HAL
open science

Pilotage des innovations d'ingénierie par la valeur : une voie d'amélioration pour l'ingénierie des aéronefs

Iris De Fontaines

To cite this version:

Iris De Fontaines. Pilotage des innovations d'ingénierie par la valeur : une voie d'amélioration pour l'ingénierie des aéronefs. Autre. Université de Grenoble, 2014. Français. NNT : 2014GRENI098 . tel-01576561

HAL Id: tel-01576561

https://theses.hal.science/tel-01576561

Submitted on 23 Aug 2017

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.

UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

Spécialité : **Génie Industriel**

Arrêté ministériel : 7 août 2006

Présentée par

Iris de FONTAINES

Thèse dirigée par **Pr. Michel TOLLENAERE**
Codirigée par **Dr. Guy PRUDHOMME**

Préparée au sein du **Laboratoire G-SCOP**
Dans **l'École Doctorale IMEP²**
En collaboration avec **AIRBUS HELICOPTERS**

Pilotage des innovations d'ingénierie par la valeur : une voie d'amélioration pour l'ingénierie des aéronefs

Thèse soutenue publiquement le **18 avril 2014**
Devant le jury composé de :

Pr. Eric BONJOUR
Professeur, Université de Lorraine, Président
Pr. Bernard YANNOU
Professeur, Ecole Centrale Paris, Rapporteur
Pr Jérémy LEGARDEUR
Professeur, ESTIA, Rapporteur
Pr. Michel TOLLENAERE
Professeur, Grenoble INP, Directeur de thèse
Dr. Guy PRUDHOMME
Maitre de Conférences, Université J. Fourier, Co-directeur de thèse
Mme Carole DOUCENDE
Airbus Helicopters, Invitée
Mr Didier LEFEUVE
Airbus Helicopters, Invité
Mr Ronan MARHIC
Airbus Helicopters, Invité

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu Michel Tollenaere et Guy Prudhomme, encadrants et supporters de cette thèse. Ils m'ont guidée pendant ces trois années de thèse, m'ont écoutée et m'ont fait confiance. Malgré les kilomètres qui séparent Marignane de Grenoble, ils ont été disponibles et à l'écoute de mes questions mais aussi de mes doutes. J'ai une pensée toute particulière pour Guy, pour sa patience, son optimisme et son souci du détail.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Messieurs les Professeurs Bernard Yannou et Jérémy Legardeur pour avoir accepté d'être rapporteurs de ce manuscrit et pour leurs remarques constructives. Je remercie également Monsieur le Professeur Éric Bonjour pour m'avoir fait l'immense honneur d'être le président de mon jury de thèse.

J'adresse également mes sincères remerciements à Didier Lefeuve, Carole Doucende et Ronan Marhic qui m'ont encadrée et accompagnée chez Airbus Helicopters. Leurs conseils avisés ainsi que leurs expériences du terrain ont été précieux. J'en profite pour remercier Bertrand Truffart, ingénieur thermique au bureau d'études d'Airbus Helicopters. Il n'a pas hésité à m'expliquer son métier et à transmettre ses connaissances.

Une pensée toute particulière à tous mes collègues du service ETPM France qui m'ont accueillie durant ces trois années. Je remercie ainsi Yves, Corinne, Éric, Christian, Didier, Carole, Matthieu, Sébastien, Lucien, Nicolas, Isabelle & Isabelle, Mira, François, Georges et Ludovic !

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidée à mener à terme ce grand projet de 3 ans, parmi elles :

- Clémentine, Konstanca et Mona avec nos déjeuners-filles,
- Marie-Jo et ses accueils chaleureux au laboratoire,
- Muriel pour son soutien et ses nombreux encouragements et conseils,
- Mes parents pour leur soutien

MERCI à TOUS et à très bientôt ☺

Iris de Fontaines

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Table des matières

REMERCIEMENTS **2**

TABLE DES MATIERES **3**

TABLE DES ILLUSTRATIONS **7**

TABLE DES TABLEAUX **9**

GLOSSAIRE **10**

INTRODUCTION- LES ENJEUX, LE CONTEXTE ET LES QUESTIONS DE RECHERCHE **12**

PARTIE 1. LES ENJEUX ET OBJECTIFS DE THESE 13
1.1 L'innovation au cœur des enjeux industriels *13*
1.2 Les objectifs de cette thèse *14*
PARTIE 2. LE CONTEXTE DE LA THESE 16
2.1 L'innovation chez Airbus Helicopters : brève introduction aux pratiques *16*
2.2 Anticiper des exigences *17*
PARTIE 3. QUESTION DE RECHERCHE 19
3.1 Problématique de recherche *19*
3.2 Anticiper et satisfaire dès la phase amont les exigences du développement et déploiement *19*
3.3 Piloter une innovation d'ingénierie en phase amont *19*
PARTIE 4. INTRODUCTION A LA METHODOLOGIE DE RECHERCHE 20
PARTIE 5. FIL CONDUCTEUR DU MANUSCRIT 21

CHAPITRE 2 - PILOTER DES LA PHASE AMONT UNE INNOVATION VERS UN SUCCES COMMERCIAL – ETAT DE L'ART ET DISCUSSION **23**

PARTIE 1 : INNOVER AVEC SUCCES : DE NOMBREUX PARAMETRES A MAITRISER 24
1.1- La gestion de l'innovation *24*
1.1.1- L'innovation : un concept de longue date 24
1.1.2- Gérer l'innovation : de nombreuses facettes à prendre en compte 26
1.1.3- Zoom sur la phase amont du processus d'innovation 28
1.2- Innover avec succès : les enjeux du pilotage *33*
1.2.1- Analyse bibliographique des facteurs clés de succès (FCS) de la phase amont 33
1.2.2- Piloter avec succès la phase amont : maitriser les facteurs liés à sa gestion 37
1.2.3- Piloter avec succès la phase amont : anticiper les incertitudes de l'innovation et du marché 38
1.2.4- Réduction des incertitudes et création de valeur : quels liens ? 40
Synthèse Partie 1 : Innover avec succès, le rôle du processus et des indicateurs *43*
PARTIE 2 : L'EVALUATION DES INDICATEURS DE PILOTAGE EN PHASE AMONT 43
2.1- Piloter les études de faisabilité amont : vers une implémentation de la méthodologie des TRL *45*
2.1.1 Le pilotage des études de faisabilité par l'évaluation de la maturité 45
2.1.2- TRL et processus d'innovation 47
2.1.3- TRL et innovation d'ingénierie 47
2.2- Concevoir, en phase amont, un prototype d'innovation d'ingénierie par une approche d'ingénierie système *48*
2.2.1- Déployer une logique de conception en phase amont : l'ingénierie système 48
2.2.2- Les exigences à collecter 50
2.3- Intégrer le concept de scénario dans l'ingénierie système : vers une expression des besoins et une évaluation de l'utilité en phase amont *51*
2.3.1- Utilité ou valeur d'usage 51
2.3.2- Anticiper et formaliser des usages: le rôle du scénario 51
2.3.3- Coupler le scénario et l'ingénierie système ? 53
2.4- Evaluation de la rentabilité d'une innovation d'ingénierie en phase amont *54*

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

2.4.1- Le business case 54
2.4.2- Evaluation de la valeur financière ou rentabilité 55
Synthèse Partie 2 : Piloter et évaluer les indicateurs en phase amont: associer et coupler des méthodes et outils 56
REFORMULATION DES QUESTIONS DE RECHERCHE 57

CHAPITRE 3- METHODOLOGIE DE RECHERCHE 59

PARTIE 1 : RECHERCHE COLLABORATIVE ET RECHERCHE-ACTION : LES INTERACTIONS CHERCHEURS-PRATICIENS 60
1.1- La méthodologie recherche-action 60
1.2- La méthodologie de recherche-collaborative 60
1.3- Recherche action et Recherche collaborative: des fondamentaux à ne pas négliger 62
PARTIE 2 : LA DEMARCHE DE RECHERCHE APPLIQUEE DANS CETTE THESE 63
2.1- La démarche méthodologique 63
2.2 – Les cas pilotes 66
2.3 – Le concept d'innovation d'ingénierie 67
CONCLUSION CHAPITRE 3 69

CHAPITRE 4- METHODOLOGIE DE PILOTAGE D'INNOVATION D'INGENIERIE EN PHASE AMONT 71

PARTIE 1 : INITIER LA DEMARCHE DU PRE-DEPLOIEMENT DE LA METHODOLOGIE DE PILOTAGE 72
1.1- Déploiement d'une méthodologie 72
1.2- Les besoins et objectifs de la méthodologie de pilotage 73
Synthèse Partie 1: Approche de pré-déploiement d'une nouvelle méthodologie 73
PARTIE 2 : DIAGNOSTIC DES PRATIQUES EXISTANTES 74
2.1- Le pilotage d'innovations de produit hélicoptère en phase amont 74
2.1.1 Les résultats 74
2.1.2 Les projets 75
2.1.3 Les parties prenantes 77
2.1.4 Le processus, les méthodes et outils de pilotage 79
2.1.5 Le transfert technologique vers la phase de développement 81
2.2- Analyse des pratiques de pilotage d'innovations de produit hélicoptère 81
2.2.1 Proposition d'un modèle des pratiques 82
2.2.2 Discussion sur les limites des pratiques existantes : de nouvelles exigences pour évaluer les innovations d'ingénierie en phase amont 87
Synthèse Partie 2: Améliorer et adapter les pratiques existantes-vers le pilotage d'innovations d'ingénierie 88
PARTIE 3- CONCEPTION D'UNE METHODOLOGIE DE PILOTAGE D'INNOVATION D'INGENIERIE EN PHASE AMONT 89
3.1- La vue Organisation 89
3.2- La vue Processus 93
3.2.1 Phase de définition 93
3.2.2 Phase d'acquisition 94
3.2.3 Phase d'exécution 95
3.3- La vue Méthodes et Outils 102
3.3.1 Evaluation de la valeur d'une innovation d'ingénierie : adaptation des niveaux de TRL en TVL 102
3.3.2 Les indicateurs de pilotage 103
3.3.3 Les méthodes et outils de caractérisation des indicateurs 104
3.4- La vue Information : précision des livrables en phase amont 107
Synthèse Partie 3- Conception d'une méthodologie dédiée aux innovations d'ingénierie 109
CONCLUSION CHAPITRE 4 : METHODOLOGIE DE PILOTAGE D'INNOVATION D'INGENIERIE EN PHASE AMONT 110

CHAPITRE 5 - LE SCENARIO, OUTIL STRATEGIQUE EN PHASE AMONT 111

PARTIE 1- LE SCENARIO D'USAGE – SON ROLE, SES CARACTERISTIQUES 112
1.1 - Le scénario, outil central de la phase amont 112

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

1.2 - Un cadre pour caractériser un scénario d'usage *112*
1.2.1- Caractérisation d'un scénario d'usage 112
1.2.2- Le Contenu d'un scénario : quels éléments ? 113
1.2.3- La Forme d'un scénario: définition d'un langage de modélisation 115
1.3 – Précision sur le scénario TO-BE *116*
Synthèse Partie 1- Rôle et caractéristique du scénario d'usage en phase amont *117*
PARTIE 2- ELABORATION DES SCENARIOS AS-IS ET TO-BE DANS LE PROCESSUS AMONT 117
2.1- Activité 1 : Elaborer le scénario AS-IS *117*
Activité 1- Tâche 1.1 : Collecter les données pour qualifier les concepts d'un scénario 118
Activité 1- Tâche 1.2 : Modéliser sous BPMN le scénario AS-IS 118
Activité 1- Tâche 1.3 : Valider le modèle du scénario AS-IS 119
2.2- Activité 2 : Analyser le scénario AS-IS *120*
Activité 2- Tâche 2.1 : Collecter les problèmes du scénario AS-IS 120
Activité 2- Tâche 2.2 : Décrire les problèmes 121
Activité 2- Tâche 2.3 : Identifier les causes des problèmes 122
Activité 2- Tâche 2.4 : Prioriser les problèmes 123
2.3- Activité 3 : Concevoir un scénario TO-BE *124*
Activité 3- Tâche 3.1 : Identifier des actions correctives 124
Activité 3- Tâche 3.2 : Modéliser un scénario TO-BE 125
Activité 3- Tâche 3.3 : Prioriser les scénarios TO-BE 126
Activité 3- Tâche 3.4 : Valider le modèle d'un scénario TO-BE 127
Synthèse Partie 2- Elaboration de scénarios d'usage *127*
PARTIE 3- LE SCENARIO AU CŒUR DU PILOTAGE AMONT 128
3.1 – Activités A4 et A5 : Spécification d'un produit technologique d'innovation d'ingénierie *129*
Activité 4- Tâche 4.1 : Définir les attentes des clients 129
Activité 4- Tâche 4.2 : Définir l'environnement opérationnel du produit technologique 129
Activité 4- Tâche 4.3 : Définir les exigences du cycle de vie du produit technologique 130
Activité 4- Tâche 4.4 : Définir les exigences fonctionnelles du produit technologique 130
Activité 4- Tâche 4.5 : Définir les exigences de performance du produit technologique 130
Activité 4- Tâche 4.6 : Valider les exigences 131
Activité 5- Tâche 5.1 : Analyser les fonctions 131
Activité 5- Tâche 5.2 : Etablir une architecture fonctionnelle du produit technologique 131
Activité 5- Tâche 5.3 : Valider l'architecture fonctionnelle 132
3.2 – Le scénario, au service de l'évaluation de la valeur *132*
3.2.1- Evaluation de TVL : focus sur les activités 8, 11 et 14 132
3.2.2- Le scénario d'usage, au service de l'évaluation de la rentabilité 135
Synthèse Partie 3- Le scénario au service de la phase amont *136*
CONCLUSION CHAPITRE 5 : LE SCENARIO, OUTIL STRATEGIQUE 136

