour ces pièces de châssis figent souvent une bijection entre pièce et fonction assurée qui rend difficile un raisonnement plus global et un redécoupage éventuel.

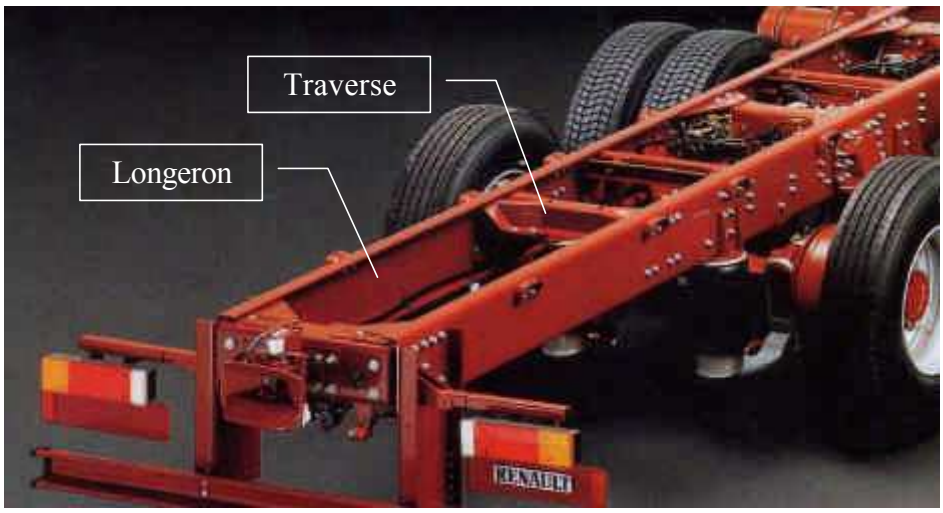


Figure 14 : Photo d'une partie arrière du châssis d'un véhicule industriel (source Renault VI)

II.3.3.3 Une stabilité de l'organisation, du réseau d'acteurs et des processus de conception centrés sur le métier BE

Lors de nos premiers entretiens, le processus de conception du BE châssis nous est apparu centré sur une organisation en BE classique. Cette organisation est basée sur un schéma où la mise en place et le déroulement des projets est définie dans l'entreprise à travers une procédure principale : la procédure « Processus de Développement des Projets Produits » ou PDPP. D'une façon plus précise, la PDPP est la procédure de pilotage et de prise de décision dans les projets. Elle découpe le projet en 2 parties. Une partie dite de définition des objectifs et une partie dite de réalisation de ces objectifs. Ces deux parties assemblées constituent les 6 phases identifiées du projet (voir figure 15). Ce découpage a pour but de mieux piloter les actions et les ressources. Pour cela la procédure définit les données d'entrée et de sortie de chaque phase du projet ainsi que ses objectifs. Le processus est jalonné d'étapes de décision liées aux projets qui autorisent le passage des différentes phases pour chaque Rendez-Vous d'Entreprise (RVE).

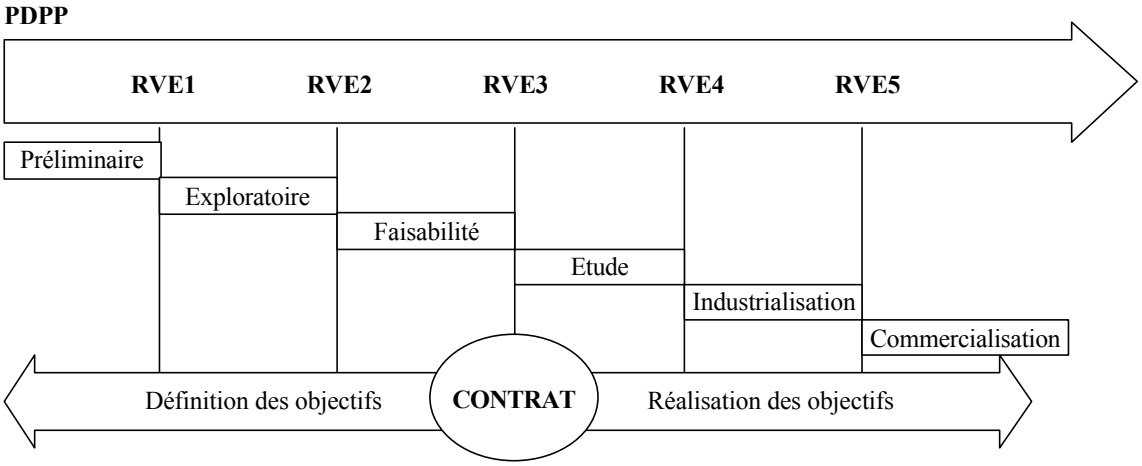


Figure 15 : Pilotage des projets extrait du PDPP (source Renault VI)

Ainsi pour le BE châssis, les « données d'entrées » qui sont les éléments de départ de chaque phase et qui peuvent être sous formes de contrats études, contrats calculs, etc., sont relativement figés et en adéquation avec le découpage en fonction du produit. Le cahier des charges initial est aussi relativement stable et sert souvent alors de document pour la consultation auprès de fournisseurs potentiels qui sont presque tout liés à la transformation du métal. On se retrouve donc dans un schéma de prescription amont/aval où la solution technique assez rapidement définie, guide *a priori* le déroulement de la suite car on converge très vite. Egalement, nous pouvons remarquer une relative stabilité du réseau d'acteurs centré sur le couple acteur étude et acheteur. Ces derniers apparaissent comme des métiers pilotes car ils sont au centre des relations avec les autres acteurs de la conception et notamment avec le fournisseur. L'action de ces métiers pilotes est primordiale, par contre, designer, marketing, expert matériaux, etc. ne sont sollicités qu'exceptionnellement lors des projets du BE.

II.3.4 Les difficultés d'introduction du SMC dans ce contexte

II.3.4.1 une cohérence existante et établie

On constate donc qu'il y a une grande cohérence entre les solutions techniques, les technologies employées, l'organisation et les acteurs mobilisés. Le produit est le résultat d'une amélioration constante depuis de nombreuses années et a atteint un degré d'optimisation rendant difficile l'obtention de gains importants en termes de coût et de poids. La plupart des innovations introduites par l'intégration produit/process acier sont des évolutions que nous pouvons qualifier d'incrémentales, qui restent cependant très efficaces dans une logique d'optimisation constante du produit. Cette situation dans laquelle le principe d'utilisation des matériaux métallurgiques semble être acquis, ancré dans l'histoire des pratiques, augmente la difficulté d'introduire un matériau tel que le SMC dont la situation est remise en cause et rediscutée en permanence. Cette concurrence face à un matériau fortement intégré au niveau des métiers pilotes (études, acheteurs) est difficile à tenir pour le SMC. Ce matériau composite doit encore faire ses preuves car il est considéré comme nouveau et porteur de plus de risques que d'avantages. Nous faisons face à un problème ou le matériau proposé, véhiculant une certaine image de « déstabilisation », se heurte à cette cohérence établie par un effort constant au sein du BE. L'innovation qui peut être véhiculée par l'intégration d'un nouveau matériau fait donc face à une nécessité de rupture à plusieurs niveaux : aussi bien au niveau des technologies employées que de l'organisation du réseau d'acteurs et des méthodes de travail.

II.3.4.2 Vers une remise en cause de la cohérence pour l'innovation

Cette nécessité de rupture soulève alors la question de la légitimité de la cohérence qui existe au sein du BE : faut-il la remettre en cause pour favoriser l'innovation au sein de cette organisation ? Si l'on reprend ici le modèle de la traduction, nous verrons que l'innovation véhiculée par cette intégration du SMC, doit déplacer les connaissances, le produit, mais également l'organisation et le processus de conception. Il s'agit donc plutôt de déplacer cette cohérence créant temporairement une déstabilisation par l'introduction de ce nouveau matériau. En effet, il faut déplacer les connaissances des acteurs du BE en apportant des

nouveaux savoirs sur le SMC pour montrer le décalage entre les connaissances tacites qu'ils ont pu se construire et les connaissances en cours de conception qu'ils pourraient se construire. Nous avons vu grâce à l'exemple de la pièce avec les deux platines soudées que cette remise en cause de la cohérence demande également d'introduire de nouveaux critères pour enrichir les grilles d'évaluations.

Il faut également déplacer le produit qui à l'heure actuelle ne correspond pas à un découpage propice aux matériaux composites qui nécessitent un raisonnement global sur l'intégration de plusieurs fonctions dans une même pièce. L'ensemble de ces déplacements vont conduire alors à rompre cette cohérence existante mais dans un objectif dans créer une autre par la suite. En effet, il ne semble pas envisageable de lancer un produit en fabrication (surtout en matériaux composites !) sans avoir retrouvé cette cohérence au sein du processus de conception. Nous pouvons dire schématiquement que l'enjeu concernant l'introduction du SMC est de pouvoir déplacer la cohérence existante pour arriver à une nouvelle cohérence qui intègre le nouveau matériau proposé.

II.3.4.3 Déplacer la cohérence : risque ou incertitude ?

Les premières constatations sur le terrain montrent que l'intégration d'une nouvelle technologie est un processus très complexe au sein de l'organisation d'une entreprise avec des acteurs métier qui se considèrent comme ayant déjà *"la tête dans le guidon"*, et qui peuvent être parfois, fortement déstabilisés et freinés par les risques et les délais que la nouvelle technologie semble demander. Cependant, il convient de s'attarder sur cette notion de risque défini dans [Giard 93] comme *la possibilité qu'un projet ne s'exécute pas conformément aux prévisions de date d'achèvement, de coût et de spécifications, ces écarts par rapport aux prévisions étant considérés comme difficilement acceptables voire inacceptables*. Ce paramètre du risque est souvent un critère primordial qui constitue un frein pour l'intégration d'une nouvelle technologie. Nous pouvons remettre en cause cette traduction relativement hâtive que nous avons rencontré sur le terrain entre la notion de risque et l'introduction d'une nouvelle technologie. En effet, au début d'un projet (ou en cours de projet), les acteurs du processus de conception cherchent souvent à évaluer, à chiffrer, et à comparer les risques d'un concept ou d'une solution. Dans ce but, il existe des procédures (nommée APR chez RENAULT V.I.) et des méthodes (Analyse des Modes de Défaillance, de leur Effets, et de leur Criticité : AMDEC[9]) qui permettent de guider l'analyse des risques d'une application. L'APR ou Analyse Préalable de Risques, qui se base sur la méthode AMDEC, est une étape effectuée en phase préliminaire durant laquelle plusieurs acteurs (marketing, étude, fabrication, après-vente, fournisseur, et parfois expert matériaux) recherchent les éléments liés à la conception, à l'industrialisation, à la commercialisation, et à l'après-vente, non maîtrisés par l'entreprise ou les fournisseurs et susceptibles de compromettre les objectifs de qualité et de fiabilité du produit. Par contre, au niveau de notre étude dans le cas du BE châssis confronté au SMC, on ne peut pas réellement parler de risque car il n'y a aucun projet ou

[9] Créé en 1972 par Ford pour répondre à des problèmes de fiabilité de ses produits et de ses processus industriels

concept en SMC qui soit imaginé ou proposé ! Le problème n'est pas suffisamment défini pour faire fonctionner des outils de type AMDEC ou APR.

En conséquence, nous pensons que cette notion de risque est prématurée à ce stade du projet et doit être remplacée par la notion d'incertitude[10]. En effet, nous faisons l'hypothèse que l'introduction d'une nouvelle technologie renforce et augmente la probabilité de rencontrer des incertitudes dont certaines proviennent des lacunes de connaissances, et qui amènent les acteurs à se retrouver et se sentir en position de prise de risque. De plus, ce sentiment de prise de risque peut très vite être relié aux expériences passées et aux connaissances tacites et constituer des verrous pour l'innovation.

Il semble donc qu'une approche différente permettant de prendre en compte ces incertitudes et faisant la distinction entre incertitude et risque semble être plus judicieuse. En effet, c'est lors de l'avancement du projet et en mobilisant les experts dans le domaine, qu'une incertitude concernant un point particulier peut se transformer éventuellement en risque, avec une ou plusieurs conséquences, et une cotation en fonction de leur gravité ou criticité. Dans l'entreprise, le risque fait partie des données que l'on doit gérer au mieux, par contre, dans le cas d'une innovation, il semble peu pertinent d'utiliser les mêmes dispositifs d'évaluation de solutions surtout dans le cas où il y a une connaissance très partielle de la technologie proposée.

A ce sujet, [Crozier et Friedberg 77] ont défini le concept de zone d'incertitude en expliquant que tout l'effort d'une organisation consiste à maîtriser les aléas auxquels elle est confrontée. C'est ce qui explique la définition des responsabilités, de procédures, de cahier des charges, de contrats, qui tenteront de rendre l'avenir et les comportements prévisibles et tendent vers une certaine cohérence que nous avons pu observer en ce qui concerne le BE châssis. Cependant, il subsiste toujours des imprévus et l'intégration d'un matériau favorise cette émergence et soulève alors de multiples zones d'incertitudes. L'existence même de ces zones d'incertitude ouvre des possibilités de jeu entre les acteurs de l'organisation. C'est donc une source de conflit où les jeux de pouvoir vont s'installer. L'incertitude n'est pas seulement une perturbation imprévue mais peut être une source d'interaction entre les acteurs qu'ils cherchent à utiliser à leur profit. Identifier ces zones d'incertitude permet de déterminer les lieux où vont s'élaborer des alliances, des résistances et des négociations entre les acteurs et finalement conduire à faire progresser l'innovation. De ce fait, nous retrouvons ici la concurrence et la contradiction entre l'organisation et l'innovation présentée dans [Alter 93]. L'innovation tire parti des incertitudes et s'oppose à la logique de l'organisation dont le but est de réduire les incertitudes et assurer une certaine cohérence. Dans le cas du SMC, nous verrons au prochain chapitre, comment, en identifiant ces zones d'incertitudes, un projet de

[10] Nous pouvons reprendre la définition de l'incertitude donnée dans [Stinchcombe 68]. L'incertitude caractérise les activités dont les variables définissant le résultat ont une forte variance : on ne peut y prévoir celle qui aura le plus d'influence; on ne peut y connaître la relation entre une variable et son résultat.

pièce composite a pu voir le jour au sein du BE châssis en confrontant les points de vue des acteurs sur ces lieux potentiellement porteurs d'innovations.

II.3.4.4 Du décalage aux incertitudes : quand les acteurs cherchent à innover

Les zones d'incertitudes sont donc des lieux privilégiés où l'innovation peut se développer. Il faut voir que ces zones d'incertitudes, dans le cas du SMC, sont fortement liées au degré de connaissance des acteurs et notamment au décalage de ces connaissances que nous avons précédemment mentionné au paragraphe I.4. De ce fait, l'innovation nécessite qu'un ou plusieurs acteurs puissent identifier ce décalage et pointer sur des zones d'incertitudes afin de les faire partager et les confronter aux autres acteurs. Par contre, on se retrouve dans une configuration où la position des acteurs face à l'innovation est très versatile. Dès lors, il faut identifier les logiques d'action qui guident les acteurs afin de comprendre comment l'innovation pourra trouver son chemin parmi ce jeu d'acteurs.

Dans le cas de notre étude de terrain, il semble intéressant d'utiliser les analyses dans [Alter 90] concernant les postures des acteurs face à l'innovation. En effet, Alter considère que les acteurs définissent leur comportement par rapport à l'état stratégique et culturel de leur situation à un moment donné. Il distingue alors plusieurs postures par rapport à l'innovation et entre autre, il définit les innovateurs comme des experts de l'innovation ayant une certaine compétence à développer leur intuition. Il oppose à ces innovateurs, les positions légalistes lorsque des acteurs développent une stratégie de résistance au changement et ne prennent pas de risque pour imposer une nouvelle idée. Cette analyse sous-entend que la position des acteurs n'est pas stabilisée et que ces derniers peuvent changer de groupe (légalistes ou innovateurs) à tout moment en fonction de la situation du projet. A travers nos entretiens sur le terrain, nous retrouvons ici ce type de comportement face au SMC où au départ de ce projet composite, certains acteurs semblent être partisans de travailler avec ce type de matériau (le laboratoire matériau et les chercheurs principalement) et d'autres prônent pour une attitude plus légaliste (la majorité des acteurs du BE châssis). Cependant, même s'ils s'opposent aux changements, les légalistes participent pleinement à la construction du contexte du projet et donc tendent à favoriser le développement de l'innovation puisque chaque proposition est débattue, contestée, et évaluée. Nous verrons, dans le chapitre 2, que la difficulté consiste à piloter un projet où la position de ces acteurs n'est pas figée mais évolue en fonction de la configuration du projet.

Cette situation, bien que complexe, est pourtant la source de nombreuses interactions et nous allons voir, dans la prochaine partie, l'enjeu d'organiser l'intégration produit/process de nouvelles technologies pour favoriser les processus d'innovation.

Partie III. Vers l'innovation par l'intégration produit/process de nouveaux matériaux ?

III.1 Quand il est difficile d'ignorer les innovations !

III.1.1 Une optimisation qui présente souvent et inévitablement une asymptote technique et économique

Nous avons présenté les difficultés auxquelles est soumise l'intégration d'un « nouveau matériau ». Nous avons vu que dans le cas du BE châssis, les acteurs développaient une stratégie de résistance face au SMC pour rester dans une attitude plus légaliste, où les innovations sont plutôt imaginées par l'optimisation des produits et des technologies liées à l'acier. Cette position et ce choix pour l'intégration produit/process *la plus proche* d'un point de vue de la connaissance, n'est pas toujours payante et reste discutable. Par exemple, lors de notre étude de terrain, nous avons pu observer qu'à l'occasion du projet d'un nouveau véhicule, les résultats en terme de réduction de poids et de coûts n'étaient vraiment tranchants quelques mois après le lancement de l'étude. Une réunion a été alors provoquée entre RENAULT V.I. et RENAULT SA pour discuter de l'apport de nouvelles technologies produit/process pour le programme : « *Après plusieurs mois d'études, on a fait un nouveau châssis presque au même prix et au même poids ! Comment peut-on faire pour obtenir une réduction significative ?* » De plus, le rapprochement de RENAULT V.I. avec sa filiale aux U.S.A Mack Truck, et plus récemment, la fusion avec VOLVO soulève la question des développements d'applications communes, et de la compétence interne à RENAULT V.I. à développer dans le domaine des technologies nouvelles et notamment du composite face à des homologues américains réputés être en avance sur les Européens dans ce domaine. De même, de nombreux exemples industriels montrent que la seule logique de l'optimisation ne suffit pas face à un marché très concurrentiel. Les réductions de coûts significatives sont souvent provoquées par une rupture technologique. Ce saut permet de redonner du souffle à une courbe de réduction des coûts qui semble tendre inexorablement vers une asymptote au bout d'un certain temps et à technologie constante.

III.1.2 Des solutions en rupture technologique pour satisfaire des nouvelles contraintes

Les réglementations et contraintes demandées en ce qui concerne les produits peuvent pousser parfois les concepteurs à travailler avec d'autres technologies. Par exemple, au niveau des moteurs, les contraintes de réglementations concernant la pollution ont permis de favoriser l'introduction des matériaux organiques qui répondaient mieux à ce type de contrainte. Au niveau du BE châssis, les contraintes sur les réglementations concernant les dispositifs de sécurité (notamment au niveau des dispositifs anti-encastrement des véhicules de tourisme sur un véhicule industriel) demandent aux concepteurs de rechercher des solutions avec des capacités plus importantes d'absorption d'énergie où l'acier ne répond plus à cette demande. Cette situation conduit vers un choix difficile où il faut choisir entre une optimisation et une

consolidation de la solution existante ou bien d'étudier une nouvelle application en utilisant une nouvelle technologie. Nous voyons ici comment de nouvelles contraintes peuvent redistribuer l'activité de conception et amener les concepteurs à travailler avec d'autres technologies et se retrouver confrontés à l'innovation.

III.2 L'intégration produit/process dans le co-développement

Dans ce contexte d'introduction d'une nouvelle technologie, nous avons vu que concevoir une application nécessitait de plus en plus d'intégrer à la fois, le matériau et son procédé de fabrication, mais également le produit et son processus de conception. Il y a donc un enjeu à favoriser une interaction de plus en plus forte entre matériau, procédé de fabrication, produit et processus de conception. C'est ce mouvement que nous qualifierons d'intégration produit/process. Cependant, dans le cas du BE châssis, nous avons vu que les conditions, tant en matière organisationnelle qu'en matière de développement et de croisement des connaissances, n'étaient pas encore réunies pour qu'une véritable problématique d'intégration produit/process composite se mette véritablement en place. Ce mouvement d'intégration produit/process d'une manière générale, est à mettre en relation avec un mouvement contradictoire de deux courants de transformation des entreprises industrielles. D'une part, on assiste à un courant de désintégration verticale qui conduit les firmes à se recentrer sur leurs métiers de base [Porter 82, Boyer 97] et à externaliser un certain nombre de leurs activités. De l'autre côté, une rénovation des processus de conception met l'accent sur la nécessité de coopération étroite et de rapprochement des différents spécialistes intervenant dans la conception des produits nouveaux [Clark et Fujimoto 91, Midler 93]. L'évolution du secteur automobile illustre bien ces deux tendances. Les constructeurs, qui intégraient, dans les années 1950, la plupart des métiers automobiles, ont progressivement abandonné à des fournisseurs extérieurs la production et même la conception de pièces, puis de sous-ensembles de plus en plus complexes.

Pour concilier ces deux tendances antagonistes se développent de nouvelles pratiques de relations entre firmes, souvent caractérisées par les dénominations de "partenariat de conception" ou de "co-développement" [Laigle 1995], [Midler et al 97], [Garel et Kesseler 98]. De ces travaux ressort une définition du co-développement en cinq caractéristiques :

1. Une sélection précoce du fournisseur sur des critères stratégiques

En co-développement, la relation se noue au début de la conception, dès les études exploratoires. La sélection s'opère sur la base d'une certification intégrant les expériences de collaborations précédentes et en fonction des choix stratégiques de long terme du client. Celui-ci sélectionne le fournisseur non pas sur une simple réponse en prix, critère discriminant dans le système traditionnel, mais en fonction de la compatibilité entre ses propres choix stratégiques et la compétence perçue du fournisseur. La confiance accordée au fournisseur et sa réputation jouent également. Les fournisseurs certifiés sont consultés sur des objectifs fonctionnels globaux (niveau de prestation visé, prix objectif…). La définition technique précise n'est plus le point de départ de la collaboration client-fournisseur mais son

résultat. Le contrat ne sera signé qu'après une période d'échange inter-entreprises où le fournisseur prend la mesure de la faisabilité technique du développement à venir et estime ses possibilités de marge. Le client procède à ces échanges avec plusieurs entreprises ("parallel sourcing"). Le co-développement est bien une relation où il reste de la concurrence.

2. L'intervention du fournisseur porte sur un périmètre d'activité élargi

Avec le co-développement, on passe de la fourniture de pièces élémentaires à des transactions sur des sous-ensembles complets. L'élargissement porte sur le contenu des activités du cycle de développement : le fournisseur prend en charge la conception technique, la spécification du process, les validations… C'est aussi le périmètre physique qui s'élargit.

3. Le fournisseur s'engage sur une responsabilité de résultat global

L'engagement du fournisseur co-développeur porte sur une responsabilité d'ensemble de conception-validation-production-(livraison). Le client doit s'assurer que son fournisseur utilisera son importante marge de manœuvre de co-développeur dans le sens prévu initialement. Des incitations et des sanctions contractuelles sont prévues. Toutefois, si la coopération se révèle difficile, le fournisseur risque de payer des pénalités, de perdre certains volumes de production ou de ne plus être sélectionné sur d'autres projets.

4. Une exigence de communication étroite, continue et transparente

La pratique de sous-traitance traditionnelle visait à stipuler le plus explicitement possible les enjeux et les modalités de la relation dans le contrat initial. Mais tout processus de conception comporte des incertitudes et des modifications par rapport aux options initiales. Il est alors essentiel de repérer rapidement les problèmes, d'instruire en commun les réponses possibles à leur apporter et d'éliminer au maximum l'inertie décisionnelle dans l'application des modifications nécessaires. Il faut pouvoir coordonner et réviser en cours de route les explorations des différents acteurs de la conception.

5. Une intégration de la logique économique et de la logique technique

D'abord, la relation client-fournisseur traditionnelle est caractérisée par une dissociation forte de la négociation économique et de la conception technique : dissociation des acteurs (le contrat économique est établi par les acheteurs qui sont parfois coupés des acteurs dits technique) et dissociation temporelle. Si dans l'approche traditionnelle l'appel d'offre intervient après que les décisions techniques importantes aient été prises, en co-développement la négociation économique n'est plus ponctuelle mais devient un processus de construction de la valeur tout au long de la conception, lorsqu'il s'agira de chiffrer des variantes techniques, d'évaluer les conséquences de modifications… Le second aspect du rapprochement des logiques économiques et techniques tient au caractère incitatif de la rémunération du fournisseur. Il devient possible, comme conséquence du rapprochement entre les acteurs du développement (payeurs et réalisateurs), de payer le fournisseur selon des jalons de réalisation physique et non plus selon la seule logique comptable de la direction des achats du client.

Cette nouvelle distribution de la conception en co-développement complexifie davantage le mouvement d'intégration produit/process en ajoutant la dimension délicate de ces relations donneur d'ordre/fournisseur et des modalités de partage associées. A ce sujet, nous avons présenté dans le paragraphe II.1.3.3, les spécificités de la filière SMC et montré les positions et les jeux de pouvoirs qui pouvaient exister entre les différents acteurs de ce réseau. Dans notre cas, le BE châssis, déjà déstabilisé par l'arrivée d'un nouveau matériau, doit faire face à une proposition de co-développement dans une situation où il n'a pas vraiment l'expertise nécessaire pour « contrôler totalement la conception » du futur produit. Dès lors, les acteurs du BE châssis doivent se reposer sur un acteur externe à l'entreprise pour travailler avec une technologie nouvelle sur laquelle ils n'ont pas encore de référentiel. Nous avons ici un exemple où les « petits » acteurs (fabricants et transformateur SMC), malgré leur taille très inférieure, peuvent alors prendre une place très stratégique dans le développement d'un produit de la filière SMC. Cette situation étant vraiment délicate pour un BE comme celui du châssis, dans le paragraphe suivant, nous allons pointer les difficultés supplémentaires liées à la nécessité de co-développement pour ce type de projet.

III.3 Co-développement et asymétrie des connaissances

Dans notre cas, nous avons vu que le BE châssis pouvait difficilement identifier les zones potentielles où le SMC pourrait trouver une application. De ce fait, il semble encore plus impensable que les connaissances du BE soient suffisantes pour établir un cahier des charges d'une application composite et consulter plusieurs fournisseurs. A ce moment du projet, il paraît alors inévitable pour le BE châssis de faire appel à un fournisseur expert concernant la conception et l'industrialisation de pièces SMC. Cependant, faire appel à un fournisseur dès le départ d'un projet implique une stratégie de coopérations entre les deux firmes. Souvent, des clauses d'exclusivité sont demandées par le fournisseur pour s'assurer de la charge de la production de la pièce co-développée.

De plus, même si le BE détient toujours la connaissance du produit châssis, il faut alors reconnaître que la plupart des connaissances du process sont détenues par le fournisseur. Dans cette situation, le BE doit accepter de travailler en co-développement avec un fournisseur en n'ayant aucune expérience de conception composite et en n'ayant plus vraiment de référentiel de projets antérieurs pour comparer les différentes propositions techniques, économique de leur partenaire temporaire.

Nous voyons ici toute la difficulté de mettre en place ce type de partenariat dans un BE comme celui du BE châssis. Les acteurs études peuvent ressentir un certain bouleversement de voir externaliser une partie de la conception de leur châssis qui est vraiment perçu par ses derniers comme le squelette du véhicule et reste toujours une particularité du domaine du poids lourd.

De plus, les concepteurs et surtout les acheteurs ne souhaitent pas forcément remettre en doute leur autorité de donneur d'ordres et préfèrent garder la possibilité de mettre en

concurrence plusieurs fournisseurs et de retenir le fournisseur le plus offrant après la consultation (ce qui oblige à sortir au plus vite un cahier des charges). Nous voyons ici que la problématique de l'intégration produit/process d'un nouveau matériau se heurte également à des obstacles au niveau de la stratégie des différents services. Ce dernier point tend à renforcer le fait que ce processus ne peut se résumer à un problème uniquement technique mais s'inscrit bien à différents niveaux (organisationnel, stratégique, …) qui sont relativement dépendants.

Lors de ce premier chapitre, nous venons d'identifier un certain nombre de difficultés concernant l'intégration produit/process de nouveaux matériaux. Dans le dernier paragraphe, nous allons voir que les pratiques pour favoriser cette intégration ne permettent pas encore d'imaginer une ouverture complète des BE vers ce que l'on peut appeler l'hyperchoix des matériaux et des technologies.

III.4 L'hyperchoix des matériaux, mythe ou réalité? : un choix contraint pour l'intégration produit/process

Environ dix mille matériaux sont normalisés par le laboratoire national d'essais et d'autres sont encore en attente de certification. Parmi cet hyperchoix des matériaux, quelle est la place des matériaux et procédés se trouvant en forte rupture technologique par rapport à ceux utilisés traditionnellement dans un BE ? Apparemment, leur place est très minoritaire dans le bureau d'études que nous avons observé, car avant de se lancer dans un tel pari, les acteurs du BE semblent naturellement privilégier l'innovation par le biais de l'optimisation de leur produit dans une technologie connue qu'ils peuvent maîtriser. Pour illustrer ce propos, nous pouvons dire schématiquement que les acteurs études et les acheteurs du BE châssis préféreront travailler :

- avec un acier standard ou un nouvel acier HLE (mais qui restera de l'acier au comportement isotrope, que l'on peut souder, plier, forger, …) sur des applications similaires (une traverse acier restera toujours une traverse acier même avec un acier HLE), et avec des fournisseurs que l'on connaît et que les acheteurs ont déjà expertisés.

- plutôt qu'avec une matière SMC inconnue, dont le process est tout autant méconnue et qui est mis en œuvre par des nouveaux fournisseurs que les concepteurs et les acheteurs ne connaissent pas et qui de plus, utilisent un vocabulaire peu familier concernant le comportement et la modélisation du matériau.

Nous pouvons représenter ce constat par la figure 16 suivante :

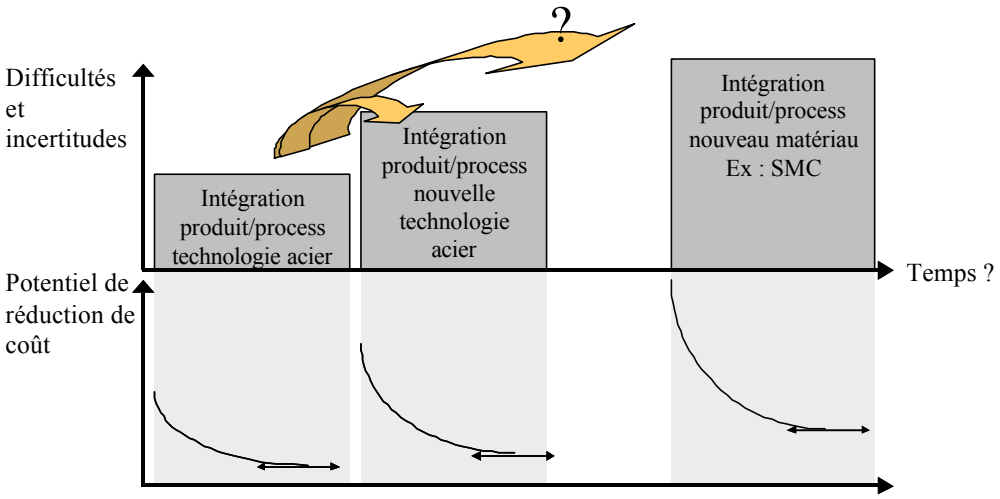


Figure 16 : Un saut nécessaire pour l'intégration produit/process du SMC

Sur la figure 16, nous pouvons voir que le saut entre les deux premières technologies peut s'envisager au niveau du BE châssis, cependant, la question se pose alors pour l'intégration d'une nouvelle technologie comme le SMC. Dans ce cas, le décalage semble trop important pour les acteurs et le saut à effectuer paraît comporter trop d'incertitudes qu'ils perçoivent alors comme des risques. Pourtant, nous avons vu qu'il y avait un enjeu à identifier les incertitudes pour favoriser les innovations même si elles ne sont pas forcément désirées dans une organisation. Dans une situation innovante, il paraît naturel que le BE essaye de minimiser ces zones d'incertitudes en choisissant des sauts entre technologies relativement proches. Lors d'un projet innovant impliquant un nouvel acier, les acteurs se retrouvent également face à des imprévus et des incertitudes mais l'expérience, le savoir-faire, et les connaissances concernant le matériau, ses procédés de transformation, et les fournisseurs font que ces zones d'incertitudes ne sont pas directement corrélées avec la notion de risque et ne constituent pas toujours des freins pour l'innovation.

Si nous avons pu identifier un certain nombre de freins concernant les blocages existants pour le choix de l'intégration produit/process d'une nouvelle technologie, la question des leviers permettant de favoriser l'innovation par cette voie reste en suspend. Les entreprises et les acteurs confrontés à ce besoin d'innover inventent parfois de nouveaux dispositifs qui favorisent cette intégration. Dans notre cas, même si les conditions en termes d'organisation et de connaissance semblaient au départ de notre recherche peu propices à un projet SMC, nous allons voir dans le prochain chapitre comment l'intégration du SMC nous a conduit à nous retrouver dans une situation où la nature instable du processus de conception et des connaissances mobilisées était fortement révélatrice de l'aspect innovant du projet développé. Nous verrons alors comment cette problématique de l'intégration produit/process croise la question de l'innovation dans le contexte industriel. Pour cela, nous allons retracer les principales étapes de la conception du projet composite auquel nous avons participé en tant qu'acteur et observateur. La conception de la pièce composite commença donc réellement en octobre 1998 …

CHAPITRE 2 :

LE BOUCLIER QUI N'EXISTAIT PAS[1]

Dans ce chapitre, nous allons retracer l'histoire du développement du projet industriel de pièce SMC dans lequel nous sommes intervenus. Cette étude socio-technique va montrer que ce projet va très vite introduire des ruptures dans l'environnement que l'on a pu caractériser comme relativement stable. Les observations effectuées sur les logiques d'acteurs impliqués, la dynamique des connaissances mobilisées, et les processus d'apprentissage alimentent la question de l'innovation dans les processus de conception et plus particulièrement lorsque le donneur d'ordre ne maîtrise pas la technologie et le process envisagé.

Sommaire du chapitre :

Partie I. Du "plastoc" au SMC : Le concept de support feux arrière 54
I.1 Une problématisation qui va se construire autour de l'intégration de fonctions.. 54
I.2 La validation du concept SMC 61
I.3 De la phase de prospective à la validation du concept : le rôle des tableaux concepts/critères comme porte-parole du projet composite..... 64
Partie II. Un support feux que l'on nomma bouclier arrière 66
II.1 La diffusion et la consolidation du concept au delà du BE : une nouvelle étape et l'élargissement du réseau 66
II.2 L'innovation ou l'enjeu de l'intéressement et de l'enrôlement des acteurs..... 68
II.3 Une nouvelle consultation chez le fournisseur : de nouvelles connaissances pour consolider l'innovation 69
II.4 Organiser la confrontation des savoirs sur le produit et sur le process 72
Partie III. L'arrivée de nouveaux acteurs dans le réseau : un déplacement de la problématisation pour répondre au double objectif du projet SMC..... 75
III.1 Des nouveaux critères d'évaluation pour le bouclier 75
III.2 A travers l'élargissement du réseau d'acteurs et l'enrichissement des grilles d'évaluation : l'innovation progresse 80
III.3 La phase de calculs et la demande de chiffrage 80
Partie IV. Quand la logique économique et le management des projets rattrapent l'innovation : le bouclier, une solution sur étagère 87
IV.1 Une première finalisation de la solution 87
IV.2 La logique économique et le management des projets..... 88
Partie V. Le retour du bouclier ou la réappropriation du projet..... 90
V.1 La standardisation du bouclier et l'intégration du coffre à outils 90
V.2 La réappropriation du projet du bouclier chez Renault VI..... 91
Partie VI. Retours sur l'instrumentation des phases amonts d'un projet 92
VI.1 Une construction progressive du cahier des charges..... 92
VI.2 Un nouvel outil mobilisé lors du projet composite : le tableau concepts/critères 93
VI.3 Vers un nouvel outil pour favoriser les apprentissages ? 94

[1] Ce titre a été donné à ce chapitre en faisant référence au livre de C. Midler : « L'auto qui n'existait pas ».

Partie I. Du "plastoc" au SMC : Le concept de support feux arrière

I.1 Une problématisation qui va se construire autour de l'intégration de fonctions

I.1.1 Les données d'entrée : une liste de pièces existantes

Dans le chapitre précédent, nous avons vu que l'étude de terrain et le projet que nous avons présenté comme le « projet composite » a pu débuter suite à la demande et à la proposition conjointe du Laboratoire Matériaux de Renault VI et des chercheurs du thème 3. Les responsables du bureau d'études châssis ont alors accepté notre venue et notre position d'acteur observateur particulier introduit par le Laboratoire Matériaux. De ce fait, au début de notre arrivée sur le terrain en octobre 1998, notre rôle et plus particulièrement ma posture de doctorant, présent sur le terrain comme un stagiaire ingénieur, est très vite assimilée par le BE châssis à celle d'un « concepteur SMC » chargé de tester des applications avec ce matériau particulier. Cependant, au départ de ce « projet composite », même si je suis perçu comme un « concepteur SMC », ma formation en génie mécanique ne me permet pas de prétendre à un statut de spécialiste des matériaux composites et à fortiori du SMC. Par contre, nous allons voir qu'au travers de mes apprentissages et de ceux du réseau d'acteurs qui ont été mobilisés lors de cette étude, le « projet composite » va pouvoir trouver sa voie au sein du bureau d'études, écrivant l'histoire d'une nouvelle application en SMC sur le châssis.

Au début du projet, nous avons vu que j'avais sollicité les responsables du bureau d'études pour obtenir des orientations d'études. La première étape de cette phase que nous pouvons qualifier de prospective, est primordiale car elle va orienter la suite du projet. En effet, nous avons vu au premier chapitre, que les premières propositions des ingénieurs concernant les axes d'études s'inspiraient fortement d'une liste de pièces déjà existantes. Cependant, cette liste de propositions va être considérablement retravaillée, non seulement par les acteurs présents au départ du projet mais également par l'intervention progressive de nouveaux acteurs qui vont s'agréger à ce projet composite.

I.1.2 Vers un objectif d'intégration de fonctions ou l'idée du concept de support feux arrière en SMC

Suite aux premières propositions des responsables de fonctions, je commence une recherche bibliographique des applications industrielles existantes et des règles principales de conception sur le SMC. Cette recherche va me permettre de prendre en compte plusieurs critères liés à l'utilisation de ce matériau. Il faut remarquer que le SMC suscite encore chez moi de nombreuses interrogations : quelles sont les possibilités de ce matériau ? Quelles applications peuvent être envisageables sur la partie châssis ? A ce sujet, les guides de conception concernant ce matériau [Gerard 84] et notamment [Alliance 97], le guide édité par l'European Alliance for SMC permettent d'obtenir des renseignements concernant la

conception et surtout les règles de dessin pour la définition des pièces en SMC (voir des exemples de ces règles sur la figure 1).

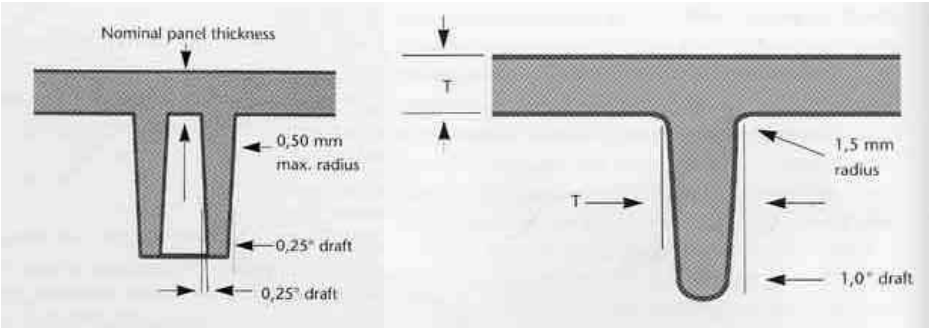


Figure 1 : Règles de dessin pour la définition d'un insert et d'une nervure de pièce SMC [Alliance 97]

A ce moment du projet, la définition du problème n'étant pas encore suffisamment avancée pour faire fonctionner les règles de dessin, c'est principalement l'aptitude du matériau à réaliser des formes complexes qui va guider mes premières réflexions. Suite aux recommandations des spécialistes du laboratoire LMPC, partenaire du projet, je vais orienter mon travail de prospective vers des applications avec un objectif d'intégration de fonctions. En effet, dans un premier temps, mon but est d'intégrer des fonctions existantes sur le châssis en regardant les possibilités de remplacement de plusieurs pièces existantes par une seule et même pièce en SMC. Cette recherche d'intégration de fonctions permet notamment une réduction significative des coûts d'assemblages intermédiaires.

Nous touchons ici à une particularité de la conception composite et plastique qui nécessite une réflexion relativement globale pour imaginer de nouvelles applications «multifonctions » en tenant compte des possibilités du process et des particularités du produit. En effet, après avoir progressivement analysé le produit châssis, nous pouvons dire que les pièces qui le composent sont des éléments en acier avec un coût par pièce et un coût d'outillage relativement peu importants. De ce fait, la plupart des pièces en acier concernant le produit châssis, sont difficilement remplaçables, une à une, par du SMC. Cette technologie composite ne permettrait pas de réduire suffisamment les coûts pièce et le poids pour rentabiliser les investissements du process composite. Nous sommes donc dans une configuration particulière où contrairement aux premières applications SMC sur les ailes d'automobile, nous ne pouvons pas faire du « copier/coller » de pièces existantes du châssis en adaptant les formes et les épaisseurs à du SMC. Dans le cas de la fonction aile, le SMC présente des avantages concernant la liberté de style, le coût pièce, mais surtout permet de réduire considérablement les coûts d'outillage par rapport à ceux des procédés d'emboutissage de tôle acier. Dans le cas du châssis, les principaux avantages des matériaux composites en termes d'allègement, de résistance face à la corrosion, de coût pièce, etc., peuvent être éventuellement cumulés et donc d'autant plus valorisés si plusieurs pièces sont étudiées dans leur ensemble. Dans le cas de notre projet, cette réflexion demande alors de remettre en cause les périmètres d'études existants qui ont été établis par l'utilisation des procédés de transformation (extrusion, pliage,

soudage) des pièces issues de la technologie métallurgique au niveau du châssis. Ces procédés de fabrication autorisent souvent moins de liberté pour la forme des pièces et conduisent vers une intégration de fonctions plus restreinte par rapport aux possibilités des procédés plastique et composite.

C'est donc avec cette optique de recherche d'intégration que je vais reprendre cette phase de prospective en ciblant des ensembles de pièces existantes qui peuvent être potentiellement remplacés par une seule pièce en SMC. Sur les plaquettes de présentation technique des véhicules industriels de la gamme, la partie arrière du châssis des véhicules porteurs[2], et notamment la fonction des supports feux arrière attire alors mon attention par sa complexité en terme d'assemblage et par son nombre de pièces. C'est à ce moment qu'un premier concept de pièce en matériaux composites est en train de prendre forme : je pense alors à une idée de support feux arrière en SMC, pour remplacer plusieurs pièces de la fonction arrière, que j'esquisse alors rapidement (figure 2).

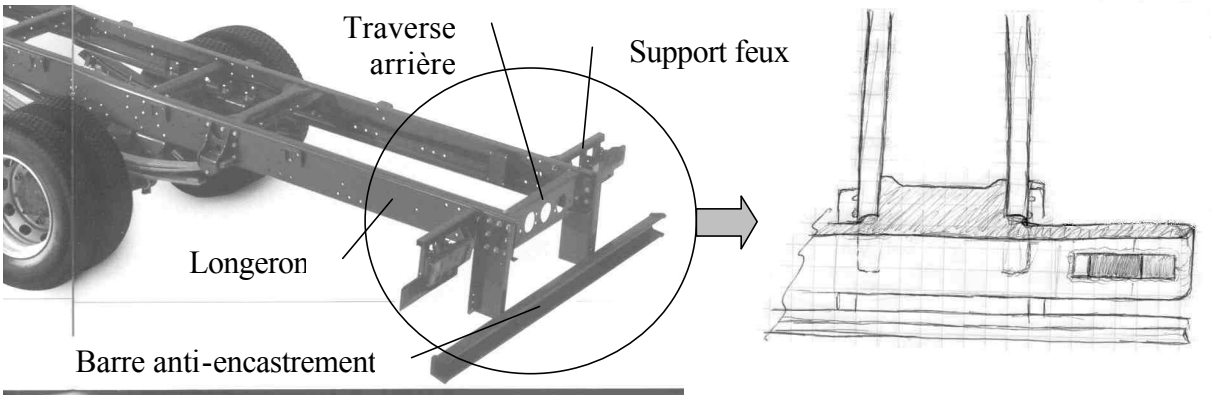


Figure 2 : Première esquisse du concept de support feux arrière en SMC

Il faut noter que le concept de support feux arrière en SMC, qui semble intéressant en terme d'intégration de fonctions, tient également compte des premières propositions du responsable de la fonction cadre-châssis. En effet, parmi la liste initiale de pièces, celui-ci avait proposé d'étudier la traverse arrière. L'étude de cette pièce, située à la fin du châssis entre les deux longerons, est complétée par celles des pièces environnantes. L'étude va donc maintenant porter sur l'ensemble de la fonction arrière du châssis correspondant à ce que nous pouvons désigner comme une zone problématique.

Cette zone problématique correspond à un lieu où il existe des applications potentielles pour le SMC. Il faut remarquer que cette zone problématique va être définie progressivement en fonction des capacités et des caractéristiques de la nouvelle technologie que l'on va mettre à l'épreuve face aux contraintes du produit et aux caractéristiques des process existants. Cette définition de la zone problématique est propre à chaque projet car elle nécessite d'identifier

[2] Les porteurs sont les véhicules industriels carrossables destinés à transporter une caisse sur leur châssis. Le deuxième groupe est celui des tracteurs qui sont des véhicules industriels destinés à tracter une remorque.

les leviers qui vont permettre d'intégrer le nouveau matériau par rapport à la solution existante. En effet, pour le châssis, c'est bien les caractéristiques de coûts pièce et outillage relativement peu importants par rapport au SMC qui nous orientent vers un objectif d'intégration de fonctions et conduisent à un élargissement de la zone problématique. Par exemple, dans le cas de la fonction aile, c'est l'avantage des coûts d'investissement du SMC par rapport à ceux de l'emboutissage acier, l'allègement, et la tenue à l'indentation[3] qui conduise à travailler sur une zone problématique relativement réduite[4]. Nous pouvons dire que cette étape de définition de la zone problématique est primordiale car elle oriente fortement la suite du projet. Pourtant, lors de cette phase, nous avons vu la difficulté de faire accepter des changements de périmètres d'études en déplaçant la question initiale de l'étude d'une pièce à l'étude d'une fonction complète. Nous pouvons voir ici qu'il y a un enjeu, sur lequel nous reviendrons au paragraphe I.1.4, à favoriser ces étapes de définitions de zones problématiques pour l'intégration d'un nouveau matériau.

I.1.3 Les premières évaluations du concept

Peu de temps après, lors d'une discussion informelle, je vais proposer mon concept de pièce SMC au responsable de la fonction châssis. Par contre, lors de cette proposition, l'esquisse de la figure 2 n'a pas été montrée. Les avantages en terme d'intégration de fonctions, de design, et d'allègement, que j'avance alors, laissent mon interlocuteur très perplexe. Celui-ci préférerait obtenir un cahier des charges « orienté composite » pour chaque pièce. Les réactions du responsable sont plutôt négatives face à ma proposition : *« je pense qu'il faudrait plutôt étudier pièce par pièce, ... sinon il faudrait contourner les longerons du châssis... je n'y crois pas, mais pourquoi pas ! ».* De plus, concernant les avantages liés au design d'une telle pièce, la réaction est assez épidermique : *« le design, c'est le début des problèmes ! ».* A ce moment, mes connaissances sont encore trop lacunaires sur le process SMC et ses applications potentielles, mais également sur le produit et plus particulièrement sur cette fonction arrière du châssis, pour véritablement crédibiliser techniquement la proposition. La situation va alors sensiblement évoluer suite à plusieurs événements qui vont permettre de faire accepter cette proposition qui semblait inenvisageable à ce moment.

Afin de pallier mon manque de connaissance sur le procédé, sur les capacités du matériau, et sur les applications potentielles concernant le SMC, je propose de passer quelques jours chez Inoplast, un des plus grands transformateurs de pièces SMC et partenaire du projet Action Composites. Cette période chez un fournisseur de pièces composite est l'occasion de suivre ce procédé SMC de la fabrication des mats jusqu'à la transformation des pièces dont la description a été réalisée au chapitre précédent, précisément à partir de mes observations. Les échanges auprès des différents services de production et de conception me permettent de réellement saisir l'étendue des applications de ce matériau. Les discussions avec les différents

[3] Faculté du matériau à absorber des petits chocs sans présenter d'entailles sur la surface d'aspect après la déformation.

[4] Les premières ailes en SMC avaient une forme très proche des ailes acier existantes.

acteurs du bureau d'études de cette entreprise, et notamment avec le responsable calculs, vont permettre d'obtenir des premières impressions plutôt encourageantes et positives quant à la possibilité de travailler sur cette zone problématique et notamment sur ce concept de support feux arrière en SMC. Par ailleurs, parmi les acteurs du BE d'Inoplast, je rencontre le responsable technique et le responsable commercial des projets Renault VI pour obtenir leurs premières impressions et recommandations. En effet, chez Inoplast, il existe des responsables de projets attachés à un seul client pour les donneurs d'ordres les plus importants. C'est ainsi que l'on peut rencontrer dans l'entreprise Inoplast, des responsables Renault VI, des responsables Mercedes, etc., qui sont généralement deux interlocuteurs privilégiés (un responsable technique et un responsable commercial) établissant un lien entre le donneur d'ordres et le reste des services d'Inoplast. Le responsable technique des projets Renault VI, qui est plus habitué à travailler avec les acteurs du BE cabine de Renault VI, reste sceptique concernant l'introduction du SMC au BE châssis du fait des caractéristiques du SMC d'une part, mais surtout par ce qu'il désigne comme la *« mentalité métallurgiste »* du BE châssis. D'ailleurs, le responsable commercial des projets de Renault VI rajoute qu'Inoplast n'a pas de véritable démarche de prospection commerciale auprès d'autres bureaux d'études du client que le BE cabine.

Malgré cela, cette période d'observation chez un fournisseur me permet de revenir dans l'entreprise Renault VI avec la confirmation que ce concept de support feux arrière mérite d'être plus amplement étudié et approfondi. A mon retour, le responsable de la fonction châssis montre un nouvel intérêt pour le projet composite. Ce regain d'intérêt s'explique par le fait qu'un nouveau projet de véhicule développé en partenariat avec la filiale Mack Truck de Renault VI aux Etats-Unis, charge le responsable de la fonction d'étudier un nouveau châssis et également de proposer des alternatives d'applications en matériaux composites sur cette fonction. Je décide alors de saisir cette opportunité pour proposer de nouveau mon concept de support feux arrière en SMC. Une réunion est alors planifiée pour exposer ma proposition au responsable fonction et discuter de la suite de ce projet composite en tenant compte de ce paramètre concernant le nouveau projet véhicule. Nous verrons au paragraphe I.3 comment la suite de cette histoire va tourner en faveur du concept SMC…

Nous marquons ici un premier temps d'arrêt concernant la description et l'enchaînement des actions pour analyser ces premières étapes que nous venons de présenter. Cette analyse va nous permettre de mieux comprendre comment peut se construire un projet de conception novateur dans le cadre de l'intégration d'un nouveau matériau.

I.1.4 Partir des incertitudes pour construire une problématisation : l'innovation cherche un lieu de construction

Dans notre cas, nous pouvons dire que nous sommes au début d'un projet que l'on peut caractériser comme innovant car nous sommes confrontés à des ruptures, lourdes d'incertitudes, à plusieurs niveaux :

- Première rupture : intégrer un « nouveau » matériau

Il y a une rupture liée à l'intégration d'un matériau très peu connu au sein du BE concerné même si nous avons vu, au premier chapitre, qu'il n'y a pas forcément de lien entre nouveau matériau et innovation.

- Deuxième rupture : l'amorce d'une recomposition du collectif de conception

Dans ce projet, nous pouvons voir que l'introduction de ce matériau nécessite également l'introduction de nouveaux acteurs dans le processus de conception (spécialiste du laboratoire LMPC, les différents acteurs de l'entreprise Inoplast, les chercheurs) permettant un réel débat au sein du réseau de partenaires et une reconstruction de la question de l'intégration du SMC.

- Troisième rupture : une nouvelle définition de la zone problématique

Dans notre cas, la technologie acier a conduit jusqu'ici à un découpage du véhicule par pièce qui est très difficile à remettre en cause pour faire prendre en considération une volonté d'intégration de fonctions. Dans ce contexte, rechercher un « périmètre d'étude fonction » (au sens regroupement de plusieurs pièces) constitue une rupture pour les gens du BE habitués à un certain « périmètre d'étude pièce ». Par contre, les critères et les connaissances mobilisées par les nouveaux acteurs font alors émerger une nouvelle situation de conception qui se traduit par le déplacement de la question initiale. On n'est plus dans la situation où il s'agissait de substituer le matériau pièce par pièce, mais dans une nouvelle situation où l'implantation du composite soulève la question de la prise en compte des possibilités d'intégration de fonctions. On observe alors un déplacement du périmètre étudié, qui est élargi en passant du périmètre pièce au périmètre fonction[5]. Dans ce déplacement, il y a également une construction et une confrontation des points de vue des acteurs qui vont permettre progressivement de définir la zone problématique du projet.

Au travers de ces descriptions, nous retrouvons ici les caractéristiques de la sociologie de la traduction présentées au précédent chapitre. En effet, nous avons vu que le succès d'une innovation ne dépend que très rarement de ses caractéristiques intrinsèques, qui alors lui permettent de se diffuser, presque par contagion, au sein de l'entreprise. Si nous reprenons les premières étapes de notre projet, nous pouvons voir que ce modèle de la diffusion ne convient pas pour décrire la réalité observée. En effet, dans le cas de l'intégration du composite dans le BE châssis, les caractéristiques du concept SMC et du matériau associé ne suffisent pas pour autant pour assurer sa diffusion et son acceptation au sein du BE. Nous pouvons voir que lors de ces premières étapes, les innovateurs essayent de développer des alliances pour légitimer leur proposition auprès des légalistes[6] et assurer la diffusion du concept SMC. C'est notamment mon cas quand je cherche des appuis auprès des acteurs du transformateur Inoplast pour légitimer ma proposition auprès du responsable de fonction qui présente une attitude relativement légaliste à ce moment du projet.

[5] Cela se traduit par le déplacement du périmètre d'étude initial de la pièce traverse de fermeture au périmètre d'étude de la fonction arrière complète.

[6] Nous avons défini les termes d'innovateur et de légaliste au paragraphe II.3.4.4 du chapitre 1

De ce fait, nous sommes face à des stratégies et des logiques d'actions de la part des différents acteurs qui montrent que nous pouvons caractériser les premières étapes de ce projet composite comme le résultat d'une étape de problématisation [Callon 86]. Lors des premiers temps de ce projet composite, il y a d'une part, une formulation de problèmes[7], mais également, une identification d'un ensemble d'acteurs à solliciter pour qui le projet peut consister un enjeu propre. Ce mouvement, que nous pouvons qualifier de problématisation car il y a une construction d'un problème mais également l'identification d'un ensemble d'acteurs qui peuvent être mobilisés pour franchir les obstacles, contribue à la définition d'une zone problématique. Ce concept de problématisation issu de la sociologie de la traduction, constitue une des étapes clés concernant la diffusion d'une innovation. Elle permet de définir les problèmes comme le résultat de la définition et de la mise en relation d'acteurs qui n'étaient pas encore liés les uns aux autres. En effet, dans notre cas, c'est bien l'interaction de différents acteurs qui a permis de définir une zone problématique en déplaçant la question initiale d'un simple remplacement de pièce à pièce par un véritable problème de conception sur la partie arrière. Cette phase de problématisation permet de mettre à jour des problèmes qui n'existaient pas auparavant mais qui, pour autant, constituent des enjeux dont les acteurs peuvent se saisir. Par contre, dans le contexte d'un BE et des entreprises en général, les acteurs ne cherchent pas forcément de nouveaux problèmes mais plutôt des solutions ! Dans ce cas, il semble logique que l'innovation ne se diffuse pas par contagion mais demande une identification et une construction d'un enjeu propre pour chaque acteur. Il convient de souligner que dans le déplacement de la question de l'introduction du SMC, la cohérence avec la préservation des intérêts de chacun est essentielle.

Dans notre cas, les enjeux commencent à se définir plus précisément et à se partager en fonction des protagonistes. Le fournisseur y voit, à terme, l'opportunité d'ouvrir de nouveaux marchés, mais il voit aussi reconnaître sa compétence d'industriel en matière de maîtrise du process SMC. Le Laboratoire Matériaux y voit l'occasion de diffuser son expertise auprès de ce BE sur une application semi-structurelle. Le BE peut saisir l'occasion de tester cette nouvelle technologie sur la partie arrière du châssis et notamment dans le cadre du nouveau projet véhicule. Et les chercheurs y voient toujours la possibilité de construire leur problématique sur les dispositifs qui permettent de mieux articuler les métiers du produit et du process pour favoriser l'introduction du SMC.

Nous pouvons alors faire l'hypothèse suivante : si l'intégration d'un nouveau matériau et l'innovation ne sont pas des processus qui naissent ou se répandent « de manière autonome », mais plutôt grâce à des jeux de stratégie et d'alliance développés par les acteurs, il semble qu'il existe un enjeu à favoriser ces étapes nécessaires de problématisation dans lesquelles s'amorcent les processus d'innovation. En effet, nous avons proposé au paragraphe II.3.4.4 du chapitre 1, que les incertitudes pouvaient être des lieux stratégiques pour l'innovation. Notre hypothèse se précise ici en montrant que les possibilités de jeux de pouvoir développés par les

[7] Quelles pièces et quelles fonctions va t-on intégrer dans le concept du support feux arrière ?

acteurs confrontés à ces zones d'incertitude peuvent être favorables à une élaboration et une construction de nouvelles problématisations.

Nous allons voir dans le paragraphe suivant comment cette problématisation concernant la question du support feux arrière va se modifier au cours de l'action. En effet, la problématisation est un mouvement dynamique car elle évolue en fonction des interventions des acteurs qui vont la modifier. Nous proposons au lecteur de retrouver l'histoire du projet composite et de voir comment les nouveaux évènements vont alors contribuer à renforcer le mouvement autour de la proposition du « concepteur SMC ».

I.2 La validation du concept SMC

En attendant la réunion qui a été planifiée avec le responsable fonction, mes investigations se focalisent sur la partie arrière du châssis. L'analyse des solutions existantes sur les projets M100 et H100[8] permet de voir que la solution concernant la fonction arrière a évolué par rapport aux photographies des plaquettes de présentation de la figure 2. La fonction arrière a été retravaillée et optimisée par le BE châssis pour le nouveau véhicule Midlum et correspond à la configuration représentée à la figure 3. A noter que la barre anti-encastrement ne fait plus partie de la zone problématique car sur la gamme Midlum, la plupart des véhicules présentent une hauteur de châssis par rapport au sol peu importante et ne nécessitent pas d'utiliser un tel dispositif.

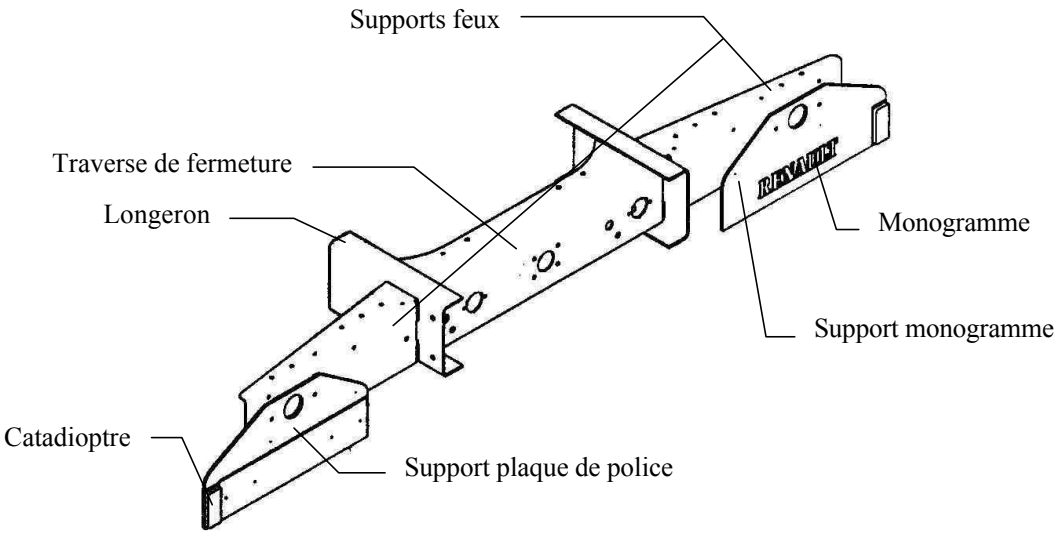


Figure 3 : Fonction arrière existante

Cette solution devant être montée prochainement en série sur les véhicules, elle va constituer ma nouvelle base de référence pour comparer mes propositions de solution en composite en

[8] Ces termes correspondent aux codes projet de l'entreprise pour désigner respectivement les véhicules Midlum (remplaçant du véhicule Midliner) et Premium. Il faut noter qu'à cette époque, le Midlum était surtout désigné par son code M100 car il était en cours de définition et son nom n'avait pas encore été dévoilé au grand public.

terme de coût, de tenue mécanique, etc.. Je dresse un premier bilan des contraintes qui doivent être prises en compte tout au long de la conception : les différences de largeur hors tout[9], les normes de réglementation concernant le positionnement des feux, l'environnement géométrique (autres éléments du châssis, roues arrière, caisse[10]), la tenue mécanique (sollicitations en utilisation, poids des feux, fréquence en dynamique, assemblage), les problèmes de standardisation entre chaque variante de véhicule, etc..