CHAPITRE 6 – EVALUATION INDUSTRIELLE DE LA VALEUR D'UNE INNOVATION INGENIERIE DES LA PHASE AMONT 138

PARTIE 1- DEFINITION ET ACQUISITION DU PROJET EN PHASE AMONT 139
1.1- Identification des besoins et du client *139*
1.1.1- Formalisation du besoin client 139
1.1.2- Identification du client 140
1.2- Définition du projet en phase amont *140*
1.2.1- Contexte associé au besoin du client 140
1.2.2- Définition du projet amont et du produit technologique 140
1.2.3- Définition du cas pilote 141
1.2.4- Définition de l'équipe projet 141
PARTIE 2 - PHASE D'EXECUTION DU PROJET AMONT : SPECIFICATION DU PRODUIT TECHNOLOGIQUE 142
2.1- Elaborer le scénario AS-IS (Activité 1) *142*
2.2- Analyser le modèle du scénario AS-IS (Activité 2) *144*

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

2.3- Concevoir un scénario TO-BE (Activité 3) ... 146
2.3.1- Proposition d'un scénario TO-BE ... 146
2.3.2- Identification des améliorations apportées ... 147
2.4- Analyser les exigences du produit technologique et en définir son architecture fonctionnelle (Activités 4 et 5) ... 149
2.4.1- Analyse des exigences ... 149
2.4.2- Définition de l'environnement opérationnel du M-BDA ... 151
2.4.3- Analyse fonctionnelle du M-BDA ... 151
PARTIE 3 – PHASE D'EXECUTION DU PROJET AMONT : PROTOTYPAGE ET EVALUATION DE LA VALEUR (TVL) ... 153
3.1- Prototypage et test des composants du produit technologique M-BDA (Activité 6 et 7) ... 153
3.1.1- Environnement TVL4 ... 153
3.1.2- Architecture fonctionnelle – Architecture Physique ... 153
3.1.3- Test des composants dans l'environnement TVL4 ... 154
3.2- Evaluation du TVL4 ... 154
3.2.1- Evaluation de la valeur fonctionnelle à TVL4 ... 154
3.2.2- Evaluation de l'utilité à TVL4 ... 158
3.2.3- Evaluation de la rentabilité à TVL4 ... 158
3.2.4- Evaluation de la valeur stratégique à TVL4 ... 159
3.3- Actions futures pour valider TVL4 et avancer vers TVL5-6 ... 160
CONCLUSION CHAPITRE 6 : EVALUER LA VALEUR EN PHASE AMONT ... 160

CONCLUSION, APPORTS ET PERSPECTIVES ... 162

RAPPEL DES OBJECTIFS DE LA RECHERCHE ... 163
LES APPORTS DU TRAVAIL DE RECHERCHE ... 164
PERSPECTIVES ... 165

BIBLIOGRAPHIE ... 167

ANNEXE 1 : FORMALISME DE LA NOTATION BPMN ... 176

ANNEXE 2 : APPROCHE SIPOC SCENARIO AS-IS, INTEGRATION AEROTHERMIQUE D'UN MOTEUR ... 177

RESUME ... 178
ABSTRACT ... 178

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Table des illustrations

FIGURE 1 : AXES D'INNOVATION (OCDE 2005) 13
FIGURE 2 : L'INNOVATION D'INGENIERIE, UN DES AXES D'INNOVATION 14
FIGURE 3: EXEMPLE DE PROCESSUS D'INNOVATION 15
FIGURE 4: PROCESSUS OPERATIONNEL D'INNOVATION DE PRODUIT HELICOPTERE 16
FIGURE 5: PROCESSUS OPERATIONNEL D'INNOVATION D'INGENIERIE 17
FIGURE 6: EXIGENCES POUR PILOTER LA PHASE AMONT DU PROCESSUS D'INNOVATION D'INGENIERIE 18
FIGURE 7: FIL CONDUCTEUR DU MANUSCRIT DE THESE 22
FIGURE 8 : MAISON DE L'INNOVATION PAR LE CABINET AT KEARNEY 26
FIGURE 9: PROCESSUS DE GESTION DE L'INNOVATION (DEVALAN 2013) 27
FIGURE 10 : FUNNEL DE L'INNOVATION (MCGRATH 1992) 29
FIGURE 11: MODELE INNOVENTURE DEVELOPPE PAR (LEDIBOIS 2001) 30
FIGURE 12: MODELE DE LA PHASE AMONT PAR (KHURANA & ROSENTHAL 1998) 30
FIGURE 13 : MODELE DE PILOTAGE AMONT « STAGE-GATE » DE (COOPER 1990) 31
FIGURE 14: MODELE DU NEW CONCEPT DEVELOPMENT (KOEN ET AL. 2001) 32
FIGURE 15: FACTEURS CLES DE SUCCES DE GESTION DE LA PHASE AMONT 37
FIGURE 16: FACTEURS CLES DE SUCCES EN RELATION AVEC LES INCERTITUDES TECHNOLOGIQUES 39
FIGURE 17 : FACTEURS CLES DE SUCCES EN RELATION AVEC LES INCERTITUDES ECONOMIQUES 40
FIGURE 18: ACTEURS ET CONNAISSANCES PRODUITES PENDANT LE PROCESSUS D'INNOVATION, VERS UNE MATRICE DE L'INNOVATION ET DE SA VALEUR 41
FIGURE 19: MODELE DU PROCESSUS D'INNOVATION D'INGENIERIE 41
FIGURE 20 : PROCESSUS D'INNOVATION, ACTEURS, CONNAISSANCES ET VALEUR 42
FIGURE 21: RELATIONS ENTRE NIVEAUX DE MATURITE ET JALONS DU PROCESSUS D'INNOVATION DE PRODUIT 47
FIGURE 22: PROCESSUS D'INGENIERIE SYSTEME (SAUSER ET AL. 2010) 49
FIGURE 23: ROLES DU SCENARIO D'USAGE 52
FIGURE 24: ROLES DES SCENARIOS D'USAGE AS-IS ET TO-BE 54
FIGURE 25: L'APPROCHE DE RECHERCHE ACTION PAR (COUGHLAN & COGHLAN 2002) 60
FIGURE 26: REPRESENTATION DU CADRE METHODOLOGIQUE D'AVENIER (AVENIER 2009) 62
FIGURE 27: SCHEMA DE L'APPROCHE METHODOLOGIQUE DU TRAVAIL DE RECHERCHE 65
FIGURE 28 : PHOTOGRAPHIE ET SCHEMA ILLUSTRANT LA LOCALISATION ET LA NOMENCLATURE D'UN COMPARTIMENT MOTEUR 66
FIGURE 29 : NOMENCLATURE D'UN ENSEMBLE TUYERE PRIMAIRE – DEVIATEUR - CAISSON 67
FIGURE 30: ENVIRONNEMENT D'UN PROCESSUS DE SIMULATION 68
FIGURE 31: FICHE D'IDENTITE DU PROJET DE RECHERCHE CRESCENDO 69
FIGURE 32 : DECOMPOSITION D'UNE METHODOLOGIE SELON (ESTEFAN 2008) 72
FIGURE 33: DESCRIPTION DES ETAPES DE LA PHASE DE PRE-DEPLOIEMENT D'UNE METHODOLOGIE 73
FIGURE 34: MODELE DE CARACTERISATION D'UN PROCESSUS 74
FIGURE 35 : TYPE DE R&D SELON L'ETAT DE READINESS D'UN PRODUIT TECHNOLOGIQUE 76
FIGURE 36 : MODELE DU PROCESSUS EN PHASE AMONT POUR LES INNOVATIONS DE PRODUIT HELICOPTERE 79
FIGURE 37 : MODELE DU SOUS-PROCESSUS « EXECUTION DU PROJET AMONT» 80
FIGURE 38: EXIGENCES PRINCIPALES A VALIDER POUR LANCER LA PHASE DE DEVELOPPEMENT 81
FIGURE 39: MODELE DE LA METHODOLOGIE DE PILOTAGE AMONT POUR UNE INNOVATION DE PRODUIT HELICOPTERE 87
FIGURE 40: RAPPEL DES VUES ET CONCEPTS DU MODELE DE PILOTAGE D'UNE INNOVATION DE PRODUIT HELICOPTERE 89
FIGURE 41 : CYCLE DE PROJETS D'UNE INNOVATION D'INGENIERIE 90
FIGURE 42 : MODELE DE LA PHASE DE « DEFINITION » DU PROCESSUS AMONT POUR UNE INNOVATION D'INGENIERIE 94
FIGURE 43 : MODELE DE LA PHASE D'ACQUISITION DU PROCESSUS AMONT POUR UNE INNOVATION D'INGENIERIE 94
FIGURE 44 : LOGIQUE DE PILOTAGE D'UN PROJET D'INNOVATION D'INGENIERIE EN PHASE AMONT 95
FIGURE 45 : ACTIVITE 1_ELABORER LE SCENARIO AS-IS 96
FIGURE 46 : ACTIVITE 2_ANALYSER LE SCENARIO AS-IS 97

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

FIGURE 47 : ACTIVITE 3_CONCEVOIR UN SCENARIO TO-BE 97
FIGURE 48 : ITERATION DES ACTIVITES 4 ET 5 98
FIGURE 49 : ACTIVITE 6_PROTOTYPER LES COMPOSANTS DU PRODUIT TECHNOLOGIQUE 98
FIGURE 50 : ACTIVITE 7_TESTER LES COMPOSANTS DANS L'ENVIRONNEMENT TVL4 98
FIGURE 51 : ACTIVITE 8_EVALUER LA VALEUR DES COMPOSANTS (TVL4) 99
FIGURE 52 : ACTIVITE 9_PROTOTYPER LES SOUS-SYSTEMES DU PRODUIT TECHNOLOGIQUE 99
FIGURE 53 : ACTIVITE 10_TESTER LES SOUS-SYSTEMES DANS UN ENVIRONNEMENT TO-BE (TVL5) 99
FIGURE 54 : ACTIVITE 11_EVALUER LA VALEUR DES SOUS-SYSTEMES (TVL5 100
FIGURE 55 : ACTIVITE 12_PROTOTYPER LE PRODUIT TECHNOLOGIQUE 100
FIGURE 56 : ACTIVITE 13_TESTER LE PRODUIT TECHNOLOGIQUE 100
FIGURE 57 : ACTIVITE 14_EVALUER LA VALEUR DU PRODUIT TECHNOLOGIQUE (TVL6) 101
FIGURE 58 : MODELE DE LA PHASE D'EXECUTION DU PROCESSUS AMONT POUR UNE INNOVATION D'INGENIERIE 101
FIGURE 59 : ZOOM SUR LA VUE PROCESSUS DU MODELE DE PILOTAGE D'UNE INNOVATION 102
FIGURE 60 : ZOOM SUR LA VUE METHODES & OUTILS DU MODELE DE PILOTAGE D'UNE INNOVATION 102
FIGURE 61 : DEFINITION DES NIVEAUX DE VALEUR (TVL) EN PHASE AMONT POUR UNE INNOVATION D'INGENIERIE 103
FIGURE 62 : ZOOM SUR LA VUE INFORMATION DU MODELE DE PILOTAGE D'UNE INNOVATION 107
FIGURE 63 : MODELE DU PILOTAGE D'UNE INNOVATION D'INGENIERIE EN PHASE AMONT 109
FIGURE 64: VERS LE CONTENU D'UN SCENARIO 114
FIGURE 65: MODELE D'UN SCENARIO D'USAGE (SYNTAXE ABSTRAITE) 115
FIGURE 66 : CARACTERISATION DES SCENARIOS 116
FIGURE 67: FOCUS SUR LES ACTIVITES 1 A 3 DU PROCESSUS D'EXECUTION D'UN PROJET AMONT 117
FIGURE 68: MODELE DU SCENARIO AS-IS DU CAS PILOTE N°1 119
FIGURE 69: MODELE DE L'ACTIVITE 1 - ELABORER LE SCENARIO AS-IS 120
FIGURE 70: CAUSES DU PROBLEME 6 « PERTE DE TRAÇABILITE ET DE QUALITE DES DONNEES » 122
FIGURE 71 : MODELE L'ACTIVITE 2 - ANALYSER LE SCENARIO AS-IS 124
FIGURE 72 : SCENARIO TO-BE LIE AU CAS PILOTE N°1 126
FIGURE 73 : MODELE DE L'ACTIVITE 3 – CONCEVOIR UN SCENARIO TO-BE 127
FIGURE 74: MODELE DE L'ENCHAINEMENT DES TACHES DES ACTIVITES A1 A A3 128
FIGURE 75 : LE SCENARIO AU SERVICE DES ACTIVITES 4 ET 5 DU PROCESSUS D'EXECUTION D'UN PROJET AMONT 129
FIGURE 76 : MODELE DE L'ACTIVITE 4 - ANALYSER LES EXIGENCES DU CLIENT ET DU PRODUIT TECHNOLOGIQUE 131
FIGURE 77 : MODELE DES ACTIVITES 4&5- ANALYSER LES EXIGENCES ET DEFINIR L'ARCHITECTURE FONCTIONNELLE 132
FIGURE 78 : LE SCENARIO AU SERVICE DES ACTIVITES 8, 11 ET 14 DE LA METHODOLOGIE AMONT 133
FIGURE 79 : EXEMPLES DE GAINS GENERES PAR UNE INNOVATION D'INGENIERIE 135
FIGURE 80 : MODELE DU PROCESSUS DE PILOTAGE EN PHASE AMONT 139
FIGURE 81 : CHAINE CLASSIQUE D'ACTIVITES D'UN PROCESSUS DE SIMULATION 139
FIGURE 82 : PROCESSUS D'EXECUTION D'UN PROJET AMONT 142
FIGURE 83 : MODELE DU SCENARIO AS-IS 143
FIGURE 84: ARBRE DE CAUSES DU PROBLEME 1 « LES PROBLEMES DE DESIGN SONT IDENTIFIES TROP TARD » 145
FIGURE 85 : ARBRE DE CAUSES DU PROBLEME 2 145
FIGURE 86 : ARBRE DE CAUSES DU PROBLEME 3 146
FIGURE 87 : MODELE BPMN DU SCENARIO TO-BE PROPOSE POUR LE CAS PILOTE DU PROJET AMONT INTERNE 147
FIGURE 88 : WORKFLOW DE CALCULS DU CAS PILOTE DDJ 154
FIGURE 89 : MATRICE SWOT DU PRODUIT TECHNOLOGIQUE M-BDA 160

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Table des tableaux

TABLEAU 1 : DIFFERENCES ENTRE LES PHASES AMONT ET DE DEVELOPPEMENT (KIM & WILEMON 2002) (KOEN ET AL. 2001) 28
TABLEAU 2 : CARACTERISTIQUES ESSENTIELLES DE LA PHASE AMONT 32
TABLEAU 3 : REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES RELATIVES AU SUCCES DE LA PHASE AMONT DU PROCESSUS D'INNOVATION..... 33
TABLEAU 4 : LIENS ENTRE VALEUR DE L'INNOVATION ET INDICATEURS DE PILOTAGE AMONT 42
TABLEAU 5 : INDICATEURS DE PILOTAGE DE LA PHASE AMONT ET LEURS CRITERES..... 44
TABLEAU 6 : DEFINITION DES NIVEAUX DE TRL PAR (MANKINS 1995), (UNITED STATES GENERAL ACCOUNTING OFFICE 1999), (MITCHELL 2007), (DGA 2009), (ISO 2013) 46
TABLEAU 7 : METHODES ET OUTILS D'EVALUATION DES INDICATEURS DE PILOTAGE 57
TABLEAU 8 : DEFINITION DE LA RECHERCHE FONDAMENTALE, DE LA RECHERCHE APPLIQUEE ET DU DEVELOPPEMENT EXPERIMENTAL PAR (OCDE 2002) 75
TABLEAU 9 : PARTIES PRENANTES ET LEURS RESPONSABILITES EN PHASE AMONT POUR UNE INNOVATION DE PRODUIT..... 78
TABLEAU 10 : TYPOLOGIE DES PARTIES PRENANTES EN PHASE AMONT POUR UNE INNOVATION D'INGENIERIE 91
TABLEAU 11 : CRITERES ET SOUS-CRITERES POUR EVALUER LA VALEUR (TVL) D'UNE INNOVATION D'INGENIERIE 105
TABLEAU 12 : ENSEMBLE DES LIVRABLES DU PROCESSUS AMONT, DE LA PHASE DE DEFINITION A L'EXECUTION 108
TABLEAU 13 : ADAPTATION DE L'APPROCHE SIPOC POUR COLLECTER LES CONCEPTS DU SCENARIO AS-IS..... 118
TABLEAU 14 : FICHE D'IDENTITE D'UN PROBLEME DU SCENARIO AS-IS 121
TABLEAU 15 : CARACTERISATION DES CRITERES ET SOUS-CRITERES DES INDICATEURS DE PILOTAGE AMONT 133
TABLEAU 16 : DETAILS DES CONCEPTS DU SCENARIO AS-IS ETUDIE 143
TABLEAU 17 : DESCRIPTION DU PROBLEME 1 144
TABLEAU 18 : DESCRIPTION DU PROBLEME 2 144
TABLEAU 19 : DESCRIPTION DU PROBLEME 3 145
TABLEAU 20 : GAINS QUANTITATIFS ET QUALITATIFS LIES AU PRODUIT TECHNOLOGIQUE M-BDA 148
TABLEAU 21 : EXIGENCES DES PARTIES PRENANTES DU CAS PILOTE..... 149
TABLEAU 22 : FONCTIONS ATTENDUES DU PRODUIT TECHNOLOGIQUE M-BDA..... 151
TABLEAU 23 : ARCHITECTURE PHYSIQUE DU M-BDA..... 154
TABLEAU 24 : VALIDATION DES EXIGENCES PAR LES TESTS A TVL4 155
TABLEAU 25 : EVALUATION DES GAINS DANS LE SCENARIO TO-BE..... 158

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Glossaire

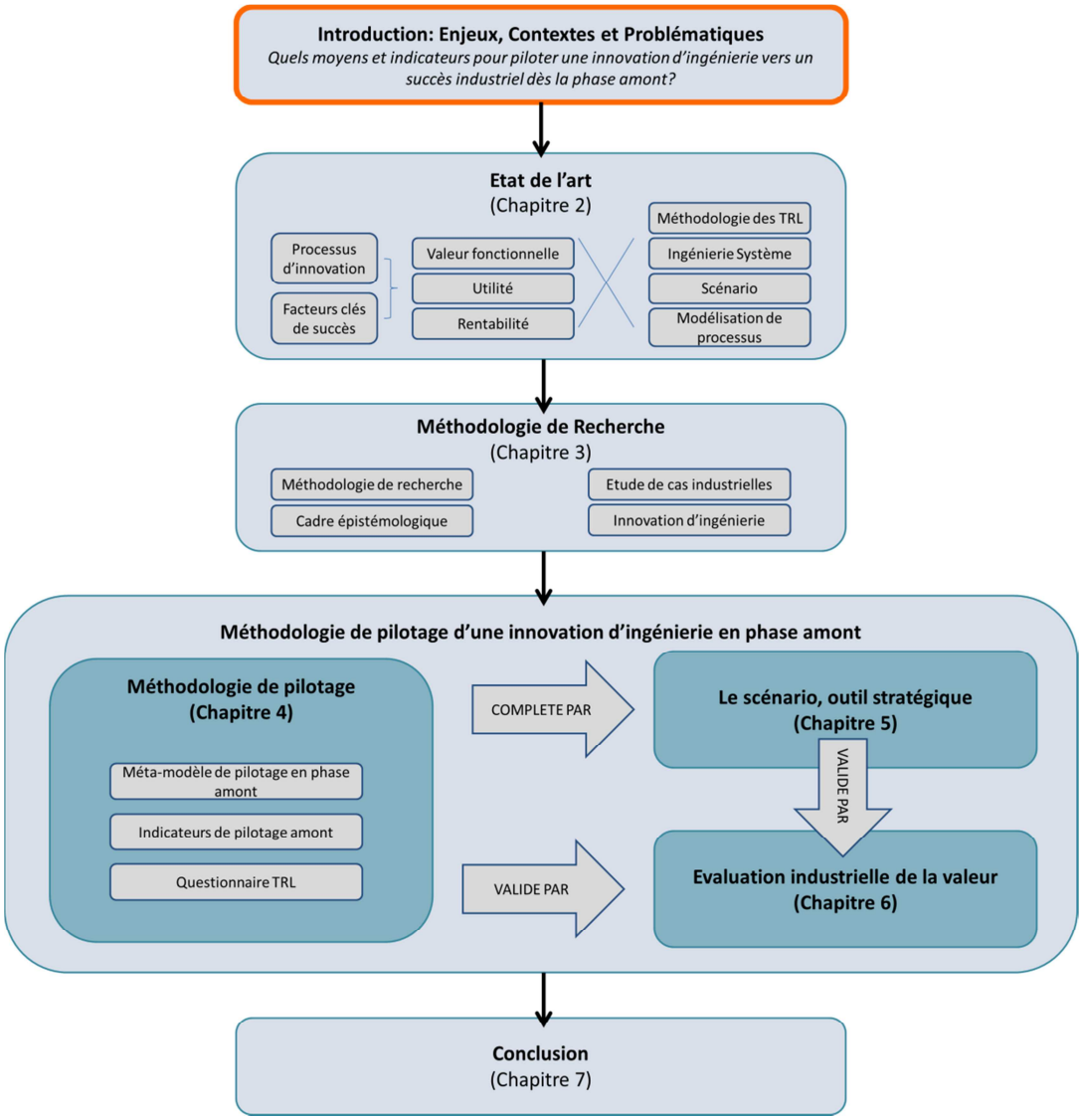
Innovation	Processus itératif en entonnoir, qui vise la commercialisation de nouveaux produits, services, procédés, organisations … Une innovation s'inscrit dans une stratégie et répond à des besoins. Une innovation est dite de succès si elle est adoptée par des clients (ou utilisateurs). Le processus d'innovation se compose d'une génération/sélection d'idées, de développements expérimentaux/études de faisabilité, d'un développement, d'une production puis commercialisation.
Phase amont	Le processus d'innovation se structure en deux phases : une phase amont et une phase de développement et commercialisation. L'objectif de la phase amont est d'explorer de nouvelles idées, de vérifier la faisabilité de concepts dans le but de soutenir une prise de décision de type Go/No-Go sur des investissements vers un développement La phase amont, appelée Fuzzy Front End (FFE) en anglais, rassemble les activités de générations d'idées, de sélections d'idées et de développement expérimental (études de faisabilité).
Recherche et Développement	La recherche se distingue par de la recherche fondamentale, de la recherche appliquée et du développement expérimental. La recherche alimente la phase amont. La recherche appliquée et le développement expérimental se caractérisent par des projets de recherche et technologie (R&T)
Produit technologique	Une innovation est un des résultats du processus complet d'innovation : on commercialise une innovation. Cependant, en phase amont, on étudie des composants d'une innovation : les produits technologiques. Un produit technologique est une technologie, une architecture ou un processus qui répond à des exigences. Il est gérable en termes de responsabilité, de temps et de budget.
Innovation d'ingénierie	Une innovation d'ingénierie correspond aux processus, méthodes et outils industriels utilisés pour concevoir un produit. L'innovation d'ingénierie est en ingénierie c'est qu'est l'innovation de procédés en production. Chez Airbus Helicopters, une innovation d'ingénierie n'est pas commercialisée mais déployée dans le cadre de programmes de développement hélicoptère Exemples d'innovation d'ingénierie : PLM, outils de calculs, SLM
Indicateur de pilotage	Outil décisionnel qui permet de suivre l'avancement d'un projet et de son sujet vers un objectif. C'est en caractérisant un indicateur que les parties prenantes sont en mesure de décider de l'orientation du projet.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Utilité	Aussi appelée valeur d'usage, l'utilité est la mesure de la satisfaction d'un client lors de la consommation d'un produit. Pour une innovation d'ingénierie, l'utilité représente la satisfaction d'un utilisateur à utiliser l'innovation d'ingénierie lors des phases de conception d'un hélicoptère. L'utilité représente la capacité d'une innovation de répondre aux usages attendus.
Rentabilité	La rentabilité d'une innovation d'ingénierie correspond au rapport entre les revenus obtenus par son utilisation et les ressources mises en œuvre pour la créer, développer et déployer.
Valeur fonctionnelle	La valeur fonctionnelle d'une innovation d'ingénierie correspond à sa capacité à être faisable, c'est-à-dire développable, productible, maintenable et ce, tout en répondant aux performances attendues.
Valeur stratégique	Une innovation s'inscrit dans une stratégie. La valeur stratégique correspond à la capacité d'une innovation à s'inscrire et à contribuer à la stratégie d'une entreprise.
Technology Readiness Level (TRL)	La méthodologie des TRL est une échelle d'évaluation de la readiness d'un produit technologique. Cette méthodologie est dédiée aux produits technologiques d' innovations de produit aéronautiques et aérospatiales. Le TRL6 correspond au dernier niveau de readiness en phase amont.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Introduction- Les enjeux, le contexte et les questions de recherche



Le travail présenté dans ce document a été réalisé en partenariat entre le laboratoire G-SCOP et la société Airbus Helicopters, anciennement Eurocopter, fabricant d'hélicoptères du groupe Airbus. Airbus Helicopters conçoit, produit et maintient une large gamme d'hélicoptères civils et gouvernementaux. Le laboratoire G-SCOP est un laboratoire public spécialisé dans l'optimisation des processus industriels de production et de conception de produits.

La thèse défendue dans ce manuscrit porte sur l'amélioration des méthodes et outils de pilotage des projets innovants en phase amont. On se focalise sur le cas particulier des innovations d'ingénierie : processus, méthodes et outils utilisés pour concevoir, développer et certifier un hélicoptère. Le client principal de l'innovation d'ingénierie dans cette thèse est le bureau d'études d'Airbus Helicopters.

Ce chapitre introductif présente le contexte des travaux, définit les concepts utilisés ci-avant, formalise les attentes industrielles et scientifiques, et renseigne enfin les différents verrous identifiés à lever.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Partie 1. Les enjeux et objectifs de thèse

1.1 L'innovation au cœur des enjeux industriels

Dans le contexte industriel de ce début du XXIème siècle, innover est un leitmotiv qui permet non seulement de maintenir une position concurrentielle, mais aussi de gagner de nouveaux marchés. Mais qu'est-ce qu'innover ? Est-ce inventer ?
Non, être un bon inventeur n'est pas suffisant pour être leader sur un marché. Une invention doit être déployée, adoptée par les clients et source de valeur pour devenir une innovation dite « de succès » (Akrich et al. 1988). Plusieurs axes d'innovation sont envisageables (voir Figure 1). On retrouve l'innovation classique de produit (voiture électrique, structure composite, équipements avioniques) qui peut parfois s'appuyer sur des innovations de procédés, telles que les méthodes d'impression 3D. Les innovations de produit et de procédés peuvent être commercialisées à l'aide d'innovation commerciale (principe de vente en ligne DELL). Enfin, l'organisation d'une entreprise elle-même repose sur des innovations (salle de créativité, forum (Fraslin & Blanco 2013)…).