Je lance des recherches et des demandes de chiffrage concernant les coûts des pièces mais aussi sur les coûts d'assemblage pour obtenir une estimation du coût global de la fonction. En effet, dans le cas d'une reconception, le coût d'une pièce en composite doit être comparé avec le ou les coûts des pièces remplacées de la solution existante et également les coûts d'assemblages intermédiaires supprimés. De même, je demande les volumes de fabrication et de consommation à l'année au responsable méthode pour connaître les cadences d'utilisation de ces pièces.

Suite à ce premier bilan et aux premières réactions du responsable de la fonction sur le concept SMC, trois autres alternatives (voir figure 4) sont envisagées à partir du concept initial. Elles correspondent chacune à un niveau d'intégration de fonctions plus faible que la proposition initiale de support feux. L'ensemble des quatre propositions est alors présenté lors de la réunion avec le responsable fonction, par ordre croissant d'intégration avec une liste d'avantages et d'inconvénients pour chaque proposition :

<u>Solution 1 :</u> Pièces en SMC différentes pour les supports feux gauche et droit

- Avantages : Pièces peu complexes, liberté de style
- Inconvénients : Peu d'intégration de fonctions, réduction des avantages SMC/acier

<u>Solution 2 :</u> Pièce en SMC symétrique pour les supports feux gauche et droit

- Avantages : Pièce peu complexe, standard pour les deux côtés
- Inconvénients : Peu d'intégration de fonctions, Réduction des avantages SMC/acier, Liberté de style contrainte

<u>Solution 3 :</u> Pièce unique pour les supports feux (fixée sur la traverse arrière)

- Avantages : Intégration de fonctions (remplacement de 4 pièces), liberté de style
- Inconvénients : Standardisation entre chaque modèle réduite (positionnement des feux, largeur hors tout, ...)

[9] Cette dimension correspond à la largeur maximum du véhicule. Suivant les catégories de véhicule, il existe plusieurs largeurs hors tout et donc plusieurs configurations soumises à des réglementation concernant le montage des supports feux.

[10] Ce termes désigne le compartiment qui permet le stockage des marchandises. Généralement, cet élément est assemblé sur le châssis par les carrossiers (entreprises externes) car Renault VI livre généralement ses véhicules sans caisse.

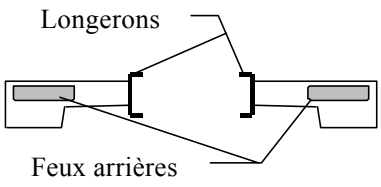
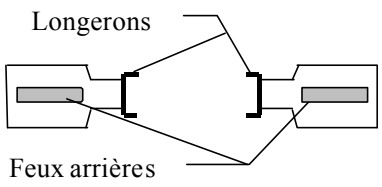
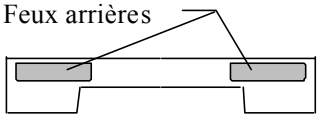
		
Solution 1 : supports feux SMC droit et gauche	Solution 2 : supports feux SMC symétriques	Solution 3 : support feux SMC unique

Figure 4 : Schémas des solutions alternatives au concept SMC

Solution 4 (voir figure 5) : Pièce support feux pour la fonction complète (intégrant la traverse)

- Avantages : Intégration de fonctions (remplacement de 5 pièces par une seule), assemblage, réduction de poids conséquente, design
- Inconvénients : Pièce complexe (études), sollicitations mécaniques plus importantes, standardisation

Lors de la réunion, je propose de nouveau la solution 4, correspondant au concept SMC initial, au responsable fonction. Notons que cette proposition est par ailleurs plus formalisée que la précédente tentative : d'une part, elle s'appuie sur un nouveau croquis de la solution imaginée (figure 5) :

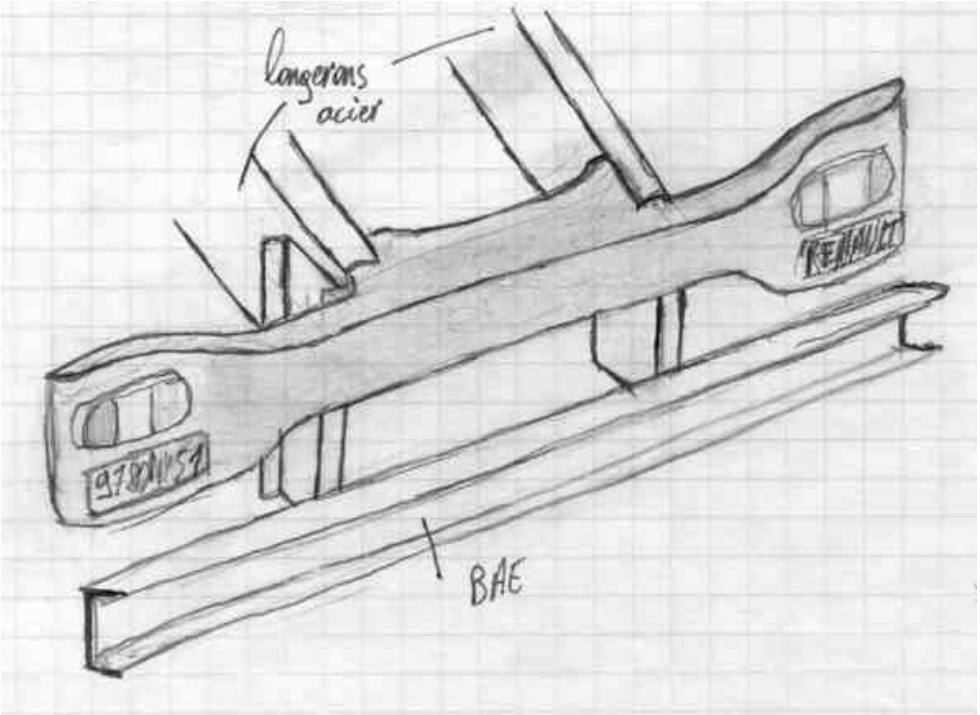


Figure 5 : Croquis du concept de support feux arrière

D'autre part, j'ai réalisé avant la réunion un premier travail de formalisation et de synthèse sous forme de tableau concepts/critères (tableau 1) qui va fournir des éléments de discussion

sur les différentes solutions proposées. Ce tableau me permet de faire, avec le responsable fonction, une évaluation comparative des différents concepts proposés par rapport à la solution existante de référence. Cette évaluation est faite en parcourant un certain nombre de critères progressivement apportés par chaque acteur qui a été sollicité lors des premières étapes du projet composite.

Tableau Concepts/Critères

Fonction : Supports feux et traverse arrière

Concepts : / Critères	Solution acier existante 2 Sup. feux + traverse	Pièce SMC Sup. feux avec traverse intégrée	Pièce SMC monobloc Sup. feux + trav. acier	2 Pièces SMC symétriques + trav. acier	2 Pièces SMC droite et gauche + trav. acier
Nbr de pièces	5	1	2	3	3
Fixations	12 vis + écrous	?	4 vis + ?	4 vis + ?	4 vis + ?
Fiabilité	+ +	+	+	+	+
Investissement	€€€€€	>>	? + 15 K€	? + 15 K€	? + 15 K€
Coût pièce(s)	moyenne €€€	?	? + 10 €	? + 10 €	? + 10 €
Coût montage M.O	moyenne €	<<	<	=	=
Coût total fonction	moyenne €€€€	?	?	?	?
Poids	15 - 17kg	<<<	<<	<	<
Caractéristiques matériaux	acier	smc	smc+acier	smc+acier	smc+acier
Montabilité&Démontabilité	-	+ +	+	-	-
Protection (peinture, corrosion,..)	-	+ +	+	+	+
Design	- -	+ +	+ +	-	+

Tableau 1 : Le premier tableau concepts/critères du projet composite

En listant les avantages et les inconvénients de chaque solution et au regard des premières évaluations qui sont rassemblées dans le tableau 1, le responsable BE va alors choisir le concept SMC correspondant à la solution 4, celui la même qu'il avait refusé quelques temps auparavant. De plus, cette fois-ci, l'esquisse de la figure 5 représentant le concept initial va permettre de renforcer encore ce choix. Cette esquisse va même susciter une réaction très positive de la part du responsable fonction, très enthousiaste à l'idée de travailler sur une telle solution. Les directives sont maintenant plus claires : le responsable fonction me demande de me focaliser sur cette solution « la plus intégrée » dans un premier temps en la développant plus finement avant d'envisager de passer à une solution de type 1, 2 ou 3 où les niveaux d'intégration sont plus faibles.

Un mois après mon arrivée au BE châssis, je ressors de cette réunion avec la validation du concept SMC, mais nous allons voir (cf. partie II) que d'autres évènements attendent encore ce projet de support feux…

I.3 De la phase de prospective à la validation du concept : le rôle des tableaux concepts/critères comme porte-parole du projet composite

Durant cette phase de validation, nous pouvons voir que mon rôle de concepteur SMC a changé de statut. Dans les premiers temps du projet composite, mes actions montrent un réel besoin de constituer un réseau d'acteurs autour de la question de l'intégration du SMC. Maintenant, lors de cette phase de validation, je cherche à stabiliser ce réseau d'acteurs que j'ai progressivement impliqué autour de la problématisation. Je le fais d'abord en jouant un

« rôle d'interface » en centralisant les différentes informations et données des différents acteurs et en les faisant circuler auprès de tous les membres du réseau. Par exemple, je présente le projet composite et les différentes données au responsable assemblage et au responsable méthode pour obtenir des informations en termes de coûts de montage et de volumes de fabrication que je vais ensuite diffuser au responsable fonction.

Je cherche également à stabiliser le réseau en imaginant un nouvel outil (le tableau concepts/critères) qui va permettre d'étayer les propositions et de mettre au débat les différents points de vue concernant la pièce SMC et la nouvelle problématique d'intégration de fonctions. Ce tableau, si l'on reprend les concepts proposés dans [Akrich et al 88], fonctionne comme un véritable porte-parole de la solution composite. Puisque l'innovation prend forme au gré des réactions, des négociations, des redéfinitions et des compromis socio-techniques qu'elle suscite, il apparaît alors que tout dépend de la posture et de la volonté des protagonistes qui sont en présence. Le destin de l'innovation, son contenu et ses chances de succès, dépendent alors fortement du choix des porte-paroles ou représentants qui vont interagir, négocier pour mettre en forme le projet et le transformer jusqu'à ce qu'il se construise un marché. Ce concept de porte-parole s'applique aux acteurs et à ce titre, je suis un porte-parole du concept SMC, mais également aux différents objets utilisés pendant la conception. Les tableaux, les esquisses sont donc aussi des porte-paroles de la solution et du projet composite puisqu'ils représentent des points de vue d'acteurs.

En ce sens, le tableau concepts/critères est un véritable « objet intermédiaire » de la conception [Vinck et Jeantet 95], [Jeantet 98] possédant un caractère hybride : il participe à la définition du produit mais également à la coordination des concepteurs et permet ainsi la mise en oeuvre d'une véritable co-évaluation des solutions. Cet objet a la particularité d'être un médiateur car il permet une certaine mise en relation des acteurs mais également parce qu'il contribue à définir les conditions de leurs relations. En effet, chaque acteur sollicité par le concepteur SMC, peut exprimer ses contraintes qui seront ensuite intégrées dans le tableau. En cela, ce tableau concepts/critères est un objet ouvert [Mer et al. 95] car il ne prescrit pas l'action et laisse libre cours aux interprétations et aux évaluations des acteurs. A ce sujet, nous pouvons remarquer que l'utilisation conjointe de ce porte-parole et de l'esquisse ont permis également un changement d'attitude du responsable BE. Celui-ci qui était dans une position relativement légaliste vis-à-vis de la proposition du concept SMC, s'est progressivement rapproché d'une attitude d'innovateur en validant le concept lors de la dernière réunion. Nous pouvons entrevoir ici un axe de réflexion intéressant concernant l'instrumentation de ces premières phases d'un projet que nous pouvons qualifier d'innovant. A ce sujet, nous reviendrons plus amplement sur cet outil tableau concepts/critères lors de la dernière partie de ce chapitre.

Pour la suite, nous proposons au lecteur de reprendre le cours de l'histoire du projet composite et de voir comment les évènements ont évolué suite à la validation du concept de support feux…

Partie II. Un support feux que l'on nomma bouclier arrière

II.1 La diffusion et la consolidation du concept au delà du BE : une nouvelle étape et l'élargissement du réseau

Suite à la validation du concept, le réseau d'acteurs va s'élargir à un acteur jusqu'ici peu présent à ce stade de la conception, et surtout pour ce type de fonction : il s'agit du designer. En effet, quelques temps après la réunion, le responsable fonction est sollicité dans le cadre du nouveau projet véhicule, et notamment sur l'alternative que pouvait constituer les matériaux composites dans les applications châssis. Or, dans ce projet qui comporte une forte dimension stratégique pour l'entreprise, les designers vont être consultés très en amont pour donner leur vision au plus tôt sur le nouveau produit. En voyant les premières gouaches du design (figure 6) présentées par le service marketing, le responsable fonction est alors marqué par les similitudes avec le concept de la pièce SMC, stylisé par le première croquis que je lui avais proposé.

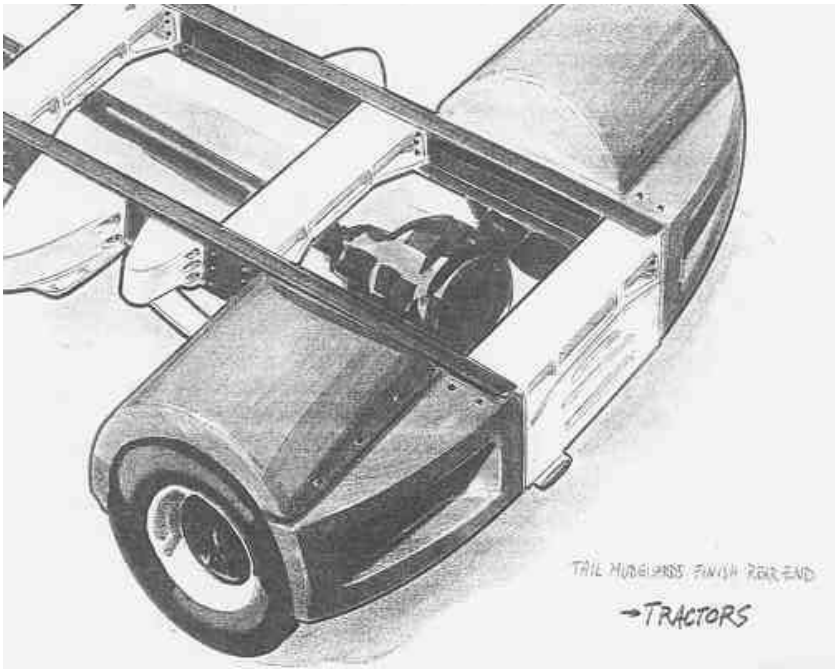


Figure 6 : Esquisse du designer concernant le nouveau projet véhicule

Je suis alors chargé par le responsable fonction de contacter le designer pour avoir une définition plus précise de la forme de la future pièce SMC. On se souvient pourtant que, la réaction du responsable fonction lors de ma première proposition informelle (paragraphe I.1.3), semblait démontrer une certaine réticence vis à vis des évaluations du designer. A ce stade du projet, la situation est complètement différente puisque le responsable fonction est à l'origine de cette alliance avec le designer. Je contacte alors le responsable marketing qui avait présenté l'esquisse de la figure 6 au responsable fonction, pour avoir le nom du designer

mobilisé sur le projet de nouveau véhicule. Lors de la discussion téléphonique, le responsable marketing semble également intéressé pour en savoir plus sur ce concept de support feux arrière. Notamment, il me fait remarquer qu'il existe des problèmes de standardisation liés aux nombreuses variantes de véhicules. Selon lui, ce point peut impliquer des volumes de fabrication qui risquent de ne pas être assez importants pour une application en composite. Finalement, je raccroche en ayant deux nouvelles réunions planifiées avec le designer et le responsable marketing : le concept du support feux SMC est alors sur le point de se diffuser en dehors du BE châssis et c'est au tour du service design d'être confronté au projet composite.

Comme tous les stylistes de Renault VI, le designer que je rencontre pour le projet composite est sous la direction de Renault S.A. Il a dix ans d'expérience dans le domaine du design et a débuté dans un BE de design indépendant avant de travailler pour Renault. Ceci l'a conduit à utiliser de nombreux matériaux en fonction des produits qu'il a conceptualisés. A ce sujet, il a une très bonne connaissance du matériau SMC et de ses règles de dessin. Le projet composite intéresse fortement le designer qui est très enthousiaste de voir que l'on travaille enfin sur un « bouclier arrière » ! Ce terme employé par le designer va alors donner un nom officiel à ce concept SMC qui désormais sera nommé bouclier arrière en SMC. Pourtant, ce terme de « bouclier » semble relativement paradoxal pour désigner cette nouvelle application. En effet, comme le rappelle [Bensaude-Vincent 98], lors des premières applications en SMC[11] dans le domaine de l'automobile, les constructeurs ont renoncé au terme classique de « pare-chocs » pour lui substituer un nom qui rappelle l'armurerie des chevaliers du Moyen Age : « le bouclier ». Pourtant, ces objets lourds et encombrants du passé n'évoquent pas réellement les atouts en terme d'allègement et l'innovation sur les véhicules par leurs homonymes réalisés en matériaux composites ! Dans le cas des premiers boucliers automobiles, il faut rechercher la signification de leur désignation dans l'aptitude de leur matériau à réaliser de nouvelles formes plus complexes, plus arrondies, permettent à la pièce d'envelopper et de faire corps avec le véhicule. Ces nouvelles pièces s'intègrent au reste de la carrosserie comme une sorte de carapace et dessinant une allure d'élytre ou de « bouclier » de certains insectes. Ce terme de « bouclier », que l'on pourrait apparenter au mouvement que les stylistes appellent le « bio-design », permet de nommer et de désigner l'innovation concernant la substitution du métal au plastique sur cette fonction. Dans notre cas du « support feux arrière intégrant la traverse arrière », la proposition du designer de nommer cette application « bouclier arrière » contribue à véhiculer l'innovation que peut proposer la substitution de l'acier par le SMC sur cette fonction arrière.

Le designer avait donc déjà pensé à un « bouclier arrière » mais aucun projet n'avait été vraiment lancé suite à son idée. D'après lui, la raison provient essentiellement du fait qu'il est très difficile de cerner l'impact d'un restyling auprès des clients. D'autant plus que ce restyling est souvent accompagné d'innovations techniques. Par contre, le designer me précise

[11] Nous pouvons citer à titre d'exemple les premiers boucliers de la Renault 5

que le poids du marketing peut faire basculer la décision en faveur du projet ou bien si des constructeurs leaders concurrents ont déjà travaillé sur cet aspect. Finalement, je me mets d'accord avec le designer pour travailler ensemble même si ce projet ne fait pas partie des priorités et des projets du styliste. Je dois lui fournir les plans des solutions existantes en acier et je lui expose les contraintes générales du problème. En attendant les véritables propositions du designer, je repars avec le petit croquis de ce bouclier arrière que le designer a dessiné en discutant avec moi (figure 7). A ce moment, j'ai l'intuition que je possède dans les mains un argument majeur qui devrait me servir pour la suite du projet...

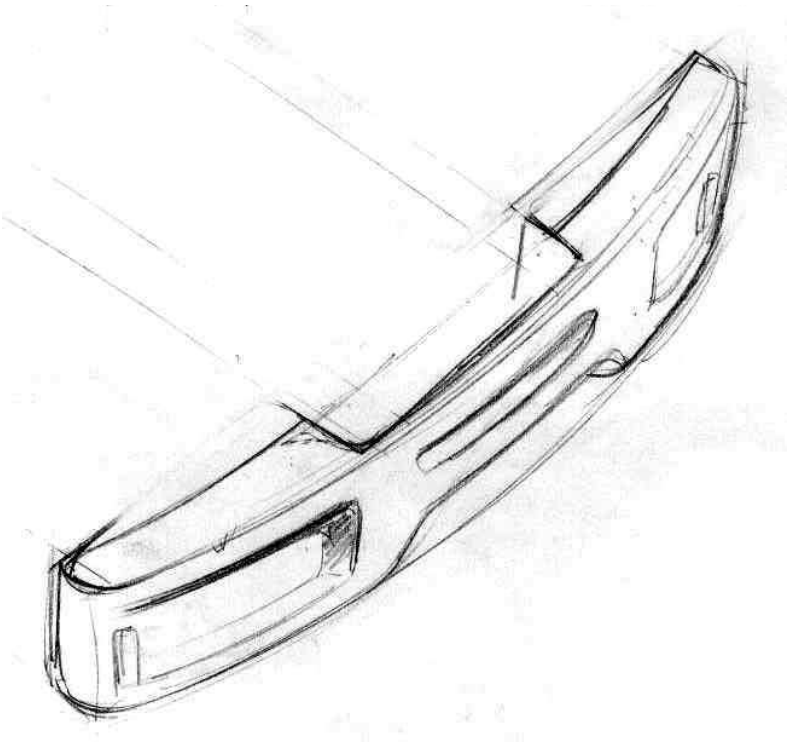


Figure 7 : Première esquisse du bouclier arrière en SMC réalisée par le designer

II.2 L'innovation ou l'enjeu de l'intéressement et de l'enrôlement des acteurs

Pour ce projet composite, comme pour le projet de nouveau véhicule, le designer devient alors un acteur amont dans le processus de conception, et quitte en partie son rôle d'acteur aval qui se contentait généralement d'évaluer des solutions déjà très avancées par les concepteurs du BE châssis. Le déplacement de cet acteur dans le dispositif est très important puisqu'il conduit à une situation où le designer occupe une place essentielle en légitimant au plus tôt la solution SMC par ses esquisses. Par cet exemple, nous voyons comment l'innovation cherche à trouver sa voie parmi l'organisation ou comment la progression de l'innovation nécessite d'intéresser un nombre croissant d'alliés qui vont la rendre plus forte.

Nous retrouvons encore une fois des caractéristiques de la sociologie de la traduction et notamment du modèle de l'intéressement présenté dans [Callon 86]. Ce modèle souligne la

dimension collective de l'innovation en insistant sur la solidarité qui s'établit entre les choix et les développements techniques et son destin socio-technique. L'intéressement est l'ensemble des actions par lesquelles une entité s'efforce d'imposer et de stabiliser l'identité des autres acteurs qu'elle a définis dans la phase de problématisation. En ce sens, nous pouvons dire que l'intéressement du designer sur le projet composite va permettre de stabiliser et de sceller les premières alliances avec les acteurs du réseau en légitimant le concept SMC par sa représentation sous forme d'esquisse.

De ce fait, le destin de l'innovation dépend à la fois des choix et des développements techniques mais également des dispositifs d'intéressement qui vont interagir et permettre de créer des irréversibilités pour le projet. L'innovation réussie est celle qui va trouver et stabiliser un arrangement acceptable à la fois pour les acteurs et pour la solution technique qui va progressivement s'adapter pour être adoptée. De ce fait, comprendre les raisons du succès ou d'un échec de l'innovation demande de se placer à ce croisement qui est difficilement identifiable entre l'analyse technique de l'objet en cours de conception, et l'analyse sociologique de l'objet, c'est-à-dire de comprendre les milieux (composés d'acteurs, d'objets intermédiaires et d'organisations) dans lesquels l'objet va évoluer et sur lesquels il va inter-agir.

L'exemple concernant le designer nous montre également comment un dispositif d'intéressement peut conduire à l'enrôlement d'un acteur. L'enrôlement est un intéressement réussi [Callon 86]. Il désigne le mécanisme par lequel un rôle est défini et attribué à un acteur qui l'accepte. Dans le cas du projet composite, mes négociations pendant la phase d'intéressement avec le designer en me proposant comme le porte-parole d'une solution composite plus favorable au design, conduise à l'enrôlement de mon interlocuteur. Celui-ci accepte ce nouveau rôle et ce nouveau statut, différents de ceux qu'il occupait jusqu'à présent dans le processus de conception du BE châssis. Ce déplacement de l'intervention du designer conduit à une certaine stabilisation du réseau grâce aux objets qui vont être mis en circulation (esquisses).

II.3 Une nouvelle consultation chez le fournisseur : de nouvelles connaissances pour consolider l'innovation

Le lendemain de ma rencontre avec le designer, je retourne chez le fournisseur Inoplast pour obtenir d'autres renseignements pour le projet. En regardant le croquis du designer, le responsable calculs d'Inoplast indique la démarche à suivre pour modéliser cette pièce et dimensionner le bouclier en SMC.

La modélisation d'une pièce en SMC pratiquée chez ce fournisseur s'effectue en plusieurs étapes. Cette modélisation, fortement orientée par les caractéristiques du procédé de fabrication du SMC, est également le fruit d'un travail de corrélation avec des essais mécaniques sur pièces réelles. La figure 8 représente les étapes principales qui débutent par la modélisation de la surface extérieure de la pièce. De cette première modélisation effectuée

sous un logiciel de C.A.O classique, le maillage avec généralement des éléments de type plaque, est ensuite obtenu par un logiciel de calculs par éléments finis.

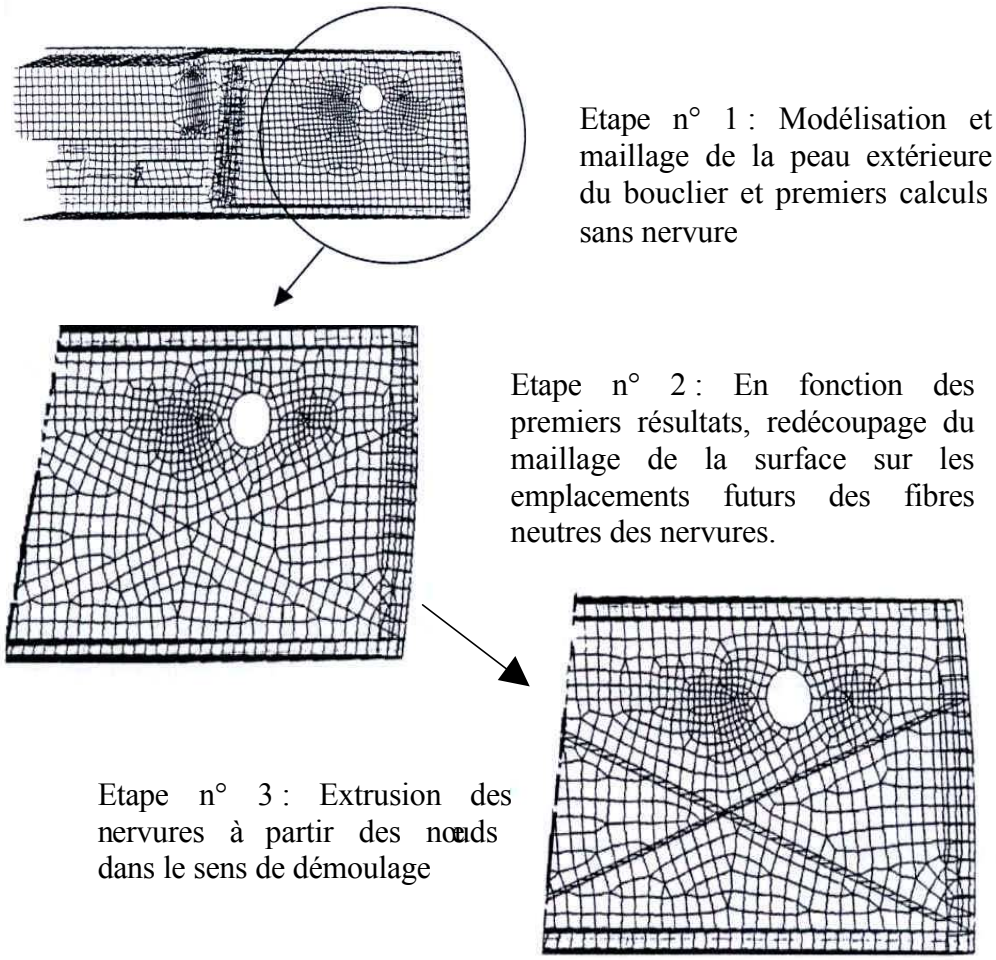


Figure 8 : Principes de modélisation et de calcul d'une pièce SMC

Les caractéristiques du matériau SMC et de la pièce sont alors données aux paramètres des éléments plaques. Ce point est très important car contrairement à sa structure fortement anisotrope liée à l'orientation des fibres présentée lors du chapitre 1, le SMC est modélisé ici avec les caractéristiques d'un matériau isotrope. Cependant ce choix est justifié car la disposition aléatoire des fibres rend cette hypothèse acceptable dans le plan. De plus, aucune analyse fine n'est possible car, à l'heure actuelle[12], il n'existe pas d'outil de simulation pour prévoir complètement l'orientation des fibres lors de l'écoulement de la matière. Ce manque de donnée ne permet pas de faire des hypothèses valides sur la caractérisation et la modélisation de l'anisotropie de ce matériau. En faisant l'hypothèse d'un matériau isotrope, les calculs permettent d'obtenir un comportement global du SMC dont certaines zones vont être ensuite réétudiées en mobilisant le savoir faire du fournisseur. La pièce est ensuite

[12] Nous signalons que les chercheurs du thème 2 de ce projet Action Composites travaillent actuellement sur cette problématique et développent un code de calculs basé sur les résultats d'une approche biphasique du matériau SMC.

dimensionnée et renforcée par l'ajout d'un réseau de nervures en fonction des sollicitations mécaniques. De plus, les résultats des simulations sont analysés en tenant compte du plan de chargement et des lignes de raccordement de la matière que nous avons présentés au paragraphe II.1.3.2 du chapitre 1, où éventuellement, des nervures sont rajoutées sur ces zones à risque. Nous pouvons remarquer ici que le dimensionnement de ces zones fait appel à de nombreuses connaissances peu formalisables qui sont le fruit de l'expérience de plusieurs années de calculs et d'essais de pièces SMC. De plus, le responsable calculs pense qu'une analyse modale sera nécessaire pour également modéliser le comportement en dynamique du bouclier. L'analyse modale permet de déterminer les fréquences des modes propres d'une pièce. Dans le cas du bouclier, l'analyse modale sert à dimensionner le bouclier en rajoutant des nervures pour obtenir des modes propres de cette pièce évitant tout problème de résonance avec la fréquence d'excitation liée à l'utilisation du véhicule sur route. Pour les données d'entrée des différents calculs à effectuer, l'acteur calcul me fournit les fiches techniques du fabricant de matières premières de plusieurs formulations de SMC. Egalement, il me recommande de m'inspirer de l'étude qui a été faite par Inoplast sur le bouclier avant du M100 en partenariat avec le bureau d'études cabine de Renault VI, pour guider celle du bouclier arrière.

La discussion aborde ensuite le problème de la fixation du bouclier sur les longerons. Le responsable calculs me conseille fortement d'utiliser des inserts dans le plan de moulage du bouclier, mais il me précise également que la fixation peut se faire par un assemblage vis-écrous avec de larges rondelles pour répartir l'effort de serrage. Cette question de l'assemblage du bouclier reste en suspend car la solution avec inserts nécessite de rajouter des pièces supplémentaires sur les longerons du châssis[13] et risque donc d'être plus coûteuse que la seconde alternative.

Après avoir obtenu de nombreux renseignements sur les étapes de la conception et du calcul du bouclier, je vais rencontrer une deuxième fois le responsable commercial chargé des projets Renault VI. J'ai sollicité cette réunion car je manque de données économiques concernant les coûts et les investissement sur le projet du bouclier que je présente de nouveau à mon interlocuteur. L'idée du bouclier arrière paraît intéressante pour le responsable commercial qui pense qu'une solution SMC peut être envisageable même si ce dernier est surpris par le faible coût de la solution actuelle en acier. Toutefois, d'après ses estimations en se basant sur des projets antérieurs (dont le bouclier avant), il pense que le coût du bouclier peut varier entre 300 et 500 francs suivant les accessoires (inserts, rivets) et la finition demandés. D'après lui, une solution de montage sans insert avec un système de fixation par vissage-boulonnage permettrait de diminuer le coût de la fonction. Le problème du coût d'investissement, lié principalement au moule, est également abordé. Les investissements d'une pièce composite représentent généralement des coûts relativement importants et

[13] Les longerons n'offrent pas de plan de fixation dans la direction de démoulage du bouclier

dépendent de la complexité du moule (moules à pavés mobiles, à pavés interchangeables). Cependant, les amortissements de ces coûts d'investissement dépendent du volume annuel de production. Selon le responsable commercial, sur ce type d'application, le SMC se place pour des volumes minimums de production de 4000 à 5000 pièces par an. Afin de pouvoir obtenir un premier devis du bouclier, il m'indique les données d'entrée à fournir : une définition géométrique avec des dimensions et un poids approximatifs du bouclier, ainsi qu'une épaisseur préconisée. Ces données permettent de définir le type de presse utilisée en fonction de la taille de la pièce et de la force de fermeture exigée. Le poids de la pièce permet d'obtenir une estimation du coût d'achat de la matière première. La forme de la pièce et son mode de fixation avec son environnement permettent de chiffrer les coûts d'usinage, d'ébavurage, et de pose d'accessoires (insert, autres éléments de fixation, etc.). Finalement, en fonction de la demande, la finition (peinture), le type d'emballage, le transport, peuvent être spécifiés ainsi que les possibilités de montage d'accessoires tel que les feux ou les catadioptres pour le cas du bouclier. Ce dernier point ouvre alors les possibilités de proposer un ensemble de pièce complet qui est une pratique souvent utilisée par Inoplast et qui correspond souvent aux demandes des grands constructeurs.

L'ensemble de ces données va me permettre de revenir au BE châssis avec des éléments nouveaux qui seront intégrés dans le tableau concepts/critères. Cependant, de retour au BE châssis, je suis surpris par la réaction du responsable fonction. Je lui fais part de mes dernières informations, mais celui-ci est relativement opposé à certains des principes de modélisation proposés par le fournisseur. Notamment, il conteste le choix de la modélisation de la surface extérieure au détriment selon lui, de la surface moyenne. Cependant, le choix du fournisseur se justifie par le fait que les épaisseurs sont minimes (quelques millimètres) et que la définition de la surface extérieure permet d'avoir une bonne qualité de modélisation de la surface d'aspect de la pièce qui sera ensuite utilisée pour la définition de l'empreinte du moule de la pièce. Il conteste également le fait que l'analyse des résultats des cartes de contraintes se fait chez le fournisseur en utilisant le critère de limite élastique de Von Mises. En effet, la plupart des calculs effectués au BE châssis sont analysés en tenant compte du critère de Rankine (ou critère de contraintes principales) et non du critère de Von Mises.

Cependant, après avoir rencontré les acteurs du BE cabine de Renault VI qui avaient travaillé sur le projet du bouclier avant, j'obtiens la confirmation que les méthodes utilisées par le fournisseur sont les mêmes que celles utilisées par le BE cabine.

II.4 Organiser la confrontation des savoirs sur le produit et sur le process

La situation du projet composite, nous conduit à observer et à accompagner des échanges de données techniques, économiques, et stratégiques entre les deux entreprises impliquées dans cette étude. Nous pouvons observer qu'une divergence apparaît lors de cette phase avant-calculs sur les choix de modélisation et notamment du critère de rupture à prendre en compte. Cette situation est liée aux difficultés de formalisation des connaissances sur la modélisation

du comportement mécanique des matériaux composites et notamment du SMC. Pourtant, nous pouvons remarquer que le choix du critère du fournisseur s'inscrit dans la suite logique de ses hypothèses faites pour la modélisation du SMC. Le critère utilisé de Von Mises permet de raisonner en terme d'énergie de déformation, prenant en compte à la fois les contraintes et les déformations. En effet, ne connaissant pas suffisamment le comportement du SMC du fait de ses caractéristiques d'anisotropie induites par le procédé, ce raisonnement en terme d'énergie est intéressant pour obtenir un résultat global du comportement qui tient compte des deux facteurs (efforts et déplacements).

Plus qu'un critère de rupture, c'est toute une série d'implications concernant la validité du choix qui est discutée : corrélation des essais avec les outils calculs, pertinence des résultats de calculs vis à vis des plans de chargements, validité de la solution technique. En effet, nous avons vu au chapitre 1 que les spécificités de ce process SMC n'étaient pas encore complètement formalisées et modélisées, notamment pour la question des plans de chargements, des lignes de raccordement. Cette particularité a conduit les acteurs calculs du fournisseur à développer une grande expertise basée sur des interprétations des résultats de calculs, corrélées avec des tests mécaniques et essais sur pièces réelles. Le responsable fonction présente une certaine opposition face aux propositions du fournisseur, mais cette résistance s'explique par le fait qu'il ne possède pas cette expertise du calcul de pièces SMC et reste dans une logique de modélisation de pièce acier. Inversement, le fournisseur n'est pas un expert du produit châssis et ne peut prétendre à concevoir de manière autonome le bouclier.

Lors de cette période de confrontation sur la modélisation du bouclier, nous pouvons voir ici une nouvelle évolution de ma position de concepteur SMC. La position dans laquelle je me trouve est particulière car elle peut être comparée à celle d'un acteur d'interface entre deux domaines d'expertise : je dois traduire les contraintes respectives des différents acteurs afin que celles-ci soient saisies par l'ensemble des intervenants. Cet aspect est fortement lié au constat du caractère lacunaire des savoirs et notamment à l'interface de ces deux domaines d'expertise. Cette fonction ou cette notion d'interface entre les métiers n'est pas spécifique à notre étude. Elle émerge également à travers de nombreux autres travaux dont [Moisdon et Weil 92] où à partir de l'étude du fonctionnement des plateaux projet chez Renault, les auteurs s'interrogent sur l'opportunité de créer un nouveau type d'acteur dans les projets de conception : les acteurs d'interface.

Nous reviendrons plus amplement sur la caractérisation de cette notion d'acteur d'interface lors des chapitres 3 et 4 mais nous souhaitons ici pointer sur l'enjeu du rôle de cet acteur concernant la confrontation des connaissances sur le process et sur le produit pour favoriser les apprentissages croisés selon [Hatchuel 94]. En effet, lors de la conception, il faut favoriser les interactions entre acteurs pour confronter les savoirs. L'enjeu consiste à organiser dans le contexte de l'action, le partage des connaissances de chaque acteur afin que ces derniers puissent apprendre sur le métier des autres intervenants. En ce sens, le cas de la modélisation

du bouclier est intéressant car nous sommes en présence de deux acteurs calculs qui possèdent une expertise construite sur des approches différentes. Lors de la « rencontre » de leur approche par mon intermédiaire, un désaccord apparaît concernant la bonne méthode à suivre. Pourtant, lors de la modélisation du bouclier, la méthode qui va être employée correspondra à un compromis qui sera le résultat d'une analyse de ma part de ces deux approches. En effet, le fournisseur est un spécialiste de la modélisation de pièce SMC, par contre, le BE châssis est un spécialiste du calcul et du dimensionnement de pièces de châssis. Dans ce contexte, il apparaît que tout le travail de l'acteur d'interface consiste à adapter, à confronter et à combiner les deux approches pour développer une nouvelle méthode et donc de nouveaux savoirs sur la modélisation d'une pièce en SMC sur le châssis d'un véhicule industriel. Par contre, concernant les apprentissages, nous allons voir que nous pouvons faire le constat suivant : l'acteur d'interface, situé au croisement des connaissances produit/process, est le principal bénéficiaire des nouveaux savoirs qui vont se construire dans l'action. Dès lors, les apprentissages des acteurs calculs et des autres intervenants du projet vont dépendre fortement de l'acteur d'interface et de son aptitude à formaliser et à faire partager ses nouvelles connaissances développées aux interfaces des métiers. Cependant, nous verrons que dans le cas du projet composite et dans la plupart des projets industriels, la formalisation et surtout la diffusion des savoirs d'interfaces (ici la modélisation du bouclier sur le châssis), pour des questions de temps, de priorité donnée à l'action et au développement de la solution, n'a pas toujours lieu ou alors de manière très lacunaire. Pourtant, la création de connaissances communes entre acteurs sur un projet en cours permet de favoriser les mécanismes de coopération pour les projets futurs.

Ces différents points soulèvent un certain paradoxe. En effet, l'acteur d'interface permet de favoriser la construction de nouveaux savoirs aux interfaces des métiers. Par contre, nous pouvons dire que ces savoirs sont peu partagés avec l'ensemble du réseau d'acteurs. Cette constatation nous interroge alors sur le rôle et la place de l'acteur d'interface dans le processus d'innovation. Quel est l'enjeu de l'acteur d'interface pour l'innovation ? Cette question sera plus amplement reprise dans le prochain chapitre où nous étudierons précisément le rôle de certains acteurs d'interface particuliers que nous avons pu rencontrer lors de notre étude : les experts matériaux.

Nous entrevoyons ici une piste de réflexion intéressante concernant l'instrumentation de ces phases où se construisent des savoirs d'interfaces. Nous reviendrons sur ce point à la dernière partie de ce chapitre en étudiant les possibilités d'instrumentation de ces phases dans l'objectif de favoriser les apprentissages des différents acteurs.

Partie III. L'arrivée de nouveaux acteurs dans le réseau : un déplacement de la problématisation pour répondre au double objectif du projet SMC

III.1 Des nouveaux critères d'évaluation pour le bouclier

Quatre mois après le lancement du projet composite, la réunion avec le responsable marketing a lieu et me permet de faire une présentation générale du travail qui a été fait sur l'ensemble du projet et je conclue en montrant finalement l'esquisse du designer. Le responsable marketing est un peu sceptique sur plusieurs aspects du projet. En effet, il fait part de ses inquiétudes concernant la phase d'utilisation de cette pièce et de son environnement agressif lié aux chocs. Le responsable marketing va faire émerger un nouveau critère lié à la réparabilité d'une telle pièce. En effet, il faudra proposer une pièce qui puisse être réparée avec un coût acceptable par les concessionnaires. A l'heure actuelle, les supports feux en acier sont parfois endommagés lors des manœuvres en marche arrière, mais les réparations sont peu coûteuses et très rudimentaires[14]. De ce fait, une solution en composite peut être vue comme un frein par le service de l'après-vente. De plus, il pense qu'une telle solution sera difficile à faire passer commercialement auprès de certains carrossiers[15]. Ceux-ci modifient souvent les véhicules pour monter la caisse sur le châssis, mais aussi pour fixer des éléments supplémentaires comme les hayons élévateurs. Finalement le responsable marketing me préconise de vérifier le nombre et le type de véhicules susceptibles de recevoir ce bouclier.

Suite à cette réunion avec le responsable marketing et les critères qui ont été soulevés concernant les aspects de maintenance et de volume de véhicules, je suis amené à réaliser une analyse des configurations des solutions existantes en acier. Cette analyse va me conduire à proposer plusieurs alternatives d'études de ce bouclier sur les gammes H100 et M100. Suite aux recommandations, j'étudie les possibilités de standardiser le bouclier sur les différentes variantes de véhicules des gammes M100 et H100. Ces variantes sont liées principalement aux différences de largeurs hors tout[16], et à la présence ou non d'un système de remorquage sur la traverse arrière. Plusieurs solutions sont proposées allant du bouclier spécifique pour chaque variante jusqu'à un bouclier standard pour l'ensemble des variantes. Mon objectif est de proposer des solutions pour essayer d'obtenir un volume annuel d'applications relativement conséquent afin de satisfaire le volume minimum de rentabilité des investissements d'une pièce SMC. Suite aux discussions avec les chercheurs et le fournisseur, une solution de découpe du bouclier pour adapter la pièce aux largeurs hors tout les plus petites semble être envisageable pour standardiser le bouclier aux véhicules M100 et H100.

[14] Les supports feux qui sont endommagés sont souvent redressés au marteau.

[15] Les carrossiers sont les entreprises extérieures qui « habillent » les véhicules livrés par Renault VI

[16] Il existe 4 largeurs hors tout pour le M100 (2100 mm, 2300 mm, 2500 mm, 2600 mm) et 3 largeurs hors tout pour le H100 (2360 mm, 2500 mm, 2600 mm). Les solutions existantes sont composées de supports feux de longueurs différentes en fonction du hors tout ciblé.

Cependant, suite à mes propositions, le responsable fonction décide de recentrer l'étude sur la gamme M100 uniquement qui correspond à un véhicule avec des niveaux de sollicitations sur le châssis moins importants que les autres gammes. Le projet composite, qui était jusqu'ici un projet de recherche, est en passe de trouver alors un projet « concret » d'application sur un véhicule. Le responsable fonction me demande de travailler sur l'adaptation de ce concept de bouclier sur le véhicule M100 et plus précisément sur la variante porteur solo. Cette variante correspond aux véhicules M100 équipés d'une caisse et ne possédant pas de crochet de remorquage.

Les propositions du designer (figure 9) arrivent peu de temps après au responsable BE qui est, comme moi, très satisfait par ces résultats. Ces esquisses vont permettre une visualisation de la solution qui va être présentée à d'autres services de l'entreprise.

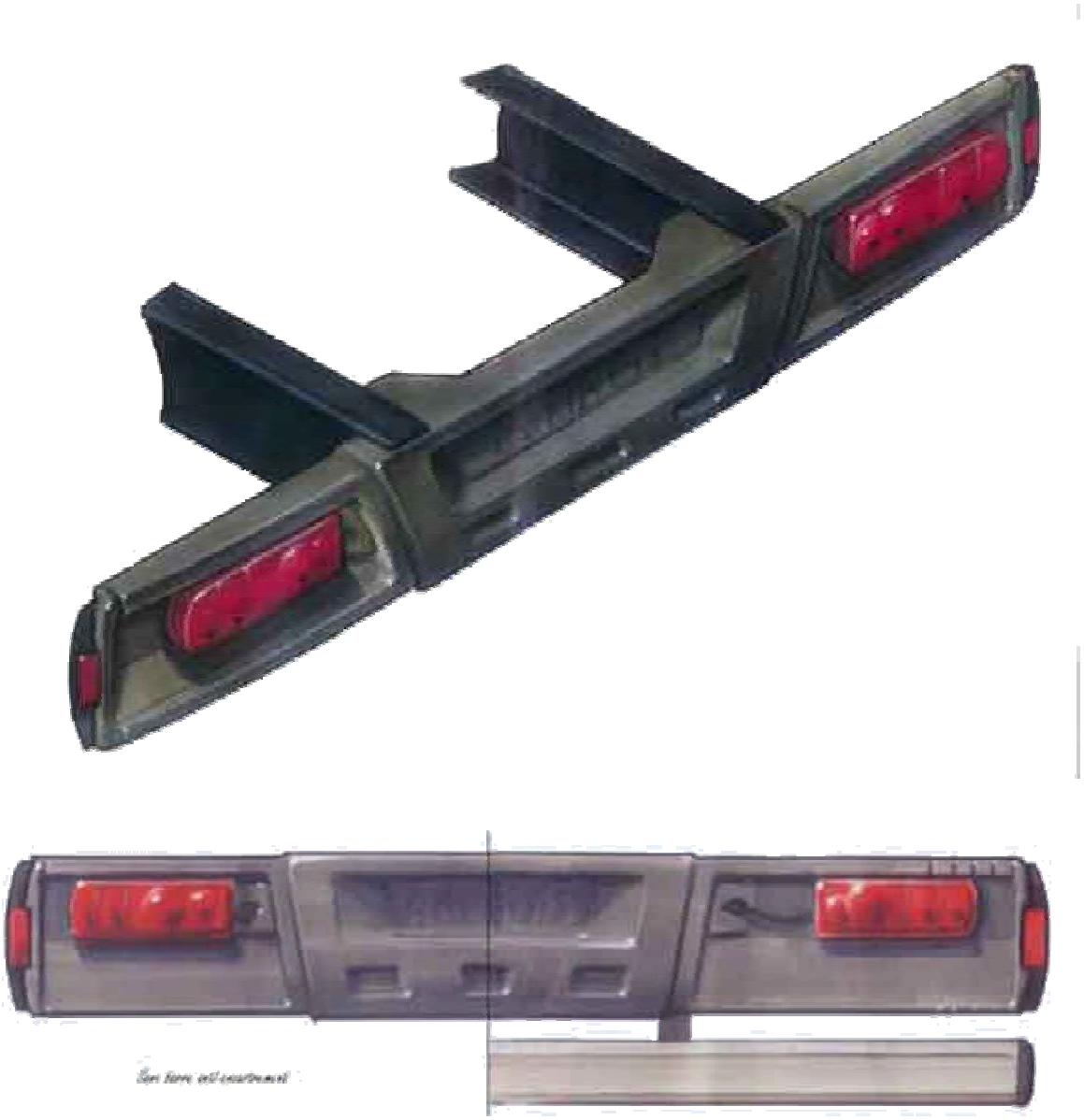


Figure 9 : Propositions du designer pour le bouclier arrière en SMC

Suite aux recommandations du designer, je démarre une étude de la concurrence et je trouve notamment dans [Liebold 89] une étude d'un support de feux arrière en SMC (voir figure 10).

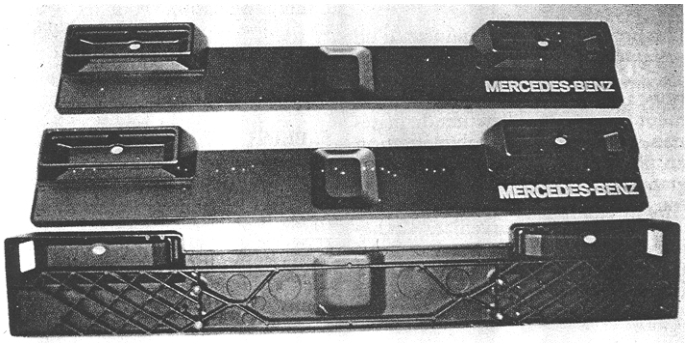


Figure 10 : Support de feux arrière de véhicules Mercedes (source [Liebold 89])

Egalement, je m'aperçois lors d'un trajet[17] sur l'autoroute que les remorques de la marque Fruehauff sont équipés d'un support feux arrière monobloc réalisé en matériaux composites. Cependant, ces deux applications correspondent à une solution de type 3 proposée précédemment et sont différentes de la proposition du bouclier qui intègre la traverse du châssis. Je contacte le service étude de la concurrence afin de faire une analyse plus poussée des applications similaires des autres constructeurs. La solution envisagée en SMC semble être unique dans le domaine du véhicule industriel. Cette particularité m'amène à contacter le responsable protection industrielle de Renault VI. Ce dernier vérifie qu'il n'existe pas de brevet déposé sur ce type d'application qui pourrait constituer un élément bloquant pour le projet.

Les esquisses du designer sont présentées à l'équipe complète du BE châssis. Nous pouvons alors observer l'effet de séduction de ces gouaches auprès des différents interlocuteurs peu habitués à voir des esquisses de designer et des dessins de pièces composites. Les impressions recueillies sont très positives et en voyant ces esquisses, un nouvel acteur, le responsable assemblage châssis, m'informe incidemment qu'il avait proposé une idée un peu similaire au départ du projet M100 en s'inspirant des pièces arrière des remorques Fruehauff. D'après lui, sa proposition avait été refusée car il y avait trop de risques pour une telle solution…

En parallèle, la présentation de ces esquisses du bouclier lors d'une réunion bilan sur le projet du nouveau véhicule va obtenir également un accueil positif. Désormais, l'objectif du bouclier SMC se précise et devient double : il faut que le projet composite puisse à la fois aboutir à des résultats sur une application de la gamme M100, tout en gardant l'objectif d'analyser les pistes d'études de ce concept pour le futur nouveau véhicule.

[17] Je m'intéresse de plus en plus à l'arrière des véhicules industriels lors de mes déplacements sur autoroute entre Grenoble et Lyon !

Je reçois également, après un certain temps, la réponse du responsable méthode concernant les volumes de productions des véhicules M100 en porteur solo. Cette variante représente au total un volume annuel de 4900 véhicules et se décompose de la manière suivante :

- Hors tout 2100 mm = 200 véhicules/an
- Hors tout 2300 mm = 2000 véhicules/an
- Hors tout 2500 mm = 2200 véhicules/an
- Hors tout 2600 mm = 500 véhicules/an

Les véhicules avec un hors tout 2100 mm correspondant à un volume annuel peu important (200 pièces), l'alternative est d'étudier un bouclier standard et donc possédant un outillage unique pour les 4 hors tout, en proposant une solution de découpe pour obtenir les 200 boucliers des véhicules de 2100 mm de largeur. Cette alternative nécessite de réaliser une étude des normes de réglementation concernant le positionnement des deux feux arrière, des deux catadioptres, et du positionnement et de l'éclairage de la plaque d'immatriculation. L'objectif est de trouver une configuration pour laquelle l'ensemble des éléments peut être monté en respectant les normes de réglementation pour les 4 largeurs différentes. Devant la complexité du problème, le nombre important de contraintes de positionnement et les ambiguï tés des textes normatifs pour un néophyte des aspects juridiques, je contacte un responsable du service normalisation. Un acteur du service électricité est également mobilisé pour obtenir les faisceaux lumineux du dispositif d'éclairage de la plaque d'immatriculation intégré dans le feux arrière. Finalement, après plusieurs jours de calculs de cotes de positionnement, une configuration (voir figure 11) avec une solution de découpe (pour la largeur hors tout de 2100 mm) est trouvée pour satisfaire l'ensemble des contraintes.

x

Problème de compression en .pdf pour cette image (voir version .doc ou version papier)

Figure 11 : Configuration du bouclier standard pour les différentes largeurs hors tout

Il faut noter que lors de cette phase de conception qui s'est concrétisée par la définition des cotes principales du bouclier, le responsable BE avait été un peu agacé par le fait que la solution de bouclier ne soit pas encore modélisée et surtout dimensionnée (au sens de la tenue mécanique) avec les outils de C.A.O. Sur ce point, je lui avais fait part de mon désaccord par rapport à son point de vue, car je considérais que ce travail préliminaire était nécessaire afin de vérifier si le volume minimum de rentabilité des amortissements d'une pièce SMC pouvait être atteint sur ce type d'application en satisfaisant les différentes contraintes de la réglementation et du process SMC. Finalement, le responsable BE m'avait demandé de commencer au plus tôt la phase de calculs dès que mon travail sur le volume de rentabilité serait terminé car il avait plus de doutes sur la tenue mécanique du bouclier que sur la rentabilité des investissements.

Cet exemple illustre bien la difficulté concernant l'intégration des nouvelles contraintes de conception d'une pièce composite. En effet, en comparant avec les process des pièces acier utilisés par le BE châssis, le SMC demande des investissements plus conséquents qu'il faut amortir par la fabrication d'un nombre de pièces suffisamment important. Lors de mon intervention chez le fournisseur, ce point est vite repéré par le responsable commercial qui me conseille de vérifier cette contrainte pour le bouclier. De ce fait, l'alternative d'un bouclier standard est alors envisagée et étudiée pour atteindre cette valeur minimum et remplacer des solutions aciers existantes qui utilisent plusieurs références et longueurs différentes de supports feux. De plus, le concept de bouclier, possédant une forte intégration de fonctions en remplaçant plusieurs pièces existantes, implique que les contraintes de positionnement des éléments soumis à des réglementations sont maintenant rassemblées sur une seule et même pièce. Ces particularités qui peuvent remettre en cause le concept du bouclier, amènent à étudier ce problème complexe de « compatibilité » géométrique et économique avant de converger sur la solution avec une étape de dimensionnement et de calculs.

Par contre, à ce moment du projet, le responsable fonction n'a pas cette préoccupation majeure concernant la contrainte liée aux coût d'investissement car il est habitué à évoluer dans un contexte où les coûts du process sont maîtrisés. Dès lors, pour le responsable BE la priorité reste toujours la tenue mécanique de la pièce. Nous voyons ici que cet acteur tend à rester dans une logique et un déroulement de conception traditionnelle alors que le bouclier demande d'intégrer une nouvelle étape dans ce déroulement. En effet, pour ce projet, la recherche du volume de rentabilité minimum est primordiale car ce dernier peut remettre en cause le niveau d'intégration de fonctions et orienter vers un choix de concept différent pour satisfaire ce critère de rentabilité.

Nous verrons à ce sujet, lors des parties suivantes, comment la suite des évènements a d'ailleurs conduit à ce type de situation où le niveau d'intégration va être rediscuté…

III.2 A travers l'élargissement du réseau d'acteurs et l'enrichissement des grilles d'évaluation : l'innovation progresse

Nous voyons ici comment l'arrivée de nouveaux acteurs, et pour certains le croisement avec un autre projet, viennent encore déplacer la problématisation en passant de la question du degré d'intégration de fonctions à la question du choix des véhicules cibles pour la pièce SMC. L'arrivée de nouveaux acteurs (acteur marketing, acteur réglementation) au sein du réseau complexifie le projet du bouclier mais ne le remet pas en cause complètement. Chaque nouvel acteur, en analysant le concept proposé, suggère ses propres critères et sa propre hiérarchie de critères sur le projet composite.

De ce fait, ils participent à la mise à l'épreuve du concept, mais aussi, paradoxalement, à la consolidation et à l'augmentation de la crédibilité de la solution. En effet, cette confrontation du bouclier à de nouveaux critères tend à favoriser un développement de la solution en augmentant les arguments en sa faveur. Ces confrontations permettent de compléter un dispositif d'évaluation qui s'enrichit. Dans cette optique, le succès d'une innovation consiste à trouver un arrangement au sein des acteurs mais cet ajustement mutuel doit se faire en tenant compte et en intégrant les points de vue de l'ensemble des acteurs qui peuvent être dans une attitude d'innovateur ou de légaliste. Nous pouvons cependant dire que les acteurs qui présentent, à un certain moment du projet, une attitude légaliste, ne bloquent pas pour autant le processus et d'une certaine façon tendent à favoriser des réflexions sur la solution. En proposant leurs nouveaux critères d'appréciations, ils contribuent d'une certaine manière à consolider la solution proposée. Ainsi les critères de réparabilité ou de volume de production apportés par l'acteur marketing ont contribué à apporter des éléments objectifs dans le débat autour du concept de bouclier arrière.

III.3 La phase de calculs et la demande de chiffrage

Suite aux esquisses du designer, et à la configuration obtenue en tenant compte des contraintes de réglementations, je réalise une première modélisation du bouclier sous un logiciel de C.A.O (Conception Assistée par Ordinateur) (cf. figure 12).

A partir de cette modélisation, la surface est maillée, avec un logiciel de calcul par éléments finis, et deux nervures sont extrudées en utilisant les principes de modélisation du fournisseur décrite au paragraphe II.3. Sur les deux nervures, l'assemblage composé de six vis-écrous-rondelles, est modélisé par des éléments rigides en étoile pour simuler les répartitions de pression des écrous sur les rondelles, et des éléments poutres pour simuler les vis. A noter que ce type de modélisation concernant ces assemblages est commune chez Renault VI et Inoplast. Au final, le modèle éléments finis du bouclier de la figure 13 est obtenu.

x

Problème de compression en .pdf pour cette image (voir version .doc ou version papier)

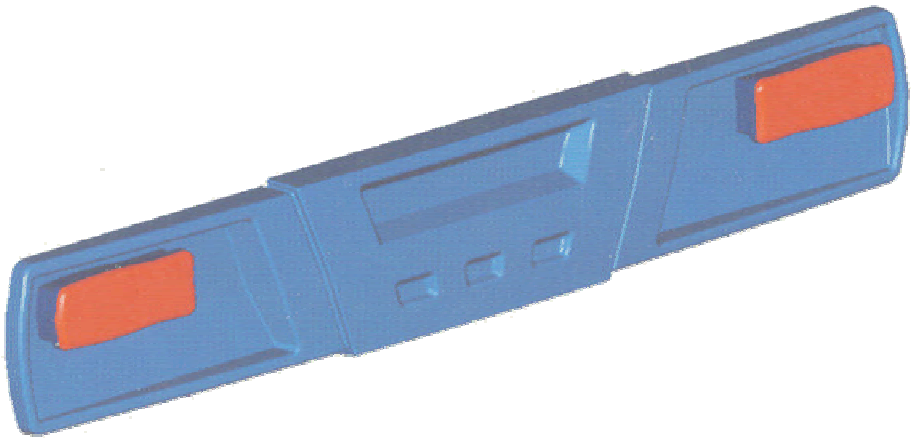


Figure 12 : Première modélisation C.A.O du bouclier arrière

x

Problème de compression en .pdf pour cette image (voir version .doc ou version papier)

Figure 13 : Modèle éléments finis de la version n°1 du bouclier arrière

La phase de calculs va pouvoir débuter par un premier calcul en statique en assemblant ce modèle du bouclier à celui du châssis. Le modèle complet (figure 14) que j'obtiens grâce aux nombreux conseils du responsable fonction et d'un acteur calculs du BE peut ainsi simuler plusieurs cas de charge correspondant aux différentes configurations d'utilisation du véhicule industriel. Ainsi, les configurations simulées correspondent aux cas suivants :

- **Vertical nominal :** Simulation du poids de la caisse et de son chargement maximum sur le châssis
- **Transversal :** Simulation des efforts appliqués sur le châssis lorsque le véhicule exécute plusieurs virages serrés en S
- **Freinage :** Simulation des efforts appliqués sur le châssis lorsque le véhicule freine fortement

- **Torsion Avant :** Simulation des efforts appliqués sur le châssis lorsqu'une des roues avant monte sur une marche de 200 mm (correspond à la hauteur d'un trottoir).
- **Torsion Arrière :** Simulation des efforts appliqués sur le châssis lorsqu'une des roues arrière monte sur une marche de 200 mm.

x

Problème de compression en .pdf pour cette image (voir version .doc ou version papier)

Figure 14 : Assemblage de la version n°1 du bouclier sur un châssis M100

Un premier calcul du bouclier est lancé avec les caractéristiques d'un SMC qui est utilisé pour des applications de face avant automobile. L'épaisseur choisie est de 4 mm pour l'ensemble de la pièce qui pèse alors 9,478 kg. Les premiers résultats sont surprenants car la pièce semble « couler » littéralement à l'écran ! L'acteur calculs du BE châssis plaisante en me faisant remarquer que les résultats ne sont pas si surprenants car « c'est un bouclier en plastoc ! ». Après vérification, cette petite surprise va s'expliquer par le fait que j'avais oublié de spécifier le coefficient de Poisson du matériau SMC. Le responsable fonction me propose alors de prendre la valeur de $\gamma = 0{,}49$ qu'il connaît pour les matériaux plastiques. Cependant, j'appelle un des chercheurs du laboratoire LMPC qui me donne des indications plus complètes et différentes. D'après lui, le coefficient de Poisson pour tout polymère à l'état vitreux homogène (même si ce n'est pas le cas de la matrice du SMC) est de 0,33 - 0,34. Concernant le renfort, le coefficient de Poisson pour la fibre de verre est de 0,22. Pour les matériaux composites, il me conseille d'utiliser une valeur entre 0,25 et 0,30 qui correspond à une combinaison plus ou moins proche d'une loi des mélanges volumiques. Pour le SMC, il pense que $\gamma = 0{,}3$ est une valeur bien représentative pour ce matériau. L'acteur calculs du BE est surpris par cette valeur car celle-ci se rapproche de coefficient de Poisson de l'acier.