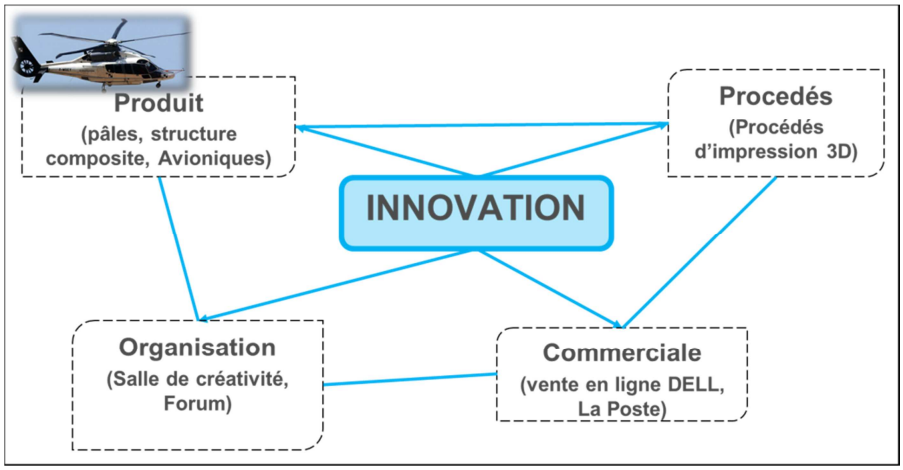


Figure 1 : Axes d'innovation (OCDE 2005)

Airbus Helicopters affiche principalement l'ambition d'innover sur l'axe produit pour répondre au mieux aux exigences pointues des clients. On trouve par exemple dans cette catégorie, des innovations de design, de matériaux, d'équipements qui influencent favorablement la performance et la manœuvrabilité de l'hélicoptère (gain en vitesse et en consommation, réduction des nuisances sonores, nouvelles missions de vol). L'innovation de produit est aussi accompagnée de services : maintenance, formation, aide au pilotage …
Mais un nouvel axe d'innovation se dessine aussi (voir Figure 2) : l'innovation d'ingénierie, qui englobe les processus, méthodes et outils d'ingénierie utilisés pour optimiser le processus de développement hélicoptère. On trouve par exemple des fonctionnalités PLM, des architectures de simulation collaborative, l'automatisation de processus… L'innovation d'ingénierie s'inscrit dans une approche de lean engineering (McManus 2005).

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

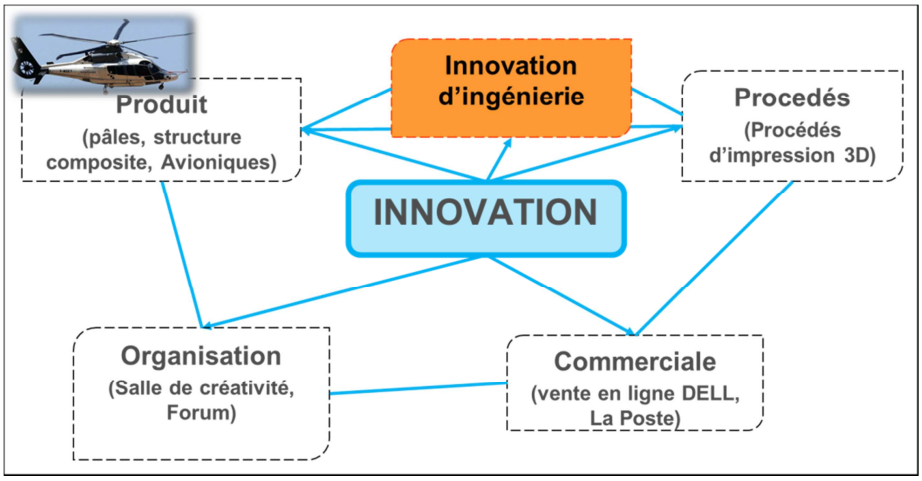


Figure 2 : L'innovation d'ingénierie, un des axes d'innovation

L'innovation d'ingénierie est utilisée par les métiers pour concevoir, développer et certifier l'hélicoptère et permet ainsi de réduire les cycles et coûts de développement tout en maitrisant mieux les configurations d'hélicoptères. Une innovation d'ingénierie dégage des gains stratégiques pour l'entreprise : la maîtrise des coûts et de la durée des cycles de développement ainsi que la qualité du produit commercialisé au profit d'une meilleure customisation.

Dans son rapport sur le business process maturity model (BPMM), l'Object Management Group précise que la qualité d'un produit dépend de la qualité du processus utilisé tout au long de son cycle de vie : « *Un processus efficace lie des individus, des outils et des méthodes dans un ensemble intégré* » (OMG 2008). L'innovation d'ingénierie est donc un bon vecteur pour contribuer à l'atteinte d'objectifs stratégiques en aidant les individus à travailler avec efficacité et avec une meilleure cohérence (J. Lee et al. 2007).

1.2 Les objectifs de cette thèse

Cette thèse se concentre sur l'innovation d'ingénierie comme axe d'optimisation du processus de développement d'un hélicoptère. Le terme « innovation d'ingénierie » sera étudié de manière plus approfondie au chapitre 3. Pour aider le lecteur à l'assimiler, nous retiendrons que dans cette thèse une innovation d'ingénierie est dédiée aux acteurs (designers et analystes) du bureau d'études, qu'elle couvre plusieurs disciplines (aérodynamique, thermique, acoustique…) ainsi que leurs interfaces (collaboration, échange de données, calculs multidisciplinaires).

Pour viser un déploiement, il est auparavant essentiel de concevoir et développer l'innovation d'ingénierie à l'aide du processus de gestion de l'innovation.
Le processus de gestion de l'innovation s'initie par une génération et évaluation d'idées (Figure 3). Les idées, identifiées comme prometteuses, sont conceptualisées et étudiées en termes de faisabilité technologique et performance lors d'études de faisabilité. Les structures de décision utilisent les résultats des études pour décider ou non d'investir dans un développement puis une commercialisation de l'innovation sur un marché. Le passage d'une phase à l'autre se formalise par des jalons et prises de décisions.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

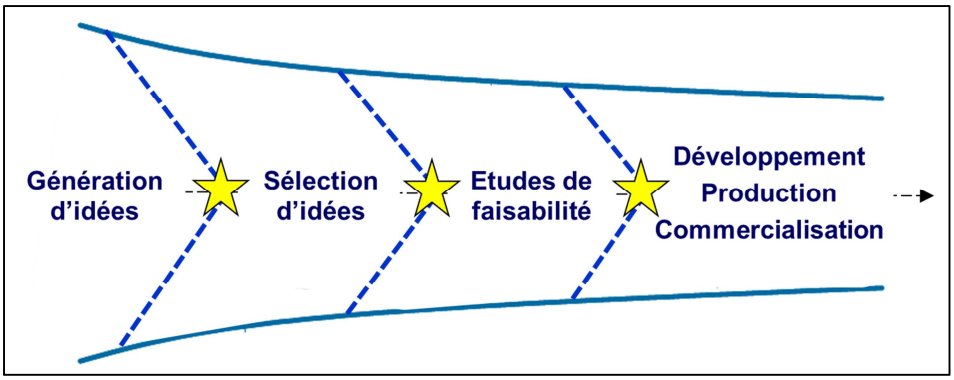


Figure 3: Exemple de processus d'innovation

La génération, sélection d'idées et les études de faisabilité sont rassemblées sous le terme de « phase amont » du processus d'innovation (Ferioli 2010), ou Fuzzy Front End en anglais. Seule une part minime des idées initialement générées est finalement commercialisée.
La phase amont conditionne le succès des phases de développement et de déploiement : c'est en phase amont que les concepts à développer sont choisis.

L'objectif de cette thèse est d'améliorer le pilotage d'innovation d'ingénierie en phase amont pour optimiser le processus de développement d'un hélicoptère. On se focalise sur le pilotage d'innovation d'ingénierie pendant les études de faisabilité. La génération et sélection d'idées ne sont pas traitées mais fournissent des entrées aux études de faisabilité.
Une innovation d'ingénierie, et plus précisément les concepts sur lesquels elle repose, est étudiée en phase amont via des projets de recherche dit Recherche et Technologie (R&T).

Le pilotage d'une innovation ou plus largement d'un projet représente un accompagnement ou un soutien (Peraya & Jaccaz 2004) pour atteindre des objectifs (Kerzner 2003). Il existe plusieurs niveaux de pilotage dont le pilotage stratégique, tactique et opérationnel. Dans le milieu industriel, le pilotage opérationnel est souvent associé aux coûts, aux délais, à la qualité et à la valeur (Gonzales Ramirez 2009) et est de type stop or go ((ECOSIP 1993), (Lenfle 2008)) où un jalon est une occasion pour s'interroger et décider de la trajectoire future du projet.
Les décisions prises aux jalons reposent sur la mise en œuvre d'indicateurs qui expriment et évaluent des performances (coûts, délais, qualité, valeur) (Bitton 1990), (Berrah & Clivillé 2007). Un indicateur est « *une information contribuant à l'appréciation d'une situation devant aider des acteurs à conduire une action vers l'atteinte d'objectifs* » (Fernandez 1999). Dans la littérature il est parfois question d'indicateur de performance (Key Performance Indicator KPI) ou de facteur de succès (David Le Bezvoët 2013).
Piloter un projet en phase amont correspond donc de notre point de vue, à l'orientation des actions à mener à un instant t pour atteindre un objectif et ce, à l'aide de la caractérisation d'indicateurs. Cette orientation permet dynamiquement et au plus tôt de prendre des décisions pour contourner, résoudre, approfondir des difficultés (techniques, humaines, économiques …) qui apparaissent. Une orientation possible correspond à l'arrêt du projet si les indicateurs montrent que dans la voie engagée et dans le contexte donné les objectifs sont impossibles à atteindre.

Notre objectif de thèse est alors de **structurer la phase amont** (études de faisabilité) **pour étudier et piloter des projets d'innovation d'ingénierie**, c'est-à-dire de déterminer les processus, indicateurs et outils utiles et pratiques pour guider et piloter l'exécution d'un projet amont. De plus, nous faisons l'hypothèse que ce pilotage amont doit **anticiper et prendre en compte les besoins associés aux phases de développement et de déploiement** de l'innovation.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Partie 2. Le contexte de la thèse

2.1 L'innovation chez Airbus Helicopters : brève introduction aux pratiques

Un processus de gestion de l'innovation de produit hélicoptère est déjà en place chez Airbus Helicopters et la thèse se doit de s'articuler au mieux avec ces pratiques.

Concrètement, Airbus Helicopters utilise une approche Stage-Gate (Cooper 1990) pour piloter le développement, la production et la commercialisation d'innovation hélicoptère (processus horizontal orange en Figure 4) : le processus est séquencé par des phases et des jalons ; la validation de livrables à chaque jalon est une condition nécessaire pour le passage à la phase suivante.

La phase de développement d'un hélicoptère peut être alimentée par le transfert de nouveaux concepts technologiques (design, matériaux, équipements) issus de la phase amont du processus innovation de produit (projet de recherche, études internes Eurocopter).

La phase amont, et ses projets de recherche et technologie (R&T), sont pilotés par la méthodologie des TRL (Mankins 1995) : un concept doit atteindre un niveau de maturité TRL6 pour être transféré en phase de développement. Les niveaux de TRL seront détaillés dans le Chapitre 2.

Si on se limite aux phases amont et de développement, le processus d'innovation hélicoptère fait intervenir deux entités : un projet amont (projet de recherche, en vert en Figure 4) et un projet de développement (le programme hélicoptère ou programme H/C, en orange en Figure 4).

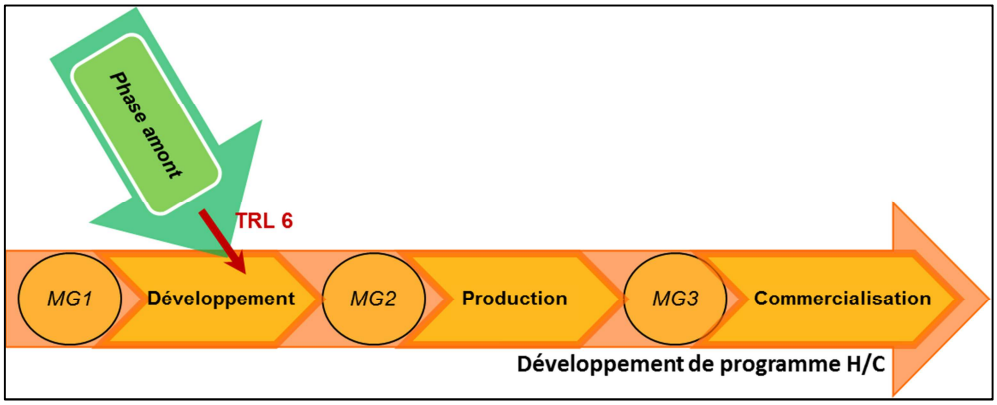


Figure 4: Processus opérationnel d'innovation de produit hélicoptère

Une innovation d'ingénierie nécessite une entité intermédiaire (en Jaune en Figure 5). Pour une innovation d'ingénierie, la phase amont produit des idées et concepts qui sont ensuite développés, non pas pendant le programme hélicoptère mais, en avance de phase, dans des projets de développement Méthodes et Outils (M&T). Les projet de développement M&T sont pilotés par une approche Stage-Gate (Cooper 1990).

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

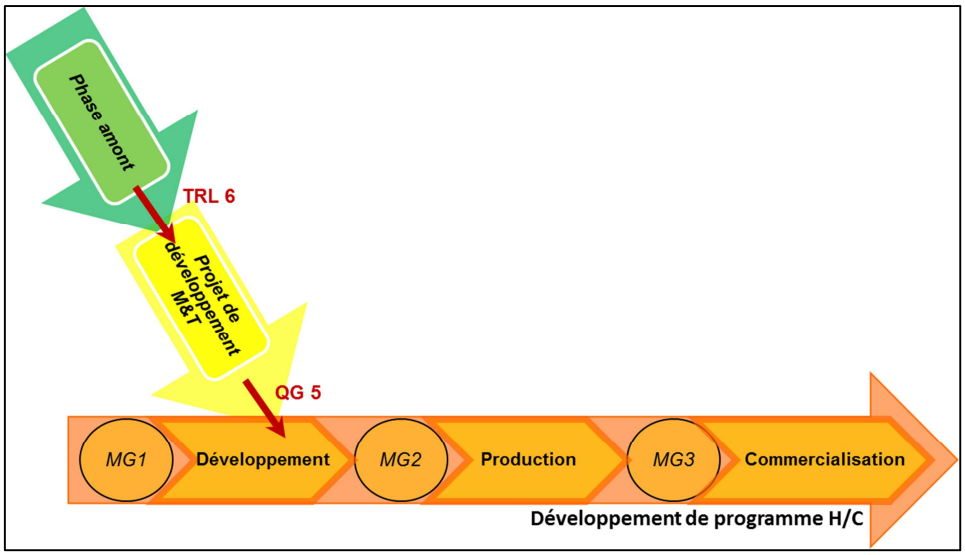


Figure 5: Processus opérationnel d'innovation d'ingénierie

Un projet amont d'innovation d'ingénierie se termine par la validation d'un TRL6. Une innovation d'ingénierie développée par un projet de développement M&T est déployée dans le cadre d'un programme hélicoptère, lorsque le jalon QG5 est validé (Quality Gate).