Les calculs sont relancés en rajoutant ce paramètre et les premiers résultats montrent que les contraintes dans le bouclier ne sont pas importantes pour un SMC avec une limite élastique donnée à $\sigma_{max} = 80$ Mpa en utilisant le critère de Von Mises. En effet, la contrainte maximum

observée très localement, est évaluée à 15,6 Mpa au niveau d'un point de fixation dans le cas de calcul de la torsion avant (voir figure 15).

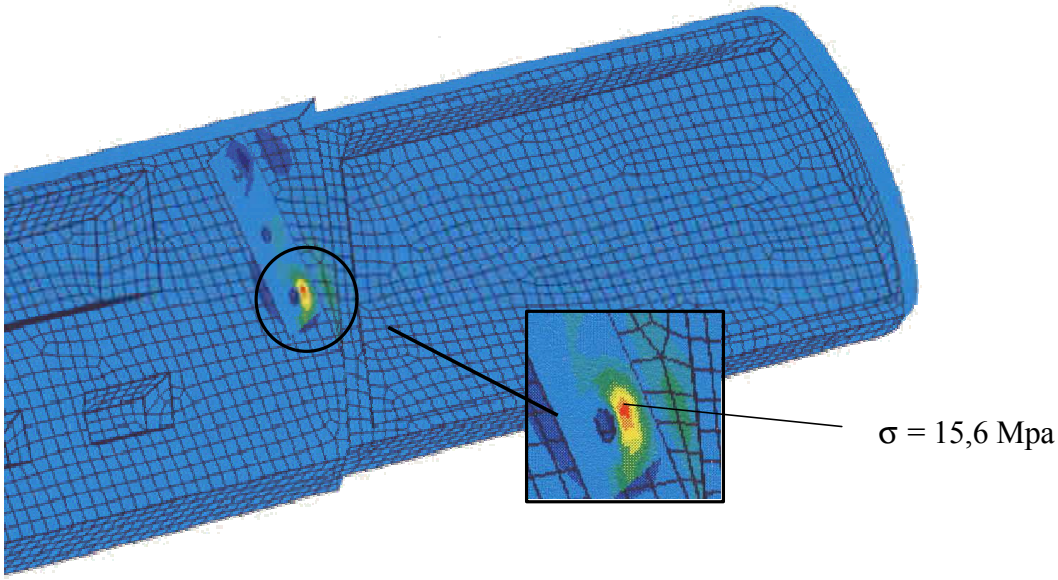


Figure 15 : Contrainte maximum au niveau d'un point de fixation

Suite à ce premier résultat, plusieurs calculs sont lancés en changeant de formulation de SMC et d'épaisseur. L'ensemble des résultats ainsi que le poids du bouclier sont rassemblés dans un tableau récapitulatif (cf. tableau 2).

Module d'Young (SMC)	Epaisseur pièce	Poids pièce	Contrainte maximale
E=11000 Mpa	4 mm	9,478 kg	15,6 Mpa
E=8000 Mpa	4 mm	8,9 kg	23,7 Mpa
E=8000 Mpa	3 mm	6,7 kg	34,4 Mpa
E=8000 Mpa	2 mm	4,455 kg	44,8 Mpa

Tableau 2 : Résultats des différents calculs de la version n°1 du bouclier

L'analyse de ces résultats avec le responsable fonction et l'acteur calculs, nous montre que le faible niveau des contraintes peut s'expliquer par le fait que la pièce est peu rigide. En effet, la pièce ne possédant pas de nervure autre que celles prévues pour la fixation, une analyse modale doit donc être faite pour vérifier la raideur du bouclier.

Le modèle complet de la figure 14 est adapté pour une analyse modale. Pour cela, le modèle du châssis complet est simplifié en gardant uniquement les parties arrière des longerons qui sont fixées avec une liaison de type encastrement à leur extrémité près de la traverse. L'analyse modale, utilisant un algorithme de Lanczos, permet d'obtenir les fréquences propres de cet ensemble et plus particulièrement celle du bouclier. Concernant l'analyse modale, les acteurs du BE cabine m'avaient précisé que la fréquence propre pour une pièce

sur châssis doit être supérieure à 14 Hertz et que celle d'une pièce sur cabine doit être supérieure à 18 Hertz pour éviter tout problème de résonance.

x

Problème de compression en .pdf pour cette image (voir version .doc ou version papier)

Figure 16 : Modèle pour l'analyse modale de la version n°1 du bouclier

Les résultats de l'analyse modale vont me permettre de travailler progressivement sur le réseau de nervures de la pièce pour obtenir un premier mode propre du bouclier avec une fréquence supérieure à la fréquence d'excitation de la route pour éviter les phénomènes de résonance. Cette fréquence d'excitation de la route est évaluée à 14 Hertz et correspond aux résultats des tests sur pistes d'essais menés par le service essais véhicules. Les premiers résultats de la version n°1 du bouclier avec les caractéristiques (épaisseur de 3 mm, poids de 6,7 kg) sont obtenus et sont rassemblés dans le tableau 3.

Mode Propre	Désignation	Fréquence	Remarques
1er MP	Flexion supports feux Mode "Jumbo"	**10,66 Hz**	< 14 Hz
2ème MP	Même mouvement en opposition de phase	**10,75 Hz**	Lié au 1er MP
3ème MP	Flexion des longerons	**11,75 Hz**	Non significatif
4ème MP	Torsion supports feux en opposition de phase	**20,20 Hz**	> 14 Hz

Tableau 3 : Résultats de l'analyse modale de la première version du bouclier en épaisseur 3 mm

Le premier mode propre correspond à un mouvement d'oscillation des parties qui dépassent de chaque côté des longerons où sont fixés les feux. Ce mode de *battements d'ailes* est baptisé « *Jumbo* » par le concepteur SMC et le responsable fonction. Le deuxième mode est identique au premier mais avec un déphasage. De ce fait, si la fréquence du 1er mode est augmentée, la fréquence du 2ème mode le sera également. Le troisième mode propre est particulier, car il est lié aux conditions d'encastrement du modèle global. En effet, cette fréquence correspond au mode propre des longerons qui ont tendance à osciller en flexion comme un mouvement de queue de requin (cf. symbole du tableau 3). Ce mode est peu significatif, car il n'est pas lié à la raideur du bouclier mais dépend des conditions d'encastrement du modèle. Le quatrième mode propre est un mouvement d'oscillation en torsion et en opposition de phase des parties supports feux. Par contre, celui-ci est au-dessus de la limite des 14 Hertz.

Ces résultats confirment les premières impressions : le bouclier n'est pas assez rigide. Par contre, ces premiers résultats sont encourageants car il ne faut augmenter que de 4 Hertz, la fréquence propre d'un bouclier qui n'a pas encore été nervuré. En voyant ces premiers résultats, le responsable fonction me demande de faire une analyse de la solution acier existante afin de pouvoir comparer les fréquences du bouclier avec celles de la solution acier. Les résultats de cette nouvelle analyse montrent que la solution actuelle est largement au dessus des 14 Hertz, le premier mode propre étant de 32 Hertz. Le responsable fonction fixe alors un objectif de 18 Hertz pour le bouclier en se basant sur les études du bouclier avant du BE cabine que je lui avais montrées.

Pendant un mois, une vingtaine de versions et calculs vont être nécessaires pour obtenir une solution dynamiquement acceptable. Cependant, les premières versions du bouclier vont fournir les données d'entrée nécessaires pour une demande d'un premier chiffrage du coût de la solution qui est soumise au fournisseur. Cette phase de calculs va se terminer par une version du bouclier satisfaisant les objectifs de tenue mécanique spécifiés, ainsi que les nouveaux critères qui sont apparus lors de cette phase de calculs.

En effet, pendant le dimensionnement du bouclier, j'ai été amené à modifier deux points essentiels sur la forme du bouclier. Le premier concerne le mode de fixation du bouclier qui va être changé suite à un entretien avec le responsable calculs du fournisseur. En effet, ce dernier me recommande de supprimer les assemblages sur les deux nervures car il y a des risques de fragilité liés à un manque potentiel de fibre de verre sur ces zones. L'assemblage de type vis-écrou peut se faire mais sur la surface de la pièce et non sur des nervures. De ce fait, le mode de fixation de la pièce est revu en imaginant une fixation des longerons du châssis au niveau de la poche centrale du bouclier.

Egalement, un second point concernant la traverse acier existante va également modifier la forme du bouclier. Cette modification fait suite à la demande des carrossiers qui imposent une suppression des éléments de fixation de la traverse sur l'aile supérieure du longeron. Cette contrainte va se répercuter sur le bouclier car celui-ci, bien que fixé sur l'âme du longeron

dépasse également au-dessus de l'aile du longeron. Celui-ci doit être redessiné et redimensionné en tenant compte de ces nouvelles contraintes (figure 17).

x

Problème de compression en .pdf pour cette image (voir version .doc ou version papier)

Figure 17 : Modèle éléments finis de la version 4.6 du bouclier arrière

Par contre, nous pouvons noter que cette modélisation est simplifiée au niveau de la forme du bouclier car elle correspond à un modèle éléments finis dont le but est de prévoir le comportement mécanique général de la pièce. Par contre, les critères ayant évolués, je demande au designer un nouvel entretien pour travailler sur le style du bouclier qui a été modifié. De plus, les emplacements pour les catadioptres et la plaque de police ont du être déplacés suite aux contraintes de réglementation.

Cette phase d'avant projet qui a duré dix mois a permis alors de faire émerger une solution composite au sein du BE. Nous avons vu comment le concept de pièce composite a réussi à s'imposer par rapport aux propositions initiales de pièce unique, et comment l'arrivée de nouveaux acteurs au sein du réseau a pu complexifier le projet mais sans le remettre en cause complètement. En effet, nous avons assisté, après l'acceptation du concept du bouclier, à des ajustements classiques en conception et non à une remise en cause de la problématique ni du réseau d'acteurs. Dans la partie suivante nous allons voir comment ce processus a subitement été freiné, et l'innovation potentielle remise en cause…

Partie IV. Quand la logique économique et le management des projets rattrapent l'innovation : le bouclier, une solution sur étagère

IV.1 Une première finalisation de la solution

Lors de sa venue au BE châssis pour visualiser les premières modélisations C.A.O, le designer est agréablement surpris par la fidélité des modèles de calcul par rapport à ses esquisses. Le designer propose alors sa nouvelle gouache du bouclier qui tient compte des dernières contraintes que je lui avais rapportées concernant le positionnement des catadioptres et de la plaque de police. D'après lui, même si les contraintes évoluent, il faut garder la même image et le même concept pour garder l'attention des personnes qui ont déjà vu les premières esquisses.

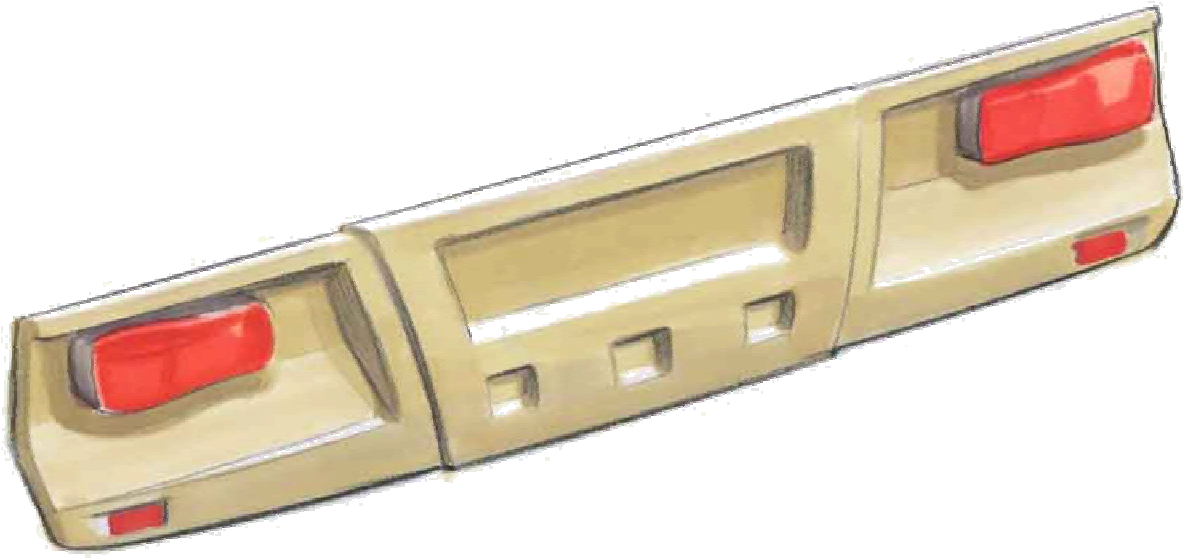


Figure 18 : Nouvelle esquisse du designer

Je possède alors une orientation pour la forme finale du bouclier, une première note de calculs de pré-dimensionnement et, peu de temps après, la réponse du chiffrage concernant une des premières versions du bouclier est reçue par l'acheteur du BE châssis.

Ce chiffrage va montrer un surcoût de la solution bouclier par rapport à la solution initiale de 20% environ en tenant compte d'une estimation des coûts de montage du bouclier. Bien que le devis ne soit pas favorable à la solution bouclier, je pense que ce premier chiffrage est encourageant pour la suite car un travail d'optimisation concernant le choix de matière, le dimensionnement du bouclier, et une étude des possibilités de réduction de coûts avec le fournisseur doivent permettre de rendre compétitif la solution de bouclier.

IV.2 La logique économique et le management des projets

Les premiers résultats de calculs et cette indication chiffrée vont être alors montrés directement lors d'une réunion d'avancement avec les responsables du BE châssis et du Laboratoire Matériaux. Ce qui constitue pourtant qu'une première évaluation de la 2ème version du bouclier[18] va alors contribuer à fortement ébranler l'intérêt que le BE châssis avait fini par manifester pour une solution composite.

Lors de cette réunion, nous allons voir fonctionner la logique de l'analyse par le coût, où ce chiffrage, qui n'est pourtant qu'une première évaluation, est pris ici comme une donnée figée et non négociable et va constituer un retournement majeur dans l'engagement des acteurs. Cet obstacle est ici d'autant plus surestimé car nous sommes dans un BE où la méfiance envers ce type de solution demeure encore très grande. De son côté, un représentant du Laboratoire Matériaux semble consterné par ce premier chiffrage et considère que le fournisseur peut réduire son estimation. Lors de la réunion, nous convenons de reprendre ce chiffrage avec l'acheteur du BE châssis afin que ce dernier puisse reprendre les négociations avec le fournisseur.

L'acteur achat du BE châssis, qui avait reçu ce chiffrage, me consulte pour avoir plus d'explications sur certains points techniques et sur le fournisseur de pièces composites avec lequel il n'a jamais travaillé et qu'il n'a pas encore expertisé.

J'apprends alors qu'une réunion en interne doit avoir lieu avec le responsable du BE châssis, un représentant du Laboratoire Matériaux, et l'acheteur pour discuter de l'orientation et de la stratégie à mettre en œuvre pour faire baisser les coûts annoncés.

A ce moment, même si le chiffrage a introduit une certaine tension dans les discussions[19], je sens que le projet continue à progresser. De plus, il faut noter que pour la première fois depuis le début de l'histoire du bouclier, les orientations ne dépendent plus complètement de mon intervention car les acteurs Renault VI se sont saisis complètement de la conduite du projet.

Etant arrivé à une première finalisation technique de la solution bouclier, et la suite du projet dépendant essentiellement d'un enjeu économique et stratégique propre à Renault VI, nous faisons part, comme convenu dans le contrat de recherche, de nous retirer progressivement de l'action de ce projet. Mes interventions dans le projet comme acteur d'interface doivent donc être progressivement réduites.

Par contre, bien qu'il soit convenu de lancer une véritable concertation économique avec le fournisseur pour avoir des précisions sur sa proposition et pour retravailler la dernière version

[18] Depuis le bouclier a évolué et a été retravaillé car nous sommes sur la vingtième version au moment où nous recevons le chiffrage.

[19] Il faut préciser que l'entreprise est engagée à cette époque dans une démarche forte de réduction des coûts.

du bouclier, cette consultation sera sans cesse repoussée. Ce qui pourtant aurait été une démarche classique dans ce genre de situation, où le devis initial sert en fait de point de départ pour lancer une négociation sur le coût final de la prestation.

Dans le même temps les premiers retours du projet du nouveau véhicule sont rapportés par le responsable de la fonction arrière. Ces retours font valoir la volonté du groupe projet de privilégier des pièces ayant plutôt un faible niveau d'intégration afin de favoriser leur modularité et leur plus large combinaison sur les véhicules. Lors de la réunion, le responsable fonction émet alors de forts doutes concernant un bouclier qu'il juge alors peu modulaire. Ce deuxième événement va s'ajouter à celui du chiffrage pour remettre en cause l'idée d'intégration de fonctions, sur laquelle toute l'identité du projet composite et du bouclier s'était jusqu'ici patiemment et progressivement construite.

Ces événements et les oppositions de logiques qui les sous-tendent vont se conjuguer pour, à la fois faire éclater la problématisation qui semblait être acquise à une solution de fonction intégrée, et à la fois désactiver le réseau d'acteurs qui avaient été mobilisés pendant près de douze mois. Nous sentons alors que le projet bouclier est en train de prendre une dynamique peu prometteuse.

A ce sujet, c'est le représentant du Laboratoire Matériaux qui nous rassure devant la déception évidente que je manifeste. Pour lui, il ne s'agit pas de l'arrêt définitif du projet. Tout au plus, il considère qu'il s'agit d'un arrêt provisoire où le travail effectué constitue une base solide pour reprendre l'étude si une conjoncture plus favorable s'y prête.

C'est ainsi qu'il qualifie notre bouclier de « solution sur étagère », suffisamment robuste pour être proposée à plusieurs fournisseurs potentiels pour un nouveau chiffrage et être intégrée dans un nouveau projet véhicule.

Partie V. Le retour du bouclier ou la réappropriation du projet

V.1 La standardisation du bouclier et l'intégration du coffre à outils

Suite aux évènements précédents, je reprends certains travaux de prospective déjà effectués et j'étudie les alternatives possibles pour relancer le bouclier. Parmi les solutions possibles, l'axe de développement concernant la standardisation du bouclier aux gammes M100 et H100 est relancé. Pour cela, je reprends les données sur les volumes demandés au service méthode et les estimations de coûts établies au début de mes investigations. Les avantages d'une telle alternative sont nombreux : le volume de fabrication serait plus intéressant pour une application SMC et permettrait de réduire les coûts de la pièce. Egalement, le coût de la fonction arrière existante sur les véhicules H100 est plus important que sur les véhicules M100 et la solution chiffrée du bouclier serait déjà compétitive sur cette gamme de produit. Par contre, les solutions de fixation sur les véhicules H100 et M100 sont étudiées afin de standardiser le bouclier sur les deux gammes. Le problème concerne la distance entre les longerons (l'entre axes) qui n'est pas identique entre les deux gammes et qui varie en fonction de l'épaisseur du longeron[20] (voir figure 19). En effet, sur les véhicules M100, c'est la côte extérieure qui varie en fonction des différentes épaisseurs de longerons et sur les véhicules H100, c'est la côte intérieure.

Figure 19 : Différences de fixation sur M100 et H100

Pour la fixation d'un bouclier standard sur les gammes M100 et H100, je propose alors de concevoir un système de fixation pour assembler le bouclier à l'intérieur de la configuration présentant un entre axe minimum et de rajouter des rondelles et/ou des entretoises pour fixer le même bouclier sur les autres configurations avec un entre axe plus important. Nous pouvons noter que cet axe de développement correspond à un objectif de standardiser un bouclier unique sur deux gammes de véhicules. Nous pouvons voir ici qu'il existe une contradiction avec la vision du responsable fonction qui considère que le niveau d'intégration de fonctions ne permet pas d'avoir des pièces modulables. Pourtant, ce niveau d'intégration va être encore augmenté par la proposition d'une nouvelle alternative réduisant les coûts du bouclier. En effet, suite à une question du responsable du Laboratoire Matériaux concernant

[20] 3 à 4 épaisseurs différentes de longeron sont utilisées sur ces deux gammes en fonction de la variante du véhicule.

les possibilités d'intégrer d'autres fonctions sur le bouclier, je suis amené à relancer une phase de prospective. Je propose une nouvelle solution où le coffre à outils, élément indépendant fixé sur l'avant du châssis derrière la cabine, serait intégré au niveau de la poche centrale du bouclier entre les deux longerons. Avec cette option, le coût du bouclier intégrant un coffre à outils devra donc être comparé avec la somme totale des coûts de la fonction arrière acier existante et ceux de la fonction coffre à outils qui sont relativement importants. Les premières estimations montrent alors un gain de coût qui semble très important pour la solution bouclier + coffre à outils. Nous pouvons voir ici une remise en cause de la zone problématique qui va être élargie suite à l'avancement du projet. Suite à une présentation bilan de l'ensemble de ce projet au Laboratoire Matériaux, je suis chargé de contacter le responsable protection industrielle pour discuter des éventuelles nécessités de protéger par brevet cette solution de bouclier arrière. Lors de ma deuxième rencontre avec cet acteur, mon interlocuteur pense qu'il serait nécessaire de protéger cette solution qu'il juge brevetable sur plusieurs points avec ou sans coffre à outils.

V.2 La réappropriation du projet du bouclier chez Renault VI

C'est lors de cette période de négociations entre les différents partenaires du projet Action Composites, concernant le brevet du bouclier, que l'histoire de notre intervention sur ce projet va s'arrêter car nous avons dépassé à ce moment notre temps d'immersion sur le terrain. En effet, ma priorité est alors de revenir dans mon laboratoire de recherche pour me consacrer pleinement à une période de prise de recul et d'analyse sur cette expérience riche en enseignement. Ce projet de bouclier arrière, démarré il y a plus d'un an, est maintenant un projet dont l'avenir dépend uniquement des acteurs de Renault VI. Le projet et les nouvelles propositions vont être largement repris par un nouveau responsable du Laboratoire Matériaux qui va alors relancer le projet en mobilisant un nouveau réseau d'acteurs. Entre autres, un nouvel acheteur, spécialiste de l'achat de pièces plastiques et un expert matériaux vont être sollicités pour relancer des négociations avec le fournisseur mais également avec d'autres fournisseurs de technologies différentes du SMC. Des nouvelles alternatives sont proposées, de nouvelles évaluations sont réalisées, de nouveaux acteurs sont mobilisés, et des stratégies nouvelles sont développées chez Renault VI mais le projet est maintenant trop insaisissable pour nous chercheurs qui ne sommes plus au cœur de l'action pour le relater dans le détail.

Seulement, quelques mois plus tard, le groupe Renault associe sa branche Renault VI à l'entreprise suédoise Volvo. La plupart des projets en développement sont momentanément arrêtés pour des impératifs prioritaires de restructuration des services : le projet bouclier n'échappe pas à ce mouvement. A ce jour, en écrivant ces lignes, cette question de restructuration restant toujours d'actualité, tout comme nous, vous n'en saurez pas plus sur l'avancement de ce projet composite. Pourtant, je pense que le concepteur SMC, et certains des acteurs de ce projet, espèrent toujours voir, un jour, une pièce en composite sur la partie arrière d'un véhicule industriel… Ce jour là, nous pourrons dire assurément que le « bouclier qui n'existait pas » était vraiment une innovation !

Partie VI. Retours sur l'instrumentation des phases amonts d'un projet

Dans cette partie, nous allons revenir sur certains points importants concernant les possibilités d'instrumentation de l'activité de conception. En effet, notre analyse du terrain nous permet de discerner une approche nouvelle sur la façon de voir un outil de conception dans le contexte des développements amont de projets innovants. A ce sujet, comme [Laureillard 00], nous reconnaissons le statut d'outil à des objets mis en usage pour une tâche donnée dans une situation effective. Dans le cours du projet, nous avons pu remarquer certaines limites des outils existants. Les outils traditionnels de la C.A.O ont été mobilisés relativement tardivement et ne pouvaient prétendre à l'instrumentation des toutes premières phases de conception. Egalement, les outils généralement utilisés en amont des projets, comme le cahier des charges (CdC) n'ont pas été utilisés pendant les premiers moments de la conception du bouclier. En revanche, dès les premiers moments du projet composite, de nombreux objets ont été mis en circulation, même si ceux-ci (tableaux concepts/critères, esquisses) n'avaient pas pour autant le statut de solution au problème posé.

VI.1 Une construction progressive du cahier des charges

Lors de la phase de prospective, nous avons vu la difficulté de définir un périmètre d'étude et une zone problématique correspondant aux caractéristiques du produit et du process proposé. En effet, lors de notre arrivée chez Renault VI, nous avons vu qu'il n'existait pas un besoin réel exprimé concernant une pièce en SMC au sein du BE châssis. Dans notre cas, il semblait difficile de s'appuyer sur un cahier des charges initial d'une pièce composite rédigé par des acteurs du BE châssis. De plus, les premiers travaux [Salinas 98] dans le cadre du projet Action Composites ont montré les difficultés et les dangers de la rédaction d'un cahier des charges par un BE non spécialiste du matériau envisagé. Il nous semble donc très important d'apporter une aide aux BE et aux acteurs en général, lorsqu'ils se trouvent dans une situation en rupture technologique par rapport à leurs habitudes de conception afin d'éviter des abandons prématurés de solutions innovantes ou bien des retours douloureux de conception ou d'essais.

Dans le cas du projet composite, nous avons assisté à une construction progressive du cahier des charges composite en observant plusieurs phases qui a abouti à une certaine « *finalisation* » sous forme d'un compte rendu technique de ce projet. Contrairement au début de ce projet composite, nous pouvons dire que les éléments techniques et économiques peuvent maintenant être traduits dans un cahier des charges du bouclier. Ainsi se dessine une première orientation concernant l'instrumentation des phases amonts de projets innovants. Le concept générique d'un outil serait de favoriser ce type de processus amont de construction progressive du cahier des charges en apportant une aide aux acteurs de la conception pour aboutir à une première formalisation lorsqu'une nouvelle alternative est envisagée. Il faut noter que ce concept d'outil s'inscrit bien dans notre problématique d'intégration de nouveaux

matériaux car la nouvelle alternative en question peut impliquer l'utilisation d'une nouvelle technologie.

VI.2 Un nouvel outil mobilisé lors du projet composite : le tableau concepts/critères

Dans ce paragraphe, nous proposons d'étudier l'hypothèse du tableau concepts/critères comme nouveau candidat à l'instrumentation des phases amonts de projets. Nous pouvons remarquer que le tableau concepts/critères utilisé pendant ce projet (voir tableau 1) a occupé une place différente par rapport à celle d'un outil de type cahier des charges. Le CdC est un objet souvent prescriptif dont le but général est de formaliser les besoins émis par le client pour constituer ainsi la base de la prestation du fournisseur. Cependant, nous avons vu que dans le cas du projet composite, les connaissances des acteurs impliqués dans le projet ne sont pas suffisantes pour exprimer un tel besoin. L'asymétrie des connaissances est double : le client (le BE châssis) est dans une situation où sa connaissance de la technologie SMC est trop lacunaire pour imaginer une nouvelle application sur le châssis avec ce matériau. De même, le fournisseur (le transformateur de pièce SMC) est également dans une situation de découverte du produit châssis d'un véhicule industriel et ne peut proposer une application précise. On se retrouve donc dans une situation où les concepts proposés vont être le résultat de négociations et de confrontations de points de vue entre des acteurs de différents domaines d'expertise. Cette caractéristique se traduit par le fait que contrairement à la demande du responsable fonction, ce projet composite ne commence pas par la rédaction du cahier des charges de la pièce composite car le problème n'est pas encore suffisamment défini et le formalisme de cet outil n'est pas adapté. La conception de cette pièce composite posait le problème du croisement de deux types de savoir : ceux qui se rapportaient au produit et ceux qui se rapportaient au process et l'enjeu était de rapprocher ces deux champs de compétences. Dès lors, nous pouvons considérer que le CdC doit prendre un autre statut qu'un simple document de formalisation des besoins et nous pensons également qu'il convient de le considérer comme un outil de communication et de procédure entre le client et le fournisseur [Tiger 90], [Sourisse et Frachet 86], mais également entre les différents acteurs de la conception (marketing, designer, acheteur, étude, etc.)

A ce titre, l'outil de type tableau concepts/critères oeuvre dans ce sens en se proposant comme un porte-parole de la solution composite et comme un cahier des charges en devenir et permet une certaine synthèse des différents éléments apportés sur le projet. Cette synthèse du projet a notamment servi de support de communication lors des différentes présentations et réunions du projet. Par contre, nous avons vu au premier chapitre, que le sort d'un projet dépend des alliances et des intérêts qu'il va susciter et mobiliser, et explique pourquoi aucun critère, aucun algorithme ne permettent à priori d'en assurer le succès. Dès lors, nous pouvons voir un enjeu à orienter l'instrumentation vers un support où peut se développer ces stratégies des acteurs. Nous reviendrons plus amplement sur ce nouveau type d'instrumentation lors du dernier chapitre concernant notre proposition d'un nouvel outil pour le pilotage des phases amonts de projets innovants.

VI.3 Vers un nouvel outil pour favoriser les apprentissages ?

Plusieurs auteurs dont [Boujut et Jeantet 98], [Hatchuel 94], [Midler 91], [Moisdon et Weil 96], ont mis en évidence l'existence d'une dynamique des connaissances au sein du processus de conception. Le processus de conception est un processus d'apprentissage et de création de connaissances. Nous affirmons ici qu'un outil ayant une architecture ouverte constitue un moyen de prendre en compte et d'instrumenter cette dynamique. De ce fait, il apparaît un enjeu à proposer un support pour l'ensemble des acteurs pour leur permettre de développer des connaissances. Par contre, ces nouvelles connaissances doivent porter sur le produit, sur le process, mais également sur le métier des autres acteurs impliqués dans la conception. Nous avons souligné ce point au paragraphe II.4 et notamment sur le rôle de l'acteur d'interface dans cette situation d'asymétrie des connaissances entre donneur d'ordre et fournisseur. En effet, l'objectif d'un tel support serait de faciliter les processus d'apprentissage au sein des organisations au sens de [Argyris et Schön 78]. Nous faisons en effet l'hypothèse que dans le cas de l'introduction d'une nouvelle technologie, la capacité à utiliser les expériences en cours de conception, comme source d'apprentissages pour les acteurs, est un élément primordial favorisant la création de connaissances communes, mais aussi les mécanismes de coopération pour les projets futurs.

Cependant, dans les situations de projets rencontrées chez Renault VI, nous avons vu que ces dispositifs reposent essentiellement sur l'acteur d'interface et sur son aptitude à formaliser et à faire partager ses nouvelles connaissances. Ainsi, pour continuer notre développement concernant un outil orienté vers les apprentissages, nous avons jugé essentiel d'étudier plus amplement les dispositifs existants pour d'autres situations de conception et d'autres acteurs d'interface. Ainsi, nous avons eu l'occasion de prolonger notre étude en accompagnant sur le terrain des acteurs jouant un rôle très particulier et stratégique pour l'intégration de nouvelles technologies dans les phases amont de conception : les experts matériaux. En effet, nous allons voir au prochain chapitre que ces acteurs se retrouvent parfois dans une situation comparable en certains points avec celle que nous avons vécue pendant l'expérience du bouclier. Ainsi, nous proposons au lecteur de découvrir et d'approfondir l'analyse du rôle de ces experts matériaux afin de voir l'enjeu d'un acteur d'interface pour l'innovation. Le prochain chapitre sera l'occasion également de consolider nos premières réflexions sur les possibilités d'instrumentation de l'action de conception en situation d'innovation.

CHAPITRE 3 :

L'ENJEUX DES PHASES PREPARATOIRES ET LE ROLE DES EXPERTS MATERIAUX POUR FAVORISER L'INNOVATION

Ce chapitre a pour objectif de présenter une situation particulière d'intégration produit/process de nouvelles technologies dans les bureaux d'études. Cette configuration est liée principalement à l'activité d'un acteur que nous avons présenté comme l'expert matériaux. Lors de ce chapitre, nous allons voir que cet acteur est amené à développer de nouvelles idées d'application pendant une période d'enrôlement et de prospective « hors projet » que nous avons qualifiée de « phase préparatoire ». Nous proposons au lecteur de découvrir les principaux résultats de notre étude de terrain concernant l'activité de ces acteurs lors de ces phases stratégiques pour l'innovation.

Sommaire du chapitre :

Partie I. Pourquoi une étude sur le rôle des Experts Matériaux ? 96
I.1 Retours sur l'histoire du bouclier 96
I.2 Quel acteur d'interface pour l'intégration des nouveaux matériaux dans les BE ? 98

Partie II. Les experts matériaux vus comme candidats au rôle d'acteur du changement ? 99
II.1 Trois modalités d'intervention pour les Experts Matériaux lors des phases de conception 100
II.2 Première configuration 101
II.3 Deuxième configuration 102
II.4 Troisième configuration 102

Partie III. Les phases préparatoires 104
III.1 Pourquoi parler de phases préparatoires ? 104
III.2 Un enjeu pour l'innovation : nommer, caractériser et donner un statut aux phases préparatoires 106

Partie IV. L'activité des EM lors des phases préparatoires 109
IV.1 La complémentarité des trois modalités d'intervention des EM 109
IV.2 Les diverses stratégies des Experts Matériaux 111
IV.3 La palette des compétences des Experts Matériaux 117
IV.4 Le problème de la reconnaissance des compétences de l'EM et des phases préparatoires 122
IV.5 Les phases préparatoires prises entre processus d'innovation et positionnement dans un projet : l'enjeu des irréversibilités 123
IV.6 Conclusions du chapitre 125

Partie I. Pourquoi une étude sur le rôle des Experts Matériaux ?

I.1 Retours sur l'histoire du bouclier

I.1.1 Les acteurs peuvent présenter des réactions très marquées face aux changements et à l'innovation

Suite à notre expérience concernant la conception du bouclier, une période de prise de recul avec le terrain nous a permis d'analyser les observations, les impressions, et les retranscriptions recueillies lors de cette aventure industrielle. Nous avons vu, lors des deux premiers chapitres, quelques éléments d'analyse issus de nos réflexions qui seront complétés par la suite dans cette thèse. Cependant, plusieurs questions émergeaient concernant notre problématique d'intégration produit/process suite à notre étude de terrain.

Dans le cas du bouclier, nous avons vu comment le développement de la pièce composite a nécessité de remettre en cause les habitudes de conception du BE châssis. En effet, de nouveaux acteurs (designer, marketing, fournisseur, etc.) ont été introduits dans le processus de conception, de nouveaux critères ont été mobilisés (exemple du critère intégration de fonctions, etc.), de nouvelles connaissances ont été apportées (exemple des méthodes de modélisation de la pièce SMC). Nous reviendrons plus amplement sur ces différents points lors du prochain chapitre, cependant, nous voulons insister sur le fait que, dans ces situations de remise en cause, nous avons pu rencontrer des attitudes différentes de la part des acteurs confrontés à ces changements.

En effet, lors de l'expérience du bouclier, nous avons pu observer plusieurs réactions et sentiments vis à vis du développement de cette application et de ce matériau SMC : de la curiosité, de la répulsion, de l'intérêt, de l'étonnement, de la moquerie, de l'engouement ou au contraire de la colère. Ces réactions étaient parfois à peine perceptibles, parfois virulentes, et pouvaient même être très contradictoires chez une même personne confrontée à une situation de proposition de changement. Par exemple, nous avons pu voir le responsable BE être opposé farouchement aux méthodes de modélisations et de calculs proposées par le fournisseur, ou bien au contraire, être à l'initiative d'une réunion avec le designer même si quelques temps auparavant cette rencontre lui semblait inintéressante.

A ce sujet, nous avons déjà mobilisé les concepts d'*innovateurs* et de *légalistes* [Alter 90] lors des premiers chapitres. Mais dans ce cas, nous voulons pointer sur les réactions plus locales, concernant les attitudes des acteurs confrontés à des propositions de changements (nouveau matériau, nouvelles méthodes de travail, nouvelles procédures, nouveaux acteurs, nouvelles évaluations…). En effet, nous pouvons dire qu'un acteur peut se trouver par exemple dans une posture d'innovateur sur un projet mais présenter une réaction ponctuelle totalement opposée à l'arrivée d'un nouvel élément ou d'un changement dans le projet. Ce fut

notamment le cas de certains acteurs lors de la présentation du premier chiffrage du bouclier. C'est une des difficultés du développement d'un projet innovant qui nécessite de prendre en compte ces changements d'attitudes de la part des acteurs pour continuer à faire progresser le projet. A ce sujet, des enquêtes de terrain montrent que ces réactions sont parfois dues à une certaine appréhension de la nouveauté et de l'inconnu, à un manque de temps et à une priorité à donner à d'autres développements en cours, et à la difficulté de remettre en cause ses méthodes et habitudes de travail dans un contexte très contraint par les délais… En fait, ces réactions s'expliquent par le fait que l'innovation proposée peut s'opposer aux intérêts propres de ces acteurs.

I.1.2 et l'acteur d'interface est au centre de cette effervescence

Les comportements précédents des acteurs sont donc très révélateurs d'une situation d'innovation. Les acteurs présentent des réactions très marquées et contrastées lorsqu'ils sont confrontés à des ruptures et des changements par rapport à leurs habitudes de travail. Dans ce contexte, nous voulons pointer alors sur l'enjeu de celui que nous avons désigné comme l'acteur d'interface, qui doit faire face à cette multitude de comportements pour continuer à faire avancer le projet en intéressant un nombre croissant d'alliés et en stabilisant le réseau d'acteurs qu'il a progressivement enrôlés autour de sa problématisation.

Dans le cas du projet composite, nous avons vu au chapitre 2 que je me suis très vite retrouvé dans cette position dès les premiers développements du bouclier. Cependant, il faut noter que ma position au sein du BE châssis avait un statut particulier de « concepteur SMC rattaché au Laboratoire Matériaux ». J'étais également un stagiaire/ingénieur donc considéré comme extérieur par rapport à un salarié de Renault VI. Egalement, au départ, le projet composite avait un statut de projet de recherche et c'est précisément ces deux statuts (projet et acteur) qui m'ont permis d'endosser ce rôle particulier d'acteur d'interface.

De ce fait, il faut noter que ce rôle m'a permis alors de pouvoir être au centre des échanges entre les acteurs et de leurs réactions. Egalement, il faut remarquer que cette situation originale m'a donné l'opportunité de remettre en cause certaines habitudes du BE châssis, en me proposant comme un porte-parole d'une solution composite relativement innovante pour ce BE. Cependant, comme nous l'avons précédemment mentionné, cette situation a donné lieu à des réactions très hétérogènes de la part de nos interlocuteurs. Parfois mes propositions pouvaient soulever des réactions très positives (présentations des premières esquisses, résultats de calculs), ou inversement recevoir un accueil très hostile et même virulent si elles n'allaient pas dans le sens des acteurs rencontrés (méthode de modélisation d'une pièce SMC). Par contre, ma situation d'acteur d'interface appuyé et conseillé par un fournisseur et des spécialistes du SMC, m'a autorisé à retravailler ou à m'opposer à certaines propositions et directives de la part du BE châssis (exemple du choix du niveau d'intégration de fonctions), et cela malgré le fait que j'étais encore novice dans le domaine de la conception composite au départ de ce projet. Il faut noter que dans ces situations, la remise en cause des pratiques font naître parfois des tensions au niveau des relations entres acteurs et l'acteur d'interface doit y

faire face. Cependant, nous faisons l'hypothèse que l'innovation doit souvent provoquer ce type de situation parfois difficile pour les acteurs.

I.2 Quel acteur d'interface pour l'intégration des nouveaux matériaux dans les BE ?

Dans ce contexte, nous avons vu que l'expérience du projet composite a pu alors avoir lieu grâce à l'impulsion de plusieurs acteurs dont le Laboratoire Matériaux et les chercheurs principalement. Egalement, sur le terrain, notre intervention en tant qu'acteur d'interface n'a pas, certes, encore aboutie sur l'industrialisation du bouclier arrière, mais a toutefois permis de mettre à jour un nouveau concept et développé suffisamment de connaissances sur ce projet pour qu'il puisse être envisageable dans une conjoncture plus favorable. Cependant, la situation que nous avons vécue était relativement originale pour le BE châssis et le serait pour de nombreux BE en général. Le dispositif, composé de chercheurs avec un doctorant sur le terrain et un partenaire industriel spécialiste de la technologie pour aider ce dernier, n'est pas ce que l'on peut désigner comme une situation industrielle courante ! Une question se pose alors concernant « les situations plus traditionnelles » et les dispositifs à mettre en place pour favoriser ce type de démarche concernant l'introduction et l'intégration produit/process de nouveaux matériaux qu'ils soient composites ou autres. En d'autres termes comment les entreprises, dans leur activité quotidienne, soumises à des contraintes de plus en plus accrues au niveau des délais, peuvent-elles engager plus souvent de nouvelles réflexions sur des nouvelles technologies aboutissant à de nouvelles applications ? Et dans ce cas, quels sont les acteurs qui peuvent jouer ces rôles clé d'acteurs d'interface ou acteurs du changement tels que nous avons pu les observer dans un processus d'innovation ?

Pour tenter de répondre à ces demandes, les entreprises ont mis en place de nombreuses stratégies pour favoriser ce type de démarche : les services Recherches et Développements (R&D), les co-développement avec des fournisseurs experts, etc.. Nous reviendrons sur ces différentes voies pour l'innovation, cependant, dans notre cas, il nous a paru intéressant de confronter notre expérience de conception du bouclier avec un dispositif propre à l'entreprise Renault VI et plus particulièrement au Laboratoire Matériaux.

En effet, nous avons vu au paragraphe II.3.1.1 du premier chapitre, un rapide descriptif des missions de ce service et notamment celle de conseiller dans le domaine des matériaux auprès de l'ensemble des BE de l'entreprise. Notamment, le Laboratoire Matériaux propose aux BE des acteurs particuliers, nommés Experts Matériaux (EM), qui sont amenés àjouer parfois un rôle d'acteur d'interface relativement proche de celui qui a été le notre au cours du projet composite. Ainsi, nous proposons au lecteur de découvrir le rôle de ces acteurs afin de continuer à approfondir notre compréhension sur les mouvements d'intégration produit/process et sur l'innovation.

Partie II. Les experts matériaux vus comme candidats au rôle d'acteur du changement ?

Suite à notre étude de terrain, nous avons eu l'occasion de faire une restitution du projet de bouclier ainsi que de nos analyses au sein du Laboratoire Matériaux. A noter que ces étapes de restitution sont des points très importants concernant notre méthodologie de recherche intervention. En effet, ces présentations sont l'occasion de confronter nos observations, et de tester nos hypothèses avec « les acteurs du terrain » et les réactions de ces derniers contribuent d'une certaine manière à orienter notre problématique. Cet exercice est souvent très bénéfique pour affiner certains résultats et découvrir de nouvelles pistes de recherche.

A ce sujet, lors des différents échanges que nous avons pu entretenir avec les membres du Laboratoire Matériaux et notamment avec les EM, certains ont reconnu de fortes similitudes entre notre expérience du projet composite et leur action quotidienne auprès des BE. Par exemple, suite à ma présentation du développement du bouclier, un EM me fait part de sa propre expérience concernant un projet de pièce plastique dans un autre BE : *"Pour ce projet, j'ai dépensé une énergie terrible pour faire accepter du plastique sur une fonction particulière. Pendant, plusieurs années, j'ai réussi à monter le projet et à le faire avancer pendant un certain temps mais au final, comme ton bouclier, mon projet a été arrêté. Il a fallu que je montre qu'un concurrent travaillait également sur la même idée pour que je puisse relancer le développement en interne et nous avons pu sortir la pièce en série juste après ! Cela n'a pas été facile pour moi de piloter le projet, alors, je pense que cela doit être encore plus complexe pour un stagiaire car il n'es pas un salarié de l'entreprise et il est considéré comme un acteur extérieur à l'entreprise."*

Suite à la présentation, nous sentons également que certains EM présentent des réactions qui démontrent d'une certaine expérience dans le domaine du développement de nouvelles solutions : *"Il ne fallait pas montrer au BE un chiffrage avec un surcoût, il fallait d'abord le retravailler ! ... Un premier chiffrage sert de point de départ pour une négociation économique et j'ai déjà vu le coût d'une application baisser de 40% par rapport au chiffrage initial !"... "Avez-vous travaillé avec des fournisseurs de matières premières (fibres, résines,...) ?"... "Il fallait relancer un nouveau chiffrage avec d'autres fournisseurs et il fallait comparer ce chiffrage avec d'autres pièces en SMC"...* Nous avons alors senti qu'il y avait une piste intéressante à suivre et nous avons saisi cette opportunité de confronter notre propre expérience du bouclier avec celles que pouvaient vivre les EM dans leur activité quotidienne. Ainsi, nous avons décidé avec les responsables du Laboratoire Matériaux de continuer notre action par le suivi de plusieurs EM sur le terrain.

Par contre, il faut noter que notre posture se modifie ici par rapport à celle que nous avions adoptée pour nos premières investigations avec le BE châssis. En effet, pendant le projet composite, j'étais en immersion complète sur le terrain, en contact permanent et synchrone

avec l'action et les évènements du projet du bouclier. Maintenant, ma présence chez Renault VI étant plus épisodique, les résultats et les observations du terrain qui vont suivre, sont basés sur un mélange d'observations « en direct » lors des réunions de travail auxquelles je peux assister et également de restitutions des EM que j'interroge au sujet de projets en cours de développement. De ce fait, il faut noter que notre compréhension de l'action est d'une certaine manière liée à la vision qu'ont les EM de leurs projets. Par ailleurs, les échanges que je peux avoir avec les EM et les questions que je suis amené à poser influent également sur leur réflexion et leur propre perception de leur activité.

II.1 Trois modalités d'intervention pour les Experts Matériaux lors des phases de conception

Lorsque nous avons commencé à rencontrer les Experts Matériaux, notre premier objectif était d'identifier plus clairement leur activité. Nous savions que ces acteurs étaient amenés à travailler sur les différents domaines d'action du Laboratoire Matériaux.

En effet, les EM ont une première activité qui concerne la réalisation des essais, et l'expertise des pièces détériorées lors des tests sur bancs de simulation, pistes d'essais, ou chez le client en participant aux commissions d'expertise. Leur activité et plus particulièrement lors de leurs déplacements sur des salons d'exposition, chez des fournisseurs, etc., les amènent à assurer également une certaine veille technologique en terme de nouvelles applications produit/process.

De plus, depuis maintenant quelques années, les EM sont amenés à intervenir auprès de l'ensemble des bureaux d'études de l'entreprise pour assister ces derniers dans leur choix de matériau. De ce fait, concernant notre problématique de l'innovation, nous avons cherché à comprendre plus finement cette activité spécifique en relation avec les BE et à répondre aux questions qui se posent alors : comment les EM qui ne sont pas issus d'une formation en conception mécanique, peuvent-ils intervenir sur les projets et notamment lors des phases de conception ? Dans quelle mesure peuvent-ils influencer les choix de technologies et éventuellement remettre en cause les habitudes des concepteurs sur ce point pour favoriser l'innovation ?

Pour tenter de répondre à ces questions, nous avons suivi et interrogé plusieurs EM de manière à obtenir des renseignements sur des projets en cours et sur leur activité en général. De ces différents entretiens, nous avons pu dresser une sorte de typologie de leur intervention dans le processus de conception. Pour établir cette typologie, nous avons identifié trois groupes d'acteurs en présence lors des développements de projet :

- les experts matériaux,
- les différents métiers de la conception qui concernent l'ensemble des acteurs (BE, achat, marketing, production, etc.) sollicités pour faire progresser le développement d'une solution,

- et les directions de projets qui concernent les services qui pilotent les projets en définissant ses ressources (humaines, financières), ses délais, et qui interviennent également pour les décisions stratégiques et les validations du projet.

En croisant les différentes données recueillies auprès des EM, nous avons distingué trois configurations génériques et modes de relation entre les EM et les autres acteurs. Nous allons voir dans les paragraphes suivants que ces configurations induisent des échanges de nature différente entre les différents participants d'un projet et donnent lieu à des niveaux d'intervention différents pour les EM.

II.2 Première configuration

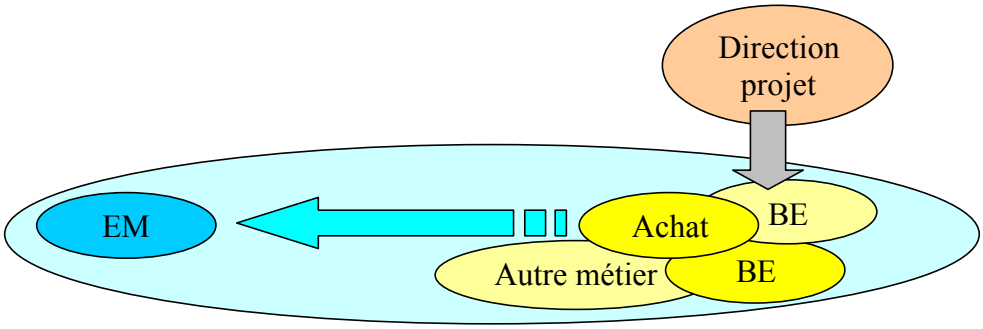


Figure 1 : Première modalité d'intervention des EM

Cette configuration présentée sur la figure 1 correspond à une situation ou une direction de projet exprime un besoin et demande auprès d'un BE (ou plusieurs BE pour les fonctions relativement complexes) de travailler sur un projet particulier. Dans cette configuration, les BE et les autres métiers concernés par la demande de la direction de projet peuvent être amenés à consulter un EM pour une expertise concernant les matériaux (essais, demande de conseils, noms de fournisseur, chiffrage, etc.). Parfois, il arrive également que l'EM réussisse à s'imposer de lui-même comme un des participants du projet en saisissant une opportunité d'intervention.

En effet, les EM sont à l'affût des nouveaux développements, et essayent souvent d'intervenir dans des projets en émergence pour intervenir le plus en amont possible. Dans cette configuration, l'EM est indirectement sollicité et la difficulté pour cet acteur est d'intervenir sur un projet qui a certainement déjà avancé : une technologie a pu être déjà choisie, une solution est peut être déjà dessinée, un fournisseur est peut être déjà sélectionné, etc. Dès lors, l'EM peut avoir plus de difficultés pour remettre en cause les précédents choix pour ouvrir vers d'autres alternatives plus intéressantes. Dans cette première configuration, il semble que l'EM est principalement sollicité pour son statut d'expert[1] dans le domaine des matériaux pour effectuer un diagnostic en validant ou invalidant les choix déjà avancés.

[1] Nous reviendrons plus loin sur la caractérisation de ce statut lors de la partie IV

II.3 Deuxième configuration

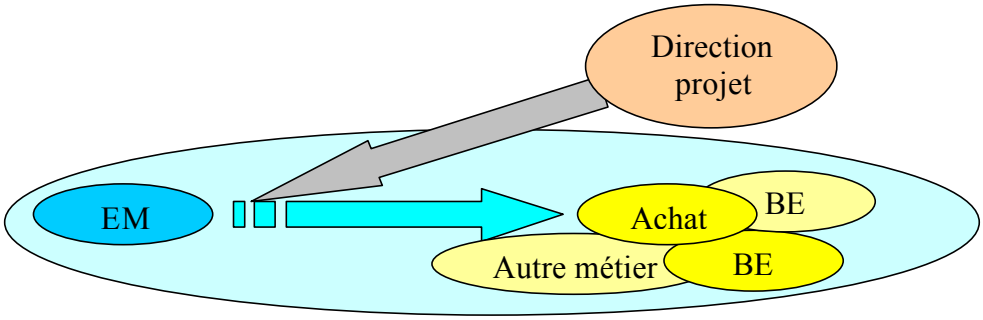


Figure 2 : Deuxième modalité d'intervention des EM

Cette deuxième configuration (figure 2) correspond au cas où la direction lance un projet au sein du Laboratoire Matériaux (par exemple : une réduction des coûts de matériaux sur une ou plusieurs fonctions du véhicule). Dans ce cas, le projet est identifié avec un code, des ressources sont attribuées, des délais sont fixés et un EM est nommé pilote du projet. Par contre, il faut noter que ce dernier est sollicité directement et peut être amené à consulter les BE et les autres métiers responsables des fonctions concernées pour obtenir des renseignements ou demander des études de leur part.

Dans cette situation, son intervention est décalée vers l'amont du projet par rapport à la première configuration et il peut ainsi ouvrir l'espace des solutions grâce à ses propres connaissances produit/process. Par exemple, il peut proposer une nouvelle technologie pour remplacer le matériau utilisé et ainsi contribuer à initier le développement de nouvelles applications. Nous pouvons noter que cette seconde configuration semble donner une liberté de manœuvre plus importante pour un EM qui cherche à proposer des nouvelles technologies. Cependant, il faut remarquer que cette configuration nécessite une identification préalable des gains potentiels par la direction de projet avant de lancer de telles actions. De ce fait, les EM n'ont pas une liberté totale sur leur intervention puisque cette dernière est déjà ciblée sur un objectif et un périmètre d'étude plus ou moins délimité.

II.4 Troisième configuration

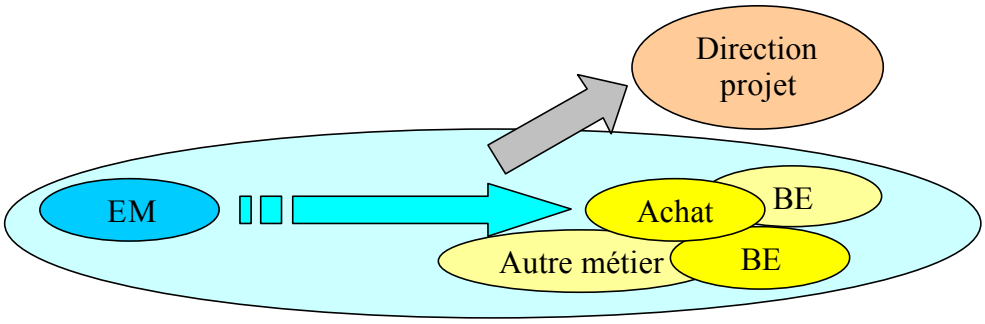


Figure 3 : Troisième modalité d'intervention des EM

Cette dernière configuration (figure 3) correspond au cas où l'EM prend l'initiative de proposer directement une idée d'application à la direction de projet responsable de la fonction concernée.

Dans cette configuration, l'observation des pratiques de l'EM nous a permis d'identifier une période préliminaire au projet que nous avons désignée par le terme de "*phase préparatoire*", concept sur lequel nous reviendrons plus amplement lors de la partie III suivante et nous proposerons également un exemple (cf. encart 1 du paragraphe III.2) tiré de notre étude de terrain et de nos entretiens avec les EM pour illustrer ce concept.. Cependant, en première approche, nous pouvons dire que dans cette situation, la proposition de l'EM auprès des directions de projet est souvent le résultat d'un travail de prospective réalisé antérieurement au projet en collaboration avec d'autres métiers et parfois avec un acteur externe à l'entreprise (un fournisseur, un chimiste, etc.). Parfois, il faut noter que ce travail est réalisé sans un véritable code de projet attitré et souvent sans ressources allouées.

Dans cette situation, l'EM possède alors un champ d'investigations très large puisqu'il est à l'origine de l'idée et du choix des premières orientations. Cette configuration retient plus particulièrement notre attention car nous faisons l'hypothèse que de nombreux projets et applications innovantes peuvent être lancés suite à ces activités lors des phases préparatoires. De plus, nous faisons l'hypothèse que les résultats de ces développements, présentés aux directions de projet, peuvent alors déboucher éventuellement sur des configurations plus traditionnelles de type 1 et 2.

C'est pourquoi nous proposons maintenant de nous focaliser dans la partie suivante sur ces périodes en amont des projets et nous montrerons ainsi l'enjeu des phases préparatoires pour favoriser l'innovation.

Partie III. Les phases préparatoires

Notre travail sur le terrain concernant le développement du bouclier arrière et le suivi de projets des experts matériaux (EM), met en exergue l'intérêt et la difficulté des phases amonts de prospective qui permettent parfois l'émergence de nouveaux projets et mettant en oeuvre de nouvelles solutions innovantes. Ces premières étapes sont très stratégiques pour les processus d'innovation car elles correspondent au moment où des idées de nouvelles applications et de nouveaux concepts émergents d'une phase de créativité, vont être étudiées et évaluées pour être éventuellement développées par la suite en projet. Nous cherchons donc ici à comprendre et à caractériser ces périodes qui peuvent débuter bien avant le lancement officiel d'un projet au sein de l'entreprise.

III.1 Pourquoi parler de phases préparatoires ?

III.1.1 Des idées de nouvelles applications

Nous avons vu lors de la partie précédente que dans le cadre de leur activité certains experts matériaux travaillent pendant des périodes qui précèdent les projets, avec souvent l'aide de plusieurs acteurs, pour explorer, imaginer, et évaluer des alternatives d'applications potentielles d'une nouvelle idée ou d'un nouveau concept. Cette activité s'explique par le fait que ces acteurs sont confrontés régulièrement à la nécessité de développer une veille technologique. De ce fait, les EM avec lesquels nous avons travaillé sont souvent amenés à rencontrer des spécialistes de différentes technologies (plastiques, composites, etc.), dans différents domaines industriels, lors de salons professionnels, lors de réunions avec des fournisseurs ou autres. De ces rencontres émergent parfois des idées nouvelles d'applications ou d'adaptations de solutions existantes pour le domaine du véhicule industriel. En effet, les matériaux, les technologies, et les applications de la concurrence ou dans d'autres domaines, rencontrés par les EM peuvent susciter chez eux alors de nombreuses questions et idées : *le matériau, présenté ici avec ces différentes caractéristiques, peut-il répondre aux problèmes que nous rencontrons sur tel véhicule ? Cette nouvelle application du matériau X peut-elle être envisagée dans le domaine du véhicule industriel ? ...*[2]

III.1.2 qui doivent être consolidées en les confrontant au produit,

Ces idées d'associations entre technologie et application peuvent alors être développées durant ce que l'on a désigné comme *les phases préparatoires*. L'enjeu de ces phases est d'abord de pouvoir rassembler un certain nombre de données et d'informations afin de légitimer et de consolider l'idée avancée. Pendant ces périodes, les EM cherchent les éléments techniques, économiques, stratégiques, etc., et tous les renseignements concernant leur nouvelle idée pour définir ce que nous avons vu au chapitre 2 comme *la zone problématique.* Cette zone problématique va progressivement être identifiée en fonction des capacités et des

[2] Ou par exemple : Peut-on mettre du SMC sur la partie arrière d'un châssis ?…!!

caractéristiques de la nouvelle technologie proposée par l'EM qui va être mise à l'épreuve des contraintes du produit et des caractéristiques des process existants.

III.1.3 et également aux autres acteurs,

Lors de cette période, l'EM est souvent amené à rechercher des informations dans les bases de données de l'entreprise, et à contacter un certain nombre d'acteurs de l'entreprise pour obtenir toutes sortes de renseignements dont il a besoin pour continuer à développer son idée. Il faut noter que lors de ces recherches, il arrive fréquemment que l'EM sollicite plusieurs personnes avant de trouver celle qui détient l'information dont il a besoin. Lors de ses multiples contacts, l'EM peut être également amené à présenter, partiellement ou précisément, sa nouvelle idée. Ces présentations peuvent alors donner lieu à de multiples réactions de la part de ses interlocuteurs comme nous avons pu le constater lors de notre expérience du bouclier. Ces réactions peuvent soulever alors de nouveaux critères et de nouvelles évaluations qui contribuent à la définition de la zone problématique.

III.1.4 dans un contexte où le projet n'existe pas encore.

Nous avons qualifié de *phases préparatoires*, ces périodes de négociations et de recherches, parfois en partie informelles, et qui sont souvent non contractuelles, car à cet instant le projet n'est pas encore officiellement lancé. En effet, le lancement d'un projet est souvent caractérisé par l'attribution d'un code projet, d'une définition des plannings, des budgets, des ressources, etc.. Par contre, dans le cas des phases préparatoires, ces éléments ne sont pas définis puisqu'ils vont faire partie des résultats *in fine* des développements effectués lors de ces phases.

En effet, lors du lancement d'un projet, la définition des différentes caractéristiques en termes d'objectifs visés, de gains envisagés, de plannings, de budgets et ressources, nécessite d'avoir identifié et évalué les principales étapes du développement attendu et demande donc d'avoir mis à jour au préalable suffisamment d'informations pour réaliser ces prévisions. Dans cette situation, il semble difficile d'imaginer le lancement d'un projet sans avoir ce minimum d'informations et nous pouvons dire que les cas doivent être rares où une direction de projet lance un développement sur une simple formulation d'idée. De plus, nous avons tous des exemples de conception de produit qui ont débuté par un travail d'essais, de recherches et de prospectives, développés en dehors des projets officiels et qui ce sont révélés, parfois par chance et détournement, parfois par persévérance et obstination, comme de véritables innovations.[3]

[3] Nous pouvons citer à ce sujet, l'exemple du développement du produit Post-it ™ inventé par un ingénieur qui étant convaincu de l'utilité d'une colle qui ne collait pas, a réussi astucieusement à dépasser les préjugés du service marketing de sa société en envoyant des échantillons des célèbres petits papiers jaunes autocollants aux différentes secrétaires de son entreprise qui n'ont cessé par la suite d'en redemander au service marketing.

Les phases préparatoires participent à fournir des premières données qui contribuent d'une certaine manière à rationaliser le lancement de nouveaux projets. De ce fait, même si ces phases ne sont pas clairement identifiées dans les processus de développement, traditionnellement présentés par les entreprises, nous affirmons qu'elles constituent en elles-mêmes tel que l'atteste notre étude de terrain, un réel travail de conception nécessaire aux développements de solutions innovantes (voir figure 4).

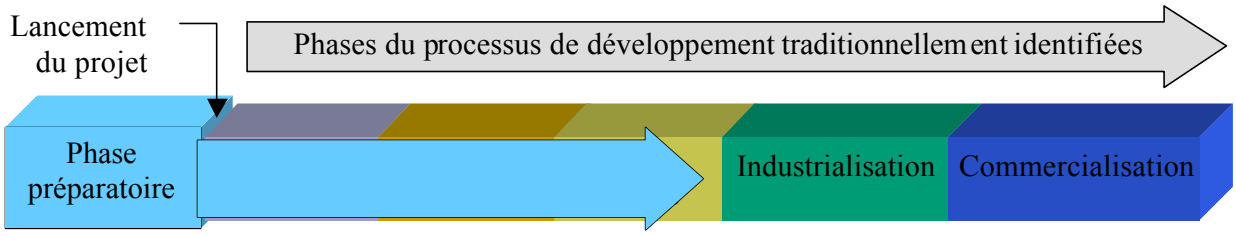


Figure 4 : Phase préparatoire et phases de projet

Sur la figure 4, nous pouvons voir que la phase préparatoire débute bien avant les phases de projets. Par contre, il faut remarquer qu'il existe une certaine difficulté à identifier clairement le début et la fin de ces phases préparatoires. A quel moment peut-on considérer que les acteurs commencent à travailler en phase préparatoire ? La réponse n'est pas aussi tranchée que peut le laisser supposer la figure 4. En effet, nous faisons l'hypothèse que l'expert matériaux collecte parfois des informations sans forcément avoir une idée d'application bien précise. Par contre, c'est en analysant et en combinant progressivement ces informations avec celles du produit qu'il va aboutir à de nouvelles idées. Il semble donc difficile d'affirmer qu'une phase préparatoire débute à un temps *t* bien précis. Au contraire, nous pensons que ces phases s'inscrivent avec une certaine continuité dans l'activité des EM.

Par ailleurs, nous verrons par la suite (paragraphe IV.5) que les phases préparatoires ne s'arrêtent pas toujours lorsque un développement officiel est lancé et que certains acteurs continuent de développer, même pendant le projet, des stratégies identiques à celles observées en phases préparatoires. Contrairement au projet qui est relativement bien découpé par des jalons permettant de valider le passage d'une phase à l'autre (cf. figure « Processus de Développement des Projets Produits » du chapitre 1), les frontières entre phases préparatoires et phases projets ne sont pas complètement étanches.

III.2 Un enjeu pour l'innovation : nommer, caractériser et donner un statut aux phases préparatoires

Certaines recherches menées dans le domaine des sciences de la gestion, notamment au Centre de Recherche en Gestion [Moisdon et Weil 96], suivent également cette même dynamique et se focalisent de plus en plus sur la genèse de ces processus d'innovation dans le cas de « développement hors-projet ».

Ces travaux font suite à un constat qui montre que les développements en projet sont soumis à des objectifs très contraints (réduction des cycles de conception, des coûts, …) et que pour éviter les dérives, les directions de projet et leurs équipes sont amenées à adopter une attitude prudente en privilégiant les solutions éprouvées et n'acceptant de prendre « le risque » de l'innovation que sur quelques éléments peu critiques pour le produit. De ce fait, nous pouvons dire que l'innovation peut être parfois freinée (et même peu désirée) dans ces dispositifs et cherche alors de nouveaux lieux pour s'exprimer. Nous faisons l'hypothèse que les phases préparatoires font parties de ces dispositifs qui s'accommodent du caractère instable de l'innovation. Par contre, nous avons pu observer que le caractère jusqu'ici non contractuel et souvent informel des phases préparatoires rend fragile et lacunaire les possibilités de capitalisation et de valorisation du travail effectué par ses acteurs. Pourtant, ces phases sont l'occasion de réaliser un travail de prospective important pour vérifier la faisabilité d'une idée innovante et créer une configuration où le lancement d'un projet devient alors possible. Nous proposons d'illustrer ce propos avec l'encart 1 concernant la description d'un exemple de développement en phase préparatoire.

Extrait du corpus du 06.07.2000 :

… le projet sur lequel je travaille actuellement remonte à une présentation d'un fournisseur sur des nouveaux mastics projetables. Peu de temps après avoir assisté à cette présentation, j'ai été amené à discuter par hasard avec les gens de l'industrialisation, basés au site montage de Renault VI à Blainville, sur un problème concernant les applications XXX [4] *qui posent de nombreux problèmes et notamment lors des opérations de peinture. J'ai pensé alors à étudier la possibilité d'utiliser les mastics présentés par le fournisseur pour remplacer la solution actuelle. Pour commencer mon étude, j'ai d'abord recherché le BE qui gérait ces pièces. Et j'ai découvert après un certain temps (j'ai dû contacter plusieurs BE pour savoir qui travaillait sur ces pièces) que ces pièces étaient gérées par un BE extérieur à Renault VI. Par chance, j'avais déjà travaillé avec une personne de ce BE sur un autre projet et ma demande d'information en a été facilitée. Cependant, c'est en rebondissant d'interlocuteur en interlocuteur que j'ai pu retrouver le responsable de ces pièces et recueillir un certain nombre de données techniques (gammes de véhicules concernées, plans des pièces, références, …)De plus, j'ai également appris que du travail avait déjà été fait en interne chez Renault VI sur ce sujet concernant la standardisation des ces pièces XXX. J'ai récupéré un exemplaire du rapport et j'ai donc utilisé toutes ces données pour monter un dossier de consultation et demander au fournisseur de mastics projetables de faire des propositions techniques (quel produit ?), industrielles (quel moyen pour l'application de ces produits ?), de solution (a quels endroits doit-on mettre du mastic ?) et finalement économiques (combien cela peut coûter ?). Aujourd'hui, comme la réponse du fournisseur se fait tarder, j'ai contacté l'acheteur qui gère les achats de mastic pour notre entreprise pour faire accélérer la demande*[5] *et je vais aviser l'acheteur qui est responsable des solutions actuelles. A l'heure actuelle, le projet est en attente de la réponse du chiffrage du fournisseur mais j'ai beaucoup d'espoir sur les possibilités de réduction de coûts. Par contre, j'ai également quelques interrogations sur le process mais je pense qu'il faudra faire une campagne d'essais industriels sur le site de montage de Renault VI à Blainville. Une fois que ces étapes seront passées, le projet pourra partir en proposition au niveau des directions de projet en montrant les gains envisagés, les risques à prévoir et les actions de levée de ces risques,…*

Encart 1 : Un exemple de développement en phase préparatoire – propos recueillis auprès d'un EM

[4] Pour des raisons de confidentialité, nous ne mentionnerons pas le nom de l'application visée.

[5] Pour un fournisseur, l'acheteur est une personne qui représente le portefeuille de l'entreprise. Les EM sont parfois obligés de leur faire appel pour donner plus de poids à leur consultation. En effet, certains fournisseurs ne veulent pas travailler sur des questions économiques avec une personne autre qu'un acheteur.

Malgré le caractère informel des phases préparatoires, leur importance n'en est pas moins stratégique et les résultats sont très concrets pour une entreprise. En effet, l'enjeu des acteurs qui travaillent en phase préparatoire est de fournir suffisamment d'éléments et d'indicateurs aux directions de projet afin que ces dernières puissent être convaincues de lancer un nouveau projet innovant en ayant déjà une vision des grands axes du futur développement. Il semble qu'il y ait donc un véritable intérêt et un enjeu particulier à comprendre la nature des échanges qui ont lieu lors de ces phases pour favoriser l'innovation.

De ce fait, il nous semble très stratégique de nommer et de donner un statut à ces phases afin de les légitimer.

C'est pourquoi, nous allons chercher à étudier plus précisément comment les experts matériaux se retrouvent parfois dans cette configuration particulière, en tant qu'acteur d'interface, et acteur de l'innovation, dès lors qu'ils proposent une nouvelle technologie. En effet, nous avons montré qu'introduire une technologie différente de celles utilisées traditionnellement conduit les acteurs à se retrouver dans une situation de conception particulière et différente des situations de conception plus routinières. Nous avons déjà commencé à caractériser dans les deux premiers chapitres ces situations qui se démarquent par une forte instabilité au niveau de l'organisation et des réseaux d'acteurs, au niveau de la connaissance mise en œuvre et au niveau des dispositifs d'évaluation des solutions proposées.

Ce travail d'identification et de caractérisation de l'innovation que nous allons compléter dans la partie suivante et dans le chapitre 4 est une étape essentielle avant de s'intéresser également aux possibilités d'instrumentation (chapitre 5) de ces phases amonts.

Partie IV. L'activité des EM lors des phases préparatoires

IV.1 La complémentarité des trois modalités d'intervention des EM

Même si les deux dernières configurations (figure 2 et 3) présentées à la partie II de ce chapitre, semblent plus adéquates à la problématique concernant l'introduction de nouvelles technologies, nous allons voir qu'il existe une certaine complémentarité dans les trois types d'approche que l'EM doit conserver pour mener à bien son activité. En effet, il faut noter que le Laboratoire Matériaux est d'abord un service à vocation multiple, susceptible de constituer une ressource de nature différente pour l'entreprise suivant les phases du projet. De ce fait, nous avons vu que les EM peuvent occuper plusieurs rôles : celui d'expert (des matériaux) sollicité pour évaluer les couples matériau/process et fournir des conseils auprès des BE, celui de partenaire de la conception sollicité pour imaginer de nouvelles alternatives de solution, et également celui d'acteur de pré-développement de solutions innovantes. Par contre, lors de nos entretiens, nous avons pu percevoir que les deux derniers rôles semblaient prendre une part de plus en plus importante dans l'activité de certains EM. En effet, pour ces derniers, ces rôles représentent pour eux une action très valorisante personnellement et il faut remarquer qu'ils constituent également un enjeu capital pour l'innovation.

Cependant, il apparaît que le premier rôle et son statut d'expert associé, est également primordial pour l'activité des EM et nous pouvons dire que les trois modalités d'intervention présentées sont fortement complémentaires. Par exemple dans le projet présenté dans l'encart 2, nous pouvons voir que l'EM intervient, dans une phase préparatoire initiée par le BE, comme partenaire de la conception pour consolider une idée du BE, et se retrouve par la suite sollicité en tant qu'expert dans une phase classique de projet :

Extrait du corpus du 24.05.2000 :

... ce projet a débuté par une idée du BE qui m'a proposé de travailler sur une application en composite suite aux inconvénients (rupture en fatigue, design peu élégant, ...) des solutions actuelles réalisées en aluminium pour cette fonction. Les gens du BE m'ont demandé de faire des propositions concernant le matériau et le process adéquats. J'ai dressé alors un dossier de consultation dans lequel j'ai rassemblé des indications concernant les contraintes géométriques à respecter, des indications sur les sollicitations mécaniques, des recommandations sur la tenue au vieillissement et la durée de vie souhaitée, etc. J'ai utilisé ce dossier pour faire une consultation auprès des chimistes (je fais souvent appel aux fabricants de matières premières car ils ont une vue très large sur toute la filière composite, sur les transformateurs potentiels, et ils possèdent des moyens importants concernant les outils CAO, et surtout de simulation. De ce fait, ils sont souvent plus à l'écoute de nos besoins et possède des moyens de développement plus intéressants par rapport à un équipementier lorsqu'il s'agit de travailler sur des produits nouveaux).

Dans le cas de ce projet, la réponse du chimiste a été assez rapide avec une préconisation d'un matériau au vu des contraintes spécifiées, une estimation du coût, et un indicateur de faisabilité assez satisfaisant puisque le chimiste travaillait déjà sur ce type d'application pour un autre domaine d'application. Leur réponse était un peu ambiguë car ils n'ont pas le droit de nous montrer l'étude qui a été faîte mais ils nous ont bien fait comprendre qu'ils pourront s'en servir pour notre projet. Ceci est toujours très rassurant car nous savons qu'ils ont déjà développé un peu d'expertise sur le sujet ! Suite à cette réponse, le BE a travaillé sur le sujet en proposant une première esquisse de la solution, les gens du calcul ont fait des premières estimations pour vérifier la cohérence du matériau et le projet a été présenté aux achats pour que ceux-ci montent un dossier de consultation. Par contre, le projet a été fortement ralenti à ce stade car les acheteurs ont mis un certain temps

avant de se lancer dans la consultation auprès des équipementiers. Finalement, au bout de quelques mois la réponse est tombée et de gros gains économiques étaient envisageables sur cette application avec un certain fournisseur qui lors d'une réunion nous a présenté la pièce du concurrent (cela rassure énormément !)[6]. Le dossier a donc été présenté à la direction de projet qui a décidé d'instruire le projet et a nommé un pilote (un acteur étude du BE). Les plans ont été repris par le fournisseur qui a retouché la géométrie de la pièce.

Par la suite, j'ai été de nouveau consulté pour une demande spécifique qui concernait la suppression du prototype. En effet, la réponse ayant pris du temps, l'objectif était de supprimer la phase de prototypage pour gagner du temps. Dans cette situation, la direction de projet a donné une priorité à la phase calculs, et j'étais chargé de fournir des données standards de caractéristiques matière de ma base de données[7] sur les tenues aux vieillissements, aux UV, aux chocs… A l'heure actuelle, la phase de réalisation outillage a été lancée…

Encart 2 : Exemples des différentes interventions d'un EM

Dans l'exemple précédent (encart 2), nous voyons que le BE est à l'origine de l'idée de nouvelle application en composite, et l'EM intervient uniquement en tant que partenaire de la conception. Par contre, il faut noter que les EM spécialisés dans le domaine des matériaux plastiques et composites sont amenés parfois à travailler avec des BE possédant une forte culture métallurgique comme nous avons pu rencontrer lors de notre expérience du bouclier. De ce fait, le premier objectif implicite d'un EM qui est rattaché à un tel BE est de construire sa propre légitimité en tant que conseiller. De ce fait, leur activité en tant qu'expert leur permet de développer et d'asseoir cette crédibilité, et également celle des technologies qu'ils proposent auprès des autres métiers de la conception.

La troisième configuration, et notamment les activités de pré-développement de nouvelles solutions en phase préparatoire, peuvent alors exister, ou du moins être plus efficientes, si cette crédibilité est établie et si les EM sont reconnus en tant qu'expert dans les projets plus officiels. Dans cette optique, nous allons voir dans le prochain paragraphe que les EM développent de nombreuses stratégies pour continuer à maintenir cette crédibilité lors des phases préparatoires.

De plus, les deux premières configurations permettent aux EM de constituer leurs réseaux et d'établir des « connexions relationnelles » [Régnier 95] avec des acteurs de différents services de l'entreprise mais également auprès d'acteurs externes notamment chez les différents fournisseurs. Ces connexions relationnelles, que certains acteurs possèdent à l'intérieur et à l'extérieur de l'entreprise, forment ce que l'on appelle dans les métiers de la communication, « le business relationnel ». Ces connaissances tacites dépendent de l'entregent que certains développent pour étendre un réseau et qui leur donne accès à des informations et à la

[6] A ce sujet, lorsque un fournisseur prétend qu'il a déjà travaillé sur une application similaire, il arrive parfois que les acheteurs ou les gens du BE demande la référence de cette application pour l'acheter dans le but de l'analyser, et également pour vérifier si le fournisseur n'invente pas une application fantôme pour les rassurer.

[7] A noter que cette base de données n'est pas directement accessible au BE car elle a été construite progressivement par les EM à partir des données de fournisseurs, de tests effectués dans des mêmes conditions et méthodes d'essais, pour essayer d'unifier les résultats et leur domaine de validité. En effet, les fournisseurs présentent leurs caractéristiques matière en fonction de différentes normes et protocoles bien particuliers. Cette base de données est donc le fruit d'une standardisation de ces données mais l'EM est le seul acteur capable de donner l'information au BE car il sait comment ont été obtenu ces données.

connaissance tacite des autres. Par exemple, connaître une personne qui se trouve à un poste clé, peut permettre d'accéder plus facilement à une information que l'on recherche. Par ailleurs, si cette première personne n'a pas la réponse souhaitée, elle connaît peut être une autre personne qui la détient, ainsi la chaîne n'est pas interrompue, mais bien au contraire va pouvoir se développer. Par exemple, lors de la phase de réappropriation du projet composite (cf. partie V du chapitre 2), nous avons pu voir l'EM, chargé de reprendre l'étude du bouclier, mobiliser un acteur du process faisant partie du réseau de ses connexions relationnelles pour obtenir de nouvelles propositions de process autre que le SMC. Après une rapide conversation téléphonique, nous avons alors une proposition intéressante d'un nouveau matériau et également le nom d'un acteur étude à contacter qui a déjà travaillé avec la technologie proposée. Ce dernier est immédiatement contacté et nous donne plus de renseignements sur l'application qu'il a développée et également le nom d'un fournisseur expert. Par ailleurs, l'EM mobilise également une nouvelle personne de son réseau travaillant au service fabrication prototype pour discuter d'une éventuelle réalisation du prototype du bouclier. En quelques échanges, le projet du bouclier voit ainsi son réseau d'acteurs s'élargir qui laisse présager une nouvelle alternative avec un matériau différent du SMC et la possibilité de réaliser une première matérialisation du concept.

Ainsi, il existe dans les entreprises et à l'extérieur des réseaux invisibles et tacites propres à chaque acteur et qui relient certains individus de façon limitée ou élargie. Ainsi, l'EM chargé de reprendre le projet du bouclier rajoute : *"Depuis 20 ans, je connais maintenant beaucoup de personnes dans l'entreprise et en dehors, c'est le résultat d'un travail dans de nombreux services de l'entreprise"*. Avoir un certain nombre d'interlocuteurs « privilégiés » dans l'entreprise (et même en dehors) facilite énormément le travail de l'EM qui peut jouer sur ses relations pour trouver les informations dont il a besoin[8].

IV.2 Les diverses stratégies des Experts Matériaux

Les phases préparatoires sont des périodes où se développent de nombreuses stratégies mobilisées par les EM pour favoriser l'intégration de nouvelles technologies. En effet, il faut tenir compte du fait que l'objectif de l'EM est double lorsqu'il se trouve dans cette situation de consolidation et de mise à l'épreuve de son idée.

Tout d'abord, il doit tester et vérifier la faisabilité de son idée qui va évoluer en fonction des interactions avec les autres acteurs.

[8] A noter que ceci pose la question de la mobilité des EM au niveau du Laboratoire Matériaux pour favoriser la constitution de nouveaux réseaux. En effet, une mobilité au niveau du BE d'affectation est un atout pour un EM qui peut ainsi élargir ses compétences. Egalement, un détachement vers de nouvelles fonctions différentes de celles d'un EM pourraient être bénéfiques. Cependant, les acteurs qui partent du Laboratoire Matériaux pour d'autres services ne reviennent qu'exceptionnellement et surtout ne reviennent pas pour un poste d'EM. L'âge est un paramètre qui entre également en jeu et à ce sujet, la moyenne du Laboratoire Matériaux pour le département matériaux organiques est relativement jeune (38-40 ans) comparée à une moyenne générale sur Renault VI (48-50 ans). Suite au très nombreux départs en retraite en 2000 et 2001 et ceux de 2002 à venir, cette moyenne générale devrait se stabiliser vers 44-46 ans.

Par ailleurs, il doit parfois convaincre les différents interlocuteurs qu'il va rencontrer pour obtenir des renseignements ou des expertises de leur part, mais également la direction de projet pour accepter le lancement d'un développement sur sa proposition.

Nous avons essayé de décrypter les différentes stratégies mobilisées par les EM pour atteindre ce double objectif. En effet, il semble primordial de tenir compte de cette compétence stratégique qui est très importante pour comprendre les différents échanges qui ont lieu lors des phases préparatoires et pour développer des outils d'aide spécifiques à ces phases.

IV.2.1 Construire un réseau autour de sa problématisation

Suite à nos différents entretiens, nous avons retrouvé de fortes similitudes sur certains points entre les projets des EM et celui du bouclier. En effet, comme nous l'avons présenté lors du chapitre 2 en mobilisant les concepts de la sociologie de la traduction, il semble que le succès des innovations proposées par les EM dépendent essentiellement de leur capacité à mettre en réseau des acteurs de différents domaines d'expertise autour de leur problématisation.

Dans leur construction du réseau d'acteurs en phase préparatoire, les EM essayent de trouver parmi les participants impliqués les acteurs qui ont un intérêt particulier à faire avancer le projet. En effet, l'enjeu est d'enrôler progressivement un certain nombre d'acteurs afin de donner de plus en plus de poids à la solution et de légitimer l'idée proposée. Dans cette optique, il cherche des alliés et des renseignements pour son projet, mais il risque de se heurter aux acteurs qui sont opposés à son idée et qui se réfugient derrière la procédure officielle de développement de projet. Ainsi certains EM sont confrontés parfois à des réactions relativement exacerbées : "*tu n'as pas un code projet, tu perds ton temps et tu fais perdre du temps à l'entreprise en travaillant sur ce sujet*." De ce fait, les EM cherchent à identifier et à mobiliser, dans un premier temps, les acteurs qui peuvent être intéressés principalement par leur idée. Par exemple, une idée de réduction de coût est très vite présentée aux acheteurs, un concept réduisant les temps d'assemblage permettra d'enrôler au plus tôt des responsables du montage. Si nous revenons sur le projet présenté dans l'encart 1, nous pouvons voir dans l'encart 3 que l'EM a pu identifier également les acteurs principaux à mobiliser en priorité pour consolider son idée :

Extrait du corpus du 06.07.2000 :

... pour le projet de remplacement des pièces XXX, je vais m'appuyer sur les gens de l'industrialisation qui sont très intéressés par ce projet car la solution actuelle leur pose énormément de problèmes. Ce sont les acteurs qui sont le plus motivés par ce projet : par exemple, je pense qu'ils vont tout faire pour réaliser la campagne d'essais prévue pour vérifier la compatibilité de ces mastics sur les véhicules même si en ce moment les équipes sont très prises... s'il le faut, ils la feront entre 22 heures et minuit. Je pense que si le projet ne les concernait pas autant, je n'aurais pratiquement aucune chance de réaliser ces essais...

Encart 3 : Propos recueillis auprès d'un EM

Lors des phases préparatoires, l'enjeu est à la fois technique et stratégique : il y a donc un processus d'intéressement [Akrich et al 88] à mettre en place pour faire avancer techniquement la solution mais il faut également utiliser ce processus d'intéressement afin de se constituer des alliés pour renforcer la légitimité de l'idée proposée et favoriser son lancement futur en projet.

IV.2.2 Un réseau à élargir et à stabiliser : une construction de la confiance et de la crédibilité

Lors de ces développements, l'EM est confronté également à des points de vue d'acteurs qui adoptent parfois une position légaliste[9] vis-à-vis de la technologie proposée. Nous avons vu que dans cette situation, la posture de ces acteurs peut être le résultat d'un manque de confiance envers le nouveau matériau qui est parfois le sujet de préjugés tenaces. De ce fait, le développement de la future solution innovante et de son réseau soulève la question de la construction de la confiance et de la légitimité. Nous avons vu que c'est précisément lors des projets que les EM doivent gagner la confiance de leurs interlocuteurs (BE, achats,…) afin d'être légitimes dans leur activité d'experts et dans le but que leurs propositions soient retenues.

Cette légitimité s'obtient en restant également à l'écoute des besoins des différents métiers et en parlant le même langage. Par exemple, lors de ses rencontres avec un acteur BE non spécialiste du plastique, un EM peut « vulgariser » le côté technique des dénominations des matériaux plastiques (polypropylène, polyéthylène, thermoplastique, etc.), pour traduire ses propositions en termes plus reconnaissables par le BE (contrainte mécanique, thermique, vibration, etc.). De plus, les EM peuvent réussir à faire accepter leur proposition, s'ils connaissent bien les technologies qui sont utilisées traditionnellement par le BE. En effet, lors d'une proposition de « technologie nouvelle », il arrive fréquemment que cette dernière se heurte aux préjugés classiques des acteurs concernant le matériau proposé. Par exemple, lorsque nous avons proposé du SMC au BE châssis, nous avons pu entendre le terme de *plastoc*[10] pour désigner ce matériau. Par contre, une bonne connaissance produit/process dans le domaine des technologies utilisées par le BE permet aux EM de déplacer les évaluations en montrant également les avantages de la technologie proposée sur certains points faibles des technologies utilisées. De plus, les connaissances produit/process de l'ensemble des technologies permettent aux EM d'accroître leur crédibilité vis à vis de leurs interlocuteurs.

[9] Nous avons déjà présenté et mobilisé ce concept lors des deux premiers chapitres.

[10] Ce terme est assez révélateur du jugement et de la perception qu'ont les acteurs du matériau proposé. Dans [Poussin 97], l'auteur explique que ce terme est apparu en France dans les années 1960, suite à un professionnalisme laissant à désirer dans le domaine de la plasturgie. En effet, certains individus ont essayé de profiter de la dynamique porteuse du marché de cette technologie pour développer trop vite des produits qui ont souvent conduit à des échecs cuisants dans le public avec un effet désastreux sur l'image du plastique et la naissance du terme "plastoc".

Egalement, dans une situation d'asymétrie des connaissances (présentée au paragraphe III.3 du premier chapitre) où le BE est confronté à une nécessité de co-développer avec un fournisseur expert, nous pouvons remarquer que l'EM peut jouer un rôle capital pour instaurer une relation de confiance entre les acteurs du BE et ceux du fournisseur. Cette action permet de rassurer des interlocuteurs qui sont souvent relativement perturbés par ce changement de référentiel où ils n'ont plus la maîtrise complète de la conception.

La confiance des différents interlocuteurs se gagne donc en rassurant ces derniers sur de nombreux aspects du projet et en évitant de précipiter l'intégration d'une nouvelle technologie. Dans cette optique, il faut privilégier les innovations dites incrémentales qui nécessitent un saut de connaissance peu important tout en préparant les innovations dites en rupture en diffusant de la connaissance. Il faut noter que l'intégration de nouvelles technologies doit progresser à plusieurs niveaux. En effet, il semble difficile dans un contexte où des technologies traditionnelles prédominent, de proposer directement une innovation en forte rupture technologique sans avoir au préalable introduit de nouvelles connaissances. Ainsi par exemple, un EM rattaché à un BE comme celui de la fonction moteur où les technologies de la métallurgie sont majoritairement utilisées, ne va pas proposer de développer directement un concept de moteur réalisé entièrement en matériaux composites ! Dans un premier temps, il va proposer concrètement des alternatives en matériaux composites sur des pièces existantes en s'appuyant sur des travaux antérieurs ou bien des idées qui sont déjà développées chez la concurrence ou dans d'autres domaines. Il peut également faire valoir le critère d'intégration de fonctions (cf. partie I du premier chapitre) pour essayer d'étendre le matériau qu'il propose aux pièces voisines. Cette première approche permet dans le même temps de crédibiliser son action en tant qu'EM et les matériaux qu'il propose sur ces premiers projets.

D'autre part, il va chercher à diffuser des résultats concernant des essais et des prototypes de concepts très innovants sur d'autres éléments du moteur. A ce sujet, nous avons pu assister à des séances de *brainstorming*[11] où un EM a saisi l'occasion de présenter des essais de pignons de moteur en matériaux composites. De ce fait, en diffusant de la connaissance et en favorisant l'apprentissage des acteurs du BE sur ces technologies, il anticipe et prépare de fait le terrain des futures innovations qu'il pourra proposer par la suite.

IV.2.3 Choisir les bons porte-paroles

Lors des propositions aux BE, il faut choisir les bons porte-paroles de la solution : des esquisses, des photos, des maquettes et des prototypes sont très utiles pour mettre au débat

[11] Le brainstorming est une technique qui a été mise au point par M. Osborn, directeur d'une agence de publicité américaine. Le terme *brainstorming* est un mot anglais qui peut se décomposer en deux parties : *brain* (cerveau) et *storm* (tempête) et peut se traduire par « la tempête des cerveaux ». Cette technique de créativité vise à générer un nombre important d'idées lors d'une réunion. Elle s'appuie sur la constitution d'un groupe pluridisciplinaire piloté par un animateur. Le groupe doit générer des idées diversifiées en laissant aller son imagination, sans jamais critiquer les idées qui sont émises, et privilégie la quantité et le foisonnement de nouveaux concepts en favorisant les associations d'idées.

une idée de nouvelles applications. Nous avons vu lors du chapitre 2, le rôle des objets intermédiaires [Vinck et Jeantet 95], [Jeantet 98] comme par exemple les esquisses du bouclier qui ont été fortement mobilisées pour son développement.

Egalement, un acteur BE sensible aux différents avantages proposés par certains matériaux composites, peut être l'avocat d'une amorce de solution avec ce type de technologie. Dans cette situation, nous avons pu voir un EM laisser les acteurs BE discuter entre eux quand un des acteurs propose une nouvelle solution composite par exemple. En effet, Il faut éviter que le groupe fasse un amalgame et associe la proposition de l'acteur BE à celle de l'EM. Ce dernier intervient uniquement pour appuyer la proposition de l'acteur BE sur certains points techniques ou économiques pour légitimer la solution. A ce sujet, lors d'une réunion de brainstorming concernant la réduction des coûts d'une fonction du moteur, j'ai pu assister à des échanges intéressants entre les acteurs en présence (encart 4).

Extrait du corpus de la réunion brainstorming du 3.04.2000

... lors de la réunion, d'autres propositions sont faîtes et notamment, un acteur étude propose de remplacer une pièce du moteur en acier par une pièce plastique dont il étudie la faisabilité avec un fournisseur. L'acteur étude essaye de montrer les avantages d'une telle solution (assemblage, poids, coût pièce). Les autres acteurs posent des questions de plus en plus précises à l'acteur étude (quelle matière peut-on utiliser ? Est-ce que cela peut tenir avec la température et la pression ? Et la durée de vie ?,...). L'acteur étude essaye au mieux de répondre aux nombreuses questions mais on sent que celui-ci ne réussi pas à convaincre totalement le groupe.

L'EM présent à cette réunion n'intervient toujours pas et me confie ironiquement qu'il vaut mieux laisser faire car c'est bien les métallurgistes qui parle le mieux du plastique à d'autres métallurgistes ! D'après lui, la proposition d'une solution plastique par un acteur étude spécialiste de l'acier est beaucoup plus légitime vis à vis du groupe. Par contre, au bout d'un certain temps, l'EM intervient pour aider l'acteur étude dans sa plaidoirie pour la solution plastique. Les indications de l'EM sur le process plastique sont orientées très conception et solutions d'assemblages. L'EM donne les différentes possibilités pour pouvoir assembler la pièce : insert, surmoulage, intégration de fonctions.

La solution va alors être acceptée au sein du groupe et je dirais que l'EM également ! (Il vient de montrer aux concepteurs qu'il parle le même langage : vibration, claquement, volumes de fabrication, etc.)...

Encart 4 : Echanges lors d'une réunion brainstorming

Par ailleurs, un des EM que nous avons rencontré se définit également comme un *excitateur des compétences* de chacun. D'après lui son rôle passe par la nécessité de générer des idées au sein des BE, et surtout d'en faire générer d'autres par les acteurs eux-mêmes. Par exemple, il a organisé une visite chez un fournisseur avec des acteurs étude car il savait que le sous traitant possédait une vitrine de nombreuses pièces plastiques. Cette action avait pour but de montrer des applications plastiques aux acteurs étude en espérant qu'ils y repensent dans un projet futur.

IV.2.4 « *Surfer* » sur les réseaux

Lors des phases préparatoires, il est parfois difficile d'obtenir des renseignements et des expertises de tout ordre auprès de certains acteurs. En effet, ces derniers peuvent être totalement opposés à l'idée proposée par l'EM, au caractère non-contractuel de l'expertise

demandée ou bien n'ont pas forcément de temps à accorder à ce type de développements supplémentaires. Dans ces différentes situations, les EM font donc parfois appel à leurs connexions relationnelles (cf. paragraphe IV.1) et aux acteurs alliés qui peuvent obtenir ces informations par leur propre réseau. En effet, il arrive fréquemment en phase préparatoire que l'on sollicite un acteur faisant partie de son « réseau relationnel » pour obtenir une information ou une expertise particulière, même si cet acteur n'est pas le principal responsable de l'activité demandée.

Dans cette même optique, il arrive fréquemment en phase préparatoire que les EM anticipent sur les tâches de certains acteurs. Par exemple, un EM peut être amené à réaliser une consultation de prix auprès d'un fournisseur à la place d'un acheteur. Par contre, lors de ces opérations exploratoires, les EM prennent une précaution de toujours informer la personne qui réalise normalement cette tâche (cf. encart 5):

Extrait du corpus du 24.05.2000 :

"... je ne veux pas empiéter sur le terrain de jeu des acheteurs, car ils ont un panel de fournisseurs qu'ils ont déjà expertisé et il ne faut pas les shunter. De plus, si je lance une consultation à un fournisseur, je préviens l'acheteur de la fonction pour éviter d'avoir un "retour de manivelle" de ce dernier qui pourrait être vexé de ne pas être tenu au courant de mon action. De plus, parfois, l'acheteur peut m'informer de certains points importants (alerte rouge sur un fournisseur, personnes à contacter en préférence ou à éviter...)".

Encart 5 : Propos recueillis auprès d'un EM

En effet, il faut éviter d'exclure un acteur du développement et même l'enrôler au plus tôt pour bénéficier de son expertise. Ce dernier peut alors faire des remarques ou attirer l'attention sur certains points particuliers et ainsi contribuer à consolider la solution.

Ce point est très important car même en situation plus traditionnelle de phases de projet, les acteurs sont parfois confrontés à ce type de difficulté où des expertises demandées à des acteurs ne débouchent pas toujours sur une réponse de leur part. Cependant, le caractère souvent contractuel et contraint au niveau des délais du projet, et une intervention du chef de projet peuvent alors débloquer sensiblement la situation. Lors des phases préparatoires, le contexte est complètement différent car le demandeur n'est pas un véritable chef de projet et il n'a pas de tels leviers pour faire évoluer la situation. De ce fait, la tentation de réaliser le travail à la place d'un acteur, ou de trouver l'information par un autre réseau est donc très grande pour un EM qui cherche à développer son idée.

Nous avons vu dans les paragraphes précédents toute la difficulté de l'activité menée par les EM lors phases préparatoires. Cette complexité nécessite de développer des compétences relativement étendues pour faire face aux nombreuses situations rencontrées lors de ces périodes. Nous proposons de voir dans le prochain paragraphe quelques compétences que nous avons pu identifier concernant ces acteurs particuliers de l'innovation que sont les EM.

IV.3 La palette des compétences des Experts Matériaux

Suite aux entretiens réalisés sur le terrain avec les différents EM et les responsables du Laboratoire Matériaux, nous avons pu dresser une certaine typologie des domaines de compétence propres à ce métier d'expert matériaux.

Tout d'abord, il faut bien noter que derrière cette fonction d'EM, il y a toute une palette de compétences qui concernent bien évidemment le domaine des matériaux et du produit véhicule industriel, mais également, nous avons pu identifier des compétences multiples dans le domaine de l'apprentissage et de l'organisation d'un travail de conception.

En effet, lors de la création de ces postes au début des années 1990 par un responsable du Laboratoire Matériaux, la fonction principale de l'EM était d'assister les acteurs des BE sur des problèmes d'expertise de pièces défectueuses et de faire des essais sur des nouvelles pièces ou matériaux. Depuis ces dernières années, le rôle a fortement évolué pour s'adapter aux nouvelles contraintes industrielles, et le rôle a été distribué à 50% pour l'expertise et les essais et 50% pour les activités en BE sur les choix de technologie.

Nous avons vu que cette redistribution du rôle permet aux EM d'intervenir dans les phases amonts de conception et conduit ces derniers à développer une certaine approche sur le produit en travaillant sur les applications. Il faut remarquer ici qu'au travers de cette redistribution du rôle, nous retrouvons ici les caractéristiques de l'évolution des matériaux dans les transports abordée au chapitre 1 où l'utilisation d'une technologie s'envisage dans un consubstantiel triptyque matériau/process/application.

De plus, les exigences de la veille technologique concernant les nouvelles procédures et moyens d'expertises, les applications innovantes, les nouveaux matériaux ou process mettent les EM dans une situation d'apprentissage permanent concernant ces nouvelles technologies.

IV.3.1 Des EM "experts"

Nous pouvons dire que les EM sont reconnus en tant qu'experts au sein de l'entreprise lorsqu'ils proposent des caractérisations physico-chimiques et mécaniques des matières ou des pièces. Ce statut est le fruit de la longue expérience acquise dans le domaine des essais et correspond à la fonction la plus ancienne de l'EM depuis la création de ces postes. A ce sujet, le Laboratoire Matériaux est bien un service qui rassemble des experts ayant la connaissance des technologies et de leurs caractérisations relevant de la connaissance scientifique. D'autres connaissances proviennent des expériences diverses d'essais en laboratoire ou chez des partenaires constituant ainsi une sorte de savoir expérimental, combinant savoir-faire et autres savoirs progressivement accumulés.

Ces connaissances sont souvent mobilisées pour accélérer la convergence des projets en réalisant des diagnostics qui aident au choix entre des solutions déjà largement avancées par

l'ensemble des intervenants d'un projet. Mais en situation de phases amonts de conception et surtout en situation de conceptions non routinières comme les phases préparatoires, ce ne sont pas forcément ces connaissances qui sont les plus opératoires. Sur la base d'un certain nombre de travaux de recherche réalisés sur la conception, il est établi que les concepteurs qui se coordonnent pour travailler et évaluer une solution, opèrent beaucoup par coordination informelle et ajustements répétés. Les analyses des formes coopératives de la conception [Darses 97] révèlent des processus de synchronisation cognitive au sein des groupes de conception. Egalement, les travaux sur l'émergence des solutions en conception [Blanco 98] identifient un mouvement de conjectures/critères entre acteurs pour l'évaluation des solutions. Or, nous pouvons faire l'hypothèse que lors d'une demande d'expertise sollicitée par les équipes projet, les EM sont en fait relativement absents de ces mécanismes d'ajustement et de régulation. De ce fait, dans ces configurations (représentées précédemment au début du chapitre par la figure 1), les EM ne rentrent pas vraiment dans l'activité même d'innovation puisqu'ils sont sollicités, non pas pour ouvrir l'espace des possibilités mais plutôt pour le fermer. En émettant une sorte de verdict, ils seraient plutôt des acteurs de la convergence qui sanctionnent une proposition mais ne contribuent pas forcément à imaginer de nouvelles solutions.

IV.3.2 Des EM concepteurs ?

Une de nos premières interrogations au début de cette étude sur le rôle des EM concernait leur compétence en matière de conception. Est-ce que ces EM qui sont issus de formations différentes de celles des acteurs BE sont des concepteurs ? A cette question, la nature de leur connaissance, le jeu et la pertinence de ces connaissances vis-à-vis de la dynamique des projets, montrent que les EM ne sont pas des concepteurs comme les acteurs BE au sens où ils n'ont pas la responsabilité du dessin des pièces ou des calculs. Par contre, nous avons vu que leur rôle a sensiblement évolué et ce changement leur permet de développer une certaine approche du produit. De ce fait, nous pouvons dire qu'ils font partie intégralement des « acteurs de la conception » au sens où les EM ne sont pas seulement des conseillers matériaux mais jouent parfois un rôle d'experts de pré-développement de nouvelles alternatives et de nouvelles opportunités d'applications. A ce sujet, il faut noter que de nombreuses applications innovantes sont maintenant développées et pour certaines industrialisées chez Renault VI, suite aux différentes investigations des EM.

IV.3.3 L'EM, un acteur d'interface pour favoriser l'innovation

Si l'on veut aboutir à des solutions innovantes, il faut réussir à construire de nouvelles expertises et de nouveaux savoirs. Cette condition nécessite de combiner autrement les ressources cognitives disponibles, et faire entrer plus systématiquement de nouveaux experts dans l'espace de la conception. C'est dans cette optique que le métier de l'EM a été profondément modifié afin que ces derniers puissent proposer de nouveaux couples matériaux/process pour certaines applications. Nous avons vu que cette mission passe parfois par la nécessité de faire accepter très en amont dans les processus de conception, des

technologies qui sont en rupture avec celles employées habituellement par les BE. Dans ce cas, nous avons pu observer l'enjeu stratégique que représentent les phases préparatoires.

Dans cette modalité d'intervention, nous pouvons dire que l'EM se retrouve dans une position de « facilitateur » et « d'animateur de compétences » où son rôle est de diffuser et de mettre à l'épreuve auprès de différents domaines d'expertise, une idée nouvelle qui est encore au stade de l'invention (concept), pour la faire passer progressivement au stade de l'innovation (application industrielle).

Pour cela, nous avons vu que l'EM construit progressivement, par des stratégies d'intéressement, un réseau de compétences au sein duquel il se retrouve en position d'acteur d'interface. En effet, lors de ces périodes, il est amené à analyser les différents besoins des acteurs qu'il a rencontrés pour identifier les leviers sur lesquels il va pouvoir s'appuyer pour faire progresser son développement.

Egalement, il fait circuler les contraintes et les différentes informations qu'il a recueillies auprès de ses interlocuteurs afin de trouver un vecteur d'avancement commun pour le développement de l'idée. Parfois, il est amené à jouer un rôle de traducteur pour faire partager ces informations issues de différents domaines d'expertise. En effet, l'EM recueille des données qu'il transforme parfois pour rendre ces informations plus accessibles et compréhensibles au reste du réseau. Par exemple, ceci est notamment le cas lorsque l'EM sollicite une expertise d'un fournisseur, spécialiste d'une technologie qui est cependant relativement nouvelle pour un BE. Dans cette situation, l'EM peut se proposer en tant que porte-parole du fournisseur pour présenter les résultats de cette expertise à des acteurs BE non spécialistes.

IV.3.4 Un acteur d'interface au centre des flux d'informations

Nous avons pu personnellement observer pendant l'expérience du bouclier, la complexité des échanges qui se déroulent largement sur fond d'incertitude lors des premiers temps de l'intégration d'une nouvelle technologie. Cette particularité qui est souvent une caractéristique des projets innovants conduit les EM à jouer souvent un rôle très stratégique pendant ces phases. En effet, si nous analysons les phases préliminaires des projets que l'on a pu observer, il apparaît que l'EM en tant qu'acteur d'interface est bien au centre du réseau d'acteurs qu'il a progressivement intéressés, mais également au centre d'un flux important de données, d'informations, et de connaissances liées aux développements en cours.

Dans cette situation, nous avons vu que l'EM joue un rôle stratégique de traducteur mais représente également un point de passage quasiment obligatoire pour ce flux. De ce fait, cette position stratégique lui permet de jouer un rôle de filtre dans ce flux d'informations. A noter que cette action de filtre est parfois volontaire chez l'EM, notamment lors des phases d'intéressement des acteurs, où l'EM doit convaincre des avantages de la technologie qu'il propose. Certains aspects temporairement négatifs ou fragiles concernant le concept proposé

peuvent être volontairement mis de côté lors des échanges avec les acteurs les plus sceptiques, pour les développer avec des acteurs alliés « plus porteurs » ou plus compétents sur la technologie envisagée. Par contre, il faut noter que cette action de filtre est parfois involontaire car il semble impensable que l'EM ou tout autre acteur dans cette position d'acteur d'interface, puisse restituer la totalité des données et des informations qu'il a pu rassembler sur un projet.

IV.3.5 Des EM "qui apprennent et doivent faire apprendre"

Nous avons vu qu'une partie des connaissances qui se développent au Laboratoire Matériaux sont des connaissances axées sur la définition des caractéristiques physico-chimiques et mécanique des matériaux. De ce fait, les EM organisent une veille technologique générale sur l'actualité de ces connaissances que l'on pourrait définir comme scientifique. De plus, en utilisant un certain nombre de moyens d'essais et d'analyses, ils construisent eux-mêmes, de façon expérimentale leur propre connaissance renforçant alors leur position d'experts matériaux.

D'autre part, les EM et plus généralement l'ensemble des acteurs du Laboratoire Matériaux, construisent également une veille technologique sur les nouvelles applications produit/process en étant à l'affût des avancées technologiques proposées par les concurrents, les fournisseurs, et les groupements pour le développement de certains matériaux (exemple de l'European Alliance for SMC). De ce fait, les EM participent régulièrement à des *Show rooms* (terme de Renault pour qualifier des journées de présentations de produits nouveaux des équipementiers et fournisseurs), des salons de l'automobile et du véhicule industriel, etc. Les réunions de service au sein du Laboratoire Matériaux sont l'occasion de croiser et d'échanger ces informations qui servent à enrichir une base de données informelle et contribuent à construire et à partager un répertoire de connaissance sur les applications potentielles de différentes technologies.

Nous pouvons donc déjà souligner que ces apprentissages des EM sont permanents et se font le plus souvent, hors des situations de conception. Par ailleurs, nous estimons que les projets ou les phases préparatoires, constituent des moments forts et privilégiés de l'apprentissage des acteurs. Ces moments sont d'autant plus forts lorsque les projets comportent une dimension innovante, et ceci est souvent le cas quand il s'agit d'introduire de nouveaux matériaux et des nouvelles technologies. En effet, les processus d'apprentissage au sens de [Argyris et Schön 78] sont très importants dans ce contexte car ils sont à la base de la création de connaissances communes qui favorisent les mécanismes de coopération pour les projets futurs.

De plus, nous pouvons dire que l'EM, en participant à l'identification des incertitudes et à la définition de nouvelles zones problématiques[12], agit alors comme un catalyseur au niveau des interfaces entre métiers et se trouve donc au centre de lieux où peuvent se développer de

[12] Se référer au premier chapitre pour la définition des concepts d'incertitude et de zone problématique

nouvelles connaissances. Dans ce contexte, les EM cherchent également à faire partager ces nouvelles connaissances avec leur réseau d'acteurs pour favoriser des développements futurs. Par contre, au final, nous avons pu voir que l'EM et plus généralement les acteurs d'interface se retrouvent être les principaux bénéficiaires des apprentissages par rapport aux autres acteurs du réseau, notamment suite à leur action de filtre et de traducteur.

Finalement, dans cette configuration, les apprentissages croisés [Hatchuel 94] entre acteurs métiers sont moins consolidés que ceux qui existent entre l'EM et son réseau car les acteurs métiers ont moins de prises sur le projet et les connaissances des autres intervenants. Lors des phases préparatoires, nous avons vu que le facteur principal de réussite pour faire aboutir un projet repose essentiellement sur l'acteur d'interface. Nous faisons l'hypothèse qu'il en est de même pour la diffusion des connaissances et le partage des apprentissages.

Nous pouvons voir ici se profiler des caractéristiques intéressantes de l'activité des acteurs d'interface dans les processus d'innovation sur lesquelles nous reviendrons plus largement lors du chapitre suivant.

Pour synthétiser notre étude sur les compétences des EM, nous pouvons voir de manière schématique sur le tableau 1 que les EM n'ont pas le même rôle et le même statut en fonction des compétences qu'ils mobilisent lors de leurs activités.

La palette des compétences des CM	**Statut / Rôle**
Une expertise sur les matériaux (caractérisation physico-chimique, mécanique, essais matières et pièces)	Expert
Une certaine approche du produit (les applications potentielles, une certaine vision produit/process)	« Facilitateur » Animateur Stratège Inventeur / Innovateur EM / Concepteur
Situation d'apprentissage permanent • Apprentissage individuel • Apprentissages croisés via le réseau de conception	Activité de veille, constitution d'un répertoire de connaissances personnel Capitalise et diffuse la connaissance collectivement

Tableau 1 : Les compétences, les rôles et les statuts des EM

Dans le prochain paragraphe, nous allons aborder le problème de la reconnaissance des compétences des EM qui nous l'avons vu, se développent à la fois sur des activités en projet et également en phases préparatoires. Nous allons voir que la valorisation des compétences de l'EM peut parfois poser des problèmes car l'ensemble des activités de cet acteur ne conduit pas à la même reconnaissance.

IV.4 Le problème de la reconnaissance des compétences de l'EM et des phases préparatoires

Nous avons déjà souligné la complémentarité des configurations d'intervention des EM et de leurs rôles d'expert et d'innovateur lors des processus de conception. Cependant, il semble qu'il existe un décalage en ce qui concerne la reconnaissance entre les deux types d'activités des EM et surtout entre les différentes compétences qu'ils mobilisent. Schématiquement, nous avons pu dresser le constat suivant, synthétisé dans le tableau 2.

	Reconnu	Peu reconnu
Court terme	Calculs, essais, expertise	
Long terme		Prospective, innovation

Tableau 2 : La reconnaissance des activités des EM

Le rôle de l'EM sollicité en tant qu'expert pour réaliser des essais et des calculs sur les matériaux, est plus facilement reconnu à court terme. En effet, dans ce cas, l'EM est souvent amené à produire des résultats sous diverses formes (notes de calculs, comptes rendus d'essais) qui permettent de montrer et de valoriser le travail réalisé. Par contre, il existe encore un réel enjeu pour faire reconnaître le statut "d'innovateur" des EM et de leurs activités en phase préparatoire qui sont souvent des actions avec des retombées à plus long terme (par exemple : le lancement d'un nouveau projet). De plus, même si le développement en phase préparatoire ne se concrétise pas directement sur le lancement d'un projet, les résultats obtenus lors de ces périodes de prospective sont riches en matière de création de nouvelles connaissances, d'extension du réseau relationnel, de localisation de compétences internes et externes à l'entreprise, etc.. De plus, lors d'un entretien avec un EM, ce dernier m'avait précisé que ses activités et les multiples contacts qu'il avait pu développer en tant qu'acteur de pré-développement de nouvelles solutions lui ont permis d'étendre ses domaines de compétences. Pour illustrer son propos, il m'avait cité le domaine de l'acoustique dont il semblait maintenant connaître les théories de bases de cette discipline[13]. Ainsi, s'il n'existe pas vraiment de gratification pour le travail quotidien de conservation et du construction du réseau relationnel, certains EM sont néanmoins conscients de l'enjeu stratégique d'entretenir ces relations connexes avec les acteurs de l'entreprises et les acteurs externes. Ces immatériels qui sont pourtant des éléments très stratégiques pouvant favoriser des processus

[13] Nous retrouvons ici des éléments de l'analyse que nous avons pu faire au chapitre 2 dans le cas du projet composite : la position d'un acteur d'interface permet d'être au centre des apprentissages. Nous reviendrons sur ce point au chapitre 4.

d'innovation futurs sont donc des acquis relativement difficiles à valoriser et à diffuser au sein d'une entreprise. De ce fait, nous avons déjà souligné l'enjeu pour une entreprise d'identifier et de valoriser ces activités lors des phases préparatoires et nous pouvons ainsi compléter sur la nécessité de reconnaître également les compétences qui s'y développent. Nous voulons également insister sur la nécessité de tracer et de capitaliser les investigations et les trajectoires de développement effectuées en phases préparatoires. Cependant, nous avons déjà dit qu'il est assez complexe de séparer clairement phases préparatoires et phases de projet. Ainsi, dans le prochain paragraphe, nous allons montrer que les frontières entre les phases préparatoires et les premières phases des projets sont relativement floues et perméables.

IV.5 Les phases préparatoires prises entre processus d'innovation et positionnement dans un projet : l'enjeu des irréversibilités

Nous avons maintenant caractérisé plus finement notre vue sur les phases préparatoires. Ainsi, il nous a paru intéressant de préciser maintenant notre première figure 4, par notre vision du positionnement des phases préparatoires par rapport aux phases de projet (figure 5).

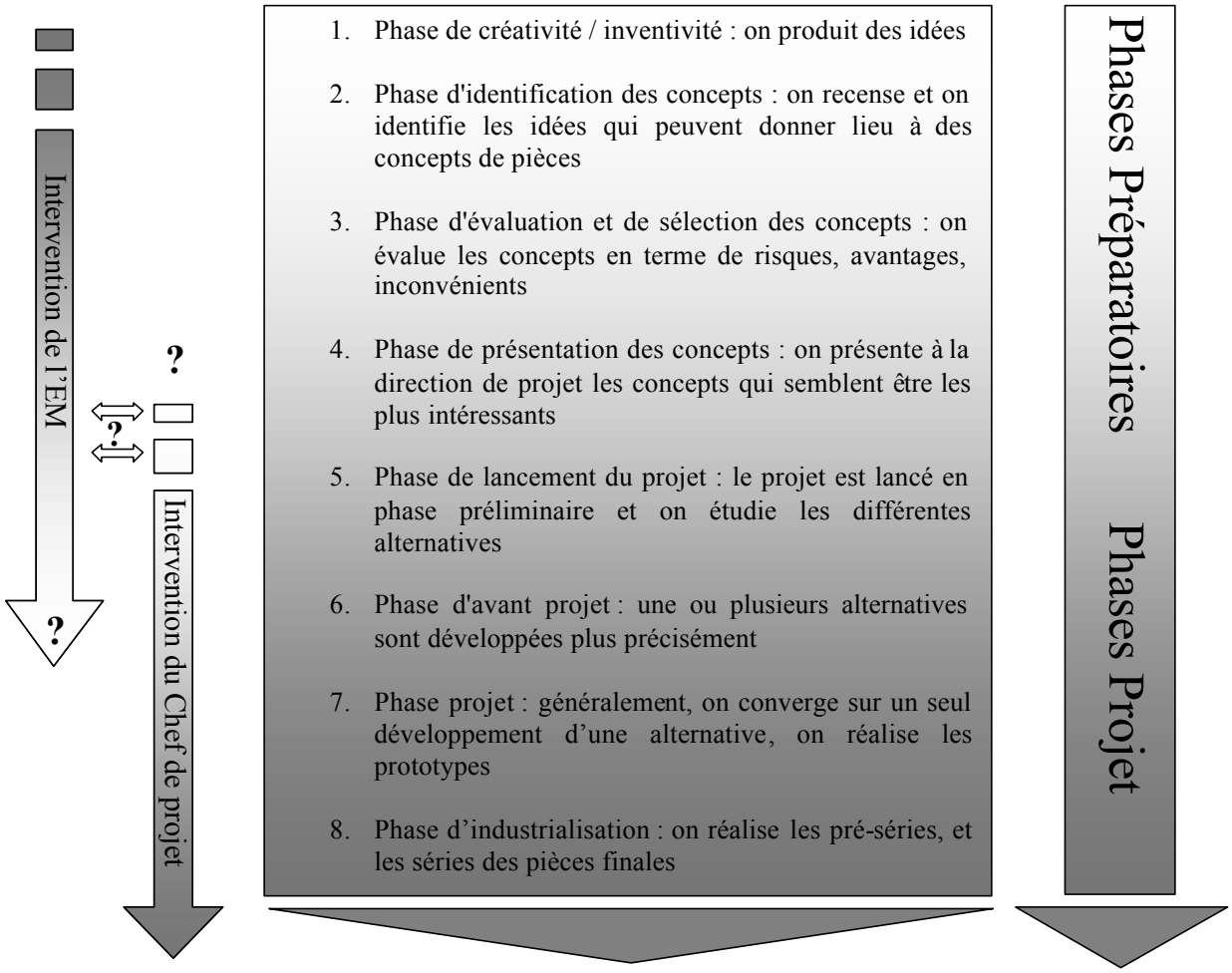


Figure 5 : Positionnement des phases préparatoires par rapport aux phases de projet

Sur cette figure 5, nous avons essayé de positionner l'intervention de l'EM et du chef de projet qui est généralement désigné au cours du processus. Nous pouvons voir qu'il existe une certaine continuité dans le processus entre les phases préparatoires et les phases projet. Cependant, nous insistons sur le fait que cette figure ne permet pas de visualiser la complexité des trajectoires des développements, composés de sauts et de retours en arrière qui se produisent en permanence dans un contexte industriel. En effet, notre but est de montrer ici comment les phases préparatoires s'articulent avec les phases de projet. Plus précisément, nous avons volontairement omis de mettre une séparation entre les phases préparatoires et les phases de projet. En effet, même si le lancement d'un projet semble constituer la fin de ce que nous nommons phase préparatoire, nous avons pu voir que certains acteurs, et notamment les EM, ne cessent pas pour autant de changer complètement leur mode d'intervention sur un projet contractualisé. A ce sujet, nous avons vu des EM développer des stratégies identiques à celles des phases préparatoires et mobiliser leurs connexions relationnelles pour résoudre certains problèmes jusqu'aux phases d'industrialisation du projet.

Ces comportements montrent que l'activité et les stratégies développées en phase préparatoire ne s'arrêtent pas toujours au lancement du projet mais évoluent au fur et à mesure que le développement progresse. Par contre, nous pensons que cette évolution est à mettre en relation avec le besoin de créer des irréversibilités pour assurer la progression du projet. En effet, il faut remarquer que plus on remonte vers l'amont du processus, plus le projet est fragile et peut être remis en cause. Ainsi, en phase préparatoire, le projet qui n'existe pas encore officiellement est très vulnérable aux écueils qui peuvent se présenter devant lui. Cette fragilité du développement lors des phases préparatoires pousse les acteurs « innovateurs » à établir des irréversibilités pour assurer son avancement. Ainsi, l'enrôlement de certains acteurs, le résultat d'expertise favorable à la nouvelle solution, sont autant d'irréversibilités qui font progresser le processus d'innovation. De même, suite aux résultats des phases préparatoires, le lancement officiel du projet constitue une irréversibilité majeure et montre alors l'engagement et l'enrôlement des directions de projet pour l'idée proposée. Cependant, après le lancement, le projet demeure encore très fragile et cet aspect conduit les acteurs à développer lors des phases projet des stratégies parfois similaires à celles des phases préparatoires pour continuer à créer des irréversibilités. Ainsi, le projet innovant est comme un alpiniste qui vient d'obtenir l'autorisation de gravir un sommet jamais escaladé, son ascension sera composé d'alternance de pas conventionnels et de pas improvisés selon le contexte et les difficultés de la paroi qu'il va progressivement découvrir. Par contre, il n'oubliera pas lors de sa progression de s'assurer en différents jalons car une erreur et surtout en fin de parcours lui serait alors très préjudiciable !

Sur la figure 5, il nous a paru intéressant de représenter également le niveau d'intervention des acteurs (EM, chef de projet) et le changement de leur statut. Cependant, il faut reconnaître que nous n'avons pas eu l'occasion de pouvoir observer directement ces périodes où l'EM doit laisser la direction du développement au chef de projet. Pourtant, nous faisons l'hypothèse que ces « passages de relais » qui interviennent généralement au moment du lancement en

projet sont également des lieux privilégiés d'observation en ce qui concerne la diffusion de la connaissance sur le projet. Par contre, suite à nos discussions avec les différentes personnes du Laboratoire Matériaux, il apparaît que l'EM ne change pas toujours de statut dès le lancement du projet et conserve parfois longuement celui d'acteur d'interface avant de devenir un acteur « périphérique » du réseau. De ce fait, il nous parait difficile de définir précisément le début et la fin de l'intervention de ces deux acteurs concernant la responsabilité du pilotage du projet. Par contre, nous sommes convaincus qu'un EM, même relayé par un chef de projet, reste encore un acteur particulier du réseau dans le cas où le projet concerne le développement d'une solution qu'il a proposée et développée en phase préparatoire.

IV.6 Conclusions du chapitre

IV.6.1 L'Expert Matériaux : un acteur à la figure ambivalente

Pour conclure sur le rôle des EM, nous pouvons dire que ces acteurs occupent une place très importante et stratégique dans les processus d'innovation où la question d'introduction d'une nouvelle technologie est abordée. De plus, nous pouvons dire qu'ils occupent en permanence une position paradoxale en se situant sur plusieurs axes (cf. figure 6).