Le déploiement d'innovations d'ingénierie doit temporellement coïncider avec leur future utilisation et exploitation dans les programmes hélicoptères. Cette intersection temporelle est une exigence de levée de risques : intégrer un outil non mature dans un programme H/C pourrait engendrer d'importants retards sur le programme hélicoptère. Mais les besoins des clients évoluant rapidement avec le temps, un développement trop tôt des innovations d'ingénierie est aussi un risque d'échec du déploiement.

Trois entités sont identifiées et illustrées en Figure 5 : le projet amont (en vert), le projet de développement M&T (en jaune) et le programme hélicoptère (en orange). Ces niveaux sont pilotés par des organisations et des parties prenantes différentes (et qui seront explicitées en détail au Chapitre 4).

L'analyse des pratiques industrielles associées au processus d'innovation chez Airbus Helicopters (voir Chapitre 4) montre que la phase amont est aujourd'hui structurée pour des innovations de produit hélicoptère, mais ce n'est pas tout à fait le cas pour les innovations d'ingénierie. L'apparition d'un niveau intermédiaire (projets de développements M&T) engendre notamment des problématiques d'interopérabilité organisationnelle ; d'autre part, dans la pratique, la méthodologie des TRL montre des limites pour piloter des innovations d'ingénierie en phase amont.

2.2 Anticiper des exigences

Les Figures 4 et 5 illustrent des transferts de technologies, de connaissances et de responsabilités entre les projets amont, de développement et de déploiement ; que ce soit pour l'innovation de produit hélicoptère ou pour l'innovation d'ingénierie.
La phase amont influence l'ensemble du processus d'innovation par ces transferts. Le pilotage ne peut donc se faire indépendamment du reste du processus : la phase amont doit anticiper et prendre en compte les exigences des phases suivantes.

En analysant les pratiques existantes chez Airbus Helicopters (Chapitre 4), on relève un certain nombre d'exigences et contraintes, illustrées en Figure 6, à intégrer dès la phase amont du processus d'innovation d'ingénierie :

- **des exigences techniques.** Les projets de développement M&T intègrent des connaissances et des concepts d'innovation d'ingénierie dont la faisabilité technique doit d'être vérifiée. C'est le rôle de la phase amont en tant que phase d'exploration. Dans le cas contraire, les projets

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

de développement d'innovation d'ingénierie et même les programmes de développement hélicoptère risquent de subir des retards et imprévus. Faire face à des problèmes techniques lorsque l'innovation d'ingénierie est en usage n'est pas envisageable. Performance et fiabilité doivent être au rendez-vous de l'innovation.
Les exigences techniques englobent les exigences fonctionnelles, de performance, d'interface, d'intégration.

- En complément des exigences techniques, **les contraintes associées au cycle de vie de l'innovation d'ingénierie** : conception, certification, mise en service, maintenance, sécurité… L'incapacité à maintenir ou bien même déployer prématurément une innovation d'ingénierie peut transformer une innovation de succès en gouffre financier.
- **des exigences des utilisateurs**. Les innovations d'ingénierie sont déployées et utilisées dans le cadre de programmes hélicoptères. Par conséquent, il est important que les innovations et même les concepts technologiques initiaux soient corrélés aux besoins de l'utilisateur final. La valeur ajoutée d'une innovation d'ingénierie (réduction des cycles et coûts de développement) dépend de l'adoption de l'innovation d'ingénierie par les utilisateurs.
- **des exigences de ressources (humaines et financières).** L'innovation peut difficilement se concevoir sans faire appel à des investissements humains et financiers. L'innovation d'ingénierie doit apporter une valeur ajoutée quantifiable qui doit être appréhendable dès la phase amont, puisque c'est un élément de décision du transfert vers le développement.
- **des exigences stratégiques.** La décision d'un développement d'innovation d'ingénierie repose certes sur une analyse de gains mais pas seulement. L'innovation doit s'intégrer dans une stratégie d'entreprise.
- **les contraintes du marché.** L'évolution des marchés impose des axes d'innovation aux industriels et influence ainsi la phase amont et les concepts étudiés.

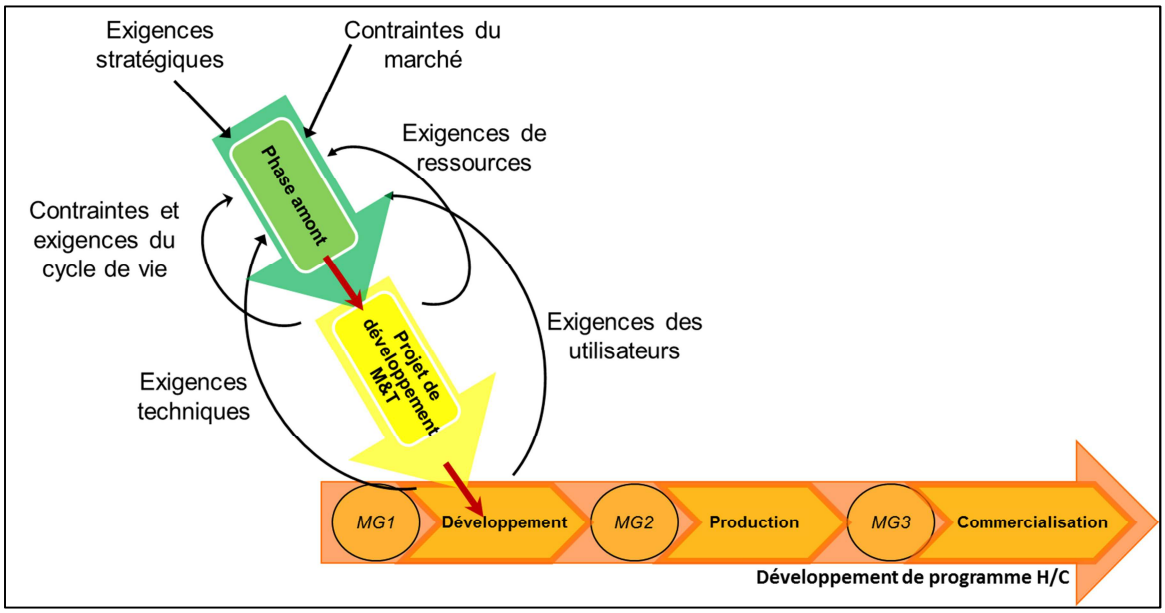


Figure 6: Exigences pour piloter la phase amont du processus d'innovation d'ingénierie

L'ensemble de ces exigences influence fortement le devenir des concepts étudiés en phase amont : cet ensemble conditionne le succès du transfert d'une phase amont vers une phase de développement.

En conclusion, dans notre contexte, le **pilotage d'une innovation d'ingénierie en phase amont** nécessite d'une part de **piloter les processus impliqués** (et peut-être même de les définir) et d'autre part de **satisfaire les exigences** qui influencent le devenir d'un concept émergeant en phase amont.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Partie 3. Question de recherche

3.1 Problématique de recherche

L'objectif industriel assigné à cette étude est de proposer des voies d'amélioration du processus de développement hélicoptère en améliorant le pilotage d'innovation d'ingénierie en phase amont (études de faisabilité).

L'analyse du contexte met en lumière quelques problématiques :

- ➔ Quelles exigences prendre en compte pour l'innovation d'ingénierie ? Comment les formaliser et les tracer pendant leur cycle de vie (création, exploitation, validation) ?
- ➔ Comment structurer et ensuite piloter la phase amont en vue d'assurer la future réussite du développement de leurs résultats ?
- ➔ Quels outils et méthodes peuvent aider le pilotage des phases amont ? Comment les déployer ?
- ➔ Les pratiques en cours sur les innovations de produit sont-elles adaptées et adaptables aux innovations d'ingénierie ? Comment conduire ces adaptations ?

Finalement se pose la question de **« Quels moyens et indicateurs sont essentiels pour piloter, dès la phase amont, une innovation d'ingénierie vers un succès industriel ?»**

Derrière cette question de recherche se cachent deux verrous principaux :

- le verrou associé à l'anticipation et à la satisfaction des exigences de développement et déploiement.
- le verrou associé au pilotage d'une innovation d'ingénierie en phase amont

3.2 Anticiper et satisfaire dès la phase amont les exigences du développement et déploiement

Dans les pratiques d'innovation de produit hélicoptère,

- ➢ les principales exigences de développement et déploiement sont la faisabilité technologique, la performance de l'innovation, mais aussi la rentabilité.
- ➢ le transfert en phase de développement repose sur une décision multidisciplinaire (TRL6), basée sur un business case.

Mais ces pratiques sont-elles suffisantes pour une innovation d'ingénierie ?

- ➔ Comment vérifier qu'une innovation d'ingénierie satisfait toutes les exigences (techniques, utilisateurs, ressources …) attendues par les phases de développement et de déploiement ?
- ➔ Comment s'assurer de l'exploitation des résultats d'un projet amont ?
- ➔ Comment évaluer la valeur-ajoutée d'une innovation d'ingénierie et ce, dès la phase amont, phase exploratoire où l'innovation n'est qu'à l'état de concept et prototype ?

Comme illustré sur la Figure 5, le processus d'innovation d'une innovation d'ingénierie implique plusieurs entités et organisations ainsi que de nombreux processus.

- ➔ Comment assurer une continuité entre les phases, les organisations et les acteurs du processus d'innovation ?
- ➔ Comment motiver et convaincre les nouvelles parties prenantes des enjeux des innovations d'ingénierie à chaque nouvelle phase du processus d'innovation ?

3.3 Piloter une innovation d'ingénierie en phase amont

Dans les pratiques d'innovation hélicoptère,

- ➢ la phase amont, et plus précisément les projets innovants, sont pilotés par une évaluation de la maturité (TRL) des concepts technologiques.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

- l'évaluation de la maturité (TRL) repose sur une évaluation de critères (faisabilité technologique, performance, cycle de vie du produit innovant)

Mais ces pratiques sont-elles adaptées aux innovations d'ingénierie ?

- ➔ La méthodologie des TRL a-t-elle un sens pour une innovation d'ingénierie ?
- ➔ Les critères d'évaluation de la maturité sont-ils adaptés ?
- ➔ L'évaluation de la maturité prend-elle en compte les exigences des phases de développement et déploiement ?
- ➔ La méthodologie des TRL est-elle suffisante pour structurer la phase amont et piloter les projets amont ?

Les projets en phase amont sont de diverses natures : projet de recherche, étude d'opportunités ….

- ➔ Existe-t-il un modèle générique et standard pour piloter un projet amont quelle que soit sa typologie ?

Les projets amont peuvent être de longue durée (1 à 6 ans), impliquant un important turn-over des équipes projet. Et comme les besoins initiaux sont exprimés et soutenus par les parties prenantes initiales, alors un changement d'équipe de projets remet en cause certaines exigences, des implications et le rythme du projet amont.

- ➔ Comment s'assurer que les exigences de l'innovation d'ingénierie sont génériques tout en étant proche des attentes des utilisateurs finaux ?
- ➔ Comment piloter avec souplesse les phases amont pour pouvoir parer aux effets du temps ?

La phase amont est exploratoire, la créativité y est nécessaire et c'est pourquoi son pilotage nécessite également de la souplesse.

Dans les pratiques d'innovation hélicoptère,

- les besoins des clients sont collectés et traités par les services marketing
- les besoins reposent sur des retours d'expérience des pilotes.
- l'innovation de produit hélicoptère intègre les attentes des futurs acheteurs

Pour une innovation d'ingénierie, les clients finaux sont les utilisateurs (designers et analystes) du bureau d'études.

- ➔ Comment connaitre leurs besoins ?
- ➔ Comment les aider à exprimer des besoins qu'ils ne connaissent pas encore (puisque la phase amont est exploratoire)
- ➔ Comment aider les utilisateurs à développer une vision courte et long-terme de leurs besoins ?

L'objet de cette thèse est alors de lever ces verrous et de répondre ainsi à la question de recherche.

Partie 4. Introduction à la méthodologie de recherche

Pour répondre à la question de recherche, une démarche de recherche a été définie (elle sera explicitée en détail dans le Chapitre 3). La démarche de recherche est construite sur la base de la recherche-action (Coughlan & Coghlan 2002) et de la recherche-collaborative (Avenier 2009) : la doctorante est placée au centre des pratiques industrielles ; elle pilote la recherche et des pratiques industrielles pour répondre à un problème pratique et scientifique.

Concrètement, à partir de la question de recherche formalisée de façon collaborative avec les responsables scientifiques (Laboratoire G-SCOP) et industriels (Airbus Helicopters), la doctorante a recherché des savoirs publiés dans la littérature. Les savoirs publiés ont été retravaillés et contextualisés pour créer des savoirs génériques. Trois cas pilotes internes à Airbus Helicopters ont permis à la doctorante d'élaborer les concepts, de vérifier leur pertinence et d'activer les savoirs génériques élaborés. Les savoirs élaborés ont été diffusés dans la communauté scientifique lors de

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

conférences scientifiques (AIP Primeca 12, GDR MACS, PLM 13, ICED 13) mais ont aussi fait l'objet de communication interne Airbus Helicopters. De plus les savoirs élaborés sont déployés en interne d'Airbus Helicopters dans un guideline « Pilotage d'innovation d'ingénierie en phase amont».

Partie 5. Fil conducteur du manuscrit

Ce manuscrit de thèse est structuré en 7 chapitres dont l'articulation est présentée sur la Figure 7.

Un **chapitre introductif** présente les enjeux, le contexte et la question de recherche soulevée pendant cette thèse. Nous retiendrons que la recherche questionne les moyens et indicateurs adéquats pour piloter, dès la phase amont, une innovation d'ingénierie vers un succès industriel.