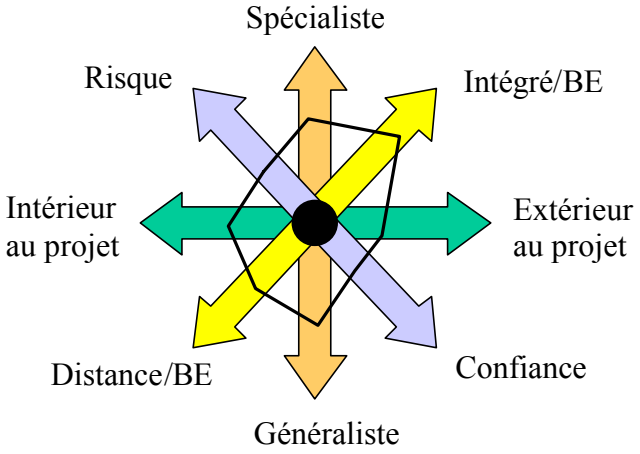


Figure 6 : L'EM : une position paradoxale

En effet, nous avons vu que l'EM doit être à la fois un « spécialiste » des matériaux mais également doit développer des compétences d'acteur d'interface. Ces dernières doivent donc être relativement « généralistes » pour animer et mettre au débat d'autres compétences métier de différents domaines dans le but de développer des pré-solutions en phase préparatoire. Dans cette optique d'innovation, il faut que l'EM soit « intégré » dans les BE pour saisir les opportunités et contribuer aux développements de nouvelles applications mais également pour asseoir sa crédibilité et rester en situation d'apprentissage sur les contraintes des métiers. Par contre, il faut également que l'EM puisse prendre du recul et garder de la « distance » sur les pratiques habituelles pour continuer de proposer des technologies et des applications différentes. En ce sens, il ne faut pas que les EM deviennent des ressources « à temps plein » au niveau des BE. Concernant le développement des applications, il faut que l'EM soit

présent à « l'intérieur » des projets pour jouer ce rôle d'expert mais d'autre part, nous faisons l'hypothèse que son activité en « extérieur » des projets et notamment en phase préparatoire, reste une action très stratégique pour les processus d'innovation. Pour terminer (même si cette liste n'est pas exhaustive), l'EM est confronté en permanence aux questions du « risque » et de la « confiance ». Il est amené à proposer des technologies différentes qui peuvent parfois introduire des risques dans le processus de conception. Mais ces propositions nécessitent d'établir et de gagner une certaine confiance et légitimité auprès de ses interlocuteurs.

IV.6.2 Vers une nouvelle approche de l'innovation par l'intégration produit/process ?

Nous pouvons donc conclure que les EM sont des acteurs de l'innovation. Nous pouvons même rajouter que les EM sont des acteurs particuliers de l'innovation car ces derniers développent une approche relativement différente de celle que nous pouvons percevoir des services traditionnels de Recherches et Développements par exemple. En effet, en première approche, nous pouvons considérer que les services de R&D ont pour mission de développer des solutions innovantes qui seront adaptées, par la suite, par les acteurs du BE à des projets futurs. Cependant, nous faisons l'hypothèse qu'il arrive parfois que ces solutions soient trop éloignées des besoins des BE et demande parfois trop d'investissements en termes de ressources humaines, de temps et d'expertises pour engager son industrialisation.

Ainsi, nous insistons sur le fait que les EM développent ici une approche originale de l'innovation en travaillant sur l'intégration produit/process de nouvelles technologies. Nous affirmons que ces acteurs permettent « d'innover sous contraintes métiers » en étant très proches des projets et des préoccupations quotidiennes des acteurs de la conception. En effet, en proposant une technologie différente de celles employées plus traditionnellement par les acteurs, les EM apportent une dimension innovante au produit. Leurs propositions et leurs interventions conduisent certes à une certaine déstabilisation temporaire du processus de conception, mais compte tenu des stratégies d'intéressement qu'ils développent et de leur dépendance avec leurs réseaux d'acteurs, ils sont contraints de retrouver les conditions d'une nouvelle stabilisation s'ils veulent voir leur projet et l'innovation aboutir. Nous retrouvons ici les caractéristiques que nous avions évoquées au premier chapitre (paragraphe II.3.4.2) concernant la nécessité de remettre en cause la cohérence entre les solutions techniques, les technologies employées, l'organisation et les acteurs mobilisés pour favoriser l'innovation. Par contre, nous voyons ici que cette remise en cause est très complexe à mettre en œuvre et que les conditions pour retrouver une nouvelle stabilisation après avoir déplacé la cohérence sont également très difficilement identifiables dans la dynamique de l'action.

Ainsi, nous proposons au lecteur, de découvrir dans le prochain chapitre, nos éléments d'analyses concernant les différents points que nous avons pu identifier pour favoriser cette remise en cause. Egalement, nous présenterons, les leviers qui permettent alors de retrouver une nouvelle stabilisation pour inciter le développement des processus d'innovation.

CHAPITRE 4 :

INNOVATION, CONNAISSANCES ET DISPOSITIFS D'APPRENTISSAGE

Dans ce chapitre nous proposons de nous intéresser particulièrement à la question de l'innovation. Plus précisément, au travers de nos analyses des différents projets que nous avons pu suivre concernant l'introduction de nouvelles technologies, nous voulons caractériser une voie complémentaire pour l'innovation : celle de l'intégration produit/process en phases amont des projets. Ainsi, nous allons montrer que l'innovation produit/process nécessite de remettre en cause certains dispositifs actuels pour favoriser une volonté d'intégration et des développements aux interfaces des métiers. Nous montrerons alors que cette remise en cause fait évoluer fortement le contexte de la conception à travers la coopération, la dynamique des connaissances, les apprentissages et les outils d'interface.

Sommaire du chapitre :

Partie I. L'innovation : de quoi parle-t-on ? 128
I.1 Vous avez dit innovation produit/process ? 128
I.2 Quelles définitions pour l'innovation ? 129
I.3 Entre invention et innovation : une série d'adaptations et de transformations .. 130
I.4 Un double sens pour l'innovation 131

Partie II. Conditions pour l'innovation produit/process 132
II.1 Une remise en cause de l'organisation et du réseau d'acteurs 132
II.2 Une remise en cause des conditions pour la création et le partage des connaissances 136
II.3 Une remise en cause des dispositifs d'évaluation 140

Partie III. L'innovation ou l'enjeu de la coopération, de l'acteur d'interface et des apprentissages 142
III.1 La coopération : un idéal-type pour l'innovation 142
III.2 Le rôle de l'acteur d'interface dans les processus d'innovation 144
III.3 les apprentissages au sein du processus de conception 146

Partie I. L'innovation : de quoi parle-t-on ?

I.1 Vous avez dit innovation produit/process ?

L'intégration produit/process et l'innovation sont les fils conducteurs de cette thèse. Il est maintenant établi que l'innovation constitue un élément clé pour le développement et la compétitivité d'une firme. De ce fait, cette thématique a été largement étudiée et représente encore un objet de recherche bien réel autant académique qu'industriel, dans le domaine de l'ingénierie et dans les domaines de la sociologie, de la gestion, de l'économie et de la psychologie. Dans ce chapitre, nous avons l'occasion d'aborder cette question sous un angle peu habituel, celui de l'innovation dans les phases amont des projets par l'intégration produit/process.

Traditionnellement, l'intégration produit/process est souvent présentée comme le moyen d'anticiper efficacement sur l'étape de fabrication et de renforcer la coordination entre ceux qui conçoivent le produit et ceux qui conçoivent le process. On parle alors de développement simultané du produit et du process de fabrication où il faut intégrer les contraintes du process dès les phases de conception du produit. En effet, c'est principalement pendant la phase de conception que l'on peut espérer obtenir des bénéfices conséquents car 80% des coûts sont engagés par les décisions et les choix retenus lors de cette phase stratégique. Il faut éviter le syndrome du *« fast gun / slow bullet »* qui est la tendance à mettre sur le marché un produit conçu très rapidement mais pour lequel il faudra revoir, *a posteriori*, la conception et les procédés de fabrication pour obtenir un produit qui soit réellement rentable. Dans cette optique, de nombreuses recherches portent sur les moyens de mieux articuler certaines étapes de fabrication (usinage, emboutissage, estampage, etc.) lors de la phase de conception. De nouveaux métiers, de nouvelles méthodes et outils sont proposés pour répondre à ces objectifs. Cependant, la plupart de ces dispositifs sont prévus pour être mis en oeuvre dans un environnement relativement stabilisé au sens où les process de fabrication sont connus à la fois des acteurs du « produit » et des acteurs du « process ».

Par contre, nous avons relaté dans les premiers chapitres de cette thèse, une situation complètement différente, caractérisée par une forte asymétrie des connaissances à la fois sur le produit et également sur le process. Par ailleurs, dans le contexte des phases amont de développement où les technologies ne sont pas toujours figées, l'incertitude est augmentée par ce manque de connaissances sur le produit et sur le process. Pourtant, c'est particulièrement lors de ces phases que des choix technologiques innovants peuvent être fait entre plusieurs alternatives. Mais l'exploration de nouvelles alternatives produit/process devient alors très difficile et souvent dissuasive car les acteurs se retrouvent face à un vide de connaissance dans certains domaines alors que les solutions traditionnelles sont déjà relativement bien stabilisées et avancées. Pourtant, la proposition d'un nouveau matériau peut contribuer au déplacement des points de vue des acteurs et permet alors de reconsidérer et de mettre en tension les connaissances concernant les solutions éprouvées. De ce fait, nous pensons que le

développement de l'intégration produit/process de nouveaux matériaux dans le contexte des phases amont est un réel vecteur d'innovation au même titre que l'innovation suscitée par de nouveaux usages ou de nouveaux besoins. Ainsi, si l'on conçoit plus volontiers la question de l'innovation sous l'angle de la recherche de nouveaux concepts, par l'étude des besoins, des marchés, des usages des clients, etc., nous abordons ici une voie complémentaire pour l'innovation : celle de l'innovation produit/process. Nous affirmons que la mise en perspective de nouvelles technologies permet de trouver de nouveaux concepts produit/process qui peuvent se révéler par la suite innovants.

I.2 Quelles définitions pour l'innovation ?

Depuis le début de cette thèse, nous avons souvent abordé la question de l'innovation et dévoilé progressivement nos réflexions sur ce sujet. De même, nous avons proposé une première définition de ce terme au premier chapitre afin de donner au lecteur un premier élément de compréhension de notre vue sur cette question. Cependant, avant d'aller plus loin sur cette thématique, il nous semble ici essentiel de revenir sur cette première définition en la confrontant à celles que l'on peut rencontrer dans la littérature.

Historiquement, c'est aux économistes et notamment à Joseph Alois Schumpeter que l'on doit la première étude sur l'innovation. Dans cette étude, l'innovation est définie comme le passage d'une invention au marché sanctionnée par une première transaction commerciale réussie [Schumpeter 34]. Il y a donc une distinction entre invention (production d'une nouvelle ressource pour l'entreprise) et l'innovation (intégration d'une nouvelle ressource dans un bien sur le marché). L'innovation rassemble donc l'ensemble des activités consistant à transformer une invention ou une idée en objet commercialisable. Plus récemment, dans [Knight 67], l'auteur introduit une connotation valorisante qui est reprise dans [Barreyre 81], pour définir l'innovation comme un processus dont l'aboutissement est une réalisation originale qui comporte des attributs créateur de valeur. Elle est la mise en application originale et porteuse de progrès d'une découverte, d'une invention ou simplement d'un concept. Elle n'est pas une action simple mais un processus global qui est un ensemble de sous-processus en inter-relation [Marquis et Myers 69]. L'innovation est également vue dans [Knight 67] comme un processus d'adoption d'un changement qui est nouveau pour l'organisation considérée et pour son environnement immédiat. Dans [Perrin 96], une innovation est une idée nouvelle qui se concrétise par la mise sur le marché d'un nouveau bien ou d'un nouveau service. En ce sens, une invention, ou une nouvelle idée d'un produit ou d'un procédé, non commercialisée n'est pas une innovation. Cette liste de définitions est loin d'être exhaustive car le terme innovation est fortement polysémique et chaque auteur propose sa propre vision de ce qu'il considère comme une innovation. De ce fait, il nous semble peu opportun de définir une « hypothétique définition universelle de l'innovation » car chaque personne se construit une représentation de ce phénomène en fonction des particularités de son terrain de ses observations et de ses expériences. Par contre, nous pouvons remarquer que les définitions des économistes sont souvent focalisées sur le profit et la réponse du marché et dans le prochain paragraphe, nous voulons pointer sur le fait que certaines des définitions

précédentes nécessitent souvent une rationalisation *a posteriori* de l'action et demandent de connaître les résultats du développement pour obtenir le « label » innovation.

I.3 Entre invention et innovation : une série d'adaptations et de transformations

En effet, si nous accordons ici une certaine légitimité à la distinction entre une invention (ou idée nouvelle, un nouveau concept, une découverte) et une innovation (caractérisée par une mise sur le marché d'une invention qui a trouvé un segment économiquement et socialement intéressant), nous ne pouvons plus utiliser ce terme d'innovation pour désigner des développements en cours. Par exemple, si nous faisons l'hypothèse qu'un moteur fonctionnant à l'eau comme seule source d'énergie, non polluant, est déjà en cours de finalisation chez un motoriste, ce dernier ne peut pas dire qu'il travaille sur une innovation majeure dans le domaine de la motorisation puisqu'il ne connaît pas encore les résultats de la mise sur le marché de son développement ! Il faut avouer que dans ce cas particulier et dans de nombreuses autres situations, l'abus de langage est tentant même si on ne peut pas vraiment prévoir avec exactitude, l'accueil que va réserver le marché à une innovation. C'est seulement après coup que l'on pourra constater qu'un nouveau concept s'est révélé être une innovation. Par ailleurs, l'histoire de certains développements montre la multitude des trajectoires empruntées par l'innovation qui reste parfois cantonnée à un stade d'invention pendant quelques mois, parfois de nombreuses années, ou parfois indéfiniment. Par contre, si l'on ne peut difficilement prévoir avec exactitude la réponse du marché en cours de conception, il faut cependant, éviter l'abandon prématuré des solutions qui semblent innovantes et essayer de conserver et de considérer les différentes alternatives émises. En effet, par une volonté soudaine ou par obstination d'une ou plusieurs personnes, ou par un changement de contexte du marché, il arrive parfois que les acteurs réussissent à adapter une invention mise de côté temporairement, ou à la transformer complètement pour trouver son utilité sociale et économique qui lui permet alors d'être qualifiée d'innovation. On l'aura compris, entre invention et innovation, il existe une phase, peu prédictible, parfois très courte ou parfois interminable, composée d'une succession d'évènements où tout est question d'adaptation et de transformation.

Ainsi, pour illustrer le propos précédent, nous pouvons revenir sur l'histoire du bouclier. A ce sujet, nous avons vu dans le chapitre 2 comment le concept du bouclier s'est progressivement construit par la « rencontre » de plusieurs visions à la fois sur le produit et le process. Ainsi, tout au long du développement, nous avons pu observer les adaptations et les transformations progressives du concept initial de support feux arrière, parfois minimes, parfois conséquentes au fil de ses rencontres avec les différents acteurs mobilisés. Chaque acteur sollicité (designer, marketing, BE, fournisseur, etc.) a ainsi contribué volontairement ou non à transformer ce concept pour tendre vers son industrialisation. Au départ, c'était une idée originale de support feux arrière en SMC qui est devenu un bouclier, puis un bouclier standard pour plusieurs gammes, et par la suite est arrivé une option de coffre à outils,... Nous voyons ici que l'invention cherche en permanence à s'adapter et à se transformer pour devenir une

innovation. Et ce n'est pas terminé puisque lors des derniers temps d'investigation des acteurs du Laboratoire Matériaux, parmi les alternatives soulevées, une option d'un bouclier réalisé dans une autre technologie composite a été fortement envisagée et semblait économiquement très intéressante par rapport à la solution proposée. Du SMC, ou une autre technologie composite (et même métallurgique), la question est encore ouverte mais le plus important est que l'innovation trouve sa voie en s'adaptant !

D'un côté l'invention, (c'est à dire une idée, un concept, une découverte, un prototype, etc.) et de l'autre l'innovation (caractérisée par une première rencontre positive avec le client). Mais entre les deux que se passe t-il réellement ? Quelles trajectoires sont empruntées pour parvenir à cette mutation mystérieuse ? Quelles sont les conditions pour favoriser cette transformation au destin hypothétique ? Telles sont les questions qui se posent lorsque l'on veut approcher le phénomène d'émergence de l'innovation et comprendre les rouages de son processus. C'est cette période qui nous intéresse ici principalement par la complexité de ce processus complexe qui ne se décrète pas, qui interagit en permanence avec son environnement, et dont les résultats ne sont pas prédéterminés.

I.4 Un double sens pour l'innovation

Il nous semble intéressant de compléter la dichotomie invention/innovation axée principalement sur une vision du produit, pour s'intéresser aux approches qui considèrent l'innovation comme un processus. Dans certaines des définitions citées précédemment, nous retrouvons cette notion et également, dans [Xuereb 91], nous pouvons trouver une définition du processus d'innovation comme l'ensemble des activités mises en œuvre pour transformer une idée de produit nouveau en une réalisation effective. Le processus d'innovation est également défini [Gartiser 99] comme une succession de phases techniques, industrielles et commerciales qui conduisent à la vente de nouveaux produits manufacturés et à l'utilisation commerciale de nouveaux procédés ou équipements technologiques et à l'introduction réussie dans l'entreprise de nouveaux modes d'organisation ou de commercialisation. De plus, nous avons déjà fait référence lors des chapitres précédents au modèle de la traduction présenté dans [Callon et Latour 85] et [Callon 86] qui permet d'insister sur le fait que l'innovation est un processus non-linéaire, avec l'idée d'une transformation interactive et itérative des acteurs et des objets. De ce fait, nous pouvons dire que l'innovation peut désigner à la fois un résultat (une invention utilisée avec succès) et également le processus qui a permis d'atteindre ce résultat (les différentes activités qui ont transformé et adapté l'invention en un succès commercial).

Par contre, si l'on peut attribuer plus ou moins rationnellement ce terme d'innovation à une invention qui est mise sur le marché, la difficulté est autre lorsque l'on veut attribuer ce terme à un développement en cours. En effet, dans le premier cas, les réactions du marché, les premiers retours des clients, (et le suivi du compte de résultat de l'entreprise !) permettent de savoir si le produit ou le service proposé au marché constituent réellement une innovation. Par contre, dans le second cas, nous avons déjà pointé au chapitre 1 une certaine carence

d'indicateur permettant de caractériser le degré d'innovation d'un projet. Et c'est particulièrement ce deuxième aspect lié au fait que l'on ne connaît pas encore les résultats du développement qui constitue un réel problème pour le pilotage de ce type de projet. En effet, dans le domaine industriel, les responsables de projets ne peuvent pas attendre uniquement les premiers retours du marché pour savoir si les développements mis en œuvre constituent vraiment des innovations et nécessitent des attentions particulières ou des ressources et des moyens supplémentaires.

De ce fait, nous pouvons voir ici se confirmer un enjeu concernant l'identification des indicateurs permettant de caractériser une situation d'innovation. Dans cette optique, nous avons cherché à cerner les particularités d'un « développement innovant », terme que nous emploierons pour qualifier un projet qui présente de fortes chances de déboucher sur une innovation. A ce sujet, suite à nos résultats de terrain, nous avons pu repérer des conditions qui caractérisent ce que nous avons désigné comme une situation d'innovation produit/process.

Partie II. Conditions pour l'innovation produit/process

L'analyse des cas de «développements innovants » que nous avons précédemment évoqués lors des premiers chapitres montre que l'innovation produit/process ne peut progresser que si plusieurs dimensions sont prises en compte. En effet, nous avons vu que dans les situations d'introduction d'un nouveau matériau, les vertus et les avantages du matériau proposé ne suffisent pas pour autant pour faire accepter un nouveau projet. Par exemple, nous avons montré dans le chapitre 2 que dans un univers de conception orienté vers les technologies de la métallurgie, il n'est pas évident pour une solution composite de s'imposer. En effet, les qualités intrinsèques des matériaux composites (légèreté, palette de formulations, faible sensibilité à la corrosion, capacité à intégrer plusieurs fonctions, etc.) ne sont pas uniquement confrontés aux arguments techniques des technologies déjà en place. Le processus d'adoption, ou au contraire de rejet, d'un nouveau matériau s'inscrit dans un processus plus complexe qu'une « simple » confrontation technique entre process.

Ainsi, nous avons retenu trois conditions principales pour favoriser l'innovation produit/process et l'introduction de nouvelles technologies [Legardeur et al. 00].

II.1 Une remise en cause de l'organisation et du réseau d'acteurs

II.1.1 Organisation *versus* innovation

Nous avons vu dans les cas d'études précédents, que l'innovation est accompagnée généralement d'une certaine évolution de l'organisation. Dans ce paragraphe, nous allons insister sur la nécessité de prendre en compte cette évolution pour favoriser des mouvements d'intégration produit/process de nouvelles technologies.

Cette évolution est la conséquence d'une opposition légitime. En effet, nous avons pointé au chapitre 1 l'enjeu d'identifier les incertitudes pour favoriser l'innovation. Ainsi, nous pouvons dire qu'il existe une complémentarité mais également une certaine concurrence entre la logique de l'innovation qui vise à tirer partie des incertitudes et la logique de l'organisation qui vise à les réduire. Cette opposition se retrouve également dans l'observation de situations de travail présentées dans [Alter 93].

Cette opposition conduit à une certaine déstabilisation des dispositifs organisationnels mis en place traditionnellement. Notamment, nous allons voir que le collectif de la conception est souvent remis en question et se trouve confronté à un besoin de combinaisons nouvelles pour s'adapter au caractère complexe de l'innovation.

Ainsi, la première condition qui caractérise l'intégration produit/process concerne la nécessité de combiner différemment les différentes ressources. En effet, nous affirmons que la dynamique de la conception dans le cadre de l'innovation produit/process passe par la nécessité d'identifier, de mobiliser et de faire évoluer de nouveaux réseaux de compétences sur des problématiques qui sont relativement nouvelles pour les acteurs. Ces réseaux, qui résultent de processus d'intéressement et d'enrôlement souvent peu formalisés, offrent aux acteurs des structures opportunes pour favoriser les échanges d'informations. En effet, la structure en réseau permet un partage des informations et des savoirs avec un caractère moins normatif et contractuel que les autres structures. Par exemple, nous avons pu voir le designer proposer rapidement des esquisses du bouclier sans attendre une demande officielle. Inversement, les demandes de chiffrage des solutions existantes faisaient intervenir des procédures plus contractuelles (et souvent plus longues) pour obtenir des informations économiques.

De plus, nous allons voir dans le prochain paragraphe que dans le cas de l'innovation produit/process, ces réseaux se caractérisent par la nécessiter d'identifier et de partager des enjeux respectifs entre deux dispositifs particuliers.

II.1.2 Une rencontre entre deux dispositifs

Dans le cas de l'innovation produit/process, nous avons pu caractériser d'une manière relativement schématique, l'activité de conception par la présence de deux dispositifs particuliers. D'une part, il existe ce que nous avons appelé un « dispositif de qualification » (ou d'acceptation) de la nouvelle technologie porté par les promoteurs d'une solution nouvelle. Ce dispositif est composé d'acteurs présentant une posture d'innovateur (cf. paragraphe II.3.4.4 du chapitre 1) qui ont développé des compétences et leur intuition leur permettant d'appréhender et de travailler aux incertitudes qu'ils considèrent comme des opportunités pour le développement de nouvelles solutions. D'autre part, il existe un « dispositif de déqualification » (ou de rejet) de la nouvelle technologie porté par les promoteurs d'une solution plus routinière. Ce dispositif est composé d'acteurs présentant une

posture de légaliste (cf. paragraphe II.3.4.4 du chapitre 1) qui visent à réduire les incertitudes qu'ils considèrent comme des risques potentiels pour l'entreprise.

Ainsi, dans les situations d'innovation, nous assistons à la constitution de ces deux dispositifs et à leur rencontre. Dans cette configuration, l'enjeu du travail de conception consiste avant tout à gérer une certaine tension qui s'établit entre ces deux dispositifs guidés par des objectifs *a priori* relativement opposés.

Cependant, les oppositions de logiques de ces deux dispositifs sont pourtant complémentaires. En effet, il faut noter que la présence et l'activité de ces deux dispositifs sont nécessaires pour faire avancer un projet de conception innovante. Lors des phases amont, les confrontations en termes de points de vue, d'évaluations de la solution, de critères mobilisés, d'arguments et les oppositions de logique entre légalistes et innovateurs sont essentielles pour assurer une certaine progression de l'innovation. Généralement, les propositions qui émanent d'un des deux dispositifs sont mises à l'épreuve des points de vue de l'autre dispositif. De ces débats émergent de nouveaux éléments (techniques, économiques, juridiques, stratégiques, etc.) qui viennent alors définir les conditions d'un nouveau contexte et soulever de nouvelles propositions. Ainsi, d'une manière progressive et itérative, chaque nouvelle proposition, tenant compte des débats précédents, est le résultat d'adaptations et d'ajustements du concept.

De ce fait, ces deux dispositifs, qui semblent pourtant s'opposer, participent pleinement à ce processus itératif et interactif d'adaptations et de transformations de l'invention en innovation. Ainsi, nous pouvons dire de manière caricaturale que plus les légalistes vont résister, plus les innovateurs vont persister et multiplier des actions pour crédibiliser la solution. Par contre, ce mouvement d'adaptation est d'autant plus productif que les dispositifs en présence s'attachent à accepter cette mise à l'épreuve. A ce sujet, nous avons vu au chapitre 3 et notamment dans le cas des experts matériaux que si l'innovation fait face à des oppositions trop lourdes (refus de réponse, etc.) de la part de certains acteurs, elle peut parfois emprunter des chemins différents et des voies peu codifiées pour progresser.

Par ailleurs, il existe une difficulté liée au fait qu'au fil du processus la position de certains des acteurs n'est pas stabilisée dans un ou l'autre des dispositifs. Ainsi, lors d'un projet innovant, certains acteurs peuvent présenter des postures différentes en fonction des éléments du contexte. Dans l'exemple du développement du bouclier, ce fut notamment le cas du responsable de fonction qui, après une première attitude relativement opposé au SMC, a progressivement participé au dispositif de qualification de la solution bouclier pendant un certain temps, mais a subitement renoué avec sa posture initiale pour écarter la solution lors de la présentation du premier chiffrage.

A ce sujet, ces changements de posture, de réactions face à une nouvelle proposition et les oppositions de logique peut en partie s'expliquer par la question des intérêts propres des acteurs. En effet, les légalistes vont s'opposer à une innovation, non pas parce qu'ils sont

passifs ou fermés mais parce que la proposition soulevée ne constitue pas un réel enjeu pour ces acteurs et peut s'opposer à leurs intérêts. En effet, chacun résiste ou adhère à une innovation en fonction de ses intérêts propres et c'est bien normal puisque l'innovation a pour caractéristique de déplacer à la fois les objets et les acteurs dans le modèle de la traduction [Callon et Latour 85]. Par exemple, au début du projet composite, si les acteurs du BE châssis présentent des réticences à l'introduction du SMC dans leur périmètre d'étude, c'est qu'ils ne souhaitent pas forcément intégrer une nouvelle technologie sur laquelle ils n'ont pas encore développé d'expertise. Par contre, cette situation va évoluer pour le responsable de fonction qui identifie un enjeu propre en saisissant l'opportunité du projet composite pour tester une nouvelle application en composite pour le projet du nouveau véhicule. Ainsi, si les enjeux respectifs de la majorité des acteurs sont relativement concourants, l'innovation peut trouver sa voie. Dans le cas contraire, l'innovation demeurera une invention cantonnée dans les dossiers et la mémoire de chacun jusqu'à ce qu'une nouvelle configuration la transforme éventuellement de nouveau et la relance.

II.1.3 Identifier et stabiliser un réseau qui n'existe pas

Nous avons dit que l'invention se transforme en permanence pour s'adapter au contexte et au marché afin de devenir une véritable innovation. Il faut noter que l'on rencontre également ce même type d'ajustements successifs de la solution lors des conceptions que nous pouvons qualifier de routinières. En effet, certains auteurs ont montré qu'il existe une définition conjointe du problème et de la solution qui évoluent en même temps lors d'une activité de conception distribuée entre acteurs [Blanco 98], [Dorst et Cross 01]. Par contre, nous insistons sur le fait qu'il existe une différence qui caractérise une étape de conception innovante d'une étape de conception plus routinière. Cet indicateur est lié à l'organisation de l'activité de conception et au degré d'incertitude sur les acteurs à mobiliser dans les réseaux.

En effet, lors d'une étape de conception classique, de nombreux dispositifs organisationnels sont stabilisés et permettent aux acteurs de s'appuyer sur des repères à la fois techniques et économiques, des méthodes et des procédures à suivre, des points de passage à vérifier, etc. Dans ces situations, les acteurs connaissent en partie les étapes essentielles à envisager et de ce fait, le réseau d'acteurs à mobiliser est relativement vite identifié et stabilisé dès les premiers temps d'investigations. Par contre, dans le cas des développements innovants que nous avons suivis, tout le travail préliminaire consistait à identifier progressivement les compétences nécessaires à mobiliser. Au départ, le collectif autour du projet n'existe pas ou il est embryonnaire et demeure très fragile. Dans le cas de développements en phases préparatoires, nous avons vu que l'on ne pouvait pas vraiment parler de projet à proprement dit, puisque une volonté individuelle (ou éventuellement de quelques personnes) est à l'origine des investigations. De ce fait, nous affirmons ici que l'innovation produit/process nécessite alors de créer et de faire évoluer un réseau d'acteurs non préétabli qui va se définir en même temps que le projet progresse. Dans ce contexte, la constitution des réseaux est une dimension principale et les compétences de stratège permettant de constituer et d'asseoir ces nouveaux réseaux sont essentielles pour faire progresser l'innovation.

De plus, il faut noter que dans ces phases de construction des réseaux, les niveaux d'intervention des acteurs dans le projet ne sont pas stabilisés mais s'inscrivent bien dans une dynamique composée de déplacements propres au processus d'innovation. Ainsi, lors de l'avancement du projet composite, nous avons pu observer des déplacements d'acteurs comme par exemple celui du designer qui accepte très tôt dans le déroulement, un nouveau rôle lui conférant un nouveau statut différent de celui qu'il avait jusqu'à présent dans le processus de conception au BE châssis. Ainsi, le déplacement de l'intervention de cet acteur dans le dispositif s'est révélé très important puisqu'il a conduit à stabiliser le réseau grâce à ses esquisses.

Par ailleurs, en plus de ces déplacements, nous avons pu observer la difficulté de faire intervenir de nouveaux acteurs tels les experts matériaux ou les fournisseurs dans le processus de conception de certains BE. Pourtant, lors de la constitution du réseau, la compétence de ces acteurs est essentielle car ces derniers jouent ici un rôle déterminant en apportant une grande expertise manquante sur le process et sur le développement de nouvelles alternatives. A ce sujet, lors du chapitre 3, nous avons vu comment les experts matériaux pouvaient mobiliser des acteurs liés à leurs connexions relationnelles [Régnier 95] pour développer ces réseaux.

Les exemples de projets présentés dans les premiers chapitres montrent que les développements innovants nécessitent de constituer des réseaux qui sont souvent non préexistants. Ces réseaux sont composés d'alliés qui vont tendre ainsi à consolider le concept proposé, et de légalistes qui vont participer à la mise à l'épreuve le concept. Par contre, lors des projets innovants, la difficulté de cet exercice concerne l'instabilité de ce dispositif car la position des acteurs peut évoluer à tout moment en fonction des nouveaux éléments et de l'évolution du contexte du projet. Par ailleurs, nous avons pu voir au chapitre 3 à travers l'analyse du rôle des experts matériaux, que les acteurs qui tentent d'identifier et de construire de nouveaux réseaux font face à une difficulté liée à la légi timation et à la reconnaissance de ce type d'activité. Par ailleurs, ces acteurs sont confrontés à un manque d'outil adapté pour les aider dans leur tâche. Le chapitre 5 sera l'occasion de présenter un outil destiné à favoriser la construction de ces réseaux autour de nouvelles questions d'intégration produit/process.

II.2 Une remise en cause des conditions pour la création et le partage des connaissances

II.2.1 Organiser la dynamique des connaissances

Mettre en oeuvre l'intégration produit/process de nouvelles technologies nécessite de créer une dynamique au niveau des connaissances. Dans notre cas, l'introduction du SMC a conduit la majorité des acteurs du donneur d'ordres à découvrir un matériau et un procédé. Cette nouveauté se caractérise par un manque de connaissance du bureau d'études sur certains aspects (techniques, économiques, etc.) du process et explique l'apparition de tensions qui peuvent fortement freiner et stopper ces projets innovants. Dans ce contexte, concevoir en

voulant intégrer une nouvelle technologie implique le développement de nouvelles connaissances, qui doivent être mises à jour et mises au débat au sein du réseau, et nécessite d'établir un réel co-développement avec les acteurs qui possèdent l'expertise manquante. A ce sujet, lors du projet œmposite, nous avons pu voir que cette expertise a été apportée par le fournisseur. De ce fait, nous voyons qu'il n'y a pas d'innovation à savoir constant et sans création et partage des connaissances.

En phase amont de conception, il existe donc une situation d'asymétries croisées des connaissances (figure 1) entre, d'un coté le BE du donneur d'ordres et de l'autre le fournisseur. En effet, l'asymétrie ne concerne pas uniquement la technologie car le fournisseur est également en situation d'apprentissage sur le produit à développer, son environnement, et l'ensemble des contraintes associées.

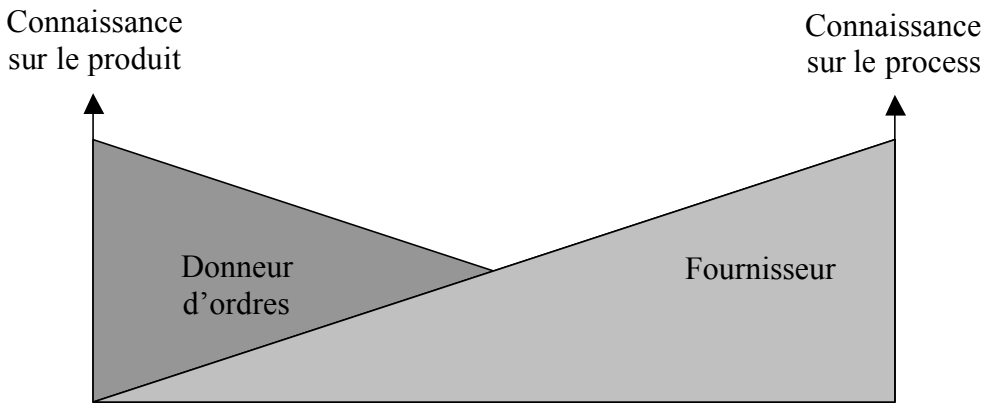


Figure 1 : Principe d'asymétries croisées des connaissances

L'enjeu est donc d'organiser l'émergence et la confrontation des savoirs sur le produit et sur le process. Mais dans cette confrontation des connaissances, nous faisons face à une situation complexe liée à la nature des savoirs. En effet, issus d'une formation en génie mécanique, nous avons tendance à appréhender les connaissances techniques comme formelles, universelles, explicitement énoncées. Mais une fois sur le terrain, ces connaissances apparaissent comme tacites, contextuelles, diffuses, spécifiques à une discipline ou parfois collectives et partagées. Ainsi, lors d'une étude de terrain, un chercheur se retrouve parfois dans une situation comparable à celle exprimée par Pascal Laureillard lors de sa thèse [Laureillard 00] au bureau d'études forge de Renault VI : *"Ingénieur de formation, il m'était très difficile de retrouver ou de distinguer les connaissances acquises au cours de mes études dans le processus qui se déroulait devant moi."* Ainsi, l'observation des pratiques des acteurs met en évidence le caractère local et contextuel des connaissances mobilisées dans l'action. C'est un compromis des différents points de vue d'acteurs entre les règles métiers et les contraintes contextuelles et locales en jeu.

Par contre, le chercheur en position de recherche intervention doit, en même temps qu'il observe et modélise le fonctionnement de l'organisation, s'interroger sur sa position afin de

rendre compte de son propre rôle [Weil 99]. Ainsi, dans le cas de mon intervention chez Renault VI, ma présence et les perturbations que j'apporte créent des situations spécifiques pour les acteurs en présence, et me permettent de mieux appréhender les connaissances en place par rapport aux situations plus routinières. En effet, dans une situation relativement stabilisée, les règles métiers ne sont pas ou peu remises en cause et sont ainsi difficilement identifiables. Dans une situation inhabituelle, les acteurs ne font plus appel à l'implicite ou aux connaissances tacites de rigueur dans leurs pratiques quotidiennes. Ils doivent expliciter leurs connaissances, leurs raisonnements pour être compris par les autres. Par exemple, dans le cas de l'expérience du bouclier, ce sont les perturbations (proposition d'un nouveau matériau, relation avec un fournisseur,…) et les changements (utilisation de nouvelles méthodes, enrôlement de nouveaux acteurs) que je provoque qui me permettent de distinguer des règles métiers et les connaissances mobilisées dans le travail des acteurs. A titre d'exemple, nous avons pu voir au chapitre 2 comment les règles de modélisation d'une pièce châssis et d'une pièce en SMC ont pu être mises à jour en confrontant les deux méthodes proposées par les deux entreprises impliquées dans le développement du bouclier.

Nous affirmons alors que l'intégration produit/process de nouvelles technologies permet de favoriser et d'accélérer ces situations spécifiques où les acteurs confrontés à des propositions de changements vont formaliser une partie de leur savoir pour justifier et expliquer certains choix.

II.2.2 La combinaison des savoirs existants et la création de nouveaux savoirs

Ainsi, nous sommes dans une situation où les connaissances vont être alors constamment ré-interrogées dans le cours de l'action par l'arrivée de nouveaux acteurs et de ce fait contribuer à construire de nouveaux savoirs. Ainsi, nous sommes donc dans un processus où les connaissances sont en évolution constante au fur et à mesure que l'action progresse et qu'apparaissent de nouveaux points de vue. Ce n'est que dans l'interaction des métiers qu'elles prennent de l'importance et finalement un véritable sens. La connaissance s'inscrit dans l'action et elle n'est plus une entité abstraite, universelle et intemporelle mais elle tient, au contraire, au contexte de son action et de son usage, c'est à dire qu'elle est contextualisée [Vinck 97].

Ainsi, l'intégration produit/process nécessite le partage des connaissances pour permettre la construction de nouveaux savoirs qui pourront, par la suite, guider l'action de futurs projets. Nous sommes donc résolument dans un mouvement complémentaire de deux approches distinctes de la connaissance : d'un côté le savoir précède et fonde l'action, de l'autre le savoir est lié à l'action. Ces approches des savoirs sont identifiées par Guy Prudhomme à travers une analyse bibliographique [Prudhomme 99] basée sur l'étude des pratiques professionnelles [Schön 91]. L'auteur distingue en fait trois approches possibles des relations entre savoirs technologiques et connaissances nécessaires pour l'action pratique :

- Une première approche conduit à considérer que le savoir précède l'action, c'est à dire que le savoir technologique justifie et fonde l'action pratique. Par exemple, c'est le cas d'un concepteur qui va rechercher dans ses expériences passées (son répertoire personnel) des solutions technologiques qu'il connaît pour répondre à un problème donné.
- Une seconde approche, intermédiaire, considère que les connaissances (scientifiques ou technologiques) ne se suffisent pas à elles-mêmes. Elles doivent être traduites et transformées pour permettre l'action. Par exemple, le concepteur va chercher à adapter sa solution (et son problème) et *a fortiori* ses connaissances.
- Une dernière approche, antinomique à la première, consiste à penser que l'action précède le savoir. Par conséquent, que les connaissances sont construites dans l'action. Par exemple, l'analyse de la situation de son problème peut permettre au concepteur de se construire de nouvelles connaissances qui lui serviront pour d'autres situations.

Cependant, lors des projets, les savoirs techniques ne sont pas les seuls à être mobilisés dans l'action. L'identification des savoirs existants et la création de nouveaux savoirs est un niveau d'analyse qui apparaît également lorsque l'on se pose la question de la pratique des acteurs sur les projets. Dans [Garel 1994], l'auteur identifie trois types de savoirs qui sont mobilisés par les acteurs de la conception : l'auteur parle de « savoirs professionnels » :

- *Les savoirs techniques*. Ils sont partie intégrante des métiers. Ils sont définis comme l'ensemble des savoirs qui permettent aux membres de l'organisation de transformer les objets et l'environnement dans lequel ils agissent.
- *Les savoirs d'évaluation*. Ils sont les savoirs de nature économique des membres de l'organisation sur leurs activités techniques : savoir donner de la valeur, savoir évaluer les informations disponibles, savoir évaluer les priorités, savoir évaluer les implications de ses actions, savoir dire les critères et les conclusions de son évaluation…
- *Les savoirs relationnels*. Ils sont les savoirs nécessaires à la relation avec autrui. Ces savoirs sont mobilisés pour comprendre les autres, s'en faire comprendre et prendre une décision optimale dans le cadre d'un travail collectif. Ils supposent une bonne capacité d'écoute des dispositions à la coopération. Ils sont nécessaires à la création collective, afin d'être opérationnel dans l'action : savoir transmettre des informations dans le travail, savoir argumenter techniquement avec les acteurs-projets, les autres métiers, les partenaires, savoir négocier (sens de la diplomatie, sens du bon compromis etc.).

Ainsi, dans le cas de l'innovation produit/process, ces trois dimensions sont essentielles pour constituer de nouveaux savoirs qui vont se créer aux interfaces des métiers. Nous retrouvons ici les observations présentées dans [Finger et al. 95] : *"Concurrent design happens at the interfaces"*. De ce fait, nous pensons qu'il faut alors favoriser la construction et la diffusion de ces «savoirs d'interface » qui sont des reconfigurations des savoirs spécifiques à un métier tournés vers les autres métiers, à la fois sur le registre technique et également sur le registre de

l'évaluation (nous reviendrons sur ce deuxième registre au paragraphe II.3) en proposant des dispositifs pour développer la coopération et les savoirs relationnels.

II.2.3 Vers une nouvelle vision des outils d'aide ?

Il existe ainsi des savoirs spécifiques qui se développent dans les interactions entre acteurs et aujourd'hui peu de support sont vraiment adaptés à leur développement. De ce fait, il nous semble essentiel de tenir compte de cette dynamique de la connaissance pour repenser les outils d'aide à la conception et à l'innovation. Cette nouvelle vision issue des observations du terrain, permet de compléter les approches relativement prescriptives qui prédominent dans le domaine des outils d'aide à la conception. Ainsi, par exemple, certains travaux rassemblés sous le terme de DFX (design for X) proposent des règles de conception pour l'amélioration de certains aspects du produit. Par exemple, dans [Boothroyd et Alting 92], une méthode DFA (Design For Assembly) est proposée et des règles sur l'assemblage sont prescrites pour travailler sur l'assemblabilité d'un système. A travers mon travail de D.E.A [Legardeur 98] sur ces approches DFA et sur leur outil informatique associé, j'illustre le fait qu'aucune attention n'est portée quant à l'usage des règles et à la dynamique cognitive qui tourne autour de leur utilisation. Or, nous savons que l'utilisation d'une liste de règles ne peut suffire à assurer le résultat de la conception d'un produit, même pour garantir une assemblabilité optimale. Dans mes travaux, je montre qu'aucune légitimité n'est accordée à l'acteur, c'est à dire à celui qui fait l'action. En procédant à l'analyse d'un ensemble mécanique dans le but d'évaluer son assemblabilité à travers le logiciel DFA, je montre que l'aspect « boîte noire » du logiciel et l'ensemble des règles sous-entendues ne sont pas forcément pertinents dans son cadre d'action. A ce sujet, on retrouve également ces mêmes constatations dans le domaine des outils pour la forge [Boujut et Jeantet 98]. En ce sens, je montre que l'enjeu d'une démarche DFA ne consiste pas en une simple application de règles qui assureraient le résultat de la conception mais en l'émergence d'une dynamique au sein du processus autour de la question de l'assemblabilité. Les règles proposées pourraient alors proposer un cadre pour l'action [Boujut 01] et orienter celle-ci. De nouveaux points de vue peuvent alors émerger et être à l'origine de nouvelles règles et de nouvelles pratiques. Ainsi, si l'innovation est le résultat de nombreuses traductions et d'adaptations, de nouvelles perspectives se dessinent pour les outils d'aide à la conception pour favoriser l'innovation : celles qui consistent à proposer aux acteurs des espaces de mise au débat et de mise à l'épreuve des points de vue pour favoriser le développement de solutions innovantes. Dans, le chapitre 5 nous proposerons un outil qui œuvre dans ce sens et dont l'objectif est de tenir compte et d'instrumenter cette dynamique des savoirs que nous venons de caractériser.

II.3 Une remise en cause des dispositifs d'évaluation

II.3.1 Des dispositifs d'évaluation peu adaptés à l'innovation

Lors d'un processus de conception, les solutions et les alternatives sont en permanence comparées et confrontées à des dispositifs d'évaluation. Nous entendons ici par le terme de dispositif, l'ensemble composé d'acteurs, de règles, de critères et d'outils pour évaluer un

produit. A ce sujet, nous avons montré que dans le cas des projets routiniers, la cartographie des acteurs impliqués et les principaux critères mobilisés sont relativement vite établis et stabilisés. Par contre, lors du projet composite, et plus généralement en situation de projets innovants, nous avons vu que cette cartographie était relativement instable avec l'arrivée de nouveaux acteurs, apportant progressivement de nouveaux critères d'évaluation à différents stades du projet.

Ainsi, nous avons pu observer les difficultés et les limites des dispositifs d'évaluation habituels concernant les aspects techniques (choix de principes technologiques, calculs, simulations, etc.) qui s'accommodent assez mal de l'intégration produit/process des nouvelles technologies. Par exemple, lors du projet du bouclier arrière, nous avons pu caractériser au chapitre 2 la difficulté de remettre en cause certains choix de solution et de faire accepter un nouveau périmètre d'étude et une zone problématique étendue correspondant au concept du bouclier. Par ailleurs, les dispositifs d'évaluations classiques concernant les aspects économiques (estimations, devis, simulation, etc.) montrent une certaine incompatibilité avec une démarche d'innovation produit/process. A ce sujet, lors du projet composite, nous avons vu comment le premier chiffrage a pu désactiver temporairement le réseau d'acteurs qui s'était construit autour du concept de bouclier. Sans revenir sur la nécessité de remettre en cause l'utilisation de cet élément économique initial[1], nous souhaitons ici soulever la question de la distinction entre le coût et la valeur d'une solution mise en avant dans [Chazelet 0?]. L'auteur précise qu'en voulant agir sur la valeur, l'organisation manipule encore trop souvent des leviers d'action propres au coût en entretenant une confusion entre réduction des coûts et augmentation de la valeur. La voie de la création de valeur est donc plus complexe que celle de la réduction des coûts car les critères sont multiples et leur nature qualitative. Évaluer, ce n'est pas seulement chiffrer mais c'est porter un jugement sur la valeur de quelqu'un ou de quelque chose. Ainsi, nous pensons que l'évaluation économique d'un produit en phase amont de conception innovante ne peut être uniquement basée sur un critère quantitatif de coût qui va certainement évoluer tout au long du projet. En ce sens, nous rejoignons les propos exposés dans [Lorino 90] (cité dans [Chazelet 0?]) : *« le poids des phases amont ou phases d'étude dans la détermination des coûts totaux traduit le découplage valeur-coût ; les coûts du cycle de vie du produit sont déterminés bien avant la mise sur le marché, donc bien avant que ne puisse être vérifiée la valeur du produit. Le découplage valeur-coût est donc un découplage dans le temps, d'autant plus important que le marché est imprévisible et instable »*, et dans [Chouraqui 98] (cité dans [Chazelet 0?]) : *"...il faut apprendre à dépasser le mesurable et le chiffrable, apprendre à vivre avec des approximations et les richesses du qualitatif. Un des meilleurs moyens d'apprendre consiste justement à faire participer l'ensemble des concernés à l'analyse d'un problème. Si l'on ne peut pas, sur certains points, avoir de vérité objective, c'est une pluralité de regards qui doit essayer de s'articuler dans l'intérêt même de l'efficacité économique et sociale."*

[1] Dans les chapitres précédents, nous avons déjà pointé sur le fait qu'une négociation économique est souvent longue et qu'un premier chiffrage ne peut constituer un résultat unique et doit être retravaillé par la suite.

Nous voyons ici que l'innovation nécessite de remettre en cause les outils et les dispositifs d'évaluation existants sur les couples produit/process. En ce sens, nous pensons que l'évaluation en phase amont sur les différents aspects du produit (technique, économique,…) doit être multicritère et multi-acteur, ce qui implique pour une organisation d'accepter des systèmes d'évaluation parallèles, et parfois contradictoires avec ceux déjà existants. De plus, ces évaluations doivent être couplées car, à ce stade du projet, les incertitudes et les alternatives sont encore nombreuses et il semble peu opportun de dissocier les évaluations (techniques, économiques, etc.) afin de conserver une vue d'ensemble sur le déroulement du projet.

II.3.2 Vers de nouveaux dispositifs d'évaluation des concepts ?

Ainsi, nous affirmons que les dispositifs et les outils actuels doivent être modifiés afin de permettre un enrichissement des grilles d'évaluations par l'introduction et la confrontation de nouveaux critères d'évaluation. Ainsi certaines recherches [Limayem et Yannou 00] s'orientent vers l'évaluation multicritère et multiacteur en cours de projet. Par contre, il faut tenir compte du fait que l'enrichissement de critères est dynamique car il peut être également favoriser par l'introduction et l'arrivée de nouveaux acteurs dans le processus de conception. Nous retrouvons ici une certaine complémentarité avec notre première condition (paragraphe II. 1) concernant la nécessité de faire évoluer l'organisation et le collectif de la conception. A titre d'exemple, nous avons vu au chapitre 2 comment le critère d'intégration de fonctions, proposé par le fournisseur, a pu ainsi être mobilisé pour enrichir une grille d'évaluation qui était peu favorable à une solution composite.

Ainsi, nous venons de montrer que l'innovation produit/process nécessite de repenser aux dispositifs organisationnels, aux dispositifs de partage et de construction des savoirs, aux dispositifs d'évaluation des solutions. Nous verrons au chapitre 5 que notre vision de l'instrumentation de l'innovation et la proposition d'un nouvel outil tend à aborder l'ensemble de ces dimensions. Cependant, nous rajoutons également que la mise en œuvre d'une dynamique d'innovation produit/process conduit à repenser l'activité de conception pour développer la coopération et les apprentissages des acteurs. Ce propos est l'objet de la partie suivante.

Partie III. L'innovation ou l'enjeu de la coopération, de l'acteur d'interface et des apprentissages

III.1 La coopération : un idéal-type pour l'innovation

La coopération est une forme particulière de la coordination qui se développe fortement depuis plus d'une décennie avec l'avènement de l'ingénierie concourante [Midler 97]. En effet, la coopération occupe une position centrale dans les situations d'ingénierie concourante où l'enjeu est de créer un dispositif au sein duquel l'ensemble des points de vue des acteurs

doivent être pris en compte pour concourir au développement du produit. Par contre, dans un processus séquentiel, principalement piloté par le bureau d'études, l'action de conception entre dans le cadre de la «coopération faible » [Zarifian 96] (cité dans [Darses 97]) ou, autrement dit dans le cadre de la coordination. Le travail y est séparé et les responsabilités ne sont pas partagées. Dans ce processus, un soin particulier est porté à la liaison entre les tâches distinctes, notamment par l'intermédiaire des objets aux frontières de ces phases (cahier des charges, contrats d'étude, …). La coopération faible ne permet pas de modifier le rôle et l'espace d'action des différents acteurs. Les règles qui participent à la régulation du processus ne sont pas ou peu remises en cause. Il s'agit plus d'un processus d'activités distribuées que d'un véritable processus de conception coopératif. On observe peu de travail commun entre les différents métiers si ce n'est sur des sollicitations occasionnelles d'un acteur.

Dans un contexte d'innovation, le processus n'obéit pas continuellement à un schéma coordonné. Les actions des participants ne sont pas toujours préalablement identifiées car c'est l'action même du projet qui va les guider autour de la définition progressive d'enjeux respectifs et d'objectifs communs. Des périodes de travail individuel peuvent succéder à des périodes de travail collectif, cependant le contenu des tâches n'est pas établi à priori mais se définit en cours d'action. Ainsi le résultat final de ce processus n'est pas obtenu en sommant uniquement les résultats partiels de chacun mais s'inscrit dans un mouvement plus complexe qui résulte de la confrontation et de l'ajustement de diverses compétences porteuses de contraintes hétérogènes et de la négociation des compromis entre les différents points de vue. En effet, nous avons vu que le succès d'une innovation dépend essentiellement des alliances qui vont se développer tout au long du processus et surtout de l'identification et du partage d'un enjeu pour chaque acteur à faire progresser l'innovation. Ainsi, nous pouvons penser que mettre en oeuvre l'innovation produit/process nécessite plus que jamais d'instaurer le travail coopératif des acteurs au sein du processus de conception. Ainsi, par la coopération, ces enjeux peuvent s'entre-définir, et participer à élaboration d'objectifs communs.

Les travaux de recherche [Midler 93], [Sardas 97] basés sur l'observation des pratiques des acteurs en plateaux projets montrent que la mise en présence et la rencontre des experts métier autour d'un problème de conception ne suffisent pas à garantir et à instaurer la coopération. De la même manière, nos observations sur le projet composite du chapitre 2 et sur l'activité des experts matériaux au chapitre 3 montrent que dans les phases amont d'intégration produit/process, ce phénomène est d'autant plus accentué que les incertitudes sont nombreuses. Lors des phases amont, la coopération n'est pas simple à mettre en œuvre et, dans certains cas observés, nous pouvons même nous demander si cette forme d'organisation a vraiment existé entre les acteurs. Face à une telle situation, nous faisons l'hypothèse que l'innovation produit/process nécessite de développer des dispositifs pour favoriser ces périodes de travail coopératif et faire évoluer le processus de conception et l'organisation vers cet idéal-type de la coopération dès les phases amont.

Ainsi, nous pensons que ces dispositifs doivent alors servir à organiser un processus de confrontation entre les points de vue et nécessite de partager non seulement les résultats des actions mais également les savoirs et les ressources nécessaires pour y parvenir. Ainsi, vouloir instaurer des périodes coopératives dans les projets demande d'accroître les moyens de régulation interne de l'action de conception [Jeantet et Boujut 98] et nous rajoutons que ce postulat est d'autant plus vrai si l'on se situe dans un contexte de projet innovant.

- Ainsi, un premier moyen de régulation concerne un besoin d'élaborer et d'utiliser des supports de travail, qui doivent être à la fois communs et donner des prises [Blanco 98] à l'ensemble des acteurs afin de permettre l'intervention et l'expression des points de vue de chacun.
- La régulation de l'action de conception passe également par l'explicitation des raisons des prises de position et des critères mobilisés par chacun afin d'engendrer une possible construction progressive des savoirs communs. Nous avons montré que cette notion de savoirs communs est particulièrement importante dans le déroulement de l'action coopérative.
- Par ailleurs, un autre moyen de régulation doit être mis en place pour permettre aux acteurs d'élaborer des enjeux respectifs et de définir en commun des objectifs à atteindre. Nous avons vu au chapitre 3 que ce moyen de régulation est d'autant plus facilité que les rapports de confiance, établis au cours des projets antérieurs, existent entre les acteurs.

Ainsi, l'enjeu est multiple, complexe et s'inscrit à différents niveaux pour favoriser le passage d'un processus de conception routinière à un processus de conception innovante. Pour reprendre d'une manière schématique, les concepts de la sociologie de l'innovation exposés dans [Akrich et al. 88], nous dirons que ces moyens de régulation permettent de favoriser :

- les processus d'intéressement par la construction de prises et d'explicitation des critères mobilisés,
- et les processus d'enrôlement par un certain partage des enjeux.

De plus, la coopération est un mode d'organisation qui est conditionné et mis en tension avec les stratégies et les intérêts de chaque acteur. Dans le chapitre 5, nous présenterons les concepts d'un outil permettant de contribuer à l'instrumentation de ce mode d'organisation, mais nous allons voir que cet outil s'appuie essentiellement sur un acteur particulier qui permet d'instaurer la coopération et les moyens de régulation requis. Cet acteur est celui que l'on a nommé acteur d'interface et il est l'objet du prochain paragraphe.

III.2 Le rôle de l'acteur d'interface dans les processus d'innovation

L'ingénierie concourante s'est accompagné de la création d'un nouvel acteur : le directeur de projet, représentant emblématique du chef de projet [Midler 93]. Dans notre cas, l'observation des projets dans un contexte d'innovation produit/process en phase amont souligne le rôle

d'un acteur que nous avons qualifié « d'interface ». Contrairement à des acteurs métiers qui peuvent être assimilés à de simples portes-paroles d'un point de vue, l'acteur d'interface est, lui, le véritable mobilisateur d'un processus collectif. Par contre, son rôle et surtout son statut l'amène à intervenir d'une manière complètement différente par rapport à un chef de projet sur le processus coopératif. A ce sujet, nous allons montrer que l'acteur d'interface tel que nous avons pu le rencontrer n'est pas un chef de projet.

En effet, nous avons vu tout au long de cette thèse que l'acteur d'interface ne possède pas les mêmes objectifs et les mêmes leviers d'action qu'un chef de projet. A ce sujet, Olivier Poveda montre dans [Poveda 01] que l'activité d'un chef de projet consiste non seulement à ordonner et à arbitrer l'action mais également à être le garant des règles de coopération. Par contre, un acteur d'interface n'a pas la même autorité directe et les mêmes dispositifs d'incitation au travail car il se trouve dans une position hiérarchique identique aux acteurs en présence. Ainsi, contrairement au chef de projet, il ne peut imposer des voies de développement ou des expertises aux acteurs ou faire jouer son autorité pour trancher dans les débats. Dans cette situation, l'acteur d'interface ne peut pas développer des stratégies prescriptives mais s'inscrit dans une démarche volontariste d'enrôlement de nouveaux acteurs. De ce fait, nous affirmons qu'une partie de son action tend à établir les conditions de coopération mais dans une dimension différente de celle d'un chef de projet. Ainsi, l'acteur d'interface ne peut imposer la coopération et *a fortiori* l'innovation mais il s'efforce d'en créer les conditions par des stratégies d'intéressement et des stratégies propres aux phases préparatoires (cf. chapitre 3). L'acteur d'interface est ainsi un acteur interne au collectif de la conception qui vise à favoriser la « synchronisation cognitive » [Darses 97] de son réseau d'acteurs. En ce sens, il doit jouer dans les interstices laissées par l'organisation afin d'encourager l'initiative de tous les acteurs (et non uniquement la sienne) à émettre des propositions, et à participer aux débats indépendamment de leur fonction ou de leur niveau d'expertise.

A l'image de la position des experts matériaux (chapitre 3) et de ma position lors de la conception du bouclier (chapitre 2), l'acteur d'interface se situe résolument « entre » les métiers et joue donc un rôle majeur dans la régulation de l'action. Compte tenu du caractère lacunaire des savoirs aux frontières des métiers [Moisdon et Weil 92], l'acteur d'interface doit être le catalyseur des compromis, des ajustements locaux et doit assurer la prise en compte de l'ensemble des points de vue. Pour cela, il mène une constante réflexion sur les modalités de l'intervention des différents acteurs métiers et doit, de plus, bien connaître leur situation de travail, leurs compétences et leurs besoins. L'acteur d'interface doit donc avoir une connaissance importante du processus en place et des acteurs qui le composent. Par conséquent, nous rejoignons les observations faites dans [Laureillard 00] et nous pensons qu'il ne peut être extérieur au collectif de conception et que cette fonction doit être occupée par un acteur de la conception. De ce fait, un acteur peut très bien se retrouver temporairement dans une situation d'acteur d'interface à un moment du projet et reprendre son rôle d'acteur métier. Il peut aussi avoir une partie de ses activités qui implique de développer des compétences d'interfaces alors que l'autre partie de ses attributions le renvoie

à une pratique plus classique de son métier, comme nous l'avons vu au chapitre 3 dans le cas des experts matériaux. Ainsi, comme le rappelle Jean François Boujut dans [Boujut 01] : "*la conception est une action d'intégrer aux interfaces, mais il n'y a pas d'interface s'il n'y a pas de métiers.*" Ces donc des métiers forts qui garantissent le travail aux interfaces.

Cette notion d'acteur d'interface entre les métiers émerge également à travers d'autres travaux. Ainsi, l'acteur d'interface (dont nous avons repris le terme) de Jean Claude Moisdon et Benoît Weil est celui qui s'approche le plus de notre définition [Moisdon et Weil 92]. A partir du constat du caractère lacunaire des savoirs d'interface dans le fonctionnement des plateaux projet chez Renault, les auteurs s'interrogent sur l'opportunité de créer un nouveau type d'acteur dans les projets de conception : « les acteurs d'interface ». Renonçant à définir des acteurs spécifiques car finalement tous les acteurs sont d'une manière ou d'une autre aux interfaces (ce qui montre bien que c'est le lieu essentiel de l'activité de conception), ils préfèrent proposer des dispositifs dans lesquels de tels acteurs pourraient exister temporairement dans le cadre d'une mission particulière d'interface qui leur serait confiée. Ainsi, nous retrouvons les configurations des projets que nous avons suivis pendant cette thèse. En effet, lors de l'expérience du bouclier, j'ai endossé en premier ce rôle d'acteur d'interface mais le lecteur a pu noter un changement quand un responsable du Laboratoire Matériaux a alors repris ce rôle et mobilisé son propre réseau d'acteurs. C'est également le cas des experts matériaux qui sont amenés parfois à jouer ce rôle d'interface en phase amont mais qui retrouvent une position d'acteur métier par la suite. D'autres travaux croisent cette notion d'interface. Dans [Sardas 97], l'auteur identifie des mutations des métiers de la conception dans le domaine de l'automobile, et définit des « experts transversaux » au projet dont le rôle est de gérer la capitalisation et l'innovation. Ces travaux préconisent l'émergence d'experts « méthodes de conception » chargés de l'adaptation des outils et des méthodes de travail.

Ainsi, au travers de ces travaux sur la dynamique des métiers de la conception, nous retrouvons l'enjeu des « acteurs d'interface » et de ces « compétences d'interface » tournées vers l'explicitation de choix de conception, la mise à plat de règles, de savoirs et la confrontation des points de vues,... Au chapitre 3, nous avons évoqué lors de notre étude sur les experts matériaux, un aspect très important concernant l'activité d'un acteur d'interface dans le cas de l'innovation : celui de la dynamique des apprentissages. Avant de clore ce chapitre, nous proposons au lecteur d'aborder ce thème dans le paragraphe suivant.

III.3 les apprentissages au sein du processus de conception

Nous allons montrer dans ce paragraphe que mettre en oeuvre l'innovation produit/process nécessite de développer les apprentissages des acteurs au niveau individuel, et collectif et finalement conduit à développer les principes de l'apprentissage organisationnel [Argyris et Schön 78], [Midler 91]. Ainsi, placer cette dimension de l'apprentissage au centre de notre analyse, conduit à distinguer un processus de conception d'un processus de résolution de problème. De nombreux auteurs ont d'ailleurs déjà largement contribué à cette distinction en

mettant en évidence le concept d'apprentissages croisés [Hatchuel 94], [Weil 99], d'apprentissage organisationnel [Midler 91] et en identifiant le rapport du savoir à l'action [Schön 91], [Prudhomme 99].

Nous avons vu lors des chapitres précédents, l'enjeu primordial concernant la création et le partage des connaissances dans le cas de l'innovation produit/process. Ainsi, dans un contexte d'asymétrie des connaissances tel que nous avons pu rencontrer au chapitre 1, il nous semble essentiel d'instaurer une dynamique d'apprentissage au niveau individuel et collectif.

Au niveau individuel, un acteur mobilise un ensemble de savoirs disparates pour concevoir, et la mise en relation entre un savoir pertinent et une situation problématique constitue une étape clé du processus d'innovation [Charue-Duboc 00]. Par ailleurs, lors d'une activité de conception, la dynamique des interactions entre acteurs est essentielle car elle établit le lien entre les apprentissages individuels et collectifs. Nous rejoignons ici la notion d'apprentissages croisés développée dans [Hatchuel 94]. Ainsi, les nombreux apprentissages croisés qui se produisent entre acteurs génèrent des savoirs d'interface ou des connaissances communes [Laureillard 00]. Cette vision du processus montre l'apprentissage collectif comme le résultat des capacités cognitives des acteurs individuels. Comme le précise Hatchuel, l'organisation n'est pas le sujet qui apprend. L'apprentissage organisationnel n'est pas la production d'un savoir collectif attribuable à l'organisation. Ce sont les acteurs qui apprennent dans leurs interactions avec l'objet, les outils et surtout entre eux. La confrontation de leurs savoirs et de leurs points de vue, ainsi que la nécessité de justifier les contraintes dont ils sont porteurs pour les autres, font, du collectif en interaction, un lieu où se créent des connaissances nouvelles. En ce sens, plus le collectif réuni est large, tout en restant pertinent, plus l'échange peut être riche et fructueux [Jeantet et Boujut 98]. On parle alors d'apprentissage collectif et de constitution des compétences clés pour les processus d'innovation. L'organisation est ici appréhendée comme un lieu de construction de nouveaux savoirs par opposition à une perception de l'entreprise comme regroupant des expertises acquises par les individus à l'extérieur.

Les activités de conception et d'innovation sont donc au cœur des processus d'apprentissages collectifs. Par ailleurs, les systèmes d'aide à la conception contribuent à orienter ces apprentissages puisque les utilisateurs de ces dispositifs vont se créer des connaissances nouvelles et inventer des modalités d'actions [Hatchuel 94]. Ainsi, il nous semble essentiel de tenir compte de ce lien qui existe entre apprentissage et outil d'aide à la conception dans notre optique de proposer de nouveaux dispositifs d'instrumentation. Par ailleurs, les observations et les analyses du terrain ont pu également apporter un éclairage intéressant sur les dynamiques d'apprentissage lors des processus d'innovation.

A ce sujet, nous avons souligné au chapitre 3 et aux paragraphes précédents comment l'acteur d'interface pouvait agir comme un catalyseur au niveau des frontières entre métiers. Cette position l'amène donc à se trouver au centre des lieux où se développent de nouvelles

connaissances. Dans ce contexte, nous avons montré que cet acteur était dans une position privilégiée d'apprentissage aux interfaces des métiers. Ce fut le cas pour ma part pendant le projet composite et notamment pendant la phase de calcul et de dimensionnement du bouclier. Pour illustrer ce propos, je peux vous faire part de mon expérience personnelle et de mon analyse générale d'avoir développer davantage des compétences sur un point particulier concernant la modélisation d'une pièce SMC sur un châssis de véhicule industriel que la plupart des acteurs études des deux entreprises impliquées. Ce constat, qui n'est pas lié aux compétences intrinsèques des individus mais à une position centrale au niveau des échanges et des flux d'information, est relativement valable sur l'ensemble du projet du bouclier. Par ailleurs, nous avons pu comprendre que les experts matériaux, confrontés à des situations similaires, se forgeaient de nouvelles compétences dans des domaines variés (acoustique, étude des vibrations,…) suite à leurs interactions avec les acteurs métiers concernés. Bref, l'acteur d'interface est dans une situation d'apprentissage favorable pour les savoirs d'interfaces, mais qu'en est-il des autres acteurs ?

Nous faisons l'hypothèse que les autres acteurs du réseau peuvent également bénéficier de ces apprentissages mais dans une plus faible mesure. En effet, nous avons vu que l'acteur d'interface cherchent à diffuser de nouvelles connaissances au travers des réseaux d'acteurs pour favoriser la construction de savoirs communs. Les apprentissages au sein du réseau sont à la base de la création de connaissances communes qui favorisent les mécanismes de coopération pour les projets en cours et futurs. Par contre, nous pensons que les dispositifs actuels, centrés sur l'aptitude de l'acteur d'interface à faire partager ces apprentissages, ne sont pas parfaitement adaptés à une entreprise confrontée à un besoin d'innovation répétée. En effet, il nous semble peu envisageable de faire reposer l'enjeu de l'apprentissage des acteurs d'un projet sur un seul individu. Pour illustrer ce propos, prenons l'exemple de la conception du bouclier : je pense que je n'ai pas pu faire partager la totalité des données, des informations et toutes les sources de nouvelles connaissances à l'ensemble du collectif de la conception impliqué sur ce projet. Cet aveu illustre ce que nous avons souligné au chapitre 3 : l'acteur d'interface joue un rôle non volontaire de filtre sur les flux d'informations. Le lecteur comprendra que cette situation n'est pas spécifique à notre étude de terrain : la dynamique des projets est telle que les acteurs, même s'ils en ont l'objectif, ne peuvent pas humainement tout restituer à leurs interlocuteurs[2]. Au final, dans ces configurations, les apprentissages croisés [Hatchuel 94] entre acteurs métiers sur le projet sont moins consolidés que ceux qui existent entre l'acteur d'interface et son réseau car les acteurs métiers ont moins de prises sur le projet et les connaissances des autres intervenants. Pourtant une nouvelle contextualisation des connaissances et leur appropriation par les acteurs, ainsi que leurs actions associées sont probablement sources de nouvelles pistes pour l'innovation. Comme nous l'avons déjà mentionné, le but n'est pas de constituer un panel de connaissances formelles et explicites qui

[2] Par exemple, lors d'une réunion (d'une durée de trente minutes généralement) avec un nouvel acteur, la présentation du projet ne peut être exhaustive.

prescriraient l'action mais de contribuer à l'élaboration de savoirs qui encadrent l'action et donnent lieu à de nouvelles dynamiques d'innovation.

Ainsi, nous allons voir dans le chapitre 5 comment une instrumentation de ces phases amont de projet peut conduire à favoriser davantage ces dynamiques d'apprentissage. Cependant, les paragraphes précédents sont également porteurs d'enseignements et de recommandations pour la définition d'un outil adapté à ces phases de conception, et la volonté d'intégration produit/process fait évoluer fortement le contexte de la conception à travers la coopération, les apprentissages, la dynamique des connaissances. L'outil de conception se trouve alors dans cet élément dynamique au cœur même de l'action. Ce point de vue sera développé plus amplement lors du chapitre suivant.

CHAPITRE 5 :

ID² : UN OUTIL POUR FAVORISER LA SYNTHESE ET LA CONFRONTATION DES POINTS DE VUE LORS DES PHASES AMONT

Dans ce chapitre, nous allons proposer un nouvel outil nommé ID (Innovation Développement et Diffusion) qui est basé sur nos études précédentes. Nous présenterons les fonctionnalités de cet outil informatique dédié au pilotage du développement de nouveaux concepts lors des phases amont de projets. La structure de cet outil vise d'une part à favoriser l'émergence de solutions innovantes, et d'autre part à consolider ces solutions en participant à leur diffusion au sein des différents métiers de l'entreprise. Cet outil est basé sur un tableau concepts/critères qui permet une synthèse des points de vue des différents acteurs impliqués lors de la conception. Nous montrerons ici, comment des fonctionnalités de type liens, questions, alarmes, demande d'information, ainsi que les possibilités d'échange entre acteurs peuvent favoriser le développement de solutions aux interfaces des métiers.

Sommaire du chapitre :

Partie I. Une nouvelle problématique pour instrumenter l'innovation produit/process..... 152
I.1 Les outils s'inscrivent dans l'action 152
I.2 Vers un nouveau paradigme des outils d'aide à la conception distribuée 152
I.3 Positionnement par rapport aux outils pour l'innovation 154
I.4 La problématique de l'outil : l'innovation produit/process sous contrainte métier 155

Partie II. Conception et proposition d'un nouvel outil..... 158
II.1 Une construction de l'outil à partir du terrain 158
II.2 Un outil basé sur une représentation particulière du produit : le tableau concepts/critères 159
II.3 L'outil ID² : du TCC statique au TCC dynamique et enrichi 162
II.4 L'utilisation de l'outil ID² dans la dynamique des projets 179

Partie III. Conclusions, perspectives et limites de l'outil ID² 183
III.1 Un tableau de bord pour l'innovation..... 183
III.2 La réutilisation des informations et les apprentissages 184
III.3 Les limites et les perspectives pour ID²..... 189

Partie I. Une nouvelle problématique pour instrumenter l'innovation produit/process

I.1 Les outils s'inscrivent dans l'action

Nos analyses concernant le développement du projet composite (chapitres 1 et 2), les pratiques des experts matériaux (chapitre 3) et l'innovation produit/process (chapitre 4) nous conduisent à nous interroger sur l'instrumentation des phases amont de projets. En effet, tout au long de cette thèse, notre méthodologie de recherche sur le terrain nous a conduit à observer les pratiques effectives des acteurs dans le contexte de l'innovation produit/process. Cette approche place (ou déplace) l'innovation produit/process résolument dans l'action et les interactions et nécessite alors d'appréhender les logiques d'acteurs, les réseaux qui se constituent, les mécanismes de coopération, et les outils mobilisés.

Par ailleurs, nous savons que les instruments sont des éléments qui participent à l'action mais aussi participent de l'action. La sociologie des organisations nous apprends que les acteurs peuvent se saisir des outils, les tordre selon leurs stratégies propres, voire les détourner de leurs objectifs ou les remettre en cause. Notre propos est de considérer que les outils s'inscrivent dans l'action et impliquent qu'ils soient intimement liés à l'organisation. De ce fait, organisations et outils ne peuvent pas être traités séparément. Cette posture est également celle adoptée par les gestionnaires du CGS (Centre de Gestion Scientifique) qui étudient les outils de gestion dans leur genèse et dans l'usage, au plus près des pratiques de terrain [Moisdon 97].

L'ensemble du travail de terrain nous a conduit à observer des pratiques de conception dans l'usage et parfois à pointer certaines limites des dispositifs existants. Il convient maintenant de tirer les fruits de ces observations pour la conception d'un outil c'est à dire d'effectuer un retour sur l'instrumentation. Le prochain paragraphe s'attache donc à expliciter les caractéristiques d'un outil pour l'innovation produit/process compte tenu des observations et des points particuliers sur lesquels nous avons attiré l'attention du lecteur tout au long de cette thèse. Nous compléterons et nous mettrons à l'épreuve ces caractéristiques avec d'autres travaux menés dans le domaine des sciences pour l'ingénieur et des sciences humaines et sociales sur l'instrumentation de la conception.

I.2 Vers de nouveaux concepts pour les outils d'aide à la conception distribuée

Nous avons montré lors des chapitres précédents qu'à travers une volonté d'intégration produit/process, la conception du produit se déplaçait principalement aux interfaces des métiers. Ce déplacement est également observé dans d'autres travaux sur la conception [Finger et al. 95], [Terssac 96], [Laureillard 00]. Dans le domaine de la gestion, des recherches sur la conception automobile [Moisdon et Weil 92] et sur les décisions spécifiques

à ce contexte [Moisdon et Weil 93] soulignent les difficultés au niveau de la gestion des interfaces du produit (boîte de vitesses, châssis, planche de bord,…), sujets souvent à de nombreux conflits entre les acteurs. Dans ce contexte, nous pensons que l'enjeu d'un outil n'est plus de permettre la définition de vues « hermétiques » dans lesquelles s'insèrent des connaissances spécifiques (métier, produit, etc.) mais qu'il s'agit de permettre aux acteurs du processus de construire des vues partagées dans lesquelles les diverses compétences métiers peuvent se confronter, élaborer des compromis en combinant les exigences et les contraintes de chacun. Les outils actuels d'aide à la modélisation du produit sont surtout appuyés sur des points de vue métier. Nous faisons l'hypothèse qu'il convient de définir un nouveau paradigme d'outil d'aide à la conception distribuée dont l'enjeu serait double :

- développer les possibilités de coopération entre les métiers en proposant des supports à l'interaction des points de vue.
- reconsidérer le point de vue des métiers en proposant un outil pour la formalisation des connaissances métiers, mais tourné vers l'explicitation et l'interaction avec les diverses connaissances mobilisées.

Cette approche nous conduit à proposer une dimension résolument différente par rapport à la vision des outils et méthodes existants. La dimension interactive et distribuée à la fois dans le temps[1] et dans l'espace[2] de la conception est ici soulignée et remet en cause certaines méthodes de conception [Suh 90] qui considèrent qu'une « bonne conception » est peut être réalisée par l'intermédiaire d'une formulation univoque et complète de la relation entre des fonctions et des solutions techniques.

Notre approche rejoint également celle développée dans plusieurs recherches sur l'étude des pratiques et des situations réelles en conception. Ainsi, dans [Garro et al. 01], nous retrouvons également cette notion d'interaction pour caractériser les phénomènes d'émergence de nouvelles solutions innovantes. En s'appuyant sur des dispositifs expérimentaux utilisés sur des petits collectifs de concepteurs, les auteurs précédents montrent que de nouvelles inventions résultent souvent d'un processus interactif entre les participants et les objets mis en circulation.

Nos interventions sur le terrain nous amènent donc à considérer l'outil, non plus uniquement comme un support de définition du produit, mais également comme un moyen essentiel à la coordination locale des acteurs. Nous qualifions cette coordination de locale car elle concerne des échanges entre acteurs sur des points de détail du projet et non sur ses objectifs généraux. De ce fait, les interactions nous renvoient alors à une dimension contextuelle et locale du développement. Il s'agira alors pour l'outil de permettre la construction de prises locales pour

[1] Les interactions existent à tout moment d'un projet : en réunion de projet, lors de rencontres entre deux acteurs, et même lors des pauses cafés.

[2] Les interactions peuvent se produire en tout lieu de l'entreprise et chez les fournisseurs

les protagonistes du projet dans leur contexte de travail et de favoriser la coordination autour de la construction d'objets communs.

Finalement, pour jouer ce rôle de médiation entre les participants d'un projet, il convient également de souligner que l'outil doit proposer une architecture ouverte [Terssac 96] afin de permettre aux acteurs de construire un espace d'action adéquat à chaque contexte, et non de s'inscrire dans un espace d'action délimité par l'outil. En effet, nous pensons que si l'outil structure et formate l'action de manière trop rigide, les acteurs ne peuvent pas appréhender la variété des situations rencontrées lors des projets de conception et *a fortiori* lors des projets innovants.

I.3 Positionnement par rapport aux outils pour l'innovation

Nous pensons également que la question de l'instrumentation de l'innovation doit être aussi reconsidérée avec une vue différente des outils actuels. Ainsi, si l'innovation est souvent abordée par les leviers de la créativité et de la recherche d'idées nouvelles, nous souhaitons apporter ici une contribution différente mais complémentaire au processus d'innovation. Quand nous parlons d'outils actuels, nous faisons ici allusion à l'une des méthodes qui fait actuellement référence : la méthode « TRIZ », acronyme russe de « Teorija Reschenija Izobretateliskih Zadatcc », que l'on rencontre également dans la littérature sous le terme anglais « TIPS » (Theory of Inventive Problem Solving), et qui peut se traduire en français par la théorie de résolution des problèmes inventifs. L'objectif de cette méthode créée et développée par G. Altshuller vers 1946, est de proposer au concepteur une démarche structurée et créative devant permettre l'émergence de concepts de solutions à des problèmes inventifs en combattant selon [Altshuller 99] « l'inertie psychologique ». Le méthode TRIZ et les outils qui en sont issus[3], ont pour objectif de rationaliser et d'étendre les domaines investigués pour la recherche d'une solution à un problème de conception. Ainsi, la méthode TRIZ est basée sur une analyse de plus de 2.500.000 brevets afin de permettre à l'ingénieur d'exploiter, le plus efficacement possible, des principes de solutions déjà éprouvés dans d'autres applications innovantes.

Cependant, pour qu'un telle exploitation puisse être effectuée, il est nécessaire de parvenir à un niveau d'abstraction, tant pour la définition du problème que pour sa résolution, pour permettre de s'affranchir des particularités propres à chaque métier. Ainsi la méthode TRIZ propose un principe d'abstraction permettant de transformer un problème spécifique en un problème standard, pour lequel on va chercher une solution standard que l'on déclinera par la suite en une solution spécifique (ce mouvement du problème spécifique vers sa solution est représenté sur la figure 1).

[3] Nous citerons à titre d'exemple le logiciel *TechOptimizer*™ [Invention Machine 00] ou le logiciel *Innovation WorkBench*™ [Ideation International 00].

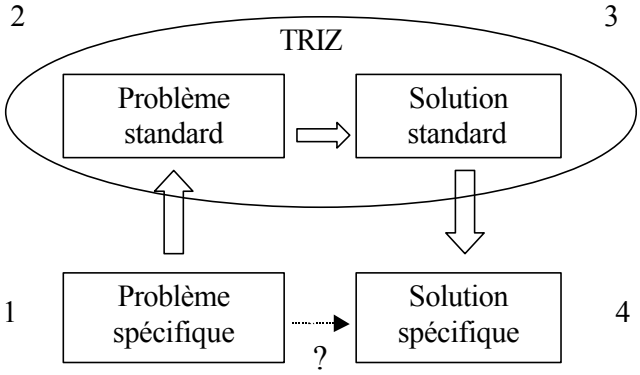


Figure 1 : Processus de conceptualisation mis en oeuvre avec TRIZ. (source [Choulier et Draghici 00])

Cependant, certaines recherches sur l'utilisation de cette méthode et les outils associés [Choulier et Draghici 00], [Ngassa et al 00] montrent les limites de ces dispositifs en pointant la difficulté de formuler un problème spécifique en un problème standard exprimé dans des termes propres à TRIZ, puis la difficulté d'interpréter les solutions génériques pour les adapter en solutions spécifiques. Ainsi, dans [Choulier et Draghici 00], les auteurs montrent que si la méthode TRIZ semble particulièrement bien adaptée à la résolution de problèmes relativement bien définis, elle semble difficilement envisageable dans le cas de l'innovation et pour des problèmes de conception mal définis tels qu'on peut les rencontrer dans le cas de l'innovation produit/process[4]. De ce fait, à l'instar des auteurs précédents, nous pensons que cette méthode est destinée à s'inscrire ponctuellement dans le processus de conception et en complément des méthodes de créativité déjà existante (brainstorming[5], FAST de créativité[6], le QQOQCP[7],…). Nous pensons que l'utilisation de cette méthode agit sur un périmètre relativement restreint (passage du problème standard à la solution standard. Cf. figure 1) lorsque le problème est relativement bien défini. Par contre, TRIZ ne peut prétendre à une instrumentation générale de l'ensemble du processus d'innovation au sens où cette méthode n'offre pas une aide explicite au processus de formalisation du problème et de traduction de la solution standard en une solution spécifique.

I.4 La problématique de l'outil : l'innovation produit/process sous contrainte métier

Nos observations sur le terrain ont montré qu'un processus d'innovation met en jeu des logiques d'acteurs et des dynamiques de connaissances qui conduisent à une certaine fragilité

[4] Pour illustrer ce propos, je peux confirmer que j'ai précisément rencontré des difficultés pour bien formuler le problème du bouclier arrière (présenté au chapitre 2) lors d'une formation sur le logiciel TechOptimiser™.

[5] Voir la présentation de cette technique en note de bas de page au paragraphe IV.2.3 du chapitre 3

[6] Le *Function Analysis System Technique* (F.A.S.T.) de créativité est un outil de visualisation graphique des fonctions techniques qui peut s'utiliser dans le cadre d'une séance de créativité à l'issue d'une phase d'analyse fonctionnelle du besoin.

[7] Le QQOQCP est une technique qui consiste au questionnement (qui, quoi, où, quand, comment, pourquoi) d'un problème.

et à une complexité du processus lorsque qu'on se situe dans un contexte de projet innovant. En effet, se mettre en situation de promouvoir de l'innovation produit/process nécessite une certaine créativité de la part des acteurs. Mais nous avons vu au chapitre 3 que ce point ne semblait pas constituer un frein important pour les acteurs particuliers que sont les experts matériaux. Par ailleurs, nous avons montré que l'innovation produit/process et sa consolidation nécessitaient également d'organiser une certaine mise à l'épreuve des concepts proposés au sein des métiers de l'entreprise, et éventuellement auprès des fournisseurs. Nous affirmons que ce second point constitue réellement un enjeu permettant de favoriser l'innovation produit/process. En d'autres termes, nous pensons que de nombreux acteurs génèrent un certain nombre d'idées de nouvelles applications produit/process mais qu'il ne suffit pas d'avoir des idées de concepts innovants, encore faut-il les confronter et les diffuser au sein de l'entreprise pour consolider ces propositions et créer une configuration où l'industrialisation du concept devienne envisageable.

A ce sujet, nos analyses concernant le développement du projet composite, et les pratiques des experts matériaux, et plus généralement des acteurs se retrouvant en position de porteur d'idées innovantes, montrent la carence d'outils d'aide à la conception qui tiennent compte des différentes stratégies mobilisées en phases de prospective (particulièrement pendant les phases préparatoires[8]) et généralement en phases amont de projet. De ce fait, nous avons axé nos réflexions sur le développement d'un outil favorisant ces processus de confrontation de l'innovation en phase amont.

Ainsi, tout au long de cette thèse, s'est progressivement défini le concept d'un outil susceptible d'apporter une aide opérationnelle et un support aux processus de diffusions et de mise à l'épreuve des innovations mais sans oublier la vision stratégique de certains acteurs. Ainsi, dans notre cas, nous avons orienté la conception de l'outil pour une utilisation destinée à l'activité d'un acteur particulier : l'expert matériau. La finalité de notre outil se tourne donc principalement vers un objectif d'innovation (au sens d'industrialiser un nouveau concept pour le mettre sur le marché) en proposant un outil destiné à être piloté par un acteur « porteur d'idées innovantes » [Legardeur et al. 01]. Cependant, nous avons montré dans les précédents chapitres le caractère fortement distribué de l'activité des développements amont et la nécessité de mobiliser une multitude de compétences et de tenir compte des contraintes, des différents points de vue, des rationalités et des logiques des autres acteurs métier qui vont intervenir lors de ces phases de prospective. Ainsi, cette particularité nous conduit à proposer un outil qui soit dans la même optique d'ouverture aux interfaces des métiers en permettant un support aux interactions entre les différents participants.

De plus, dans un contexte d'innovation produit/process tel que nous avons pu le présenter lors des premiers chapitres, nous avons vu que la créativité et la genèse de nouveaux concepts

[8] A ce sujet, le paragraphe IV.2 du chapitre 3 a permis d'identifier les différentes stratégies mobilisées par les Experts matériaux. Notre proposition d'outil s'appuie également sur ces résultats.

n'est pas le frein majeur au processus d'innovation. Au delà de la créativité, nous avons senti le besoin de proposer un outil complémentaire qui permette d'accompagner les étapes de la diffusion, de la confrontation et de la consolidation de l'idée ou du concept imaginé. Ainsi, nous faisons l'hypothèse que cet outil permet de favoriser la mise en projet et l'industrialisation du concept. Nous pensons alors que la problématique de notre outil est différente de celle des outils pour la recherche d'idées innovantes (figure 2).

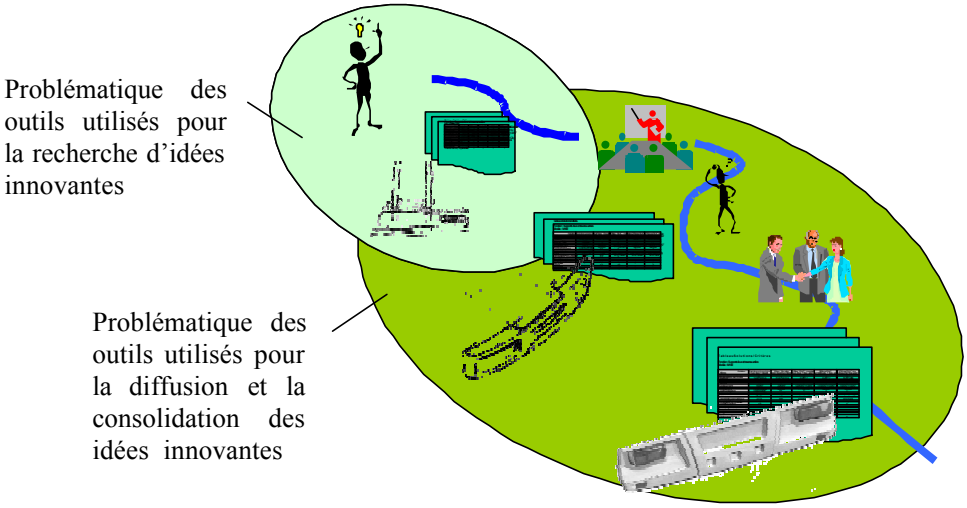


Figure 2 : Problématique des outils pour l'innovation

Il faut bien préciser que la figure 2 a seulement pour but de positionner notre problématique de recherche sur l'outil en tant que support aux processus de diffusion et de consolidation des innovations, mais n'a pas la prétention de représenter la complexité d'un processus d'innovation. En effet, contrairement à la représentation schématique de la figure 2, il n'y a pas une séparation aussi distincte entre la créativité et la diffusion/consolidation de l'idée. Ainsi, des phases de recherche de nouvelles idées peuvent intervenir à différents stades du processus, et les outils pour la créativité peuvent être mobilisés à différents moments du projet. A ce sujet, nous verrons que la créativité et la recherche d'idées nouvelles sont également sous-jacentes dans l'outil que nous proposons mais notre approche est différente des méthodes d'aide à la créativité.

La problématique étant maintenant en partie définie, nous allons découvrir dans la prochaine partie, l'outil informatique que nous proposons pour instrumenter les phases amont d'un projet innovant.

Partie II. Conception et proposition d'un nouvel outil

II.1 Une construction de l'outil à partir du terrain et des pratiques

La conception d'un système informatique qui vise à supporter les interactions sociales et techniques est un problème complexe. A ce sujet, la communauté CSCW (Computer Supported Collaborative Work) développe des approches depuis plus de trente ans pour proposer des outils informatiques dans différents domaines (conception de produits, administrations, professions de la santé, etc.). Ainsi, parmi les approches proposées dans ce domaine, certaines retiennent notre attention car elles correspondent à notre vision et à l'approche utilisée pour l'élaboration de notre outil d'aide à la conception. Avant de présenter notre contribution dans son ensemble, nous souhaitons préciser dans les paragraphes suivants, comment s'est construit progressivement cet outil.

II.1.1 Une approche ethnographique

Tout d'abord, nous avons vu que l'outil est destiné essentiellement à instrumenter l'activité de l'expert matériaux pendant les phases amont de prospective et plus particulièrement pendant les phases préparatoires. Ainsi, nous pouvons dire que notre approche concernant la conception de l'outil est ethnographique puisqu'elle s'appuie sur une étude fine des pratiques en situation réelle de conception [Vinck 99]. Cette approche est maintenant développée depuis le début des années 1990 dans le domaine du CSCW suite à la prise de conscience de développer des systèmes centrés sur l'utilisateur (traduction de *user-centered system*) avec l'intervention de chercheurs en ethnographie et en sciences sociales. Elle fait suite à un profond changement d'objectif de la part des développeurs de ces systèmes informatiques qui se traduit par plusieurs évolutions majeures dans le domaine [Agostini et al. 00] :

- d'un travail automatique réalisé par le système, on cherche maintenant à proposer un support pour aider le travail des utilisateurs.
- d'une recherche pour l'interaction entre utilisateurs *et* supports informatiques, on cherche maintenant à développer l'interaction entre utilisateurs *à travers* les supports informatiques.

Ces évolutions et nos observations convergent pour mettre l'acteur (celui qui pense, qui agit et développe des stratégies) au centre du dispositif. Ainsi, la conception d'un outil nécessite de mieux comprendre les pratiques de travail et non pas uniquement ce que l'on désigne par tâches de travail.

II.1.2 Une approche par la « conception participante » des utilisateurs

Par ailleurs, nous souhaitons préciser que l'outil s'est progressivement défini en faisant participer, dès les premiers moments de sa création, les utilisateurs potentiels. Dans le domaine du CSCW, cette approche est qualifiée de « conception participante ». En effet, si les prochains paragraphes visent à montrer les caractéristiques d'une maquette informatique

relativement aboutie, nous voulons préciser ici que la conception de cet outil s'est effectuée en plusieurs étapes. Ainsi, suite à nos analyses de terrain, nous avons proposé des spécifications générales et une structure pour un outil destiné aux experts matériaux. Ces propositions, matérialisées par une présentation avec des liens hypertextes entre documents de type Powerpoint, permettaient d'imaginer et de représenter les caractéristiques générales et un scénario d'utilisation des différentes fonctionnalités proposées.

Cette première version a alors été confrontée, lors de plusieurs réunions de présentation, à différentes personnes (dont les experts matériaux) de niveaux hiérarchiques hétérogènes afin d'obtenir de larges retours et des critiques sur les fonctionnalités et la structure proposées. Ainsi, il convient de souligner que l'outil est le résultat d'une approche qui tient compte des besoins et des recommandations des utilisateurs et qui s'affine par une interaction entre futurs utilisateurs, chercheurs et développeurs de système informatique[9]. Par ailleurs, les premières propositions ont été présentées également lors de séminaires au laboratoire 3S et dans certaines conférences dont [Legardeur et al. 01] pour avoir un retour des chercheurs relevant du domaine de la conception.

Le mode de construction de l'outil étant maintenant précisé nous pouvons présenter les concepts de base sur lesquels s'appuie notre proposition d'outil. C'est l'objet du prochain paragraphe.

II.2 Un outil basé sur une représentation particulière du produit : le tableau concepts/critères (TCC)

II.2.1 Quel support pour l'instrumentation ?

Lorsque nous avons abordé la question de l'outil, et plus particulièrement dans l'objectif d'instrumenter l'interaction en conception, nous avons été vite confrontés au choix d'un support commun permettant la mise à l'épreuve et la confrontation des points de vue.

A ce sujet, certains travaux sur les outils de conception portent sur la possibilité de réaliser et de capitaliser une représentation commune du produit en cours de conception en tenant compte de l'ensemble des intervenants du cycle de vie du produit [Tichkiewitch 96], [Chapa 97], [Roucoules 99].

Par ailleurs, dans une problématique industrielle, le besoin en information est très vaste pour les acteurs qui sont mobilisés sur un projet et/ou qui sont souvent amenés à chercher des informations sur les projets antérieurs. Dans ces deux cas, les acteurs ont besoin d'informations concernant la solution (matériaux utilisés, cotes,…) mais les acteurs cherchent également à retrouver des informations sur les phases antérieures de conception comme

[9] La maquette informatique qui est présentée dans ce chapitre a été développée avec l'aide de deux étudiants en DESS Compétence Complémentaire Informatique de l'Université Joseph Fourier de Grenoble.

l'historique des différentes décisions, le contexte initial du projet, les alternatives de conception [Karsenty 96].

Ainsi, notre objectif était de proposer une représentation qui permette de fournir des prises à l'ensemble des métiers sur la ou les solutions en cours de conception mais également sur les éléments complémentaires et les informations liées au développement et aux modalités d'évaluations des solutions.

II.2.2 Un candidat pour la représentation du produit dans ses différentes dimensions : le tableau concepts/critères

L'approche que nous proposons est de modéliser en cours d'action, une représentation progressive du produit sous forme de concepts soumis à évaluation sous la base de critères qui eux-mêmes vont être complétés et affinés. Ainsi l'outil est principalement basé sur l'évolution d'un objet qui a déjà été mobilisé pendant le projet composite : le tableau concepts/critères (TCC) dont un exemple est présenté sur la figure 3. Ce tableau permet de construire une sorte de matrice de sélection en croisant des alternatives de solutions avec des critères.

Concepts / Criteria	Existing Solution	C1 SMC Front panel	C2 SMC FP + anchor
Cost	€€	€€€	€€€
Material	steel + PP	SMC	steel + SMC
Process	Bent-sheet iron	SMC	SMC
Assembly	Screwing	Gluing	Screwing
Weight	16 kg	< <	<
Maintenance	+ + +	- -	-

Figure 3 : Un exemple de tableau concepts/critères

Dans ce tableau concepts/critères, la première colonne est destinée à la description de la solution de référence qui est souvent la solution existante (*existing solution*) ou éventuellement l'objectif à atteindre. Les autres colonnes correspondent à la description des différentes alternatives (appelées *C1* pour le concept n°1, *C2* pour le concept n°2, etc.) qui sont proposées tout au long du développement.

Les concepts (colonnes) sont alors définis et évalués suivant des critères (lignes). En effet, les expériences menées sur la conception, [Garro et al. 96], [Blanco 98] et notre propre expérience du terrain, montrent que les propositions des acteurs sont discutées, négociées, validées ou non par les autres intervenants en utilisant des critères de conception. Ces derniers émergent parfois suite à une proposition d'un acteur ou lors des confrontations de différents points de vue sur le développement en cours, et contribuent à la fois à la définition du produit, à la fois à sa validation ou à son enrichissement [Garro et al. 98].

Dans notre cas, nous avons utilisé le terme générique de *critère* pour désigner les entités disposées en ligne dans notre tableau, mais nous laissons volontairement une certaine autonomie quant à leur classification, et à leur utilisation. Cependant, il faut noter que les normes sur l'analyse de la valeur donne une définition plus stricte des critères qui sont qualifiés de *critères d'acceptation*[10]. Par contre, dans notre cas, il faut remarquer que l'utilisation que nous proposons est plus modulable et plus étendue que celle préconisée par les normes : par exemple, certains critères (comme le critère matériaux de la figure 3 ligne 2) peuvent être proposés pour décrire une solution sans forcément en évaluer la performance. L'objectif est de proposer aux acteurs, un tableau où ils peuvent formuler librement leurs propres critères en fonction du contexte sans forcément imposer un formalisme et une structure prescriptive. De plus, contrairement à la norme qui précise que les critères sont utilisés, soit en début de conception pour définir les fonctions du produit, soit en phase finale pour valider le travail précédent, nous pensons que les critères sont mobilisés, discutables et renégociables en permanence tout au long de la phase de conception du produit. Ainsi, nous proposons de développer des supports qui peuvent supporter l'enrichissement de critères à différents niveaux de temporalité du développement.

II.2.3 Pourquoi un tableau concepts/critères ?

L'avantage de ce type de représentation en tableau concepts/critères est de fournir un support relativement simple et facile d'accès puisque nous avons vu qu'il est souvent utilisé en entreprise sous des formes relativement artisanales mais assez comparables pour présenter les différentes alternatives imaginées. On retrouve également ce type de matrice, désignée par le terme de *concept screening* (figure 4) dans certaines méthodes pour la conception et l'évaluation de solutions [Ulrich et Eppinger 95].

	Concepts					
Selection Criteria	A Master Cylinder	B Rubber Brake	C Ratchet	D (reference) Plunge Stop	E Swash Ring	F Lever Set
Ease of handling	0	0	-	0	0	-
Ease of use	0	-	-	0	0	+
Readability of settings	0	0	+	0	+	0
Dose metering accuracy	0	0	0	0	-	0
Durability	0	0	0	0	0	+
Ease of Manufacture	+	-	-	0	0	-
Portability	+	+	0	0	+	0
Sum +'s	2	1	1	0	2	2
Sum 0's	5	4	3	7	4	3
Sum -'s	0	2	3	0	1	2
Net Score	2	-1	-2	0	1	0
Rank	1	6	7	3	2	3
Continue?	Yes	No	No	Combine	Yes	Combine

Figure 4 : Concept screening (source [Ulrich et Eppinger 95])

De plus, dans le domaine de l'ergonomie cognitive, les études [Darses 97], [Martin et al. 00] sur les confrontations des points de vue d'acteur en conception montrent que le processus d'argumentation fait appel à des connaissances non seulement sur la solution courante (à

[10] Un critère est une caractéristique utilisée pour évaluer la performance attendue d'un produit.

évaluer) mais aussi sur d'autres solutions (alternatives ou existantes) et ceci dans des modes d'évaluation comparative ou par analogie. Par ailleurs, l'utilisation des critères au sens large permet de disposer d'un « langage commun » pour permettre la confrontation des points de vue des différents métiers que l'on va rencontrer tout au long du cycle de vie d'un produit. En effet, chaque acteur va mobiliser ses propres critères mais ces derniers peuvent constituer également des prises pour d'autres métiers : par exemple, un critère de *coût*, mobilisé par un acheteur, peut être largement débattu avec d'autres participants comme un acteur étude, un fournisseur, un acteur marketing, etc. On sait que les critères ne sont pas identiques pour les différents acteurs de la conception. Mais lorsque ces critères sont mis au débat à travers le TCC, ils sont le support d'interaction et d'explicitation avec les autres connaissances spécifiques mises en oeuvre.

Si on a l'objectif de favoriser les interactions, cet aspect est intéressant et s'inscrit en complément d'une représentation trop exclusive du produit comme peut l'être la modélisation géométrique CAO qui n'est pas forcément aussi partageable entre les métiers. Ainsi, nous pouvons dire qu'un acteur étude peut estimer que la représentation géométrique CAO du produit, constitue un formidable média pour exposer son point de vue, en oubliant qu'une telle représentation n'est pas toujours évidente pour les autres métiers (acheteur, marketing, recyclage, ergonome, etc.). En effet, la représentation CAO ne fournit pas toujours un support pertinent pour que chaque métier développe son point de vue. A ce sujet, il faut noter que d'autres supports sont développés et testés comme par exemple, la maquette numérique et la réalité virtuelle. Ces supports devraient permettre à des acteurs comme l'ergonome de faire valoir ses critères au plus tôt et éviter d'attendre ainsi la réalisation physique (souvent longue et coûteuse) d'un ou plusieurs prototypes [Chedmail et al. 01]. Ceci étant, le niveau de développement et la pertinence de la représentation virtuelle restent encore à interroger [Vinck et al. 99].

Par ailleurs, nous avons choisi d'utiliser les critères comme support de coopération car ces derniers peuvent être mobilisés dès les premiers développements et les premiers éléments d'un projet. En ce sens, ils peuvent être utilisés très tôt dans les phases amont même si peu d'informations ou de connaissances ont été mises à jour. Ce n'est pas le cas pour un modèle CAO qui nécessite d'avoir rassemblé un certain nombre de données (dimensions, forme générale, etc.) avant de pouvoir être représenté. Par exemple, il faut noter que pour le projet composite, les premières représentations CAO volumiques du bouclier n'ont été élaborées que six mois après le début du projet.

II.3 L'outil ID² : du TCC statique au TCC dynamique et enrichi

II.3.1 Objectifs visés

Le tableau concepts/critères (TCC) semble présenter des caractéristiques intéressantes pour instrumenter les interactions en conception. Nous avons montré que ces interactions peuvent alors favoriser la consolidation de solutions innovantes. De ce fait, nous avons utilisé cet objet

et nous l'avons fait évoluer pour l'englober dans un outil informatique que nous avons nommé ID² (Innovation Développement et Diffusion). Par ailleurs, les résultats de nos études de terrain nous ont permis de définir les spécifications de cet outil qui sont articulées autour de quatre axes principaux :

- un support d'aide pour la création et la mise en réseau des acteurs,
- un tableau de bord pour la formalisation des critères, la mise au débat des informations et l'évaluation des différentes alternatives,
- un support permettant de montrer des données de la veille technologique,
- et finalement, un support pour la capitalisation et la réutilisation des informations et des compétences sur les projets

Notre outil vise à fournir à un acteur « porteur d'une nouvelle idée », tel que nous avons pu le rencontrer au travers de l'activité des experts matériaux, la possibilité de synthétiser les informations recueillies sur les différents concepts proposés et dans toutes les dimensions explorées. En ce sens, nous avons déjà montré la nécessité de mobiliser une multitude d'acteurs pour favoriser le développement de solutions innovantes aux interfaces des métiers. De ce fait, afin de croiser les points de vue et les compétences, l'enjeu est de proposer un outil partagé permettant à chaque acteur de spécifier et d'expliciter ses propres critères et les informations.

II.3.2 Structure informatique de la maquette

Nous avons développé une maquette informatique dont la structure permet d'être accessible par le réseau Intranet d'une entreprise mais également par le réseau Internet. De ce fait, les acteurs peuvent se connecter sur un serveur Web et une base de données communes (voir figure 5). Pour des raisons de simplicité d'installation et d'accessibilité pour l'utilisateur, nous avons développé cette maquette en utilisant des servlets (JAVA dédié Internet[11]). La base de données a été développée sur le logiciel ACCESS. Ce système de gestion de bases de données (SGBD) a l'avantage d'être répandu (distribué par Microsoft), et il est dédié aux applications sur ordinateurs individuels mono-postes ou fonctionnant en réseau.

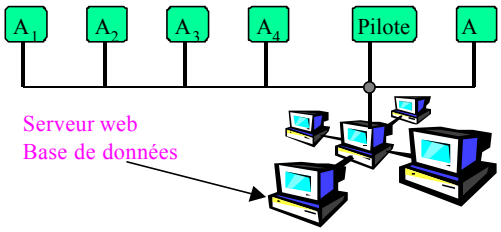


Figure 5 : Configuration de l'utilisation

[11] Les servlets sont des programmes exécutés sur un serveur Web qui servent de couche intermédiaire entre une requête provenant d'un navigateur Web (type *Internet Explorer*) et une base de données. La technologie JavaServerPages (JSP) est également utilisée et permet de mélanger du code HTML classique et statique avec du code généré dynamiquement par des servlets. D'autres renseignements (schéma UML, schéma relationnels,…) sur le développement de cette maquette sont disponibles dans [Voltz et Jost 01]

II.3.3 Acteur pilote, acteur réseau et protocole de connexion

Ainsi, chaque acteur peut potentiellement se connecter sur un projet de la base de données et renseigner ce dernier tout au long du développement. Cependant, nous avons vu que l'une des difficultés principales en phase préparatoire et généralement en phase amont de projet, est de tenir compte des différentes stratégies mobilisées par l'acteur d'interface. Le support informatique que nous proposons ici est donc essentiellement destiné à être piloté par cet acteur d'interface et l'outil est au service de sa stratégie tout en tenant compte des différents points de vue, des rationalités et des logiques des autres acteurs métiers impliqués. Dans cette optique, nous distinguons trois types de statut pour l'utilisation d'ID² dans le déroulement d'un projet:

- Un statut de *pilote*. Il correspond à l'acteur qui est à l'origine de la nouvelle idée et qui a créé le projet. Avec ce statut, il peut définir les droits d'accès à ses projets pour l'ensemble des acteurs de son entreprise (et éventuellement pour les acteurs des entreprises externes).
- Un statut d'*acteur réseau*. Il correspond aux différents métiers qui vont être mobilisés par l'acteur pilote. Ainsi, ces derniers peuvent accéder aux projets et renseigner ces projets s'ils possèdent une autorisation (ou s'il n'y a pas d'interdiction) de l'acteur pilote.
- Par ailleurs, ID² propose une fonction d'*administrateur* qui permet de saisir les différentes informations concernant l'ensemble des acteurs (identifiant, nom, prénom, entreprise, service, e-mail, mot de passe, etc.).

Pour accéder à ID², chaque participant est invité à s'identifier (saisi d'un identifiant et d'un mot de passe cf. figure 6).

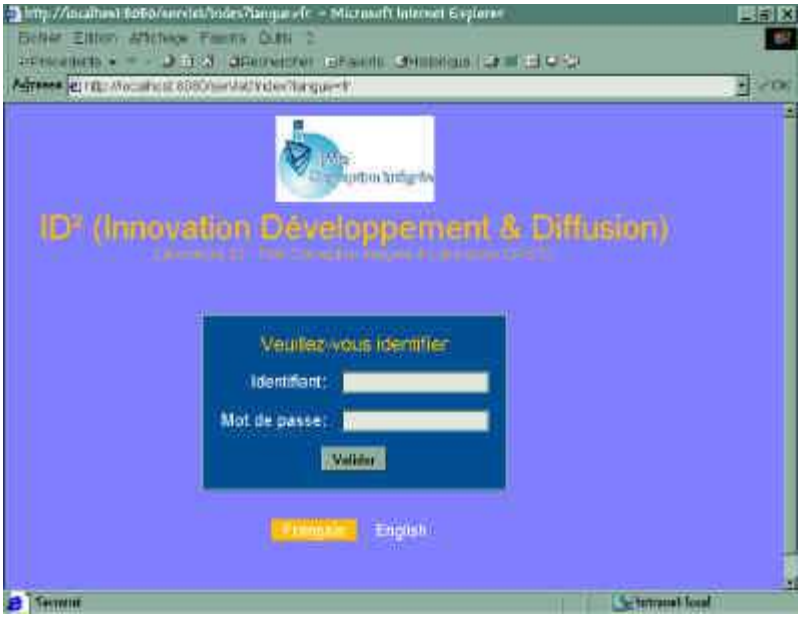


Figure 6 : Invite de connexion de l'outil ID²

A chaque connexion, l'utilisateur peut choisir la langue[12] de l'affichage des fonctionnalités avant de pouvoir consulter et intervenir sur les différents projets de la base de données pour lesquels il possède une autorisation d'accès.

Après identification de l'utilisateur, l'outil propose un index des différents projets qui sont accessibles soit en tant que pilote, soit en tant qu'acteur réseau. Par exemple, sur la figure 7, l'acteur qui s'est préalablement identifié est le pilote des projets du premier tableau et peut se connecter en tant qu'acteur réseau des projets du second tableau.

Figure 7 : Index des projets

Chaque projet est défini par un nom ou un code de projet attribué par le pilote qui peut être éventuellement complété par une description complémentaire pour fournir plus de renseignements sur la nature du développement. Par ailleurs, la date de création du projet est également affichée ainsi que la date de la dernière modification qui permet aux utilisateurs de contrôler si des éléments nouveaux ont été apportés depuis leur dernière connexion.

II.3.4 Structuration des informations dans le TCC

Une fois connecté, l'acteur pilote ou les acteurs du réseau peuvent accéder au TCC du projet (figure 8) qui fournit visuellement une première synthèse des différentes informations précédemment issues des domaines de compétence impliqués sur le projet (design, conception, marketing, fabrication, etc.). Par l'identification de l'utilisateur, chaque intervention et ajout d'information d'un acteur sera systématiquement relié au nom de son

[12] L'affichage des fonctionnalités en français et en anglais fait suite à une demande d'un de nos partenaires industriels qui est amené à développer des projets avec des entreprises étrangères.

auteur et à sa date d'émission. De ce fait, il existe alors une relation entre le projet, le nom de l'acteur, l'information, et la date d'enregistrement dans la base de données.

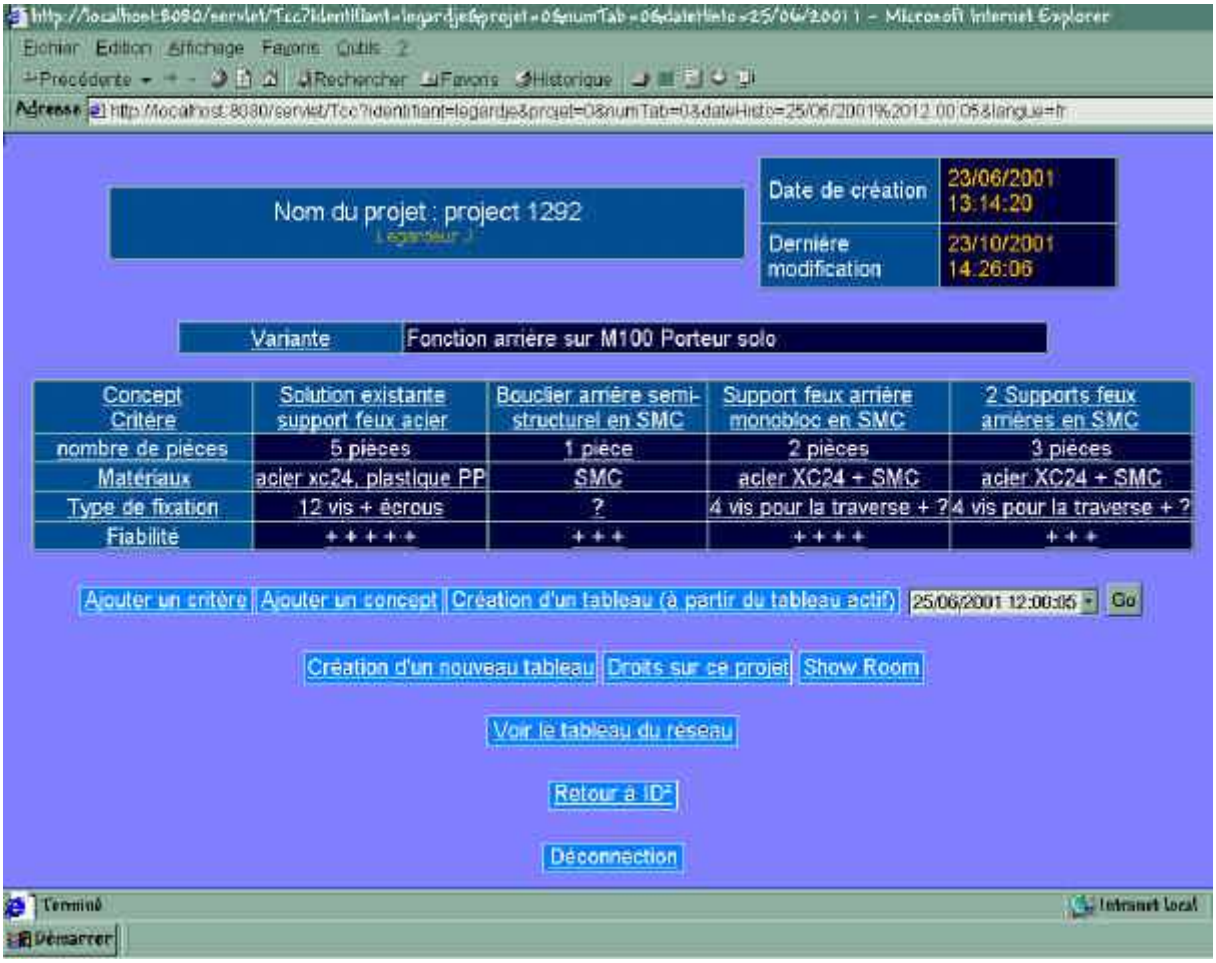


Figure 8 : Un exemple de TCC du projet composite vu par l'acteur pilote

De plus, nous proposons une structure à plusieurs niveaux de lecture où les acteurs peuvent consulter simplement les informations affichées sur le tableau (une simple valeur, une appréciation, un mot, etc.[13]) ou consulter une spécification plus complète de cette information (une description complémentaire), ou bien ouvrir un fichier attaché comportant le compte rendu exhaustif de cette information.

Dans cette optique, chaque cellule du tableau peut être documentée par une zone de texte supplémentaire ou reliée à des éléments complémentaires (images, fichiers attachés) qui servent à décrire et à documenter plus amplement les informations vues à l'écran. Par exemple sur la figure 9, nous pouvons voir un complément de données rattaché au concept de la cellule : Solution existante support feux acier de la figure 8.

[13] Ce champ est limité à une cinquantaine de caractères

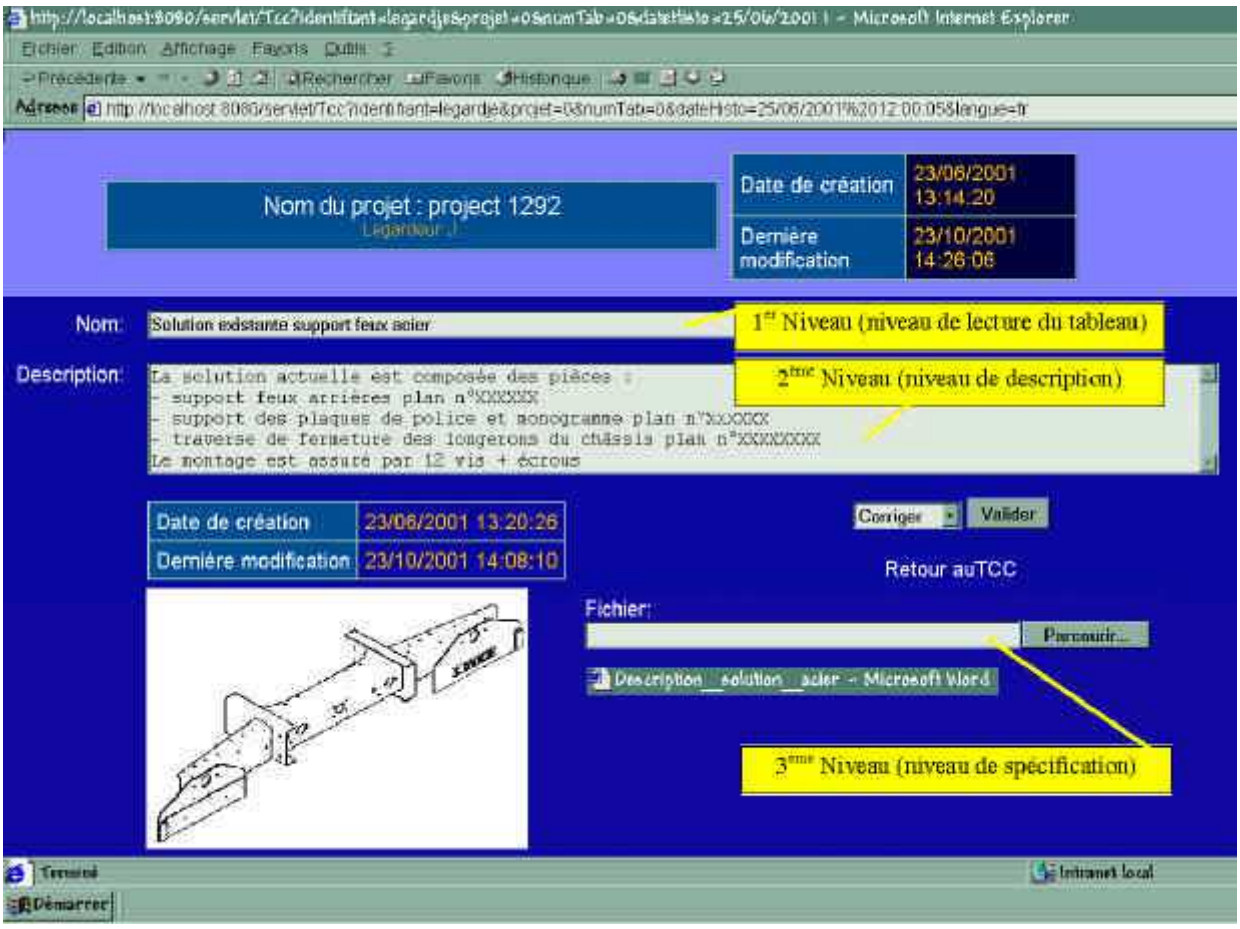


Figure 9 : Exemple de données complémentaires sur la solution existante

Cette structure permet de proposer une synthèse à différents niveaux de formalisation. Ainsi, les acteurs peuvent remplir ou lire le tableau en fonction de leur besoin. Notre proposition de plusieurs niveaux d'écriture et de lecture a été imaginée suite à nos observations du terrain où nous avons pu voir plusieurs types d'échanges d'informations entre acteur comme par exemple : des échanges de résultats, des échanges par mémo (mail interne à l'entreprise cf. figure 10), des échanges de compte rendu. Ainsi, ce travail de formalisation existe déjà dans l'entreprise et notre objectif était de proposer un support à ces échanges afin de les structurer autour du TCC.

En effet, les mémos ou les fichiers attachés comportent souvent des informations très utiles pour le projet en cours ou pour d'autres projets, mais ce sont des objets que l'expéditeur partage avec quelques destinataires seulement. De plus, ces mémos sont souvent archivés dans une messagerie et sont détachés de leur contexte et du projet auquel ils appartiennent. Il est alors très difficile de s'en saisir et d'en comprendre la nature. Dans ID², ces informations peuvent alors être insérées directement dans l'outil et sont mises au débat à travers le TCC qui permet de restituer une partie des éléments qui composent le contexte.

Figure 10 : Exemples de mémos échangés lors du projet composite

Le tableau concepts/critères permet ainsi de montrer aux utilisateurs qui vont se connecter sur l'outil, les différents éléments apportés et mobilisés par les acteurs précédents. De plus, la structure du TCC dans ID² est dynamique et chaque acteur peut proposer de nouveaux concepts ou alternatives (création de nouvelles colonnes), de nouveaux critères (création de nouvelles lignes), et de nouvelles informations (création de nouvelles cellules) tout au long de la progression du projet. Nous retrouvons également des niveaux différents de formalisation pour les cellules du TCC. Par exemple, une information sur la tenue mécanique d'une pièce peut être documentée à plusieurs niveaux : au premier niveau, les principaux résultats de calculs (par exemple, le valeur de $ó_{max}$, la fréquence du 1er Mode Propre), au deuxième niveau, les hypothèses et modèles de calculs associés, et au troisième niveau, la note de calculs avec une spécification plus complète (cf. figure 11).

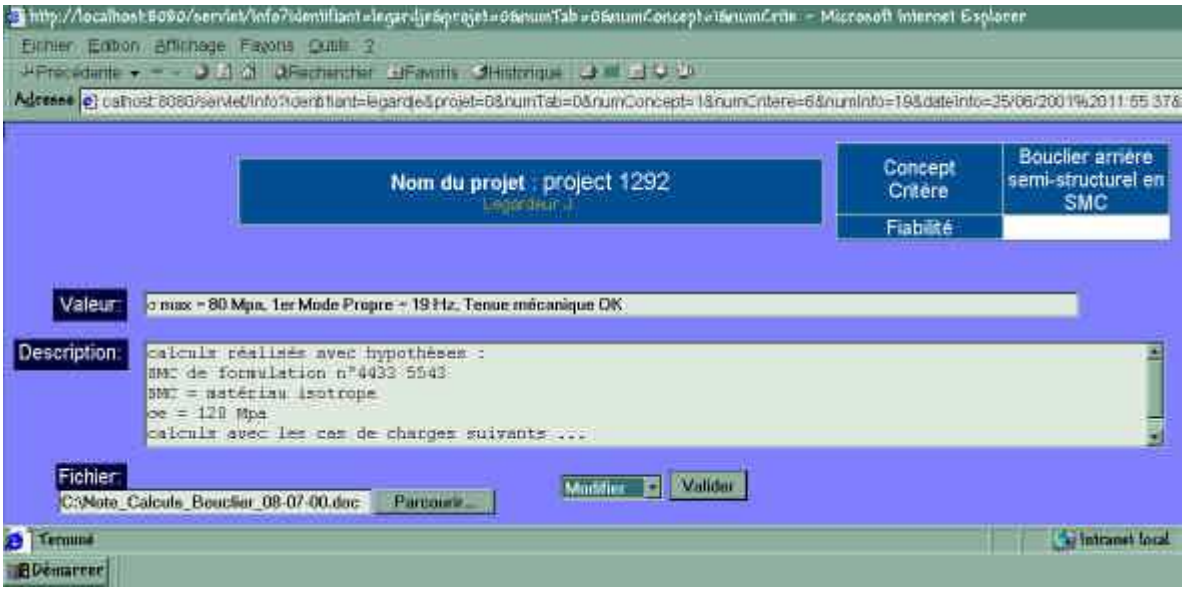


Figure 11 : Les différents niveaux de formalisation pour une information.

Ainsi, au fur et à mesure que les acteurs travaillent sur le projet, les informations les plus récentes sont affichées dans chaque cellule du tableau. Par contre, il faut remarquer que les informations antérieures qui ont été apportées précédemment par les différents participants ne sont pas effacées et sont consultables dans une arborescence (cf. figure 12).

Par ailleurs, les états précédents du tableau sont accessibles à l'aide d'un menu déroulant qui permet de reconstruire le TCC à des dates antérieures. De ce fait, des retours sur le projet sont envisageables pour vérifier, expliquer ou ré-interroger certaines orientations du projet.