Le **second chapitre** éclaire le lecteur sur les concepts publiés dans la littérature et sur lesquels se basent les apports de cette thèse. L'analyse de la littérature porte sur l'innovation en tant que processus et questionne les facteurs clés de succès d'une innovation en phase amont. En raison du faible nombre de références aux innovations d'ingénierie, l'état de l'art se focalise sur les innovations de produit et interroge ensuite la transposition et l'adaptabilité des concepts au cas particulier des innovations d'ingénierie. En parallèle, se pose la question des moyens pour structurer et piloter la phase amont. L'état de l'art questionne la méthodologie des TRL, l'ingénierie système, les scénarios d'usage, la modélisation de processus et enfin la valeur et les outils de rentabilité. L'analyse de ces nombreux concepts permet de reformuler la question de recherche.

Ensuite, pour répondre à la question de recherche et pour valider les savoirs élaborés, une description précise de la démarche de recherche appliquée est fournie, c'est le rôle du **chapitre 3**.
Le lecteur découvrira ainsi la démarche suivie au long de ces trois années de thèse.
De plus, le chapitre 3 présente les trois cas pilotes industriels sur lesquels s'appuie le manuscrit de thèse pour illustrer nos propos.
Le chapitre 3 définit plus précisément le terme d'innovation d'ingénierie à partir d'un exemple : le Mastered-Behavioural Digital Aircraft (M-BDA) (Commission Européenne (FP7) n.d.).

Les chapitres 4 à 6 formalisent les contributions scientifiques de cette thèse.
Le **chapitre 4**, à partir d'un diagnostic des pratiques sur l'innovation de produit hélicoptère, formalise un modèle de pilotage d'une innovation d'ingénierie en phase amont. Ce modèle fait appel à un processus, des indicateurs et des méthodes et outils d'évaluation des indicateurs.
Le concept de scénario tenant un rôle central dans nos propositions, un chapitre lui est dédié (chapitre 5). Le **chapitre 5** caractérise le scénario comme outil stratégique de pilotage amont et propose une méthodologie pour élaborer les scénarios d'usage. L'objectif du chapitre 5 est d'affiner et de détailler certaines activités de la méthodologie globale construite en chapitre 4.
Enfin, le **chapitre 6** propose d'appliquer les savoirs élaborés dans les chapitres 4 et 5 sur un des trois cas pilotes afin de les vérifier et valider. Le chapitre 6 étudie ainsi le pilotage d'une innovation d'ingénierie par l'évaluation de sa valeur.

Nous conclurons ce manuscrit en rappelant les contributions essentielles apportées pour répondre à la question de recherche. Des ouvertures ainsi que des pistes de réflexion seront également proposées pour poursuivre ces travaux.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

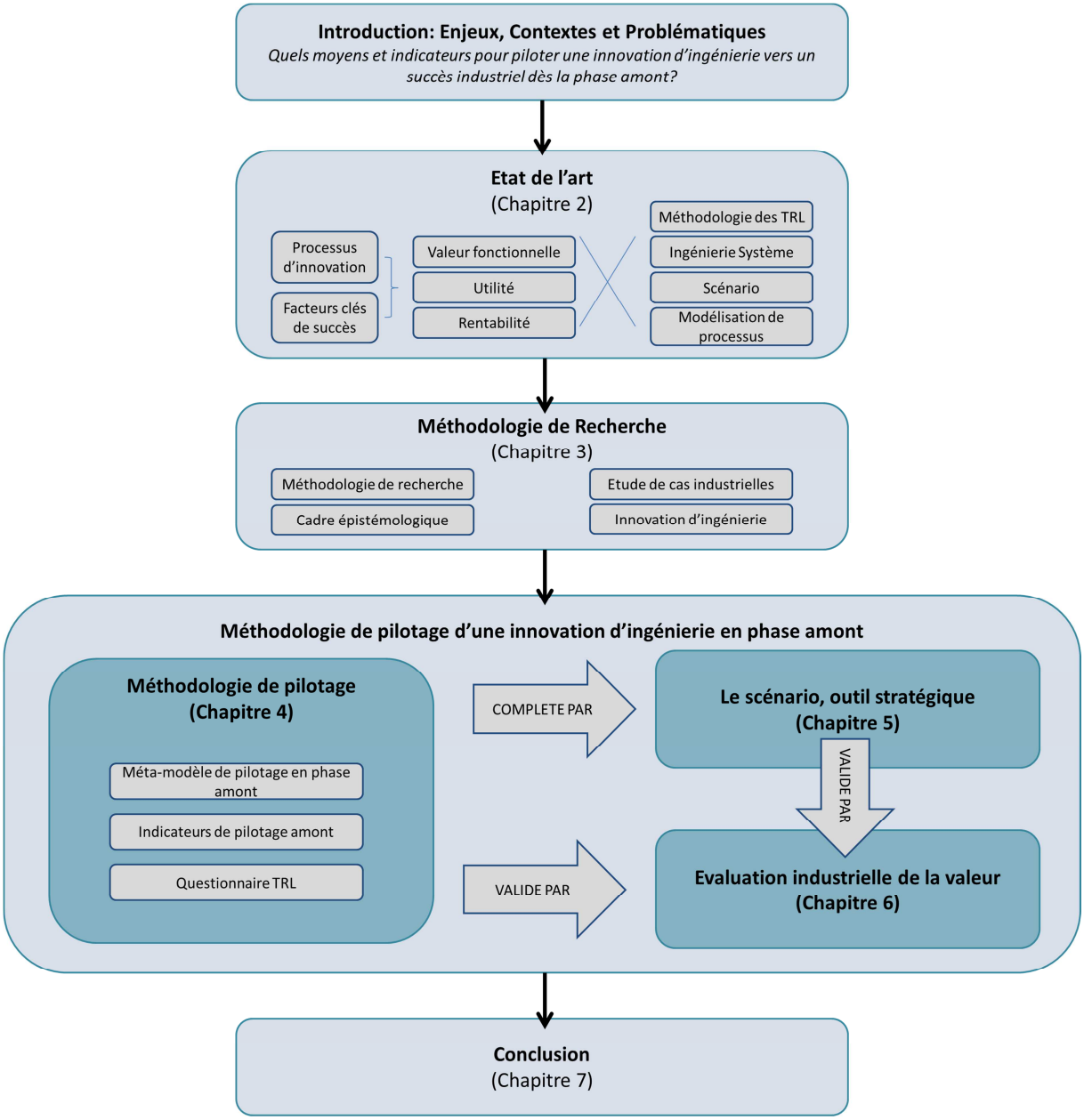
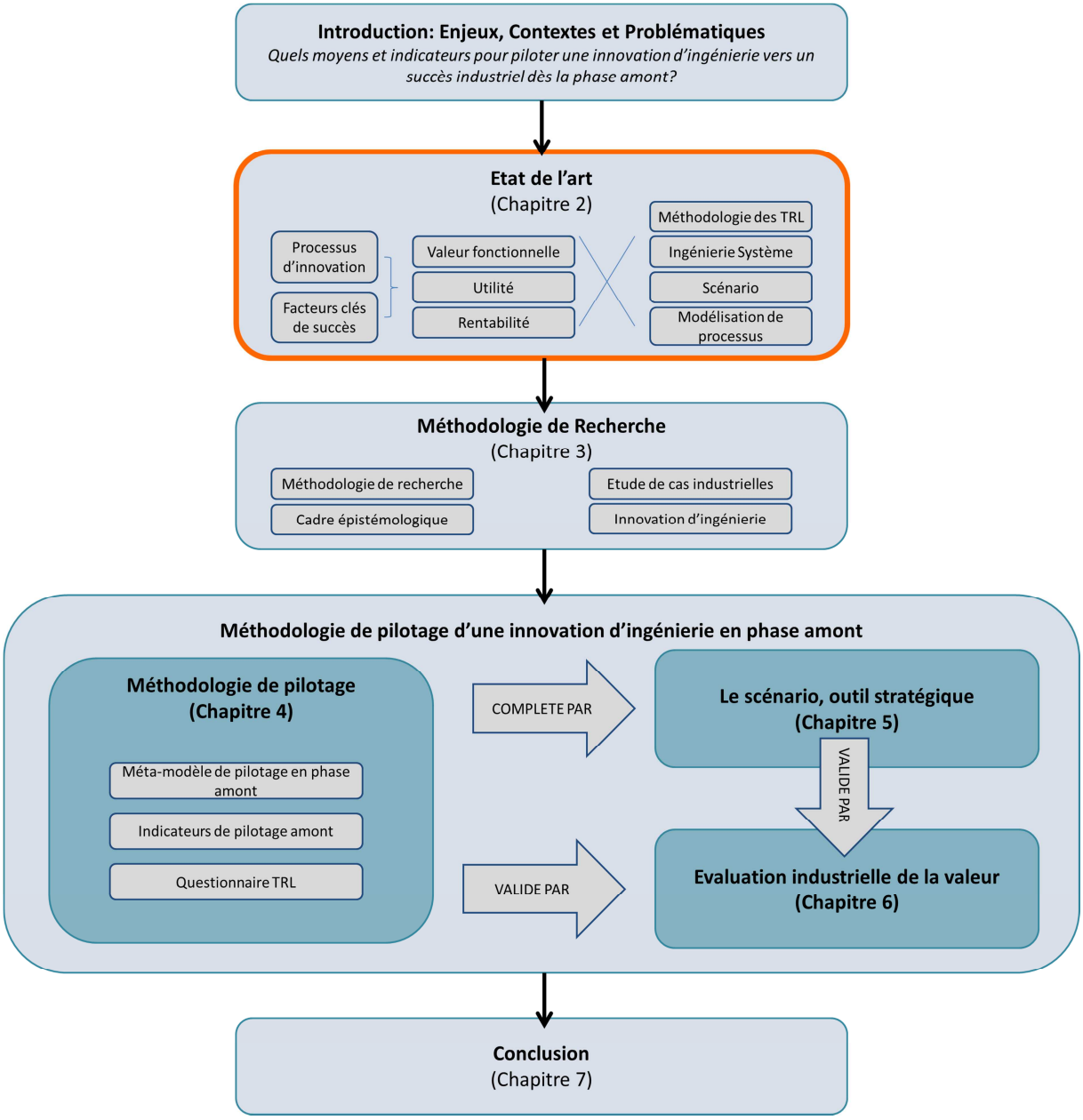


Figure 7: Fil conducteur du manuscrit de thèse

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Chapitre 2 - Piloter dès la phase amont une innovation vers un succès commercial – Etat de l'art et discussion



Ce chapitre recense et discute des concepts issus d'une analyse de la littérature qui apportent des éléments de réponses aux questions de recherche : Comment structurer et piloter la phase amont du processus d'innovation en vue du succès de la commercialisation des nouveautés ? En d'autres termes, quel type d'organisation, de processus et quels indicateurs sont utiles et appropriés pour piloter la phase amont ?

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Partie 1 : Innover avec succès : de nombreux paramètres à maîtriser

1.1- La gestion de l'innovation

Les ordinateurs, les écrans tactiles, le post-it (et oui, lui aussi), les apple store, le low cost … toutes ces innovations révolutionnent, améliorent, confortent et simplifient notre quotidien au point que certaines d'entre elles nous semblent acquises depuis toujours. Mais que seraient-elles sans la découverte des principes de l'électricité, sans l'invention des semi-conducteurs, des matériaux et autres procédés de fabrication !
Découverte, Invention, innovation mais aussi recherche, développement sont des termes étroitement liés, très et trop souvent confondus et qui pourtant concrétisent des enjeux précis et déterminants pour le succès de toute entreprise.

1.1.1- L'innovation : un concept de longue date

L'innovation est un concept largement évoqué dans la littérature dont la définition s'affine et se différencie avec le temps, mais aussi avec le contexte.

Les premières définitions remontent en 1942, lorsque les économistes tels que Schumpeter définissent l'innovation comme une « *destruction créatrice qui révolutionne incessamment de l'intérieur la structure économique, en détruisant continuellement ses éléments vieillis et en créant des éléments neufs* » (Schumpeter 1942). Les économistes mettent en avant le renouveau mais aussi la création d'améliorations apportées par l'innovation. Akrich, en 1988, différencie l'invention de l'innovation. L'invention englobe l'ensemble des initiatives qui « *précèdent la rencontre et le jugement du client* » alors que l'innovation, elle, correspond à « *la première transaction commerciale réussie ou plus généralement la première sanction positive de l'utilisateur* » (Akrich et al. 1988). L'invention peut être la racine d'une innovation mais cette dernière se concrétise par la réussite d'une commercialisation.
Ces notions de nouveauté et de transaction sont partagées plus tard, en 1995, par le sociologue Everett Rogers qui qualifie l'innovation comme « *une idée, une pratique ou un objet qui paraît nouveau à un individu ou à une autre entité qui l'adopte (…). Si l'idée semble neuve à l'individu, c'est une innovation* » (Rogers 1995). La transaction au sens de commercialisation correspond ici à l'acquisition et même à l'adoption d'une nouveauté par un individu et dépend ainsi du point de vue de l'individu.

En 1992, avec une mise à jour en 2005, l'OCDE dans le Manuel d'Oslo pose une définition générale où l'innovation est « *la mise en œuvre d'un produit (bien ou service), d'un procédé nouveau ou sensiblement amélioré, d'une nouvelle méthode de commercialisation ou d'une nouvelle méthode organisationnelle dans les pratiques de l'entreprise, l'organisation du lieu de travail ou les relations extérieures* » (OCDE 2005). L'innovation se distingue par sa nature (produit, service, procédé, organisation) et sa valeur n'est pas uniquement financière. Le terme commercialisation utilisé dans les précédentes définitions est élargi par une « mise en œuvre ». La valeur apportée par l'innovation touche en premier lieu les producteurs et utilisateurs de l'innovation.
L'OCDE (OCDE 2005) complète cette définition en déclinant les concepts d'innovation de produit, de procédé, d'organisation et de commercialisation :

- **une innovation de produit** se caractérise par « l'introduction sur le marché d'un produit (bien ou service) nouveau ou nettement modifié au regard de ses caractéristiques fondamentales, de ses spécificités techniques, des logiciels incorporés ou de tout autre composant matériel ou immatériel incorporé, ou de son usage ». On trouve par exemple dans cette catégorie les téléphones à écran tactile et la voiture électrique pour les innovations de produit et le WI-FI comme innovation de service.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

- **une innovation de procédé** est la « *mise en œuvre d'une méthode de production ou de distribution nouvelle ou améliorée* », comme la distribution via les Apple store ou les imprimantes 3D et leurs applications médicales. Il s'agit de délivrer un service ou un produit connu avec un procédé de production nouveau offrant des gains de productivité ou de réactivité aux demandes client.
- **une innovation commerciale**, aussi appelée innovation marketing, intègre ce qui se rattache aux méthodes de vente, par exemple la vente en ligne, l'apparition des leasings, les produits services (PSS).
- **une innovation organisationnelle** englobe la structure de l'entreprise, l'organisation du travail, les partenariats et la gestion des connaissances, avec par exemple la mise en œuvre de partenariats pour la recherche ou la mise en place de forum (Fraslin & Blanco 2013) et foires aux questions ou de boites à idées en interne de l'entreprise.

L'innovation se caractérise ainsi par sa nature (par le fait qu'elle vise un produit, un procédé, une organisation, une stratégie de commercialisation) mais aussi par son intensité et par la durée escomptée ou constatée de sa mise en place :

- l'innovation radicale, dans le cas d'une rupture technique ou même d'une rupture dans les usages, s'inscrit en substitution radicale des usages existants (Cuisinier et al. 2011).
- l'innovation incrémentale vise plutôt une amélioration continue et une intégration progressive sur des marchés.

En réalité de multiples approches de l'innovation coexistent, d'où la complexité du concept. Nous avons vu que l'innovation se caractérise en fonction de sa nature, de son intensité mais elle se caractérise aussi par son niveau d'impact (macro/micro), son niveau d'incertitudes …

L'AFNOR en 2007 normalise l'innovation comme *''un processus qui conduit à la mise en œuvre d'un ou plusieurs produits, procédés, ou services, nouveaux ou améliorés, susceptibles de répondre à des attentes implicites ou explicites et de générer une valeur économique, environnementale ou sociétale pour le créateur, leur maitre d'œuvre ou leur utilisateur''* (AFNOR 2007). L'implémentation de l'innovation nécessite alors un processus, une organisation, des rôles, des activités et des outils.

Nous retiendrons que :

- l'innovation est un processus qui vise la création ou l'amélioration de produit ou service, procédé, organisation et ce, en vue de générer de la valeur,
- une innovation nait d'une idée mais s'en différencie par le fait qu'il y a transaction commerciale,
- une innovation est adoptée par un marché, un client ou un utilisateur,
- une innovation se caractérise par sa nature, son intensité, le marché visé, par ses impacts et par son niveau d'incertitudes.

Notre étude porte sur les innovations d'ingénierie qui améliorent en continu les pratiques utilisées par les designers et analystes pour concevoir un hélicoptère. Une innovation d'ingénierie fait appel à la fois à des innovations de produit, de procédés, mais aussi organisationnelles. De plus nous caractérisons nos **innovations d'ingénierie d'incrémentale** et dédiée à l'ensemble des analystes et designers du bureau d'études.
Déployer avec succès des innovations d'ingénierie nécessitent de mettre en œuvre un processus d'après (AFNOR 2007), **mais comment faut-il concrètement s'y prendre pour le définir et l'implémenter?**

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

1.1.2- Gérer l'innovation : de nombreuses facettes à prendre en compte

De notre analyse précédente du concept d'innovation, nous conservons que l'innovation repose sur l'adoption d'une nouveauté par un marché et que le succès d'une innovation dépend du succès de cette adoption. Trois éléments doivent être gérés :

- la nouveauté, c'est-à-dire le produit,
- le marché et ses attentes,
- et enfin, l'adoption de la nouveauté par le marché.

Mais **comment organiser et structurer le processus d'innovation pour maîtriser et piloter ces trois axes ?**

Le management de l'innovation se définit comme « *l'ensemble des actions conduites, des choix effectués et des structures mises en place (…) pour favoriser l'émergence, décider du lancement et mener à bien des projets d'innovation* » (Fernez-Walch & Romon 2010).

Le cabinet de conseil A.T. Kearney (Kai Engel et al. 2010) conceptualise le management de l'innovation au travers d'une maison composé de cinq niveaux, assimilés à cinq prérequis (E Diedrichs et al. 2006) (voir Figure 8). Cette maison symbolise l'ensemble des moyens à mettre en œuvre pour innover.

Innover nécessite en premier lieu de déterminer une stratégie d'innovation (niveau 1), c'est à dire de définir une vision du futur, des objectifs et enjeux associés. L'implémentation de cette stratégie se décline par la définition d'une culture et d'une organisation (niveau 2). Ensuite, une entreprise doit concrètement définir un processus d'innovation (niveau 3) qui est le processus déployé pour piloter les projets innovants permettant de répondre à la stratégie d'innovation. Le processus d'innovation comprend la génération d'idées, le développement de produits innovants ainsi que la phase de commercialisation.

Enfin, ces trois niveaux requièrent des ressources financières, humaines et matérielles ainsi qu'une politique de gestion des connaissances et de propriété industrielle (niveau 4).

Finalement, l'implémentation des quatre niveaux génère des résultats innovants (niveau 5).

Gérer l'innovation nécessite de combiner et d'implémenter ces cinq niveaux et donc principalement de coupler une stratégie d'innovation à un processus opérationnel.

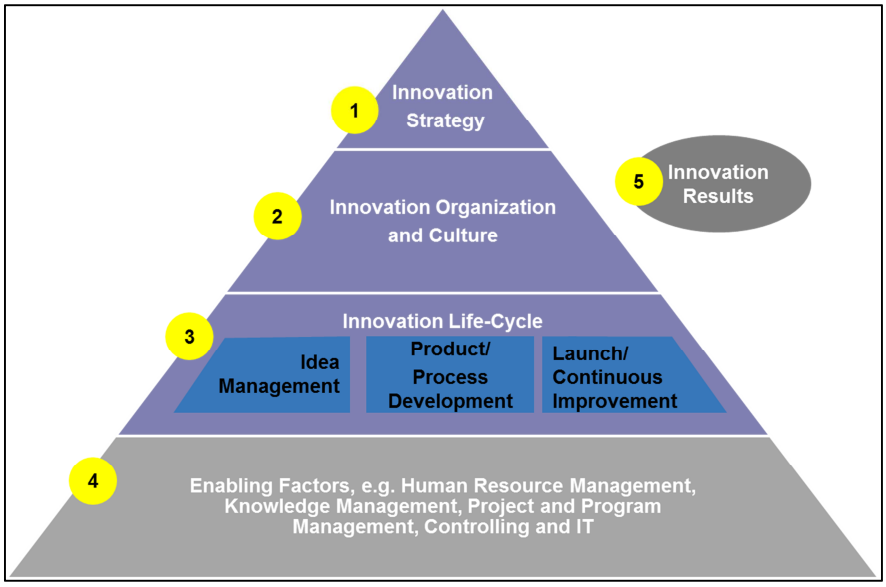


Figure 8 : Maison de l'innovation par le cabinet AT Kearney

Retenant particulièrement notre attention, le niveau 3 de cette maison de l'innovation, qualifié de « processus opérationnel de pilotage des projets innovants », fait à lui seul l'objet de nombreuses recherches. Il comprend *« les activités d'innovation technologique, qui sont l'ensemble des démarches*

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

scientifiques, technologiques, financières et commerciales qui mènent ou visent la réalisation de produits ou procédés technologiquement nouveaux ou améliorés » (OCDE 2002). Calantone précise que le processus de pilotage des projets innovants est *« un processus itératif initié par la création d'une nouvelle opportunité qui mène à des tâches de développement et de commercialisation »* (Garcia & Calantone 2002).

Rothwell identifie, entre 1950 et 1994, cinq générations de processus d'innovation (Rothwell 1994). Les deux premières générations se sont concentrées et distinguées sur l'approche de l'innovation : soit une approche orientée technologie (techno push), soit une approche orientée marché (market pull). La troisième génération a mis l'accent sur la nécessité de coupler les approches technologiques et marketing. Enfin les processus de quatrième et cinquième générations ont intégré les notions de réseaux d'acteurs, de partenariats ainsi que la mise en parallèle des activités du processus de pilotage des projets innovants. Concrètement, Kline et Rosenberg (Kline & Rosenberg 1986) définissent le processus d'innovation de produit comme une chaine interconnectée, illustrée en Figure 9, faite :

- d'une phase de formalisation d'un objet, d'une idée
- d'une phase de faisabilité pour prouver l'intérêt et les enjeux du nouvel objet
- d'une phase de prototypage et de développement du nouveau produit
- d'une phase de lancement (industrialisation, implémentation, commercialisation)

L'ensemble des phases se nourrit de connaissances issues de la recherche fondamentale mais aussi des besoins et données du marché (Kline & Rosenberg 1986). La chaine interconnectée illustre non seulement les étroites et nombreuses interactions entre le marché, la technologie et la connaissance mais aussi les itérations du processus.

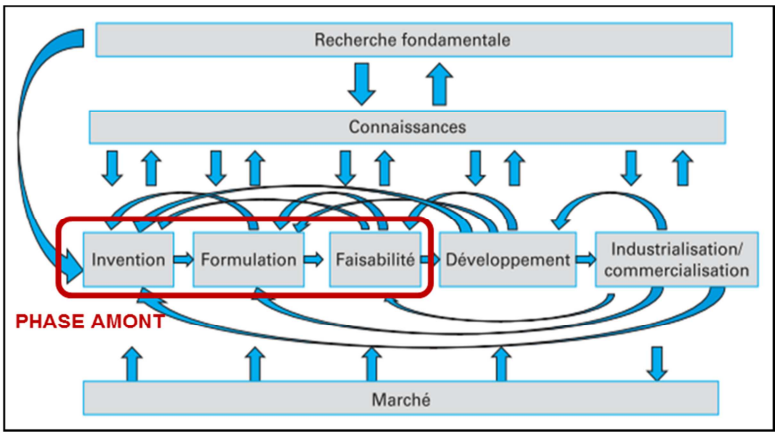


Figure 9: Processus de gestion de l'innovation (Devalan 2013)

Les différentes phases du processus d'innovation n'ont pas le même niveau d'incertitudes et sont ainsi plus facilement dissociables (Ferioli 2010). C'est le cas des phases d'invention et de formulation, aussi appelées génération d'idées, et la phase de faisabilité que nous regroupons sous le terme de « phase amont du processus d'innovation » en Figure 9.

En conclusion, pour gérer l'innovation avec succès (c'est-à-dire assurer le succès de l'adoption d'une nouveauté par un marché), il est, dans un premier temps, nécessaire de définir une stratégie d'innovation et une organisation puis de déployer un processus de pilotage des projets innovant. Ce processus, aussi nommé processus de développement de nouveau produit (New Product Development NPD) (Griffin 1997) est itératif, multidisciplinaire et rythmé par trois phases principales, où nous distinguons :

- la phase amont caractérisée par de fortes incertitudes qui regroupe les activités de génération d'idées et les études de faisabilité ; aussi nommée en anglais Fuzzy Front End (FFE) (P. Smith & Reinersten 1991) ou front end of innovation (FEI) (Koen et al. 2001).
- la phase de développement du produit innovant

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

- la phase d'industrialisation, commercialisation et de diffusion des résultats innovants

La phase amont, initiatrice du processus d'innovation, conditionne le succès du déploiement de l'innovation. En effet, les livrables amont sont des données d'entrée des phases de développement et de déploiement (Kim & Wilemon 2002). Cooper précise également que *« the seeds of success or failure are sown in the first few step of the process : the pre-development stages »* (Cooper 1990). L'investissement en phase amont permet d'anticiper et de réduire un grand nombre d'incertitudes.

Mais **comment organiser et piloter la phase amont du processus d'innovation ? Les pratiques mises en évidence et admises dans la littérature sont-elles applicables aux innovations d'ingénierie étudiées dans cette thèse ?**

1.1.3- Zoom sur la phase amont du processus d'innovation

La phase amont est stratégique pour le succès du développement d'un nouveau produit. Il est donc important d'en comprendre les caractéristiques.

La phase amont du processus d'innovation englobe l'ensemble des activités réalisées avant le développement de nouveau produit (Koen et al. 2001). (Broennum & Clausen 2013) précisent que la phase amont est un espace d'interactions où de nouvelles idées et opportunités sont identifiées, des concepts développés et évalués. En raison de la faible maturité des concepts étudiés, la phase amont est dissociée de la phase de développement. Le Tableau 1, basé sur les études de (Kim & Wilemon 2002) et (Koen et al. 2001), compare les caractéristiques des phases amont et de développement. Pendant la phase amont, les données et informations liées aux concepts et aux prises de décisions sont plutôt de natures qualitatives que quantitatives, d'où un fort niveau d'incertitudes. La phase amont est une phase d'études d'opportunités : on étudie des idées, on vérifie la faisabilité de concepts, on anticipe les risques. Les livrables produits en phase amont sont des concepts, des études de faisabilité et des prototypes alors que la phase de développement livre un produit fini commercialisable.
De par ces différents enjeux, la structure mais aussi la gestion des phases amont et de développement sont différentes.

Tableau 1 : Différences entre les phases amont et de développement (Kim & Wilemon 2002) (Koen et al. 2001)

	Phase Amont	**Phase de développement**
Etat de l'idée	Probable, variante et malléable, incertaine	Claire et définie, spécifique, mature
Nature des activités	Expérimentales, itératives Petite équipe	Structurées, orientées et planifiées Equipe multifonctionnelle
Financement	Minime	Budgété
Caractéristiques des prises de décisions	Qualitatives, informelles et approximatives	Quantitatives, formalisées par des jalons
Livrables	Prototypes, Ebauche de business case	Produit, Procédé, Service et plan de commercialisation
Bénéfices financiers attendus	Incertains et de l'ordre de la spéculation, de la prédiction	Documentation et analyse financière précise
Facilité à rejeter l'idée	Facile	Difficile
Conséquences de l'arrêt du projet	Faible	Considérable
Méthodes de management	Peu structurée, forte importance de la créativité	Structurée, systémique et jalonnée

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

En raison de ses impacts sur la phase de développement et même si elle n'est qu'exploratoire, la phase amont nécessite d'être structurée par des organisations et des processus. Attention, les processus doivent rester simples et adaptables afin de ne pas restreindre la créativité.