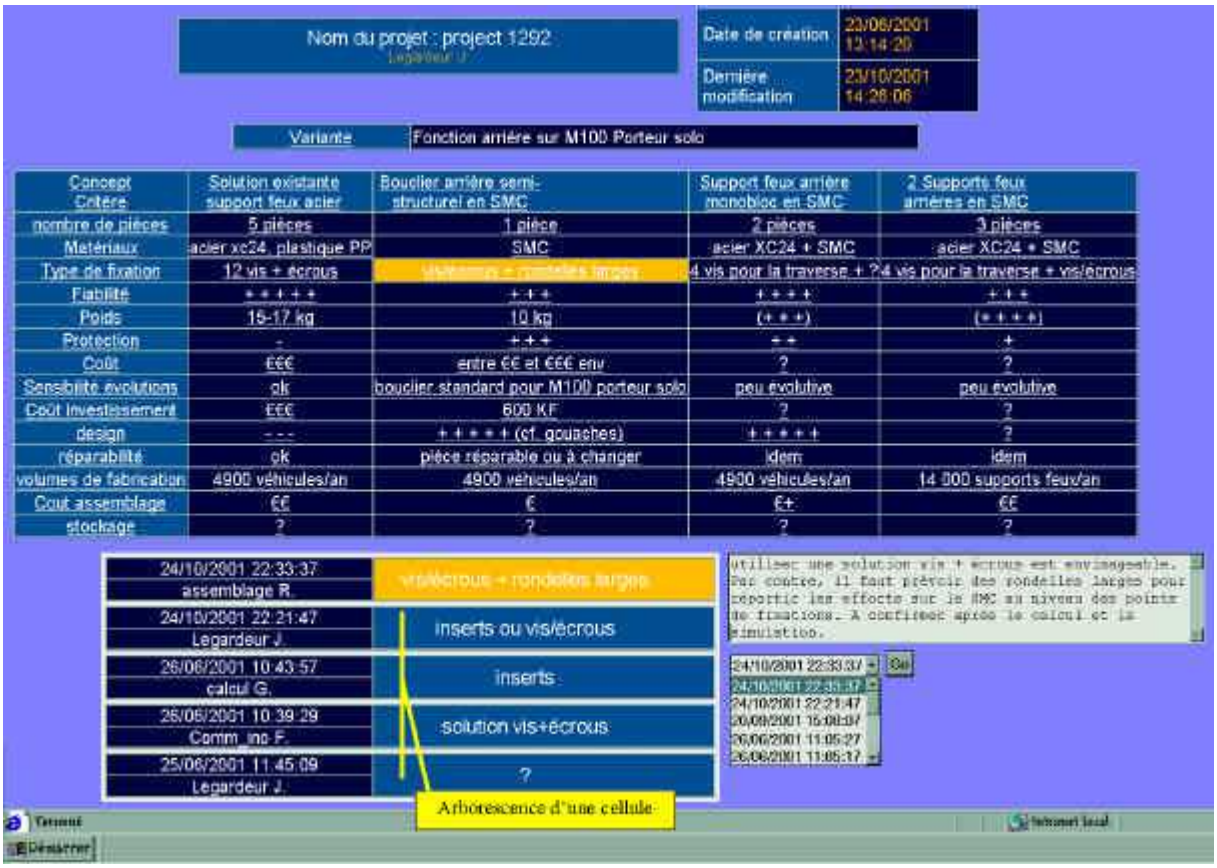


Figure 12 : Exemple d'arborescence d'une cellule du TCC

Par ailleurs, l'outil permet également aux acteurs, de donner plus de précisions et d'expliciter les critères qu'ils ont proposés. Ainsi, le TCC peut supporter l'enrichissement de nouveaux critères qui ne sont pas forcément communs par rapport aux critères traditionnels (coût, poids, matériaux utilisés,…) Ces critères spécifiques qui sont propres aux acteurs peuvent être éventuellement complétés d'une description supplémentaire pour préciser leur sens (figure 13).

De ce fait, l'explicitation des critères permet alors de favoriser la création de prises pour les autres métiers qui peuvent alors réagir sur la proposition. Ainsi, nous pouvons faire l'hypothèse qu'après un certain temps d'utilisation de l'outil sur plusieurs projets, les acteurs

d'une entreprise pourront alors construire une liste de critères dont le sens sera partagé par le collectif de conception.

Figure 13 : Exemple d'explicitation d'un critère

II.3.5 Le tableau du réseau d'acteurs

L'outil ID² est donc un outil destiné à être utilisé par plusieurs acteurs. Cependant, nous avons vu que chaque information, saisie dans l'outil, est rattachée au nom de son auteur. De ce fait, l'outil permet à tout moment du développement de tracer la cartographie du réseau d'acteurs impliqués sur le projet (cf. figure 14). En d'autres termes, l'outil permet de montrer qui travaille sur le projet et permet de désigner les points particuliers du développement qui sont traités par un acteur particulier.

Concept Critère	Solution existante support feux acier	Bouclier arrière semi-structurel en SMC	Support feux arrière monobloc en SMC	2 Supports feux arrières en SMC
nombre de pièces	5 pièces	1 pièce	2 pièces	3 pièces
Matériaux	acier xc24, plastique PP	SMC	acier XC24 + SMC	acier XC24 + SMC
Type de fixation	12 vis + écrous	solution vis+écrous	inserts	4 vis pour la traverse + vis/écrous
Fiabilité	+ + + + +	+ + +	+ + + +	+ + +
Poids	15-17 kg	10 kg	(+ + +)	(+ + + +)
Protection	-	+ + +	+ +	+
Coût	€€€	entre €€ et €€€ env	?	?
Sensibilité évolutions	ok	bouclier standard pour M100 porteur solo	peu évolutive	peu évolutive
Coût investissement	€€€	600 KF	?	?
design	----	+ + + + + (cf. gouaches)	+ + + + +	?
reparabilité	ok	pièce reparable ou à changer	idem	idem
volumes de fabrication	4900 véhicules/an	4900 véhicules/an	4900 véhicules/an	14 000 supports feux/an
Coût assemblage	€€	€	€+	€€
stockage	?	?	?	?

Acteur	Date	Information	Société	Service
assemblage R.	26/06/2001 11:11:43	€€	Renault VI	méthodes
calcul G.	26/06/2001 10:43:57	inserts	Renault VI	calcul
Chassis P.	25/06/2001 16:12:29	15-17 kg	Renault VI	BE chassis
Comm_ino F.	26/06/2001 10:39:29	solution vis+écrous	Inoplast	projet RVI
Design P.	25/06/2001 14:43:52	----	Renault VI	Design
Legardeur J.	23/06/2001 13:54:47	5 pièces	Laboratoire 3S	CI

Figure 14 : Un exemple de cartographie d'acteurs impliqués sur le projet composite

Cette fonctionnalité d'affichage du réseau permet à chacun d'être informé mutuellement sur l'ensemble des intervenants de la phase préparatoire et permet de localiser et de retrouver plus facilement les compétences qui sont déjà mobilisées sur le projet.

Ce point est très important car il permet de montrer à l'acteur que son action s'inscrit dans un projet qui mobilise par ailleurs d'autres experts. Cet aspect permet de crédibiliser davantage le projet au yeux d'un nouvel interlocuteur, et nous avons vu au chapitre 3 que ce point n'est pas toujours évident pour l'expert matériaux lorsqu'il se trouve en situation de phase préparatoire. En ce sens, la proposition de l'acteur pilote, appuyée par les participants qui ont déjà contribué au développement, trouve ici une légitimité supplémentaire pour intéresser et convaincre de nouveaux acteurs.

De plus, nous faisons l'hypothèse que la consultation du tableau du réseau doit permettre également à un acteur d'identifier les personnes qu'il peut potentiellement mobiliser pour résoudre certains points particuliers du projet. En ce sens, un acteur peut contacter les participants qui possèdent peut être déjà des informations sur le point qui le concerne plus particulièrement. Par exemple, un acteur assemblage, consulté pour un problème de liaison entre deux pièces, peut ainsi identifier le nom des différents acteurs étude impliqués sur la conception des pièces, et éventuellement le nom du responsable calcul chargé par exemple, de déterminer les vibrations de l'ensemble.

Ainsi, nous faisons l'hypothèse que dans cette situation, la possibilité de visualiser la cartographie des participants et l'ensemble du projet au travers le TCC permet alors de favoriser le rapprochement entre acteurs du réseau pour instaurer des périodes de coopération sans forcément mobiliser l'intervention de l'acteur d'interface. Cette situation permet alors de « décentraliser » la position de l'acteur d'interface et de favoriser les initiatives personnelles entre acteurs métiers.

II.3.6 Les annotations

Nous avons observé que la problématique de la conception lorsqu'elle est marquée par une situation d'asymétrie de connaissances, et plus particulièrement durant les phases préparatoires, implique souvent des difficultés de communication et de traduction entre les différents champs de compétences mobilisés. En ce sens, nous pensons que le tableau concepts/critères fournit un support multi-vues où chaque acteur peut réagir, commenter, demander des explications sur tout aspect du projet. Un des points clés de l'outil ID² concerne la possibilité d'annoter le TCC afin de formaliser les différents échanges entre les participants du projet et ainsi contribuer à favoriser l'émergence du produit par les interactions entre les métiers.

Dans cette optique, l'outil fournit plusieurs fonctionnalités pour instrumenter ces « interactions aux interfaces » des métiers par l'intermédiaire de quatre modes d'annotation du

TCC : les liens, les alarmes, les questions, et les demandes d'information (cf. TCC annoté de la figure 15).

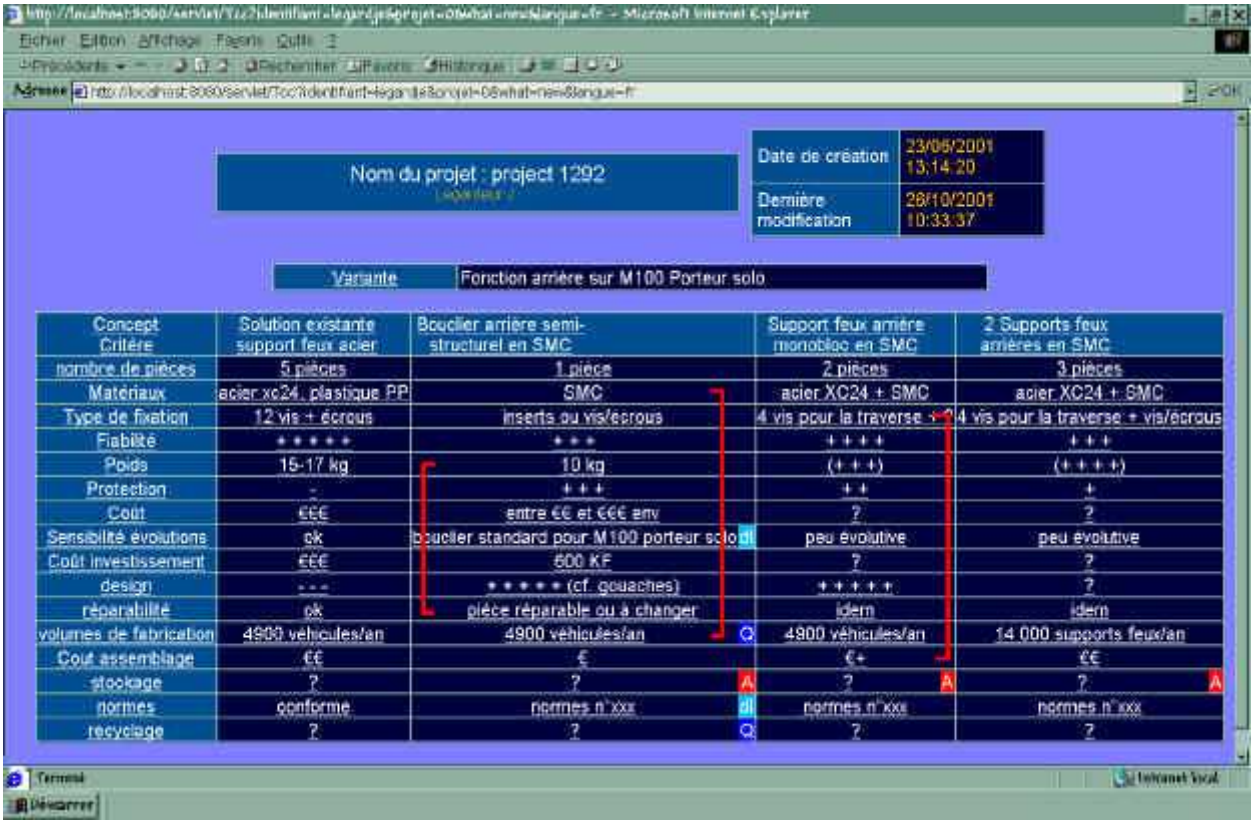


Figure 15 : Un TCC annoté par des liens, alarmes, questions et demandes d'information

II.3.6.1 Les liens

Les liens (représentés par des segments entre cellules sur le TCC de la figure 15) ont pour fonction de permettre aux acteurs de relier ou de poser un principe de liaison entre deux informations dépendantes. Ces entités permettent à un acteur de pointer et d'attirer l'attention des autres participants sur des contraintes de dépendance entre différents aspects du projet.

L'objectif est surtout d'identifier et de partager au sein du réseau des contraintes qui peuvent parfois être oubliées au fur et à mesure que le projet avance. Par exemple, le responsable étude mobilisé sur le chiffrage du coût d'assemblage d'une solution bouclier peut préciser que son estimation a été réalisée en faisant l'hypothèse d'une fixation par vis/écrous (voir figure 16). Ainsi, si le choix pour la solution d'assemblage évolue (utilisation d'inserts par exemple), le lien permet de rappeler la nécessité de reprendre l'estimation proposée.

D'autres exemples anecdotiques tirés du projet composite peuvent également illustrer cette notion de lien. Par exemple, lors d'une réunion avec l'acteur marketing, ce dernier avait fait valoir un critère de réparabilité et notamment, suite à une proposition du fournisseur, d'utiliser une solution de collage pour la fixation du bouclier. Cette proposition peut alors se traduire par un lien entre le type de fixation du bouclier et son critère réparabilité spécifiant ici

une préconisation de solution démontable pour permettre la maintenance du bouclier. De plus, l'acteur marketing avait également insisté sur le problème posé par le poids d'un bouclier monobloc. Un tel bouclier pouvait poser des inconvénients pour les opérations de maintenance par rapport à une solution acier, certes plus lourde, mais démontable en plusieurs parties. Ainsi, nous voyons ici comment un lien entre poids et réparabilité du bouclier peut contribuer à définir de nouvelles contraintes pour la suite du développement.

Description:
Ce chiffrage est effectué avec une solution de type vis/écrous

Concept Critère	Support feux arrière monobloc en SMC
Cout assemblage	€+

Concept Critère	Support feux arrière monobloc en SMC
Type de fixation	4 vis pour la traverse + 7

Concept Critère	Solution existante support feux acier	Bouclier arrière semi-structurel en SMC	Support feux arrière monobloc en SMC	2 Supports feux arrières en SMC
nombre de pièces	5 pièces	1 pièce	2 pièces	
Matériaux	acier xc24, plastique PP	SMC	acier XC24 + SMC	acie
Type de fixation	12 vis + écrous	inserts ou vis/écrous	4 vis pour la traverse + 7	4 vis pour la
Fiabilité	+ + + + +	+ + +	+ + + +	
Poids	15-17 kg	10 kg	(+ + +)	
Protection	-	+ + +	+ +	
Coût	€€€	entre €€ et €€€ env	?	
Sensibilité évolutions	ok	bouclier standard pour M100 porteur solo	peu évolutive	p
Coût investissement	€€€	600 KF	?	
design	- - -	+ + + + + (cf. gouaches)	+ + + + +	
réparabilité	ok	pièce réparable ou à changer	idem	
volumes de fabrication	4900 véhicules/an	4900 véhicules/an	4900 véhicules/an	14 000
Cout assemblage	€€	€	€+	

Figure 16 : Exemple d'annotation par un lien

Les quelques exemples tirés du projet composite ne sont pas exhaustifs et nous pouvons imaginer que ces liens puissent également faire émerger dans l'action de nouveaux critères, de nouvelles annotations, et de nouvelles alternatives. De plus, les liens permettent de repérer visuellement des relations entre des informations issues de domaines de compétences relativement différents. Leur structure dynamique permet aux acteurs de les adapter au contexte et d'assurer une certaine propagation des contraintes au sein du réseau. En ce sens, ils peuvent également contribuer à provoquer une réunion entre les acteurs concernés dans le cas où des contraintes trop antagonistes sont identifiées.

II.3.6.2 Les alarmes

Les alarmes (représentées par les icônes A sur le TCC de la figure 15) ont pour fonction de signaler une mise en garde d'un acteur sur un point particulier. Cette fonctionnalité est particulièrement utile pour repérer au plus tôt et formaliser les risques techniques, économiques, commerciaux, d'une solution. Ainsi, un spécialiste du SMC pourra attirer l'attention sur la nécessité de tenir compte des spécificités du stockage d'une pièce SMC (par exemple, éviter d'empiler les pièces lors du stockage pour ne pas les déformer) cf. figure 17.

Cette alarme pourra éventuellement donner des indications importantes pour un responsable du chiffrage de la solution ou pour un responsable industrialisation chargé de définir les gammes de montage dans les phases de réalisation. Nous voyons ici par cet exemple, comment ces annotations peuvent alors constituer des prises pour les autres métiers et ainsi contribuées à instrumenter les échanges aux interfaces des métiers.

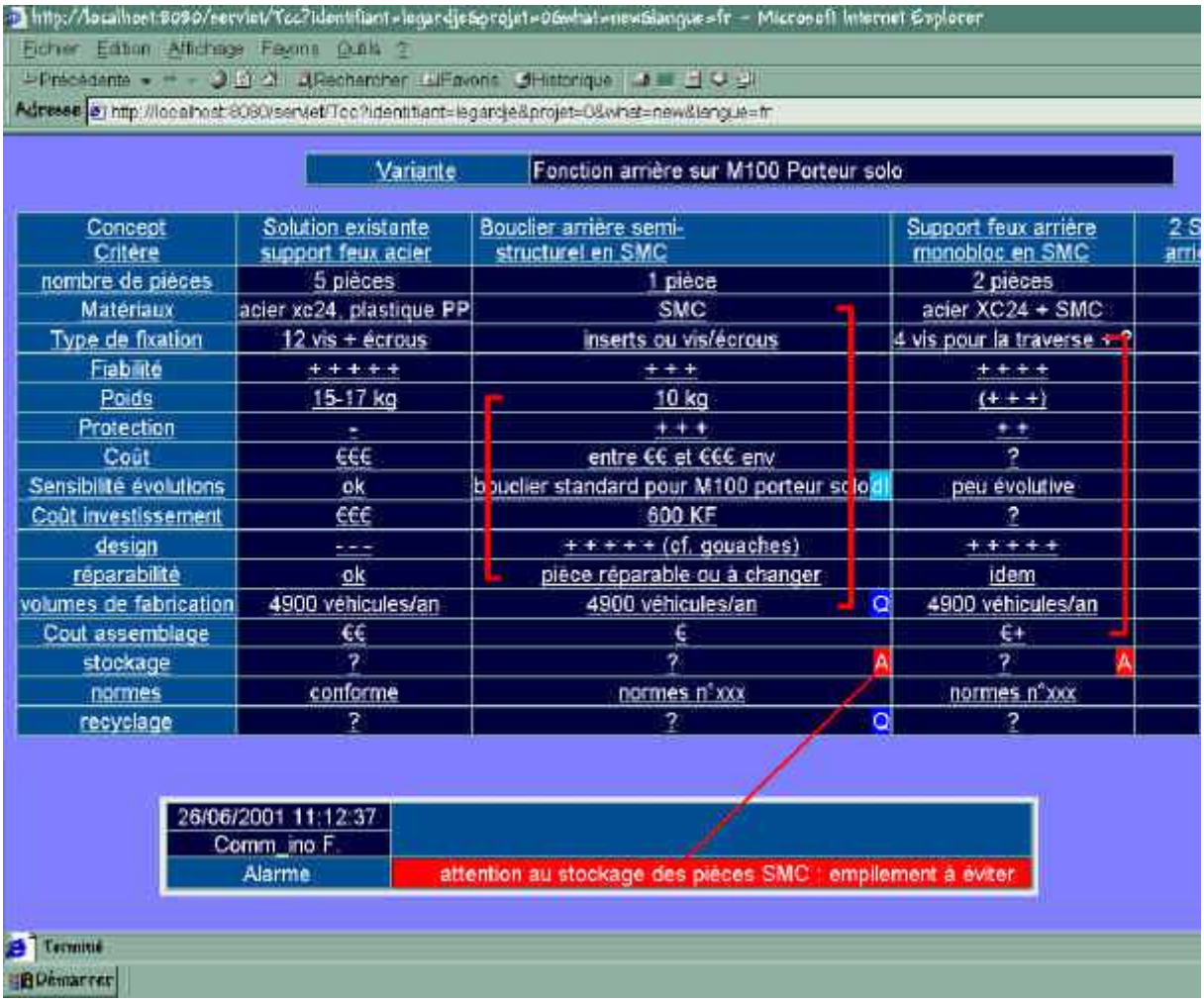


Figure 17 : Exemple d'annotation par une alarme

Cette fonctionnalité d'alarme fait suite à nos observations qui montrent que le collectif de la conception procède souvent par ce type d'interaction et de mise en garde pour s'ajuster. Ainsi, nous pensons que ces alarmes participent à la mise à l'épreuve des concepts proposés et permettent de développer de nouveaux arguments et de nouvelles expertises qui contribuent, de fait, à consolider les propositions innovantes. Ainsi, nous avons pu voir au chapitre 2 comment la question des volumes de fabrication est venue orientée la conception du bouclier. En effet, une recommandation (ou alarme dans le formalisme ID²) concernait le volume de fabrication et la nécessité d'atteindre un volume de 5000 pièces pour ce type d'application en SMC. Ainsi, nous avons pu voir comment cette alarme a permis d'aborder la question de la standardisation du bouclier pour atteindre ces 5000 pièces. De plus, certains acteurs peuvent pointer sur des alarmes qu'ils ont identifiées mais ils peuvent en outre, proposer une piste de

réflexion sur l'action à mener, ou recommander un acteur à contacter pour résoudre le problème. De ce fait, nous pensons que ces alarmes peuvent conduire à favoriser le développement d'une solution innovante en identifiant les problèmes à venir, et en anticipant au plus tôt sur les actions à mener pour renforcer cette solution.

II.3.6.3 Les questions

Les questions (représentées par les icônes Q sur le TCC de la figure 15 et l'exemple de la figure 18) illustrent le besoin pour un acteur de rechercher une information sur un point particulier.

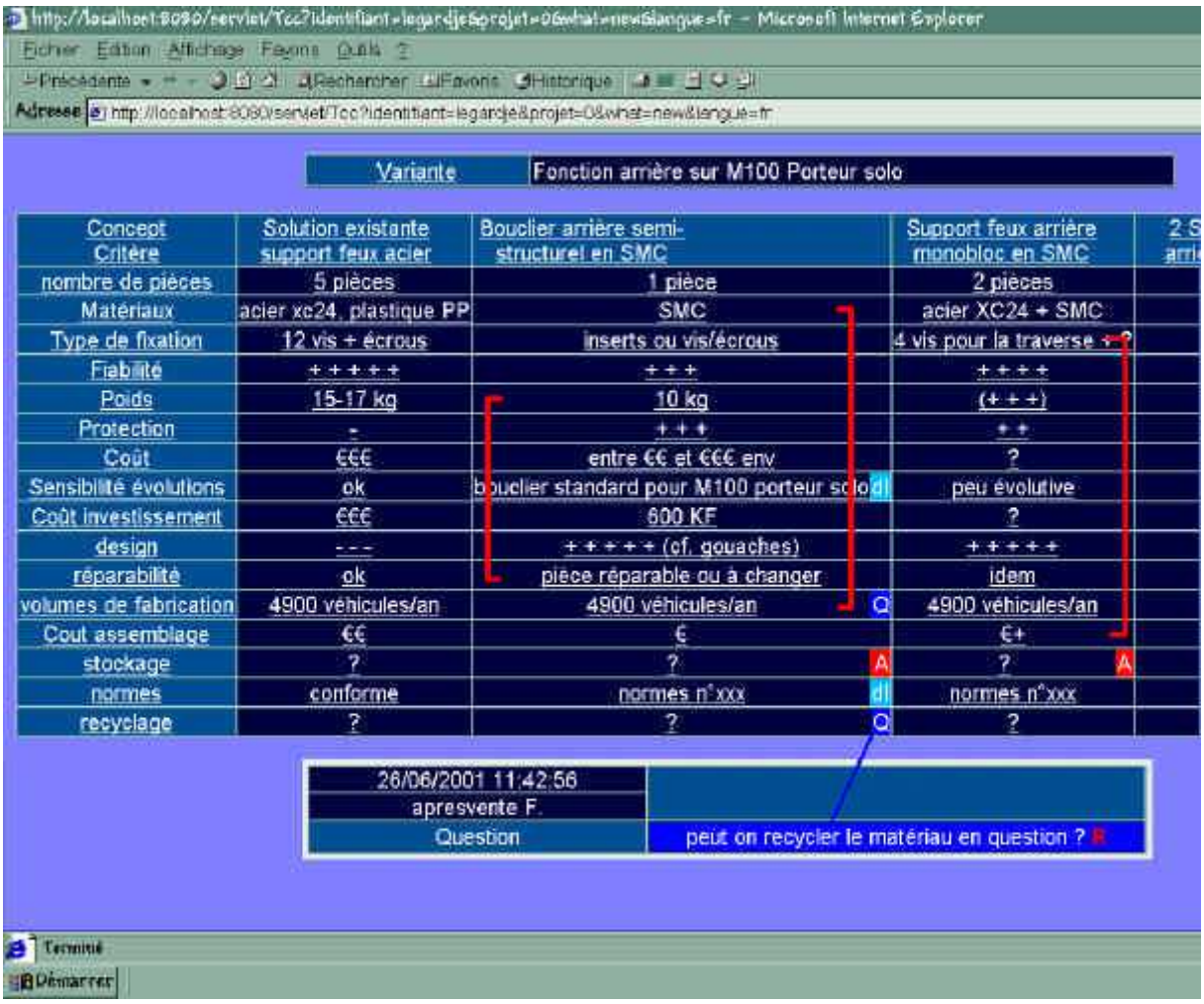


Figure 18 : Exemple d'annotation par une question

Par exemple, sur la figure 18, un acteur du service après-vente peut poser une question sur la recyclabilité du matériau proposé. Par la suite, des éléments de réponse peuvent être progressivement apportés par un ou plusieurs acteurs. Mais, les questions contribuent à marquer le degré d'incertitude qui pèse sur la solution et permettent également d'engager des débats dont les échanges sont capitalisés dans des arborescences (voir la figure 19) qui peuvent fournir des indications précieuses pour le projet. Lors de ces confrontations, de

nouveaux éléments (critères, informations, annotations) peuvent émerger et éventuellement orienter le projet vers de nouvelles alternatives et de nouvelles actions.

Acteur	Question
apresvente F.	peut on recycler le matériau en question ?
Acteur	Réponses
Legardeur J.	Oui, grâce à des procédés de broyage qui permettent la réutilisation des SMC soit dans la fabrication de nouvelles pièces, soit dans la comoosition des revêtements autoroutiers
apresvente F.	est ce qu il existe des entreprises spécialisées dans ce domaine ?
Legardeur J.	Oui, l entreprise X réalise ce type d opérations. Contacter M. Y

Figure 19 : Exemple d'un débat sur la recyclabilité du SMC

De ce fait, nous pensons que ce type d'annotation permet également de faire circuler des informations et de mettre à jour de nouvelles connaissances au sein du réseau. En effet, les questions et les réponses associées sont partageables par l'ensemble des acteurs qui peuvent ainsi profiter de l'ensemble de ces informations pour élaborer éventuellement de nouvelles connaissances. De plus, nous insistons sur le fait que le partage de ces annotations s'il est tout aussi important pour la propagation des réponses l'est également pour la diffusion des questions. En effet, lorsqu'une question est posée, c'est tout un réseau d'acteurs qui est potentiellement interrogé et mobilisé. A travers l'outil, ces derniers sont alors alertés sur certaines situations de « pannes » d'information et peuvent alors soit apporter des éléments de réponse, soir renvoyer à un acteur de l'entreprise susceptible d'apporter un éclaircissement. Nous retrouvons ici l'enjeu et le rôle des «relations connexes » [Régnier 95] exposées au chapitre 3. En effet, chaque acteur peut potentiellement mobiliser son propre réseau relationnel pour trouver un interlocuteur approprié à la question soulevée. De ce fait, nous faisons l'hypothèse que l'outil propose un support intéressant pour formaliser les questions qui sont plus rapidement et plus facilement diffusées dans l'entreprise grâce à une certaine mise en relation des différents réseaux qui sont reliés au collectif de conception. Nous pensons que cette configuration permet alors d'augmenter sensiblement les probabilités d'identifier des actions à mettre en œuvre ou d'obtenir des réponses. Il est en effet trop fréquent de rencontrer en entreprise des situations où les questions sont posées à un nombre restreint de participants, lors de réunions et d'échanges entre acteurs, et ne sont pas forcément partagées par l'ensemble des participants du projet.

De plus, certaines réponses apportées peuvent contribuer à consolider une proposition de nouvelle solution. Par exemple, lors de notre étude sur les experts matériaux, nous avons vu l'enjeu d'instaurer des relations de confiance entre les acteurs lors des phases préparatoires pour favoriser le développement d'une solution innovante. Dans cette optique, nous avons vu également que ces relations de confiance nécessitent, entre autre, de rassurer les interlocuteurs sur de nombreux aspects du projet. En ce sens, les réponses apportées (avec l'aide d'un fournisseur expert par exemple) à certaines questions sur le nouveau matériau proposé, ou sur la nouvelle solution, permettent alors de crédibiliser davantage la proposition. Cette action permet alors de réduire certains préjugés en répondant à des questions, qui sont parfois

triviales pour l'acteur métier concerné et l'acteur d'interface, mais qui restent énigmatiques pour les autres acteurs du réseau. Par exemple, lors du projet composite, la question de la tenue des pièces en SMC lors du passage en bain de cataphorèse[14] a été souvent abordée. Ainsi, en précisant dans une réponse que ce matériau présente des caractéristiques qui lui autorisent le passage en bain de cataphorèse dans certaines conditions, l'outil permet de publier ce résultat à l'ensemble du réseau, et prépare de fait, les conditions nécessaires au développement des processus d'intéressement de nouveaux acteurs. La question sur la compétence du fournisseur impliqué dans le développement et plus particulièrement de sa codification[15] peut également faire partie de ces éléments. Ainsi, ces échanges de questions/réponses ne se limitent pas uniquement aux aspects techniques, et peuvent concerner des domaines de compétences très variées.

II.3.6.4 Les demandes d'information

Les demandes d'information (représentées par les icônes dI sur le TCC de la figure 15) permettent aux acteurs de marquer leur intérêt concernant un point particulier du développement. Ce type d'annotation permet aux acteurs d'être prévenus[16] au plus tôt de tout ajout de nouvelles informations sur un aspect très précis du projet. Par exemple, un acteur étude peut éventuellement demander à recevoir toutes les nouvelles informations concernant les évolutions successives des normes de réglementation sur la pièce en cours de conception. Cette fonctionnalité peut être également utilisée pour optimiser la coordination de certaines tâches qui nécessitent la réalisation d'opérations précédentes. Par exemple, un acteur calcul peut utiliser cette fonctionnalité pour être prévenu de la disponibilité du compte rendu des essais mécaniques chargés de mesurer les efforts appliqués sur la pièce qu'il doit par la suite calculer.

Par ailleurs, une demande d'information peut être éventuellement soumise par un acteur sur un point du projet pour obtenir des réponses à un problème qui se pose également sur un autre de ses développements en cours. Par exemple, deux problèmes qui présentent des aspects relativement proches peuvent être traités par deux collectifs de conception mobilisés sur des projets distincts. Dans cette situation, les demandes d'information peuvent alors permettre de faire circuler au plus vite les derniers résultats des deux groupes pour accélérer la

[14] Le traitement par cataphorèse est utilisé pour traiter principalement les pièces du châssis afin d'augmenter leur tenue à la corrosion.

[15] La codification d'un fournisseur est un critère très important pour le service achat car il permet d'avoir une assurance sur les procédures, les méthodes de travail et la qualité des services du fournisseur. Certains fournisseurs sont codifiés après expertise et audit sur le site de Renault VI. Cependant, il peut arriver qu'un fournisseur soit codifié suite à un projet mené avec des acteurs de Renault VI. Par contre, un acheteur rattaché à un bureau d'études qui est traditionnellement utilisateur des pièces métalliques, connaît très rarement les fournisseurs de pièces plastiques et composites de l'entreprise. Ainsi, nous avons pu voir les experts matériaux transmettre le numéro de codification d'un fournisseur pour rassurer l'acheteur qui n'est pas alors obligé de lancer des procédures de codification.

[16] Le codage et le couplage avec une messagerie électronique semble être une alternative intéressante pour cette annotation mais la maquette ne permet pas encore d'envoyer un message automatique.

convergence vers une ou plusieurs solutions. Nous faisons l'hypothèse que cette annotation peut donc être au service des acteurs pour assurer un certain partage des informations d'un projet à l'autre.

II.3.7 Le Show Room

Lors des phases préparatoires, nous avons pu observer comment l'expert matériaux pouvait étayer ses propositions de concepts en montrant des applications existantes ou en cours d'étude dans différents domaines pour renforcer la légitimité de la solution innovante auprès des différents acteurs. Nous proposons d'intégrer dans ID², un module *Show Room* (ce terme est souvent employé chez Renault VI pour désigner des opérations de présentation de nouveaux produits par les équipementiers et les fournisseurs). Dans ce module, les données issues de la veille technologique (photographies de pièces concurrentes, de prototypes, d'applications dans d'autres domaines, etc.), ou des documents permettant de présenter la technologie proposée peuvent être rassemblées sous forme de pages de présentation de croquis, d'images et d'animations vidéo. Ces pages (voir un exemple sur la figure 20) sont spécifiques et sont propres à un projet et permettent à l'acteur pilote d'informer et de montrer de manière pragmatique aux interlocuteurs, des exemples concrets d'applications relativement similaires (même matériau ou même concept) pour renforcer sa propre proposition.

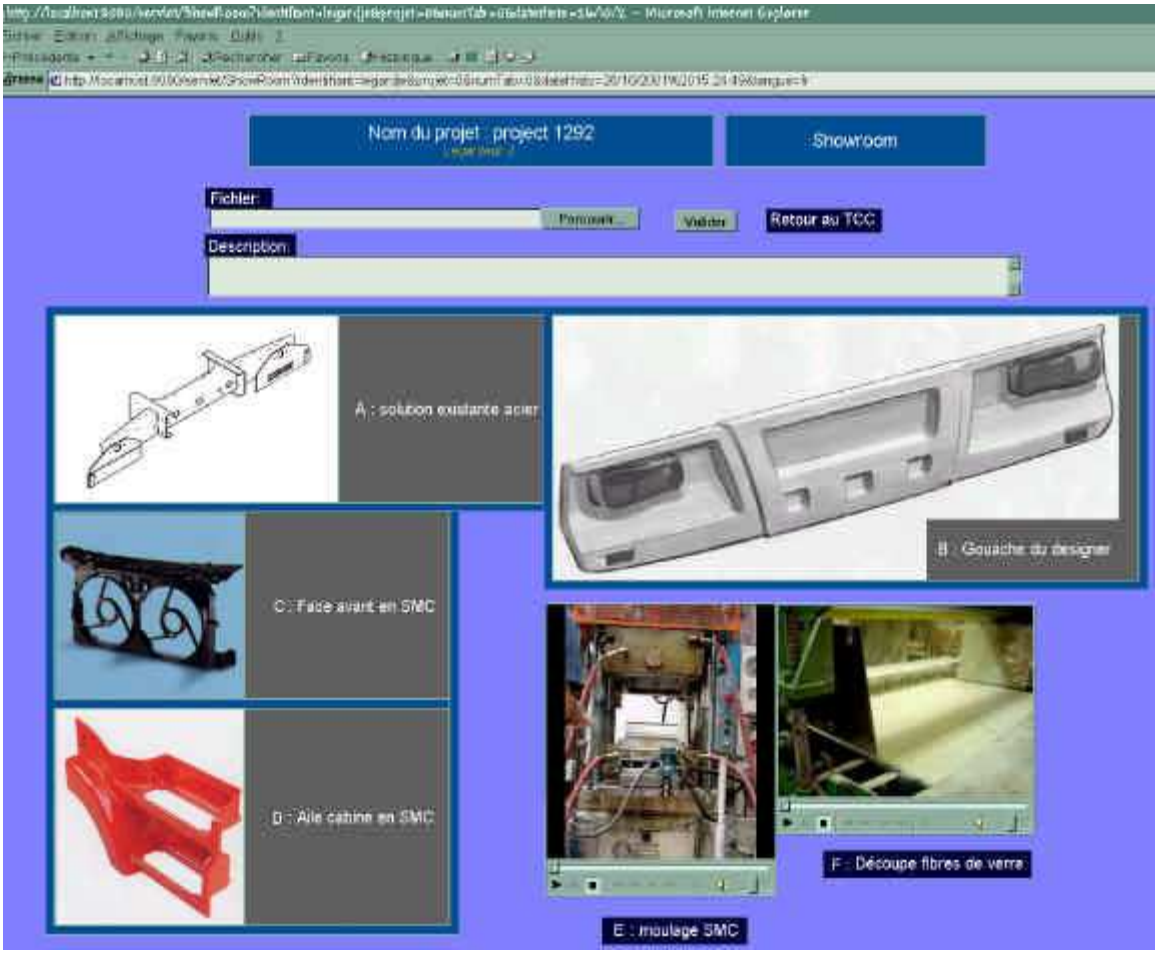


Figure 20 : Exemples de données du Show Room du projet bouclier

De plus, cette présentation en Show Room peut permettre d'initier des processus d'appropriation de la technologie proposée et favoriser la créativité, les débats et la génération de nouvelles idées. A ce sujet, lors d'une séance de *brainstorming*, nous avons pu voir un expert matériaux qui présentait plusieurs applications en technologie polymère du domaine automobile. Ainsi, suite à cette présentation, certains acteurs, spécialistes des technologies de la métallurgie, avaient pu alors proposer spontanément des nouveaux concepts de pièces plastiques suite à la présentation de l'expert matériaux. Ainsi, nous proposons à travers ce module Show Room, une fonctionnalité pour crédibiliser et légitimer les propositions tout en favorisant ici une certaine créativité et l'émergence de nouveaux concepts.

II.4 L'utilisation de l'outil ID² dans la dynamique des projets

Nous venons de découvrir la plupart des fonctionnalités de cet outil ID² par contre, nous proposons maintenant de découvrir celles qui ont trait au mode d'utilisation que nous avons imaginé pour intégrer cet outil dans une organisation. Ainsi, nous avons vu comment les informations étaient structurées dans l'outil, nous proposons maintenant de répondre à une question centrale qui concerne le mode de saisie de ces informations : comment les acteurs utilisent et documentent le TCC et les différentes informations dans ID² lors des projets ?

II.4.1 Les droits d'accès en lecture

Nous avons vu que l'outil distingue le pilote et les acteurs du réseau lors de l'étape d'identification. Cependant, il faut noter qu'un acteur peut utiliser l'outil en alternant les deux statuts : il sera pilote sur les propres projets dont il a eu l'initiative, et il sera un acteur du réseau pour les autres projets sur lesquels il a pu être enrôlé par d'autres acteurs pilotes.

Nous avons également fait remarquer que l'outil est conçu pour être au service de la stratégie de l'acteur pilote. De ce fait, cet acteur particulier peut disposer de fonctionnalités que ne possèdent pas les autres acteurs. Par exemple, il peut définir les droits d'accès de son projet en interdisant l'entrée et la consultation à certains utilisateurs (figure 21). Cette fonctionnalité permet de définir le niveau de partage de son projet qui peut être ainsi diffusé publiquement ou partiellement à l'ensemble des utilisateurs, ou éventuellement rester dans le domaine privé du pilote. Ce point est très important dans la perspective d'une utilisation en phase préparatoire qui nécessite parfois de conserver un répertoire privé ou ce que certains auteurs décrivent comme un « jardin secret » [Charue-Duboc 00] qui permet d'explorer des pistes de produits et dont la créativité suppose des marges de liberté et d'autonomie. D'autres expériences sur la conception [Gracc 01] montrent également le besoin des concepteurs de travailler sur des objets privés et publics. De ce fait, l'action de filtre du pilote peut se décliner à plusieurs niveaux dans ID². Ainsi, au sein du réseau d'acteurs qui possèdent une autorisation de connexion sur le projet, l'acteur pilote peut également définir à tout moment, des masques très locaux sur certaines informations ou sur certains critères. Par exemple, une information sur la tenue mécanique d'une nouvelle pièce peut être masquée temporairement à certains acteurs relativement légalistes à cette solution afin de ne pas mettre en péril les processus

d'intéressement au projet, et en attendant d'optimiser le dimensionnement de la pièce avec d'autres participants.

Figure 21 : Autorisation d'accès sur un projet

De la même manière, un critère (donc une ligne complète du tableau) peut être masqué par l'acteur pilote à certains acteurs du réseau. Par exemple, sur la figure 22, le critère coût (qui peut comporter des informations sur le chiffrage de la solution actuelle), a été volontairement masqué par le pilote à plusieurs acteurs du fournisseur.

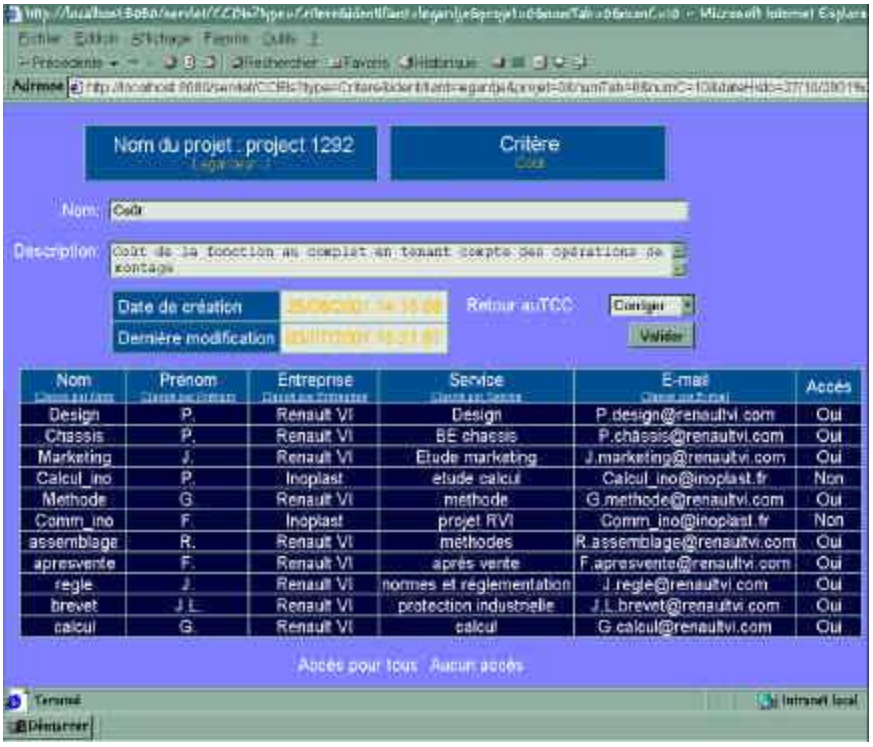


Figure 22 : Autorisation d'accès sur un critère

Ces différentes fonctionnalités de masque permettent à l'acteur pilote de configurer et d'adapter le TCC complet de la base de données en fonction de ses interlocuteurs et du contexte du projet. Nous retrouvons ici l'enjeu, et la possibilité, pour l'acteur pilote de développer des stratégies pour organiser le partage des informations afin de favoriser les processus d'intéressement et créer des irréversibilités lors des phases amont du projet.

II.4.2 Le protocole d'accès en écriture de l'outil ID²

Lors de la conception de cet outil, nous avons été très vite confrontés à la question du rôle de chaque utilisateur pour renseigner et documenter les TCC et les informations des projets dans ID². Ainsi, nous avons eu le choix entre deux alternatives possibles :

- soit l'acteur pilote avait la charge de rentrer l'ensemble des informations dans la base de données de l'outil,
- soit les acteurs du réseau pouvaient librement documenter eux-mêmes la base de données.

Les deux configurations présentaient des avantages et des inconvénients :

- dans le premier cas, l'écriture des informations par l'acteur pilote permettait de bien structurer et de présenter les données car ces dernières étaient triées, arrangées, et éventuellement reformulées par une seule et même personne. Par contre, cette situation demandait au pilote un travail supplémentaire pour réaliser cette tâche même si les fonctionnalités de l'outil permettaient d'envisager des opérations de type copier-coller des documents reçus par les autres acteurs du réseau.
- dans le second cas, l'accès en écriture aux différents acteurs permettait de distribuer cette tâche et de favoriser la quantité d'informations saisies. Par contre, la qualité des informations et la liberté d'écriture dans la base de données pouvaient alors poser un réel problème sur la lisibilité et la réutilisation des informations.

Ainsi, nous avons alors imaginé une troisième possibilité basée sur les deux configurations précédentes afin de combiner leurs avantages. Cette solution vise à proposer une alternative où les acteurs peuvent remplir et documenter librement les champs de saisie de l'outil ID², mais l'enregistrement sur la base de données nécessite la validation du pilote. De ce fait, chaque nouvelle information est donc envoyée à l'acteur pilote qui peut alors valider, mettre en attente, ou éventuellement supprimer les informations qui ont été préalablement renseignées par les autres participants du projet.

Si l'acteur pilote valide les informations envoyées par un acteur du réseau, le TCC est remis à jour dans la base de données et le projet est accessible aux autres utilisateurs avec les nouvelles informations, et les nouvelles annotations de l'acteur réseau. Par contre, si l'acteur pilote met en attente les informations de l'acteur réseau, la base de données et le TCC ne sont pas modifiés, et seul le pilote accède à un « TCC privé » qui permet de visualiser les nouvelles informations de l'acteur réseau. Dans ce cas, le pilote peut contacter l'acteur réseau

pour avoir plus de renseignements sur les informations reçues avant de les valider. A ce sujet, l'outil propose également une fonctionnalité de « correction » à l'acteur pilote qui peut alors modifier et reformuler certaines informations si nécessaire. Il faut noter que cette action doit se faire avec accord de l'auteur des informations pour éviter des problèmes de responsabilité des informations.

Le pilote peut donc contrôler les informations qui proviennent de chaque participant, mais ces derniers sont totalement libres de renseigner, ou d'annoter, les TCC. Ce protocole permet à l'acteur pilote de bénéficier de l'aide très utile de l'ensemble des utilisateurs pour documenter le projet. Ainsi, lorsque le pilote valide directement les informations, son action est presque transparente pour les utilisateurs. Par contre, le pilote peut éventuellement supprimer des informations envoyées par un acteur réseau dans le cas d'une mauvaise manipulation de ce dernier (documents erronés, erreurs de destinataire, etc.).

Ce protocole d'accès en écriture pour l'outil ID² a été proposé aux différents partenaires industriels de notre recherche et a donc été retenu pour le codage de la maquette informatique. De ce fait, lorsqu'un acteur pilote se connecte sur un de ses projets, un message comportant les dernières informations apportées par les autres utilisateurs le prévient des nouvelles propositions depuis sa précédente connexion. Ce tableau (figure 23) lui permet d'avoir accès aux données dans leur totalité, il peut ainsi les valider ou les laisser en attente.

Figure 23 : Tableau des nouvelles informations en attente de validation par l'acteur pilote

Partie III. Conclusions, perspectives et limites de l'outil ID²

Nous allons voir dans cette partie les différents points sur lesquels notre outil ID² peut apporter un éclairage intéressant pour l'instrumentation de l'innovation en phase amont. Ces résultats permettront d'ouvrir vers de nouvelles perspectives pour cet outil dont nous identifierons également ses limites.

III.1 Un tableau de bord pour l'innovation

III.1.1 Un support pour l'aide à la décision pendant les phases de prospective

En conception de produit, la prise de décision et le pilotage d'un projet doivent s'appuyer sur des éléments dont la nature est très hétérogène. La question de la présentation ou de la représentation pertinente de ces éléments est ici primordiale, dans la mesure où l'on doit combiner des éléments de natures très diverses comme des maquettes, des bilans économiques, des bilans marketing, des revues de solutions technologiques, etc. Dans le contexte des phases amont, les organisations et les outils pour piloter les projets montrent ici leurs limites et ne semblent pas convenir aux pratiques des acteurs qui développent des dispositifs parallèles (les phases préparatoires constituent des exemples révélateurs). Ce constat s'explique par le fait que l'offre actuelle est majoritairement axée sur les aspects économiques et temporels du pilotage et demeure encore embryonnaire dès que l'on aborde cette question sous l'angle de la dynamique des connaissances avec une dimension socio-technique. Par contre, lors des phases préparatoires, nous avons vu la difficulté de proposer un nouveau projet en se basant uniquement sur une représentation technique de la solution.

De ce fait, lors des phases préparatoires, l'outil proposé permet d'obtenir progressivement une vision plus large qu'une simple proposition technique en rassemblant une synthèse des éléments issus des différents aspects abordés. Ainsi, les informations ne sont pas complètement "cloisonnées" dans des documents isolés, puisque l'outil participe à la mise au débat et à la mise en relation de ces informations. De plus, les « annotations aux interfaces » de type liens, questions, alarmes, étant synthétisées sous forme d'arborescences, les utilisateurs peuvent retrouver le fil conducteur du débat entre les participants, et le TCC permet de voir sur quels points portent ces échanges. Ainsi, nous pensons que le TCC et les annotations permettent de visualiser une certaine représentation des solutions en phase amont de conception mais cet outil permet également de conserver une certaine représentation synthétique de la logique de conception mise en œuvre par l'ensemble des acteurs pour évaluer et faire évoluer la solution.

De plus, la traçabilité des différentes modifications concernant les tableaux est assurée par un fonction « historique » du projet, et nous avons vu que les différentes arborescences

permettent de retrouver le thème principal des échanges entre les acteurs. En ce sens, l'outil représente une certaine mise en mémoire des arguments clés, des noms d'acteurs mobilisés, et du contexte qui ont conduit à faire des choix lors du projet. L'acteur pilote peut ainsi construire une justification et une argumentation relativement solide vis à vis des directions de projets en donnant des éléments pertinents pour expliquer le choix des solutions concernant sa proposition innovante.

III.1.2 Identifier les points forts et les zones fragiles du projet

Les résultats des interactions sont donc synthétisés dans le TCC. Nous pensons que ce support peut constituer un tableau de bord permettant de dresser un état des lieux du développement afin de repérer les points forts et les zones fragiles de la solution proposée. En cours de projet, ce tableau de bord peut donner des indicateurs au pilote qui peut ainsi orienter le développement en fonction de ses analyses du tableau. Par exemple, en repérant des zones peu documentées du TCC, sujettes à de nombreuses questions et alarmes, il peut ainsi concentrer ses investigations pour compléter ces points ou chercher de nouveaux alliés pour consolider sa proposition.

Par ailleurs, lors des phases préparatoires, le pilote peut ainsi repérer à travers l'analyse du tableau de bord une configuration où le lancement d'un projet est envisageable. Ainsi, lors de la phase clé du lancement effectif du projet, l'analyse du tableau peut fournir des indicateurs utiles aux décideurs sur l'évaluation des risques, sur la nature des ressources nécessaires à mobiliser par la suite (humaines, financières, etc.), sur les axes d'études à mettre en place prioritairement pour tendre vers la finalisation de l'étude et l'industrialisation d'un produit innovant.

III.2 La réutilisation des informations et les apprentissages

La dimension des savoirs est également essentielle dans l'utilisation de cet outil. Nous avons vu tout au long de cette thèse que la place des connaissances est centrale dans les processus de conception et d'innovation. Par ailleurs, nous avons pu montrer lors des chapitres précédents comment les débats autour de nouvelles solutions pouvaient conduire à l'élaboration de nouveaux savoirs et à de nouveaux « compromis créatifs » [Weil 99]. Par contre, la question de l'innovation doit être mise en tension avec celle de la capitalisation des connaissances et de ces nouveaux savoirs qui vont se construire dans l'interaction. Il est maintenant établi que les projets et les développements servent de creuset pour l'élaboration de nouvelles connaissances. Par ailleurs, les organisations dites « par projet » tendent à favoriser le respect des objectifs de coût, de qualité et de délai mais n'offrent pas de réelles opportunités à la capitalisation des connaissances et à une certaine conduite de l'innovation. A ce sujet, certains auteurs [Tiger et Weil 01] s'interrogent alors sur l'articulation entre la conduite de projet, alimentée par des contraintes de plus en plus fortes pesant sur le collectif de la conception, et une démarche de capitalisation de nouvelles connaissances pour favoriser l'innovation. Les auteurs montrent que la capitalisation doit être pensée comme croisée et qu'elle doit

s'accompagner d'un système facilitant les échanges et la confrontation entre les savoirs. Par ailleurs, les auteurs montrent que cette organisation de l'échange et du croisement des savoirs capitalisés ne bénéficie pas encore de dispositifs et d'organisations spécifiques, pas plus que ne sont clairement posées les questions de la production des savoirs et d'une certaine conduite de l'innovation. Ce constat se retrouve également dans d'autres travaux et notamment dans [Prudhomme 99] qui montrent que le processus de conception ne peut se passer de dispositifs de mémorisation. A ce sujet, l'auteur préconise de capitaliser :

- les critères de conception qui vont émerger des interactions,
- des connaissances issues de compromis avec d'autres acteurs,
- des raisons qui conduisent aux décisions prises,
- des incertitudes persistantes, qui se traduisent par des questions.

A travers la proposition de l'outil, nous pensons apporter ici une contribution originale pour capitaliser et surtout réutiliser les informations des projets en cours ou des projets antérieurs et favoriser les processus d'apprentissage. Ces points seront développés dans les paragraphes suivants et viendront clôturer les fonctionnalités proposées par cet outil ID².

III.2.1 Une capitalisation des informations en cours d'action

Nous avons vu que la structure proposée par cet outil incite les acteurs à formuler et à expliciter leurs propres critères qui seront plus facilement mis au débat au sein du réseau. Ainsi, les connaissances métiers sont tournées vers l'explicitation et la confrontation avec les autres connaissances métiers. Le degré de formalisation et de diffusion de l'information est très important dans la perspective de réutilisation de celle-ci pour les projets futurs. Dans cette optique, nous avons vu que la structure permet de supporter différents niveaux d'utilisation où les acteurs peuvent formuler simplement une information ou un critère ou spécifier de manière plus complète leur contribution.

Par contre, il faut noter que les informations sont filtrées par le pilote et capitalisées en cours d'action ; ce qui représente un gain de temps (et d'énergie) par rapport à une capitalisation classique comme peut l'être un compte rendu de projet que l'on rédige souvent après le déroulement du projet. Par contre, ce type de capitalisation en cours d'action ne peut posséder le même statut qu'une capitalisation *a posteriori* du projet qui permet une certaine réflexion et un certain recul sur les évènements du projet. La capitalisation *a posteriori* correspond à ce que l'on retrouve le plus souvent dans les outils actuels. Il s'agit de la mise en mémoire d'un certain nombre d'informations, structurées et réutilisables par des acteurs (en général experts du domaine). La capitalisation d'expérience sous forme de check lists, de fiches, de glossaires, sont les outils que l'on rencontre fréquemment. On retrouve sur le site [Acacia 00], les références aux méthodes actuelles les plus répandues (MEREX, MKSM, etc.). Ce sont des outils de structuration des connaissances au niveau de la mémoire de l'entreprise ou d'un département qui nécessite des ressources pour être renseignés après un projet.

Dans notre proposition d'outil, la capitalisation des informations s'inscrit naturellement dans le cours du projet et ne nécessite pas réellement de ressources supplémentaires puisque les informations sont rentrées en cours d'action.

III.2.2 et une réutilisation pour faciliter la construction du réseau d'acteurs des projets futurs

L'enjeu est de réussir à faire tenir le couple capitalisation/exploitation. En effet, cela ne sert à rien de penser à la capitalisation si on ne pense pas à la possible réutilisation des informations. Dans notre cas, nous visons un niveau plus local que celui proposé par les outils précédemment cités.

Dans cette optique, il est prévu de développer prochainement des fonctionnalités de recherche par mots clés au niveau des différents champs afin de permettre d'explorer transversalement les projets de la base de données. Ainsi, nous pensons que ces fonctionnalités de recherche par mots clés dans les bases de données de l'outil permettront alors d'obtenir des réponses pertinentes lorsqu'un acteur sera confronté à un nouveau projet ou à un problème particulier.

En effet, nous pouvons imaginer que de nombreuses informations ou alternatives de solution vont être conservées dans la base de données de l'outil y compris celles qui n'ont pas forcément été retenues pour les projets. De ce fait, nous faisons l'hypothèse que ces informations et ces embryons de solutions peuvent constituer autant de départs de nouvelles trajectoires pour l'innovation suite à un changement de contexte ou suite à la mobilisation d'un nouveau réseau de compétences.

Par ailleurs, nous pensons que la conservation des liens entre les informations et les acteurs qui les détiennent, permet de localiser et de retrouver plus facilement des compétences ou des "sources de connaissances" de l'entreprise, i.e. l'ensemble des acteurs qui possèdent la connaissance sur certains points très précis. Ainsi, nous pensons que notre outil n'est pas un outil de capitalisation de connaissances[17] mais un outil de capitalisation d'informations qui permet de retrouver l'identité des acteurs qui ont mobilisé ces informations et ainsi garder la richesse des apprentissages qui peuvent la rencontre. Ainsi, un acteur confronté à un problème de vibration au niveau de l'assemblage entre un matériau composite et un matériau acier par exemple, peut alors effectuer une recherche par mots clés (assemblage, vibration, nom du matériau composite, etc.). Les retours des recherches peuvent être des noms de projets et des TCC à consulter, ainsi que le nom des acteurs qui ont déjà croisé ce type de mots clés dans des projets précédents. Ainsi, la consultation des TCC et des débats entre acteurs antérieurs permet de parcourir rapidement les différentes informations mobilisées sur le sujet et peut permettre d'apporter un éclaircissement. Par ailleurs, nous pensons que la solution qui consiste à contacter directement les différentes personnes proposées par les résultats de la

[17] Encore faut-il supposer qu'il en existe !

recherche reste une alternative que nous considérons comme la plus fructueuse pour alors échanger et transmettre des informations et éventuellement des connaissances.
En ce sens, nous pensons que notre proposition s'inscrit dans une offre complémentaire par rapport aux revues de projet qui sont rarement spontanément consultées (d'après les retours de nos partenaires industriels) au regard de l'énergie et du temps nécessaires pour trouver une information pertinente. De la même manière, un acteur confronté à un projet, ou à un problème nouveau, ne vas pas parcourir l'ensemble de l'annuaire de l'entreprise pour questionner tous les acteurs de l'entreprise pour savoir si éventuellement un de ces acteurs peut l'aider. En ce sens, notre outil permet d'interroger rapidement et facilement par mots clés l'ensemble des projets. Cette première recherche permet d'orienter l'acteur vers une nouvelle recherche plus approfondie par exemple dans un compte rendu de projet et/ou l'oriente vers un ou plusieurs acteurs qui peuvent lui apporter des éléments de réponse. A ce sujet, nous avons vu, au chapitre 3, que les experts matériaux procédaient souvent avec ce même type de démarche en faisant appel à leur mémoire pour retrouver le nom des projets et des acteurs qui pourraient les aider. Ainsi, l'outil devrait permettre de fournir une liste plus complète d'acteurs et de projets. Ces informations constituent autant d'opportunités pour faire avancer le développement d'une solution. En effet, nous faisons l'hypothèse que dans le cas de l'introduction d'une nouvelle technologie en phase amont, la capacité à réutiliser les expériences de conception antérieures, et surtout à mobiliser les compétences disponibles dans l'entreprise et chez les fournisseurs, sont souvent des éléments stratégiques qui peuvent constituer des alliés et donc favoriser le développement de l'innovation.

Cet aspect de réutilisation des compétences sur des points particuliers d'un projet est très important car il permet de cartographier au sein de l'entreprise un « répertoire de compétences ». L'enjeu n'est pas de proposer un organigramme générique des services mais d'identifier et de réutiliser des nœuds de compétences locaux développées sur des points précis d'un projet. En effet, de nombreux industriels nous ont confié que : *"dans l'entreprise, on passe du temps à refaire ce que d'autres personnes ont déjà fait ou commencé"*. Ce constat est d'autant plus vrai pour une grande entreprise et lorsque les acteurs sont regroupés dans des services et des départements distincts. Ainsi, nous pensons que l'utilisation transversale d'un outil comme ID² peut ainsi permettre de rapprocher et de croiser les expériences de chacun. De plus, l'outil permet également une certaine mise en mémoire et un certain partage pour une réutilisation des connaissances tacites selon [Nonaka et Takeuchi 95] et des « connexions relationnelles » mises en avant par [Régnier 95] qui sont les relations qui vont permettre à un acteur d'accéder à la bonne information ou de trouver la réponse à un problème qui à déjà été résolu dans l'entreprise.

III.2.3 et faciliter les dynamiques d'apprentissage.

Avec cet outil, nous proposons un support pour les acteurs qui peuvent alors appréhender le projet dans son ensemble. Cette configuration modifie considérablement les situations que nous avons pu rencontrer sur le terrain qui sont basées sur l'intervention de l'acteur d'interface chargé de présenter à chaque nouvel interlocuteur le projet. Notre proposition

vient ici changer le rapport entre les acteurs, le projet, et les apprentissages, car l'outil permet de développer des connaissances sur le métier des autres. En effet, le TCC permet de montrer une vue d'ensemble du projet et permet à des acteurs métier de se « déplacer » aux interfaces de leur domaine de compétence grâce aux critères qui offrent des prises à ces projections. Ainsi, un acteur marketing aura peut être des points de vue à faire valoir sur son domaine de compétence mais peut également réagir sur le domaine de compétence d'un acteur calcul par exemple. Ce dernier peut alors expliquer son point de vue à l'acteur marketing, etc. Bref, à travers ce support et cet outil, les interactions existent et les apprentissages peuvent se consolider entre les acteurs métier. De ce fait, les différents TCC qui agissent comme des « tableaux intermédiaires » pour reprendre le concept d'objets intermédiaires au sens de [Vinck et Jeantet 95], [Jeantet 98], servent de support de négociation entre les acteurs pour une véritable co-évaluation des solutions et contribuent par ailleurs à favoriser des processus d'apprentissages. Or nous savons que ces processus d'apprentissage au sens de [Argyris et Schön 78] sont très importants dans ce contexte car ils sont à la base de la création de connaissances communes qui favorisent les mécanismes de coopération pour les projets futurs. Avec l'instrumentation que nous proposons, l'acteur d'interface (l'acteur pilote) n'est plus le seul à bénéficier principalement des nouvelles connaissances qui vont se construire dans l'interaction. Ces connaissances vont également être potentiellement partageables au sein du réseau d'acteurs car le TCC fournit des prises à chaque utilisateur qui peut alors contacter un autre participant du projet pour avoir plus d'explications sur les informations apportées.

Par ailleurs, nous pensons que les représentations des échanges aux interfaces des métiers peuvent constituer des supports qui sont au service de la coopération et de l'apprentissage des acteurs en situation de conception. A ce sujet, les débats questions/réponses constituent des éléments où les apprentissages peuvent se développer. Ainsi, par exemple en consultant les débats du projet composite, les utilisateurs peuvent apprendre que le SMC est recyclable, qu'il supporte le passage en cataphorèse, etc.

Par ailleurs, nous pouvons imaginer une utilisation de l'outil et plus particulièrement des entités : critères, liens, questions, et alarmes, comme un nouveau type d'outil *check list* qui permettrait de confronter des listes de questions et de critères antérieurs sur certains développements en cours afin de vérifier si de nouvelles dimensions doivent éventuellement être prises en compte pour le projet. Par ailleurs, dans les perspectives d'utilisation et d'évolution de l'outil, nous pouvons imaginer qu'un travail d'analyse des annotations pourrait permettre également d'identifier des échanges relativement génériques entre acteurs pour constituer ce que certains auteurs ont qualifiés de cas d'école[18], concept proposé dans le domaine de l'intégration du calcul dans les phases de conception [Troussier 99] [Troussier et al. 98], repris dans [Baizet 00]. A noter que l'on pourrait alors comparer ces « questions/cas d'école » à ce que l'on rencontre souvent sur certains sites Internet qui propose de répondre à

[18] Le cas d'école permet d'identifier et de caractériser des situations spécifiques qui contiennent des informations jugées génériques et qui peuvent éventuellement répondre à des problèmes rencontrés dans d'autres configurations.

des questions déjà posées (cette fonctionnalité est souvent proposée dans une rubrique intitulée F.A.Q, abréviation du terme anglais *Frequently Asked Questions*).
Ainsi, les potentialités d'évolution de l'outil pour faciliter les apprentissages et la coopération sont multiples. Par contre, il convient par ailleurs dans le prochain paragraphe d'identifier les limites de notre approche pour définir les évolutions et les prochains axes de développement de l'outil ID².

III.3 Les limites et les perspectives pour ID²

III.3.1 Les limites de l'instrumentation

La première limite que nous voyons à cet outil concerne le fait qu'il s'appuie sur l'analyse d'un projet particulier (le projet composite), complétée par une étude des pratiques d'un acteur particulier (l'expert matériaux). De ce fait, même si notre étude a permis d'identifier à travers ces cas particuliers, des caractéristiques générales de l'activité d'un pilote en tant qu'acteur d'interface lors des phases amont de conception, nous devons nous interroger sur les capacités de transférer notre outil à d'autres situations. En effet, lors de nos présentations auprès de nos différents partenaires industriels, nous avons pu recevoir un accueil très positif pour cet outil et nous avons senti une certaine volonté de l'utiliser et de le tester pour des usages et des besoins différents. Cependant, il convient de rester prudent quant aux possibilités d'utiliser cet outil dans d'autres situations de conception. A ce sujet, nous verrons, lors des perspectives de cet outil, la nécessité d'effectuer un retour sur ce travail en testant et en analysant l'outil dans l'usage avec une méthodologie proche de celle que nous avons adoptée pendant cette recherche.

Le point précédent permet, au passage, de souligner la question des relations entre l'entreprise et ses fournisseurs et notamment les possibilités de faire participer ces derniers à l'enrichissement des informations dans ID². En effet, nous avons vu que le fournisseur expert joue un rôle souvent principal dans les dispositifs d'intégration produit/process en phase amont de conception. Par contre, à l'heure actuelle, il nous semble prématuré d'imaginer une utilisation de l'outil ID² à l'échelle de plusieurs entreprises car celle-ci demanderait au préalable une appropriation de l'outil sur des projets internes à chaque entreprise. De ce fait, nous avons envisagé une alternative pour permettre néanmoins l'intervention du fournisseur et de ses représentants. Cette alternative consiste à créer des profils « fournisseurs » dans le module administration de l'outil afin de permettre à l'acteur pilote de renseigner les informations issues de ces acteurs. Par ailleurs, nous pouvons alors imaginer que l'outil puisse être mobilisé et utilisé lors de réunions par l'acteur pilote (ou éventuellement par un acteur réseau) directement chez le fournisseur soit sur un ordinateur portable, soit en accédant au projet *via* le réseau Internet et en se connectant avec l'identifiant attribué au fournisseur. Le lecteur aura compris que cet identifiant aura été préalablement configuré par l'acteur pilote afin de filtrer les informations et en organisant le TCC pour masquer certaines informations et projets stratégiques. Dans cette situation, l'acteur présent chez le fournisseur peut éventuellement engager une phase d'explication et de formation sur les fonctionnalités de

l'outil pour permettre une utilisation ponctuelle des acteurs du fournisseur sur un projet relativement court.

Il faut noter que notre outil s'inscrit dans une problématique d'instrumentation des projets à l'échelle d'un développement d'une ou plusieurs applications. La structure actuelle de l'outil ne semble pas adaptée à une utilisation pour un projet de développement de systèmes entiers tels que le développement de nouveaux véhicules qui se traduiraient certainement par une explosion dans le nombre de critères et d'alternatives dans l'outil. En effet, même si l'on peut noter que l'outil permet de créer plusieurs TCC sur un même projet, cette fonctionnalité est prévue pour le cas des fonctions qui comportent plusieurs groupes de pièces mais cette alternative ne vise pas en priorité à instrumenter le développement d'un nouveau véhicule dans son ensemble.

Ainsi, le dernier point nous permet d'insister sur un aspect qui concerne le nombre d'informations et de critères qui vont être mobilisés dans l'action. En ce sens, il se peut que le nombre de critères formalisés dans l'outil soit relativement important et conduisent à une situation où le TCC soit alors peu explicite et peu exploitable visuellement. Dans ce cas, nous pouvons envisager de proposer une catégorisation des critères en plusieurs registres qui restent à définir (technique, économique, juridique, etc.) afin d'agencer les critères mais en laissant des possibilités d'évaluation au croisement de ces différents registres. Des options de visualisation peuvent également être proposées pour l'affichage des TCC : par ordre chronologique d'apparition des critères, affichage par catégories de critères, affichage sans annotations ou exclusivement avec un seul type d'annotation, etc.. Inversement, il faut avoir conscience que tous les critères n'émergent pas spontanément dans l'interaction. Ainsi, d'autres travaux [Ostrosi et al. 00] qui portent sur des outils conçus dans le but de récupérer et de structurer les critères sont confrontés aux problèmes d'identification de ces entités mobilisées par les acteurs. Nous pensons que la structure d'explicitation des critères doit permettre aux utilisateurs de l'outil ID² de formuler par eux-mêmes ces entités lorsque ces acteurs ont travaillé seul sur une partie du projet. Par contre, dans le cas d'une activité en groupe comme une réunion de projet par exemple, capter et collecter les différents critères mobilisés par le groupe est une opération plus difficile à mettre en oeuvre. A ce sujet, nous rejoignons l'idée développée dans [Ostrosi et al. 00] qui considère que dans de telles situations, le rôle d'un animateur chargé de capter et de lister les critères semble être une alternative envisageable. Dans cette optique, l'outil ID² pourrait alors servir de support à la réunion en montrant le TCC à l'ensemble des participants ; ce qui permettrait de favoriser les prises des acteurs et d'enrichir progressivement le tableau en fonction des interventions de chacun. Nous faisons alors l'hypothèse qu'une telle séance serait très profitable par la richesse et la densité des informations récoltées pour le projet. L'outil pourrait alors s'envisager dans une utilisation où il constituerait une sorte de compte rendu de la réunion réalisé de manière synchrone.

III.3.2 Vers de nouvelles perspectives

Nous avons émis des hypothèses sur l'utilisation et le devenir de cet outil. Mais gardons nous de trop anticiper sur l'évolution de cet outil au risque de perdre ce qui constitue son principal atout : sa simplicité d'utilisation et sa visée d'action industrielle. L'outil ID² n'est qu'une proposition d'un élément du processus de conception, il ne peut à lui seul réaliser l'ensemble des tâches ou participer à l'instrumentation de toutes les activités. L'outil doit alors être vu et pensé comme un élément (parmi les autres) qui vise à favoriser le processus de conception et d'innovation. Nous pensons que l'outil que nous proposons est avant tout un outil dédié à instrumenter l'activité de conception dans un contexte de phase amont de projets innovants. C'est à dire un outil d'aide à la création de connaissances, un outil de support à la coopération et à l'interaction des points de vue des acteurs, et un outil pour favoriser les apprentissages. Notre étude fait donc ressortir les deux dimensions de l'instrumentation de l'innovation : une dimension technique et une dimension liée à l'activité de conception aux interfaces. Les outils actuels du domaine de la conception (modeleur CAO, outils de calculs par éléments finis, outils de FAO, outils DFX, outils de chiffrage économique,…) sont efficaces dans leur dimension technique et dans une vue métier mais dans l'usage ils se révèlent pauvres dans la dimension des interfaces. Ainsi un outil de conception doit se qualifier par sa capacité technique mais également par rapport à son action dans le processus de conception. Il s'agit alors de non plus seulement valoriser les performances techniques de l'outil mais également ses performances d'usage [Leconte et Guffond 99] et d'interaction avec son environnement. En ce sens, nous pensons que l'outil ID² peut être vu comme un « outil aux interfaces », capable d'instrumenter la construction de liens par les métiers qui utilisent, par ailleurs, des outils spécifiques à leur domaine de compétence. L'outil aux interfaces place résolument l'acteur au centre du dispositif et nécessite alors de développer et d'observer des situations réelles et des pratiques de travail afin de comprendre finement les mécanismes de coopération et de constructions collectives des solutions techniques.

Concernant les évolutions, nous avons vu que l'outil a déjà été présenté et explicité aux futurs utilisateurs potentiels des partenaires industriels de programme Action Composites. En ce sens, nous avons vu que la conception de l'outil a évolué en fonction de ces premières confrontations mais ces dernières n'ont pas le même statut qu'une confrontation « directe » avec les pratiques des concepteurs. ID² existe maintenant mais nous pouvons faire l'hypothèse qu'il va (et il doit) évoluer. En effet, certains travaux antérieurs [Blanco et al. 96] montrent que l'implantation d'une maquette d'outil dans une entreprise et ses conditions locales d'usage propres, font émerger des exigences particulières : des ajouts ou des suppressions de fonctionnalités, des usages inédits, etc.. Par ailleurs, les points de vue et les analyses des chercheurs mobilisés sur cet outil vont également évoluer et ainsi contribuer à la modification et à la transformation de cet outil. Ainsi, la suite de cette recherche s'annonce passionnante, d'autant plus que les perspectives pour l'horizon de l'année 2002 laissent envisager une implantation industrielle et un test de l'outil sur trois sites industriels présentant des configurations et des attentes différentes.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Notre intervention au sein du bureau d'étude châssis a conduit à l'émergence d'un nouveau concept de pièce : le bouclier arrière. La pièce n'est pas encore là au sens où on ne peut pas encore la toucher, mais le concept est bien objectivé puisqu'il se traduit par des esquisses CAO, des gouaches de designer, des notes de calcul, etc.. Autant d'objets intermédiaires qui ont servis de support à des évaluations croisées. Au regard de ce travail, nous (chercheurs et industriels) pouvons espérer que cette pièce finisse par être industrialisée. La reprise de Renault VI par l'entreprise Volvo peut éventuellement contribuer à redéfinir un contexte favorable à ce projet innovant, l'avenir nous le dira Cependant, à l'échelle de l'histoire des matériaux, le remplacement de l'acier par un matériau composite pourrait apparaître comme le nouvel épisode d'une substitution commencée il y a plus d'un demi-siècle et nous pouvons par ailleurs nous interroger sur la pertinence, et l'intérêt, de développer une application industrielle dans le cadre d'une thèse. Il pourrait sembler logique de penser que le rôle d'un doctorant n'est pas de concevoir une nouvelle pièce dans un bureau d'études, aussi innovante soit-elle. Par contre, il faut noter que ce bouclier n'aurait peut être pas existé sans nos travaux de recherche, mais surtout, cette thèse ne serait pas arrivée à ce stade si ce bouclier n'avait pas non plus existé. Ainsi, au delà de l'image anecdotique du passage de « l'âge du fer » à « l'âge des composites »[1], et la proposition d'un nouveau concept de pièce, les apports de nos travaux résident dans la compréhension de ce « passage » et également dans les perturbations et les transformations que nous avons initiées au sein de l'entreprise par la mise en oeuvre d'une dynamique d'innovation produit/process et la proposition d'un nouvel outil. En ce sens, nos travaux montrent la nécessité de développer des approches complémentaires pour appréhender la question de l'innovation et plus particulièrement dans le cadre de l'intégration produit/process des nouvelles technologies en phase amont des projets.

Notre approche par le terrain et l'immersion dans l'action constitue un premier axe de réflexion. L'approche socio-technique de l'innovation à travers l'expérience du bouclier arrière (chapitre 1 et 2) propose une étude empirique et inductive de l'intégration d'un matériau composite particulier dans un bureau d'études traditionnellement utilisateur et expert des technologies de la métallurgie. Cette approche nous a permis de participer et d'observer un projet que nous avons pu caractériser comme innovant. Les résultats obtenus montrent la complexité et la fragilité d'un processus d'innovation et conduit à la nécessité de repenser la place des acteurs, leurs compétences, les outils mobilisés et les dispositifs d'évaluation

[1] Nous faisons ici une allusion au livre « Eloge du mixte – Matériaux nouveaux et philosophie ancienne » [Bensaude-Vincent 98]. Dans cet essai, l'auteur fait remarquer que les anthropologues qui étudient la préhistoire ont coutume de définir une étape de civilisation par référence au travail d'un nouveau matériau. Ainsi, après l'âge de pierre, l'âge de bronze, l'âge du fer, l'auteur propose l'âge des composites pour caractériser notre civilisation, en argumentant que le côté pluriel et multi-matériaux hétérogènes de ces technologies correspond pleinement aux produits complexes de notre époque.

permettant de favoriser le développement des projets innovants. Nous avons montré que l'innovation par l'intégration produit/process de nouvelles technologies impliquait un déplacement des produits et des points de vue des acteurs mais aussi des organisations. Lors de ces déplacements, le débat autour des différentes propositions de nouveaux concepts permet de révéler les connaissances des acteurs et leurs limites. Dans ces confrontations, les connaissances sont mises à l'épreuve. La fragilité de certaines propositions et contestations, et la faiblesse de certains arguments et compromis révèlent une incomplétude des savoirs mais servent aussi aux développements de nouvelles connaissances qui permettent d'aboutir à de nouveaux « compromis créatifs ».

Ainsi, nous avons pu montrer que ces situations d'innovation produit/process conduisaient très vite à l'instauration d'une certaine perturbation dans le processus de conception et nécessitaient de remettre en cause les dispositifs existants pour s'accommoder du caractère complexe et instable de ces situations. En effet, lors de l'introduction d'un nouveau matériau en phase amont de projet, l'enjeu du travail de conception consiste avant tout à gérer une certaine tension qui s'instaure entre un dispositif de qualification du nouveau matériau porté par les promoteurs d'une solution relativement innovante, et un dispositif de déqualification porté par les promoteurs d'une solution plus routinière. Dans ce contexte, nous avons pu identifier et caractériser trois conditions principales pour favoriser l'innovation (chapitre 4) : la nécessité d'une mise en réseau des acteurs, la nécessité de construire et de partager des nouveaux savoirs, et la nécessité de faire évoluer les dispositifs classiques d'évaluation des solutions. Ainsi, le processus d'adoption, ou au contraire de rejet, d'un nouveau concept s'inscrit dans un processus complexe qui ne relève pas uniquement du domaine technique et qui conduit à rouvrir le jeu et le périmètre de la conception : réouverture avec l'arrivée de nouveaux acteurs et de nouveaux savoirs, réouverture avec l'arrivée de nouveaux critères et de nouveaux points de vue, réouverture avec l'échange de nouveaux supports permettant de matérialiser les points de vue de chacun et progressivement celui du collectif de conception.

Par ailleurs, notre intervention sur le terrain apporte un éclairage intéressant sur le mode de coopération entre le donneur d'ordre et le fournisseur autour de la question de l'intégration produit/process et sur la question des échanges techniques, économiques et stratégiques entre les deux firmes lors des phases amont de conception. Notre posture nous a permis de participer et d'observer la mise en place d'une nouvelle configuration d'intégration produit/process basée sur l'intervention d'un acteur particulier que nous avons désigné comme « l'acteur d'interface ». Nous avons pu ainsi caractériser ce rôle comme stratégique, et notamment, dans les phases amont, où l'acteur d'interface agit comme un catalyseur aux interfaces des différents métiers impliqués. De ce fait, nous avons cherché à approfondir cette caractérisation, basée sur l'analyse de mon propre rôle, par une étude plus complète sur d'autres acteurs d'interface propres à l'entreprise. Cette étude constitue le deuxième aspect de notre recherche.

Le deuxième axe de nos investigations concerne donc une approche relativement ethnographique de l'étude des pratiques de certains acteurs d'interface à travers le suivi des experts matériaux (chapitre 3). Nous avons pu montrer que cette position d'interface permettait à l'expert matériaux d'agir en tant que force de proposition pour faire évoluer la conception dans le sens d'une combinaison nouvelle d'intégration produit/process. Dans ce contexte, l'acteur métier doit développer des argumentations pour faire valoir des critères qui ne sont pas forcément partagés par les autres acteurs, voire antagonistes à leur perception. Dans cette situation, l'expert matériaux se retrouve dans un dispositif où il doit mobiliser un certain nombre de compétences et être le fédérateur de plusieurs points de vue pour faire valoir le sien, tout en étant très proche des objectifs des projets, des contraintes métiers et des préoccupations quotidiennes des autres acteurs de la conception. Ainsi, nous avons pu caractériser plus précisément ce dispositif, notamment grâce à l'identification du statut et du rôle des experts matériaux dans les projets de conception, et par le décryptage des différentes stratégies mobilisées par ces acteurs particuliers dont la visée est de favoriser l'introduction de nouveaux matériaux. De ce fait, nous avons pu montrer que ces acteurs d'interface développaient une approche relativement originale de « l'innovation sous contrainte métier » en favorisant l'intégration produit/process en phase amont des projets. En ce sens, nous avons vu qu'ils participaient à un mouvement de « déstabilisation-stabilisation » du processus en mettant à l'épreuve la cohérence des solutions éprouvées, et en reconstruisant une nouvelle cohérence autour de nouvelles combinaisons produit/process.

Ainsi, en analysant l'activité des experts matériaux, nos travaux mettent en exergue l'enjeu représenté par ces phases de prospective, que nous avons désignées par le terme de « phases préparatoires » au projet. Ces périodes d'anticipation et de négociation sont souvent non contractuelles, mais l'enjeu qu'elles représentent, demeure très stratégique pour l'innovation. Le dispositif, qu'elles constituent, consiste à légitimer progressivement une idée nouvelle en organisant sa confrontation avec les différents point de vue des acteurs afin de créer une configuration où le lancement d'un projet devient possible. Nous affirmons que ces phases préparatoires supportent un réel travail de conception propice à l'émergence et au développement de solutions innovantes. En ce sens, nous avons pu souligner que le caractère jusqu'ici informel de ces phases est assez représentatif d'un processus d'innovation qui trouve ici une structure adaptée à son déploiement. Par contre, si les phases préparatoires s'accommodent du caractère instable et imprévisible des trajectoires de l'innovation, leur structure informelle rend fragile et lacunaire les possibilités de capitalisation et de valorisation de ces dernières. Ainsi, nous avons pu identifier l'enjeu stratégique de nommer et de donner un statut à ces phases et le besoin de développer des outils adéquats pour instrumenter ces périodes amont des projets innovants. La proposition d'un outil, qui constitue le troisième volet de ces travaux de recherche, fait suite à ce constat et s'inscrit dans la continuité des analyses précédentes.

Les deux premières approches nous ont permis de proposer des éléments de compréhension sur ce processus complexe qu'est l'innovation mais notre contribution porte également sur

l'instrumentation de ce processus. Nos observations montrent alors qu'un outil pour la conception, et surtout dans les phases amont d'un projet, ne peut plus seulement être un outil de représentation des connaissances spécifiques à un métier mais doit faciliter l'expression et la confrontation des points de vue des différents métiers. L'exemple des outils C.A.O dans le processus de conception illustre ce point. En effet, ces outils sont des instruments très efficaces et pertinents pour représenter le produit mais ils sont souvent la représentation d'un point de vue d'un acteur particulier : celui du dessinateur-projeteur ou de l'acteur étude. Ces outils n'offrent que des informations limités liées à la géométrie de la pièce et ne constituent pas un support suffisamment explicite pour donner des prises à l'ensemble des métiers impliqués. De plus, dans le cas des phases amont de conception, nous avons vu que ces outils ne peuvent intervenir qu'après une certaine période de travail effective car leur utilisation nécessite d'avoir mis à jour suffisamment d'informations. Ainsi, pour faire évoluer les outils d'aide à la conception, l'enjeu est double : d'une part, il faut développer, le point de vue des interactions, conduisant à proposer des espaces et des lieux de coopération, et d'autre part, il faut développer le point de vue des métiers, conduisant à proposer des outils spécifiques à ces connaissances métiers, mais tournés vers les interfaces. Ainsi, un outil doit être le support des actions locales et des interactions entre métiers en favorisant la coordination des acteurs autour d'un objet commun ou en permettant la construction de prises. L'outil pour l'innovation produit/process doit offrir la possibilité de construire une ou plusieurs vues partagées du produit à travers lesquelles se confrontent les connaissances et s'élaborent les compromis. Ces différents points mettent en perspective notre thèse : un outil ne peut être conçu sans une compréhension fine de l'activité de conception et sans appréhender les différentes dynamiques qui la traversent : dynamiques de l'organisation, des connaissances, des apprentissages, et des dispositifs d'évaluation.

La proposition de l'outil ID² représente un exemple de cette évolution. Nous avons fait l'hypothèse qu'un tel outil s'inscrivait dans un nouveau paradigme des outils d'aide à la conception. De plus, l'opportunité de tester ce nouvel outil chez les différents partenaires industriels ouvre des perspectives expérimentales nouvelles pour prolonger ce travail sur l'instrumentation des phases amont de conception. Mais avant de parler des perspectives offertes par l'outil proposé, il nous semble important de rappeler les apports de notre méthodologie basée sur la relation recherche-industrie.

L'adoption d'une posture de recherche intervention nous a permis de construire progressivement une problématique et des objectifs convergents entre chercheurs et industriels. Nous espérons que cette thèse continuera à montrer la pertinence, et la nécessité, de développer les relations entre chercheurs universitaires et acteurs industriels, particulièrement dans le domaine de la conception et du génie mécanique. Au vu de notre expérience, nous constatons que même si les enjeux sont parfois difficiles à ajuster dans les premiers temps, les avancées sont réelles dans l'entreprise comme dans la recherche. En ce sens, nous avons vu que la situation rencontrée au départ de ces travaux de recherche montrait que les conditions n'étaient pas encore réunies pour qu'une réelle problématique d'intégration

produit/process d'un matériau composite se mette véritablement en place entre le BE châssis et les fournisseurs de pièces en composite. Nous pouvons faire l'hypothèse que notre expérience du bouclier aura sans doute modifié cette situation, car de nouvelles connaissances ont été mises à jour et ont été partagées avec les protagonistes du projet composite. Cette dynamique d'innovation produit/process se traduit également au niveau du Laboratoire Matériaux de Renault VI par une position réflexive des acteurs vis-à-vis de leurs pratiques quotidiennes. Nous pensons que cette réflexion est majeure car cette dynamique d'apprentissage permettra aux acteurs d'approfondir les analyses en cours aussi bien au niveau de l'organisation qu'à celui des outils. De plus, nous pouvons penser qu'une telle réflexion, au niveau de l'entreprise, sur la position de l'expert matériaux comme acteur d'interface, sera également favorable à l'élaboration d'une nouvelle vision sur la façon de mener une certaine conduite de l'innovation.

En ce qui concerne cette approche de recherche intervention sur la conception, cette thèse s'inscrit dans la continuité des travaux initiés entre le pôle Conception Intégrée du laboratoire 3S et le laboratoire Cristo. Les thèses précédemment co-encadrées par les deux laboratoires ont mis en évidence des caractéristiques du processus de conception. Cette thèse s'appuie sur ces travaux pour les compléter et débouche aujourd'hui sur les spécifications d'un outil informatique et d'une maquette. Avec ce résultat, nous avons en quelque sorte franchi un premier cap, celui de l'instrumentation par un outil informatique de l'action de conception. De ce fait, ce résultat permet d'ouvrir maintenant sur des perspectives de recherches qui s'annoncent également prometteuses. En effet, la suite logique de cette thèse consiste en l'étude de la confrontation de cet outil ID² à des pratiques de conception :

- à travers des scénarios et des expériences de conception menés en laboratoire de recherche,
- à travers des projets expérimentaux sur différents sites industriels.

Nous pouvons faire l'hypothèse que ces expérimentations conduiront à des usages différenciés et à une redéfinition de l'outil ID². Il convient alors de s'interroger sur une question plus générale qui concerne l'évolution et le suivi des outils d'aide à la conception. En effet, suite aux différentes confrontations, nous pourrons voir peut être l'outil évoluer dans une direction si les retours de chaque terrain sont relativement convergents, ou se diversifier en plusieurs versions si les besoins sont trop divergents. Cela étant, se posera alors le problème du suivi de cette évolution et de la maintenance de tels instruments. Mais c'est une autre problématique qui peut ainsi constituer le point de départ de nombreux et passionnants travaux de recherche.

Ainsi, le parcours suivi, du terrain à l'outil, à l'occasion de ces travaux de recherche, montre que l'observation du processus de conception, des mécanismes de coopération et de constructions collectives des solutions innovantes sous l'angle de la recherche intervention en entreprise modifie notre façon d'appréhender ces phénomènes et nous permet d'imaginer une

instrumentation nouvelle. En effet, notre approche par l'observation participante du processus d'innovation place résolument la conception, et *a fortiori* l'innovation, dans un paradigme de l'action, façonné par des dynamiques de connaissances, d'apprentissages, et d'interactions. Dans d'autres domaines de recherche comme la gestion par exemple, la prise en compte de ces différentes dynamiques contribue à une certaine évolution des métiers, de l'organisation et des outils. Nous avons soutenu l'idée que les outils pour la conception et l'innovation doivent s'inscrire également dans cette évolution et nécessitent d'être développés en étant au plus proche des préoccupations de l'action.

Par contre, l'innovation, telle que nous avons pu l'observer, se confirme comme étant un phénomène complexe. Elle se développe souvent dans des situations ambiguës, confuses et mal définies et cette indétermination nécessite de préserver une grande latitude aux initiatives personnelles des acteurs [Flichy 95]. De ce fait, même si certains acteurs de l'entreprise ne sont pas *a priori* partisans de travailler dans le contexte instable d'un projet innovant, il convient alors de proposer des dispositifs qui laissent la possibilité aux acteurs « innovateur » de développer des sujets originaux, et surtout de les faire partager. Par ailleurs, nous pensons que la vision souvent technique, et relativement déterministe, des outils actuels semble peu adéquate à une élaboration d'une instrumentation adaptée à l'innovation dans sa dimension collective et distribuée. Par contre, nous rejoignons également les propos de l'auteur précédent, concernant la mise en cause d'une certaine école de la sociologie des techniques qui considère que les usages ne seraient qu'un horizon indéterminé des réseaux socio-techniques [Flichy 95]. Certes, la richesse et la diversité des situations réelles de conception deviennent un frein quand il s'agit de construire des outils ayant prétention à une certaine généricité. Et il est évident que la proposition d'un outil perturbe les dispositifs déjà en place. Mais nous touchons ici aux limites et aux difficultés de l'approche socio-technique et des études de terrain dans le domaine de la construction d'outils d'aide à la conception. Ainsi, il existe peut être une posture intermédiaire, ou mieux encore aux interfaces des disciplines, qui permet d'imaginer et de mieux comprendre l'action pour proposer de nouveaux artefacts et des outils pertinents qui s'insèreront au mieux dans l'organisation.

Mais cette posture ne conduit-elle pas finalement à favoriser et à encourager le montage de dispositifs de recherche interdisciplinaires où des chercheurs (mécaniciens, sociologues, informaticiens, gestionnaires, psychologues, ergo cogniticiens,…) démontrerons leur capacité à travailler aux interfaces de leur discipline ?

BIBLIOGRAPHIE

[Acacia 00] **Equipe ACACIA,** *« Méthodes et outils pour la capitalisation des connaissances »*, www.geoscopie.com, Dunod, 2000.

[Agostini et al. 00] **Agostini A., De Michelis G., Susani M.,** *« From user participation to user seduction in the design of innovative user-centered systems »*, Designing Cooperative Systems, R. Dieng et al. (Eds.), IOS Press, pp. 225-240, 2000.

[Akrich et al. 88] **Akrich M., Callon M., Latour B.,** *« A quoi tient le succès des innovations : l'art de l'intéressement, l'art de choisir les bons porte-parole »*, Annales des Mines, Gérer et Comprendre, pp. 14-29, 1988.

[Alliance 97] **European Alliance for SMC,** *« SMC/BMC : Design for success ! »*, c/o AVK e. V., Am Hauptbanhof 10, D-60329 Frankfurt a. M., 1997.

[Alter 90] **Alter N.,** *« La gestion du désordre en entreprise »*, l'Harmattan, Collection Logiques Sociales, 1990.

[Alter 93] **Alter N.,** *« Innovation et organisation : deux légitimités en concurrence »*, Revue française de sociologie, avril/juin, pp. 175-196, 1993.

[Altshuller 99] **Altshuller G.,** *« TRIZ The innovation algorithm ; systematic innovation and technical creativity »*, traduit par Lev Shulyak et Steven Rodman, Technical Innovation Center Inc., Worcester, MA, 1999.

[Argyris et Schön 78] **Argyris C., Schön D.A.,** *« Organizational Learning »*, Reading, Addison-Wesley, 1978.

[Baizet 00] **Baizet Y.,** *« Identification et formalisation des connaissances du métier du calcul »*, Mémoire de DEA de Mécanique, UJF INPG, Grenoble 2000.

[Barreyre 81] **Barreyre P.Y.,** *« Typologie des innovations »,* Revue française de gestion , janvier/février, pp. 9-15, 1981.

[Bayen 82] **Bayen M.,** *« La substitution des matériaux plastiques aux matériaux conventionnels dans l'industrie américaine »*, Etude du centre de prospective et d'évaluation, Ministère de la Recherche et de l'industrie, septembre, 1982.

[Bensaude-Vincent 98] **Bensaude-Vincent B.,** *« Eloge du mixte – Matériaux nouveaux et philosophie ancienne »*, Hachette Littératures, 1998.

[Blanco 98] **Blanco E.,** *« L'émergence du produit dans la conception distribuée »*, Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, spécialité Génie Industriel, 1998.

[Blanco et al. 96] **Blanco E., Jeantet A., Boujut J.F.,** *« COPEST : de la construction à l'usage et vice versa »*, Revue Sciences et Techniques de la Conception, vol.5, n° 12, pp. 93-118, 1996.

[Boujut 01] **Boujut J.F.,** *« Des outils aux interfaces - Pour le développement de processus de conception coopératifs »*, Mémoire d'habilitation à diriger les recherches de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, 2001.

[Boujut et Jeantet 98] **Boujut J.F., Jeantet A.,** *« Dynamique et évolution des métiers dans la conception »*, dans « Conception de produits mécaniques. Méthodes, modèles et outils », sous la direction de Michel Tollenaere, Hermes, 1998.

[Boothroyd et Alting 92] **Boothroyd G., Atling L.,** *« Design for assembly and disassembly »*, Annals of the CIRP, Vol. 41/2, 1992.

[Boyer 97] **Boyer L.,** *« Recentrage des firmes »*, Encyclopédie de Gestion, Economica, Paris, pp. 2809-2816, 1997.

[Buccarelli 88] **Buccarelli L.L.**, *« An ethnographic perspective on engineering design »*, Design Studies, Vol. 9, N°3, juillet 1988.

[Callon et Latour 85] **Callon M., Latour B.,** *« Les paradoxes de la modernité : comment concevoir les innovations »*, Prospective et Santé, 1985.

[Callon 86] **Callon M.,** *« Eléments pour une sociologie de la traduction : la domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc »*, L'année sociologique, pp. 169-207, Presses universitaires de France, 1986.

[Chapa 97] **Chapa Kasusky E. C.,** *« Outils et structure pour la coopération formelle et informelle dans un contexte de conception holonique »*, Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, spécialité Mécanique, 1997.

[Charue-Duboc 00] **Charue-Duboc F.,** *« Apprentissage et Innovation – Une perspective pour penser l'organisation des métiers de conception »*, intervention au séminaire Condor, Paris, 26 octobre, 2000.

[Chazelet 0?] **Chazelet P.,** *« Contribution à une évaluation positive des produits, des potentiels et des activités au sein de l'entreprise de production manufacturière : vers un modèle de la valeur »*, Thèse de doctorat de l'Université de Franche-Comté, Spécialité Sciences de gestion, 200?. (thèse à soutenir)

[Chedmail et al. 01] **Chedmail P., Maille B., Ramstein E.,** *« Etat de l'art sur l'accessibilité en réalité virtuelle, application à l'étude de l'ergonomie »*, Colloque Primeca, La Plagne, 2-5 avril, 2001.

[Choulier et Draghici 00] **Choulier D., Draghici G.,** *« TRIZ : une approche de résolutions des problèmes d'innovation dans la conception de produits »*, Modélisation de la connaissance pour la conception et la fabrication intégrées, Université d'automne, Timisoara, octobre, 2000.

[Chouraqui 98] **Chouraqui A.,** *« Il faut apprendre à dépasser le mesurable et le chiffrable »*, Le monde économie : enjeux et stratégies, p 2, mardi 3 novembre, 1998.

[Clark et Fujimoto 91] **Clark K.B., Fujimoto T.,** *« Product Development Performance. Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry »*, Harvard Business School Press, Boston, MA, 1991.

[Crozier et Friedberg 77] **Crozier M., Friedberg E.,** *« L'acteur et le système »*, Seuil, 1977.

[Cusset 88] **Cusset J.,** *« Development of semi-structural and multifunctional body parts in plastics within the Peugeot SA group »*, 1988.

[Darses 97] **Darses F.,** *« L'ingénierie concourante : un modèle en adéquation avec le processus cognitifs de conception »*, dans « Ingénierie concourante : de la technique au social », P. Bossard, C. Chanchevrier, P. Leclair, Economica, Paris, 1997.

[Dieffenbach 97] **Dieffenbach J.R.,** *« Compression Molded Sheet Molding Compound (SMC) for Automotive Exterior Body Panels: A Cost and Market Assessment »*, SAE International Congress and Exposition, Detroit, Michigan, USA, 1997.

[Dorst et Cross 01] **Dorst K., Cross N.,** *« Creativity in the design process. Co-evaluation of problem solution »*, Design Studies, Vol 22, n°5, pp. 425-437, septembre, 2001.

[Finger et al. 95] **Finger S., Konda S., Subrahmanian E.,** *« Concurrent design happens at the interfaces »*, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing 95, 9, pp 89-99, 1995.

[Flichy 95] **Flichy P.,** *« L'innovation technique. Récents développements en sciences sociales. Vers une nouvelle théorie de l'innovation »*, Edition La découverte, Collection Sciences et Société, 1995.

[Garel 94] **Garel G.**, *« Réduction du temps de conception, concourance et savoirs professionnels : le cas de l'emboutissage dans les projets automobiles »*, Thèse de doctorat de l'Ecole polytechnique, 1994.

[Garel et Kesseler 98] **Garel G., Kesseler A.,** *« New Car Development Projects and Supplier Partnership, in Projects as Arenas for Renewal and Learning Processes »*, Lundin R. A. & Midler C. editors, Kluwer Acad. Publi, 1998.

[Garro et al. 96] **Garro O., Brissaud D., Tichkiewitch S.,** *« Toward a design cooperative system »*, Actes COOP'96, International Conference on the Design of Cooperative Systems, 12-14 juin, pp. 375-390, 1996.

[Garro et al. 98] **Garro O., Brissaud D., Blanco E.,** *« Design Criteria »*, actes du 9th Symposium on information control in manufacturing INCOM'98, Advanced in Industrial Engineering, Nancy – Metz, 24-26 juin, 1998.

[Garro et al. 01] **Garro O., Choulier D., Micaëlli J.P.,** *« L'émergence, processus clé de la conception inventive : Application à la conception d'une partie d'un robot »*, Colloque PRIMECA, La Plagne, 2-5 avril, 2001.

[Gartiser 99] **Gartiser N.,** *« Analyse contingente du processus d'innovation – Application aux établissements industriels de la région Alsace »*, Thèse de doctorat ès Sciences de Gestion de l'Université Louis Pasteur Strasbourg 1, 1999.

[Gerard 84] **Gerard J.H.,** *« Concevoir avec le SMC »*, Composites n°3, mai/juin, 1984.

[Giard 93] **Giard V.,** *« Les gestions du risque dans les projets »*, dans « Pilotages de Projet et Entreprise », sous la direction de Vincent Giard et Christophe Midler, pp 153-178, ECOSIP, 1993.

[Hatchuel 88] **Hatchuel A.,** *« Les savoirs de l'intervention »*, Communication au colloque : Les métiers de l'intervention, Cerisy, juin, 1988.

[Hatchuel 94] **Hatchuel A.,** *« Apprentissages collectifs et activités de conception »*, Revue Française de Gestion, juin/juillet/août, pp. 109-119, 1994.

[Hatchuel et Weil 92] **Hatchuel A., Weil B.**, *« L'expert et le système »*, Economica, 263 pages, 1992.

[Ideation International 00] **Ideation International,** *« Innovation WorkBench™ System Software (IWB™) »*, www.ideationtriz.com/software.html, 2000.

[Invention Machine 00] **Invention Machine,** *« TechOptimiser™ Professional Edition »*, www.invention-machine.se, 2000.

[Jeantet 98] **Jeantet A.,** *« Les objets intermédiaires dans la conception. Eléments pour une sociologie des processus de conception »*, dans Sociologie du travail n°3, pp. 291-316, 1998.

[Jeantet et Boujut 98] **Jeantet A., Boujut J.F.** *« Approche socio-technique »* dans « Conception de produits mécaniques. Méthodes, modèles et outils », sous la direction de Michel Tollenaere, Hermes, 1998.

[Jeantet et Tiger 88] **Jeantet A., Tiger H.,** *« Des manivelles au clavier »*, Syros Alternatives, 1988.

[Karsenty 96] **Karsenty L.,** *« An empirical Evaluation of Design Rationale Documents »*, Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'96), Vancouver, April 14-18, ACM Press, 1996.

[Knight 67] **Knight K.,** *« A descriptive model of the intra-firm innovation process »*, Journal of Business, octobre, 1967.

[Labonne 83] **Labonne M.,** *« Capot de BX moulé par compression en SMC et comportant un revêtement In Mold Coating »*, Les matériaux composites et l'automobile (2ème partie), pp. 13-19, juin, 1983.

[Laigle 95] **Laigle L.,** *« De la sous-traitance classique au co-développement »*, Actes du GERPISA n°14, Les relations constructeurs fournisseurs, mai, pp. 23-40, 1995.

[Laureillard 00] **Laureillard P.,** *« Conception intégrée dans l'usage - Mise en œuvre d'un dispositif d'intégration produit -process dans une filière de conception de pièces forgées »*, Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, spécialité Génie Industriel, 2000.

[Leconte et Guffond 99] **Leconte G., Guffond J.L.,** *« Le pilotage logistique des chantiers, pratiques émergentes et voies de progrès dans l'industrie de la construction »*, dans « Construction management and economics », numéro spécial : « Developing construction management logistics, the french experience », London, 1999.

[Le Corre et al. 00] **Le Corre S., Caillerie D., Favier D., Orgéas L.,** *« Overal Behaviour of a Truss of Fibres Linked by viscous Joints »*, Proceedings of the conference FRC 2000, Composites for the millenium, Newcastle, UK, 13-15 septembre, 2000.

[Legardeur 98] **Legardeur J.**, *« Prise en compte des contraintes d'assemblage dans une logique de conception intégrée : l'approche Design For Assembly »*, Mémoire de DEA MCGM (Mécanique, Conception, Géomécanique, Matériaux), Université Joseph Fourier, Laboratoire 3S, Grenoble, 1998.

[Legardeur et al. 00] **Legardeur J., Boujut J.F., Tiger H.,** *« Innovating in a routine design process - Empirical study of an industrial situation »*, 3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, (IDMME 2000), Montreal, May 16-19, 2000.

[Legardeur et al. 01] **Legardeur J., Boujut J.F., Tiger H.,** *« ID□ : un outil pour l'innovation produit/process - Application dans le domaine des pièces composites »*, Colloque Primeca, La Plagne, 2-5 avril, 2001.

[Legardeur et al. 01] **Legardeur J., Boujut J.F., Tiger H.,** *« An Interface Tool for driving innovation during preparatory phases: Application in the design of composite parts »*, International Conference on Engineering Design, (ICED 01), Glasgow, August 21-23, 2001.

[Liebold 89] **Liebold R.,** *« Pare-chocs pour véhicules utilitaires en C-SMC »*, Revue Composites n°3, pp 268-276, 1989.

[Limayem et Yannou 00] **Limayem F., Yannou B.,** *« A Monte Carlo Approach to Handle Imprecision in Pairwise Comparaison »*, 3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, (IDMME 2000), Montreal, May 16-19, 2000.

[Lorino 90] **Lorino P.,** *« Le projet Cost Management System du CAM-I et ses fondements »*, dans Gestion Individuelle et Mesure Economique, Paris, Economica, 1990.

[Maeder 98] **Maeder G.,** *« Le choix des matériaux dans l'industrie automobile »*, Matériaux et Techniques n° 7-8, pp. 39-47, 1998.

[Maeder 00] **Maeder G.,** *« Simposio Materia / Notimat 2000 »*, Rio de Janeiro, 23-27 octobre, 2000.

[Martin et al. 2000] **Martin G., Détienne F., Lavigne E.,** *« Confrontation de points de vue dans un processus d'ingénierie concourante »*, 3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, (IDMME 2000), Montreal, May 16-19, 2000.

[Marquis et Myers 69] **Marquis D., Myers S.,** *« Successful industrial innovations »*, National Science Foundation, U.S. Government Printing Office, Washington, 1969.

[Massey 81] **Massey F.L.,** *« Development of an automotive SMC door »*, Passenger Car Meeting, Dearborn, Michigan, USA, 1981.

[Mer 98] **Mer S.,** *« Les mondes et les outils de la conception, pour une approche socio-technique de la conception de produit »*, Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, spécialité Génie Industriel, 1998.

[Mer et al. 95] **Mer S., Jeantet A., Tichkiewitch S.,** *« Les objets intermédiaires de la conception : Modélisation et Communication »*, dans « Le communicationnel pour concevoir », Editions J. Cealen et K. Zreik, Europia, 1995.

[Midler 91] **Midler C.,** *« Evolution des règles de gestion et processus d'apprentissage »*, Actes du colloque « économie des conventions », Paris, mars, 1991.

[Midler 93] **Midler C.,** *« L'auto qui n'existait pas »*, Inter Editions, 1993.

[Midler 97] **Midler C.**, *« Evolution des modèles d'organisation et régulation économiques de la conception »*, Annales des mines, février, pp. 35-40, 1997.

[Midler et al 97] **Midler C., Garel G., Kesseler A.,** *« Le co-développement : définition, enjeux et problèmes »*, Education Permanente, n°131, pp. 95-108, 1997.

[Moisdon 84] **Moisdon J.C.,** *« Recherche en gestion et intervention »*, Revue Française de Gestion, septembre/octobre, pp. 61-73, 1984.

[Moisdon 97] **Moisdon J.C.,** *« Un point de vue gestionnaire : la genèse des outils »*, dans « Du mode d'existence des outils de gestion », sous la direction de Jean-Claude Moisdon, Seli Arslan, 1997.

[Moisdon et Weil 92] **Moisdon J.C., Weil B.,** *« L'invention d'une voiture : un exercice de relations sociales ? »*, dans Gérer et Comprendre, n°28 et 29, pp. 30-41 et 50-58, septembre/décembre, 1992.

[Moisdon et Weil 93] **Moisdon J.C., Weil B.,** *« Les énigmes de la décision quotidienne dans l'entreprise »*, dans Sciences Humaines, L'énigme de la décision, hors série, pp. 26-28, mai/juin, 1993.

[Moisdon et Weil 96] **Moisdon J.C., Weil B.,** *« Dynamique des savoirs dans les activités de conception : faut-il compléter la gestion de projet ? »*, Actes du 5ème Congrès de Génie Industriel, Grenoble, avril, 1996.

[Ngassa et al 00] **Ngassa A., Thouvenin E., Millet D., Truchot P.,** *« Intégration de nouvelles ressources dans l'entreprise pour innover. Problématique de cette intégration. Application à la méthode TRIZ et à la veille technologique »*, IDMME 2000, Montreal, May 16-19, 2000.

[Nonaka et Takeuchi 95] **Nonaka I., Takeuchi H.,** *« The Knowledge-creating Company »*, Oxford University Press Inc, USA, ISBN: 0195092694, 1995.

[Ollive 88] **Ollive C.,** *« Bilan de 4 années de moulage de SMC basse pression et basse température pour le véhicule Renault Espace »*, Composites n°3, pp. 162-167, mai/juin, 1988.

[Ostrosi et al. 00] **Ostrosi E., Garro O., Koukam A., Brissaud D.,** *« Outils de traçabilité en conception »*, Intervention à la journée technique « capitalisation des connaissances en conception », UTBM-PréCI, Sévenans, 02 mars, 2000.

[Perrin 96] **Perrin J.,** *« La performance économique en entreprise »*, Hermès, Paris, 1996.

[Porter 82] **Porter M.,** *« Choix Stratégiques et Concurrence »*, Paris, Economica, 1982.

[Poussin 97] **Poussin D.,** *« La substitution métal plastique dans les professions de la mécanique : une affaire de culture »*, Mécanique Industrielle et Matériaux, Vol. 50, n°3, pp. 91-94, septembre, 1997.

[Poveda 01] **Poveda O.,** *« Pilotage technique des projets d'ingénierie simultanée - Modélisation des processus, analyse et instrumentation »*, Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, spécialité Mécanique, Conception, Géomécanique et Matériaux, 2001. (à paraître)

[Prudhomme 99] **Prudhomme G.**, *« Le processus de conception des systèmes mécaniques et son enseignement »*, Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier, Grenoble, 1999.

[Ravaille et Cescutti 98] **Ravaille N., Cescutti J.P.,** *« La conception des filières tubulaires en filage de profilés aluminium : un cas d'étude »*, dans « Conception de produits mécaniques. Méthodes, modèles et outils », sous la direction de Michel Tollenaere, Hermes, 1998.

[Régnier 95] **Régnier F.,** *« Connaissances tacites : un rôle stratégique dans l'entreprise »*, Revue Française de Gestion, n°105, pp. 127-132, septembre/octobre, 1995.

[Renault 00] **Renault,** *« Les matériaux dans tous leurs états »*, Collection Recherche & Développement, n°17, 2000.

[Renault 94] **Renault,** *« Matériaux : une révolution douce »*, Collection Recherche & Développement, n°10, 1994.

[Roucoules 99] **Roucoules L.,** *« Méthodes et connaissances : contribution au développement d'un environnement de conception intégrée »*, Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, spécialité Génie Mécanique, 1999.

[Rossi 83] **Rossi M.F.,** *« Utilisation des composites chez Fiat »*, Les matériaux composites et l'automobile (2ème partie), pp. 54-58, juin, 1983.

[Salinas 98] **Salinas S.,** *« Conception intégrée de pièces en matériaux composites : pratiques, méthodologies, outils »*, Mémoire de D.E.A de Génie Industriel, Laboratoire 3S, Grenoble, 1998.

[Sardas 97] **Sardas J.C.,** *« Ingénierie intégrée et mutation des métiers de la conception »*, Annales des Mines, février, 1997.

[Schön 91] **Schön D.A.,** *« The Reflexive Practitioner: How Professional Think In Action »*, Ashgate publishing, 1991.

[Schumpeter 34] **Schumpeter J.A.,** *« The Theory of Economic Development »*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1934.

[Sourisse et Frachet 86] **Sourisse C., Frachet J.P.,** *« L'expression des besoins dans l'automatisation des processus : vers un outil d'assistance à l'établissement des cahiers des charges »*, Revue Travail et Méthodes, pp. 5-10, 1986.

[Stinchcombe 68] **Stinchcombe A.L.,** *« Constructing social theories »*, Harcourt, Brace and Word. Information and organization, Berkeley, University of California Press, 1968.

[Terssac 96] **De Terssac G.** *« Le travail de conception : de quoi parle-t-on ? »*, dans « Coopération et conception », G. de Terssac, E. Friedberg, Octares Editions, 1996.

[Tichkiewitch 96] **Tichkiewitch S.,** *« Specifications on integrated design methodology using a multi-view product model »*, Proceedings of the ESDA 1996, PD-Vol. 80, editors : B. A. Ovunc, S. Tichkiewitch, and A. C. Anakara, Book n°G00998, 1996.

[Tiger 91] **Tiger H.,** *« L'établissement du Cahier des Charges des équipements automatiques : une procédure complexe qui doit faire appel à de nouveaux concepts »*, Intervention au Colloque A.R.R.P du MRT, 15-16 janvier, 1991.

[Tiger et Weil 01] **Tiger H., Weil B.,** *« Capitaliser les savoirs dans les projets deux démarches antinomiques ? »*, Intervention au colloque PRIMECA, Gestion des connaissances en conception, Grenoble, 22 mai 2001.

[Troussier 99] **Troussier N.,** *« Contribution à l'intégration du calcul mécanique dans la conception de produits techniques : proposition méthodologique pour l'utilisation et la réutilisation »*, Thèse de doctorat de l'Université Joseph Fourier, Grenoble, Spécialité Mécanique, 1999.

[Troussier et al. 98] **Troussier N., Pourroy F., Trébucq B.,** *« Mechanical models management in engineering design »*, 2nd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, (IDMME 98), Compiègne France, May 27-29, 1998.

[Ulrich et Eppinger 95] **Ulrich K., Eppinger S.D.,** *« Product Design and Development »*, Mc Graw-Hill, 1995.

[Vinck 97] **Vinck D.,** *« La connaissance : ses objets et ses institutions »*, dans « Connaissance et savoir-faire en entreprise », JM. Fouet, Editions Hermes, 1997.

[Vinck 99] **Vinck D.,** *« Ingénieur au quotidien »*, Editions PUG, 1999.

[Vinck et al. 99] **Vinck D., Blanco E., Garrigou A., Jeantet A., Lavoisy O., Lecaille P.,** *« Aspects sociologiques et ergonomiques du monde virtuel »*, projet Brite-Euram «Digital Mock-up Visualisation in Product Conception and Downstream Processes », rapport task 1.5, 19 février 1999.

[Vinck et Jeantet 95] **Vinck D., Jeantet A.,** *« Mediating and commissioning objects in the sociotechnical process of product design: a conceptual approach »*, dans « Management and new technology: design, networks and strategy », D. MacLean, P. Saviotti and D. Vinck, COST Social science serie, Bruxelles, commission of European Union p. 111-129, 1995.

[Voltz et Jost 01] **Voltz S., Jost J.,** *« Outils de structuration et de capitalisation de données pour la conduite de projets innovants »*, Rapport DESS CCI, Université Joseph Fourier, 2001.

[Weil 99] **Weil B.,** *« Conception collective, coordination et savoirs. Les rationalisations de la conception automobile »*, Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Spécialité Ingénierie et Gestion, 1999.

[Xuereb 91] **Xuereb J.M.,** *« Une redéfinition du processus d'innovation »*, Revue française de gestion, juin/juillet/août, 1991.

[Zarifian 96] **Zarifian P.,** *« Travail et Communication, essai sociologique sur le travail dans la grande entreprise industrielle »*, Editions Puf, 1996.

TABLE DES FIGURES

Chapitre 1

Figure 1 : *Répartition et évolution des matériaux dans une automobile. (Source [Maeder 00], [Renault 00])..... 12*
Figure 2 : *Répartition du marché mondial des thermoplastiques et des thermodurcissables en 1999 (source Agence Rhône Alpes pour la maîtrise des matériaux)..... 17*
Figure 3 : *Quelques exemples d'applications SMC dans le domaine du transport..... 18*
Figure 4 : *Evolution de la viscosité en fonction des étapes de production du SMC..... 20*
Figure 5 : *Préparation des mats SMC..... 21*
Figure 6 : *Moule et presse du procédé SMC (source Inoplast et [Alliance 97])..... 22*
Figure 7 : *Représentation schématique d'un moule SMC..... 23*
Figure 8 : *Fluage et raccordement du SMC dans le moule..... 24*
Figure 9 : *Evolution de la température lors du moulage SMC..... 25*
Figure 10 : *La filière de production d'une pièce SMC..... 26*
Figure 11 : *Le réseau d'acteurs de la filière SMC et des exemples de leur relation..... 28*
Figure 12 : *Consortium de recherche du projet Action Composites..... 29*
Figure 13 : *Deux visions extrêmes du SMC par les acteurs du BE..... 38*
Figure 14 : *Photo d'une partie arrière du châssis d'un véhicule industriel (source Renault VI)..... 41*
Figure 15 : *Pilotage des projets extrait du PDPP (source Renault VI)..... 41*
Figure 16 : *Un saut nécessaire pour l'intégration produit/process du SMC..... 50*

Chapitre 2

Figure 1 : *Règles de dessin pour la définition d'un insert et d'une nervure de pièce SMC (source [Alliance 97])..... 55*
Figure 2 : *Première esquisse du concept de support feux arrière en SMC..... 56*
Figure 3 : *Fonction arrière existante..... 61*
Figure 4 : *Schémas des solutions alternatives au concept SMC..... 63*
Figure 5 : *Croquis du concept de support feux arrière..... 63*
Tableau 1 : *Le premier tableau concepts/critères du projet composite..... 64*
Figure 6 : *Esquisse du designer concernant le nouveau projet véhicule..... 66*
Figure 7 : *Première esquisse du bouclier arrière en SMC réalisée par le designer..... 68*
Figure 8 : *Principes de modélisation et de calcul d'une pièce SMC..... 70*
Figure 9 : *Propositions du designer pour le bouclier arrière en SMC..... 76*
Figure 10 : *Support de feux arrières de véhicules Mercedes (source [Liebold 89])..... 77*
Figure 11 : *Configuration du bouclier standard pour les différentes largeurs hors tout..... 78*
Figure 12 : *Première modélisation C.A.O du bouclier arrière..... 81*
Figure 13 : *Modèle éléments finis de la version n°1 du bouclier arrière..... 81*
Figure 14 : *Assemblage de la version n°1 du bouclier sur un châssis M100..... 82*
Figure 15 : *Contrainte maximum au niveau d'un point de fixation..... 83*
Tableau 2 : *Résultats des différents calculs de la version n°1 du bouclier..... 83*
Figure 16 : *Modèle pour l'analyse modale de la version n°1 du bouclier..... 84*

Tableau 3 : *Résultats de l'analyse modale de la première version du bouclier en épaisseur 3 mm* *84*
Figure 17 : *Modèle éléments finis de la version 4.6 du bouclier arrière* *86*
Figure 18 : *Nouvelle esquisse du designer* *87*
Figure 19 : *Différences de fixation sur M100 et H100* *90*

Chapitre 3

Figure 1 : *Première modalité d'intervention des EM* *101*
Figure 2 : *Deuxième modalité d'intervention des EM* *102*
Figure 3 : *Troisième modalité d'intervention des EM* *102*
Figure 4 : *Phase préparatoire et phases de projet* *106*
Encart 1 : *Un exemple de développement en phase préparatoire – propos recueillis auprès d'un EM* *107*
Encart 2 : *Exemples des différentes interventions d'un EM* *110*
Encart 3 : *Propos recueillis auprès d'un EM* *112*
Encart 4 : *Echanges lors d'une réunion brainstorming* *115*
Encart 5 : *Propos recueillis auprès d'un EM* *116*
Tableau 1 : *Les compétences, les rôles et les statuts des EM* *121*
Tableau 2 : *La reconnaissance des activités des EM* *122*
Figure 5 : *Positionnement des phases préparatoires par rapport aux phases de projet* *123*
Figure 6 : *L'EM : une position paradoxale* *125*

Chapitre 4

Figure 1 : *Principe d'asymétries croisées* *137*

Chapitre 5

Figure 1 : *Processus de conceptualisation mis en oeuvre avec TRIZ (source [Choulier et Draghici 00])* *155*
Figure 2 : *Problématique des outils pour l'innovation* *157*
Figure 3 : *Un exemple de tableau concepts/critères* *160*
Figure 4 : *Concept screening (source [Ulrich et Eppinger 95])* *161*
Figure 5 : *Configuration de l'utilisation* *163*
Figure 6 : *Invite de connexion de l'outil ID* *164*
Figure 7 : *Index des projets* *165*
Figure 8 : *Un exemple de TCC du projet composite vu par l'acteur pilote* *166*
Figure 9 : *Exemple de données complémentaires sur la solution existante* *167*
Figure 10 : *Exemples de mémos échangés lors du projet composite* *168*
Figure 11 : *Les différents niveaux de formalisation pour une information* *168*
Figure 12 : *Exemple d'arborescence d'une cellule du TCC* *169*
Figure 13 : *Exemple d'explicitation d'un critère* *170*
Figure 14 : *Un exemple de cartographie d'acteurs impliqués sur le projet composite* *170*
Figure 15 : *Un TCC annoté par des liens, alarmes, questions et demandes d'information* *172*
Figure 16 : *Exemple d'annotation par un lien* *173*

Figure 17 : *Exemple d'annotation par une alarme* *174*
Figure 18 : *Exemple d'annotation par une question*..... *175*
Figure 19 : *Exemple d'un débat sur la recyclabilité du SMC*..... *176*
Figure 20 : *Exemples de données du Show Room du projet bouclier*..... *178*
Figure 21 : *Autorisation d'accès sur un projet*..... *180*
Figure 22 : *Autorisation d'accès sur un critère*..... *180*
Figure 23 : *Tableau des nouvelles informations en attente de validation par l'acteur pilote182*

Thèse de l'Institut National Polytechnique de Grenoble

Titre de l'ouvrage :

Méthodes et outils pour l'innovation produit/process
Le cas de l'intégration des matériaux composites SMC

Nom de l'auteur :
Jérémy Legardeur

Etablissement :
Laboratoire Sols, Solides, Structures

RESUME

L'innovation constitue un enjeu majeur dans les processus de conception de systèmes mécaniques. Par conséquent, le champ de questionnement de ces travaux de recherche porte sur les dispositifs permettant aux acteurs d'une organisation industrielle de concevoir des produits répondant au mieux au triptyque coût, qualité, et délai de mise sur le marché du produit mais répondant, de plus en plus à des objectifs d'innovation. La question des méthodes et des outils d'aide à l'innovation est ici plus particulièrement abordée avec une approche socio-technique de plusieurs cas industriels d'intégration produit/process d'une nouvelle technologie. Nos observations et nos analyses montrent que l'innovation en phase amont de conception nécessite parfois de remettre en cause certains dispositifs traditionnels et conduit parfois les acteurs à travailler de manière informelle dans des phases particulières appelées « phases préparatoires ». Ces travaux montrent que l'innovation produit/process s'inscrit dans une dynamique complexe au niveau des réseaux d'acteurs et de l'organisation, et au niveau des connaissances mobilisées et des apprentissages. Cette thèse vise donc à montrer que l'instrumentation de l'action de conception dans un contexte d'innovation, nécessite d'être pensée au plus près de ces différents niveaux afin de permettre l'émergence de nouveaux outils. Dans cette optique, un outil informatique est proposé suite aux résultats précédents et illustre cette nouvelle approche tournée vers l'expression et l'interaction des différents points de vue d'acteurs pour favoriser la diffusion et la consolidation d'idées de concepts innovants aux interfaces des métiers. L'ensemble des informations d'un projet sont structurées autour de la mise au débat des critères de conception progressivement mobilisés par chaque acteur. Ainsi, cet outil est dédié au pilotage de solutions innovantes tout en permettant la réutilisation des informations et des compétences pour les projets futurs.

MOTS CLES

Innovation - Intégration produit/process - Outil d'aide à l'innovation - Phase préparatoire - Ingénierie collaborative - Coopération - Interaction - Acteur d'interface