L'objectif en phase amont est de soutenir une prise de décision de type Go/No-Go sur des investissements vers un développement. Mais toutes les idées et tous les concepts étudiés n'ont pas vocation à être développés. La phase amont est un entonnoir (Funnel). De plus, dans le cadre d'innovation incrémentale, il est plutôt conseillé (Sperry & Jetter 2009) de s'orienter vers un processus linéaire de gestion amont du processus d'innovation.
McGrath (McGrath 1992) structure la phase amont du processus d'innovation de produit par cinq goulots d'étranglement, inspirés du modèle de Wheelwright et Clark (Wheelwright & Clark 1992), illustrés en Figure 10. Au fur et à mesure de l'avancement du processus, des idées sont rejetées alors que d'autres murissent dans les phases suivantes. Le passage d'une phase à l'autre se formalise par une prise de décision. McGrath intègre l'évaluation de concepts, leurs spécifications et planifications dans la phase amont.

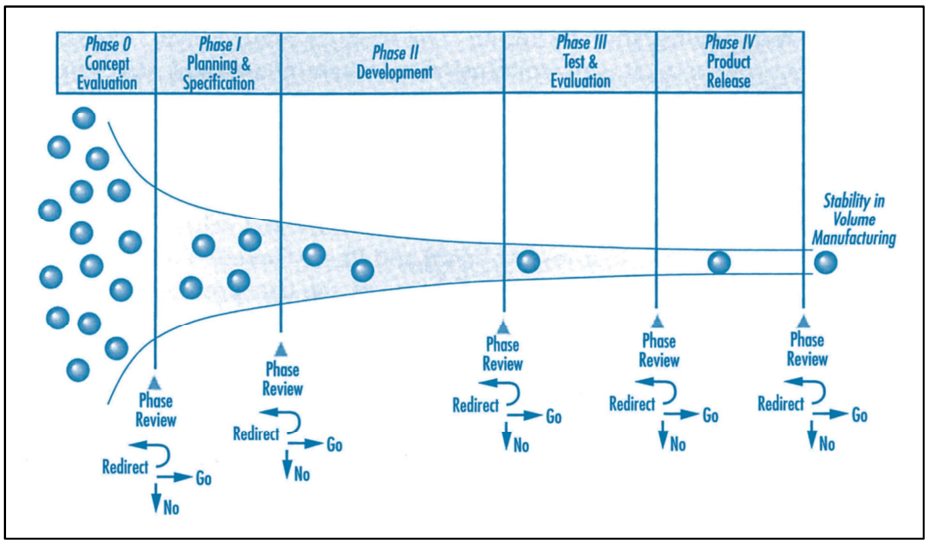


Figure 10 : Funnel de l'innovation (McGrath 1992)

L'approche en funnel a été reprise en 2001 par Ledibois (Ledibois 2001) dans le modèle Innoventure, en Figure 11. Ce modèle plus récent approfondi la phase amont de McGrath (Evaluation du concept et Spécification). Ledibois initie la phase amont par des activités de recherche et études qui comprennent la recherche (fondamentale et appliquée), la veille technologique et industrielle (T&I), l'intelligence économique et concurrentielle, le marketing stratégique. Les informations et connaissances collectées soutiennent, en phase d'intégration, la génération d'idées. Cette seconde phase permet de confronter les idées à la stratégie d'entreprise et aux priorités : seules certaines idées et concepts sont sélectionnés et transférés en phase de démonstration. La phase de démonstration se consacre au développement expérimental de prototypes. Les prototypes permettent d'une part de vérifier la faisabilité technique, et d'autre part de vérifier l'adéquation avec les besoins des clients. Des critères de filtrage sont définis et seuls certains concepts prototypés sont sélectionnés et intégrés au portefeuille de projets. La validation de la phase de démonstration ouvre sur le processus de développement. Ledibois, dans son modèle Innoventure, lie les besoins du client aux études conceptuelles tout au long des quatre phases amont au développement. Cette adéquation entre les besoins et les offres est un critère de sélection pour évoluer dans la phase suivante. Cependant, le modèle en filtre proposé par Ledibois ne précise pas concrètement comment se réalisent les transitions entre les phases, ni quels sont les critères de filtrage des concepts en phase de démonstration. De plus, il est peu précisé quelles activités sont à mener dans chacune des phases. La phase amont est par contre affinée avec la création d'une phase de démonstration.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

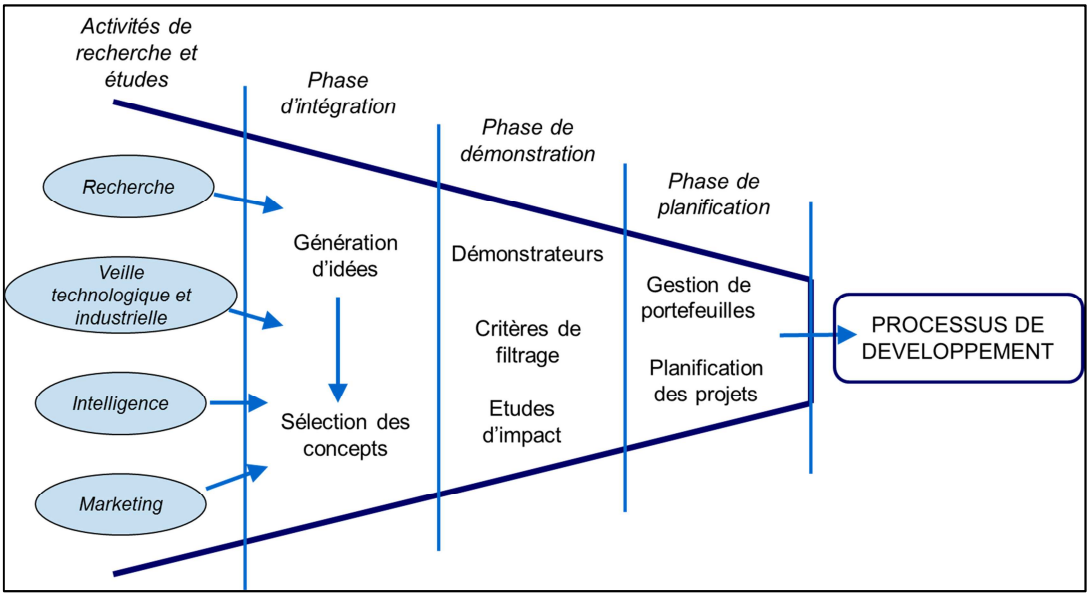


Figure 11: Modèle Innoventure développé par (Ledibois 2001)

(Khurana & Rosenthal 1997) proposent un modèle de processus amont, en Figure 12, apparenté à celui de Ledibois :

- la pré-phase ZERO s'apparente à la phase d'intégration
- les phases ZERO et ONE s'apparentent aux phases de démonstration et de planification.

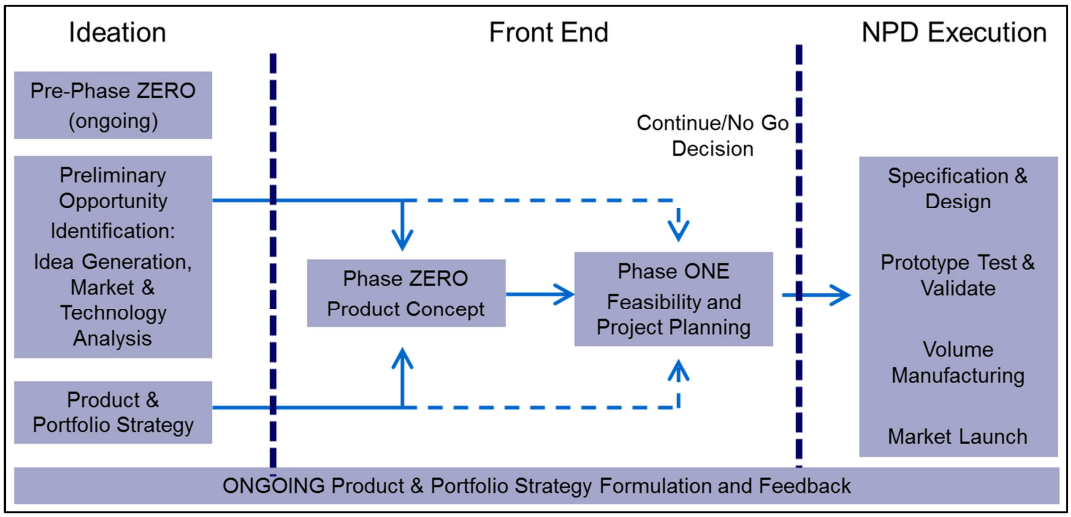


Figure 12: Modèle de la phase amont par (Khurana & Rosenthal 1998)

En Pré-Phase ZERO, les auteurs associent l'analyse des technologies et du marché à la stratégie produit de l'entreprise. De cette analyse, en ressortent des idées qui sont approfondies en phase ZERO et phase ONE. Ces deux phases étudient le produit (évaluation technologique et tests du concept), le projet (spécification des ressources et identifications des risques) et le marché (identification du besoin client, segmentation du marché et analyse de la concurrence). La phase One aboutit sur la définition du produit et la livraison d'un business case, à partir duquel une décision pour un lancement en phase de développement est prise. Le business case est identifié comme le livrable clé de la phase amont et comme outil clé d'aide à la décision.
(Khurana & Rosenthal 1997) proposent d'utiliser la phase amont comme outil d'aide à la décision : la phase amont étudient des concepts et formalise un business case associé, à partir desquels des décisions sont prises.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Associée à l'implémentation du modèle, Khurana et Rosenthal préconisent la mise en place d'une organisation (rôles, réseaux de communication) ainsi que la définition des lieux et moyens de prises de décision. Cependant, les auteurs ne détaillent pas les activités à réaliser dans chacune des phases.

Cooper (Cooper 1990), quant à lui, avait déjà proposé en 1990 de formaliser la phase amont par un enchainement d'étapes et de jalons : le processus Stage-Gate. Les jalons structurent les prises de décisions entre les étapes et transforment le processus des phases amont en filtre.
Cooper formalise quatre étapes en phase amont (en Figure 13) : la génération d'idées, l'évaluation préliminaire des idées, l'investigation détaillée et la préparation d'un business case. La validation des jalons 1 et 2 repose sur une liste de critères : l'alignement avec la stratégie, la faisabilité du projet lié à l'idée, l'opportunité, les avantages apportés, la cohérence avec les ressources et les besoins du marché.

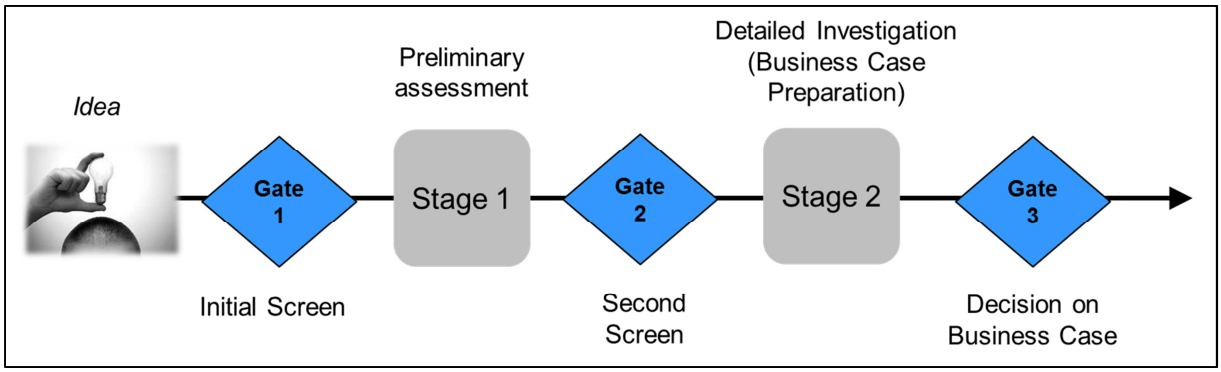


Figure 13 : Modèle de pilotage amont « Stage-Gate » de (Cooper 1990)

La dernière phase du processus, c'est-à-dire la définition et la préparation du business case, est cruciale et regroupe les activités suivantes :

- études de marché pour déterminer les besoins et préférences des clients
- analyse de la compétition
- spécifications techniques des solutions
- test des concepts où les retours des clients sont déterminants
- analyse des besoins opérationnels et de production
- analyse financière détaillée

Cooper précise les critères à partir desquelles les décisions aux jalons sont prises. Le jalon 3 du modèle Stage-Gate est le dernier jalon avant un potentiel lancement du développement, d'où l'importance des livrables. Le jalon 3 symbolise le transfert entre la phase amont et la phase de développement.
Pour Cooper, la définition des critères aux jalons conditionne le succès de l'ensemble du processus : ils doivent être suffisamment restrictifs et cohérents pour ne sélectionner que les « bons » concepts.
Finalement, le modèle Stage-Gate met en évidence la notion de pilotage : la phase amont se structure par des prises de décisions aux jalons, qui reposent sur des critères.

(Koen et al. 2001) partagent les bases de pilotage mises en avant par Khurana et Cooper mais assimilent la phase amont à un espace où des idées fluctuent et circulent entre cinq éléments. Koen modélise la phase amont sous le New Concept Development model (Figure 14), basé sur ces 5 éléments : l'identification et l'analyse d'opportunités, la génération et sélection d'idées et enfin, le développement de concept et de technologies.
L'auteur précise que la phase amont est dynamisée par un moteur : le management et la culture de l'organisation, et qu'elle est influencée par des facteurs extérieurs : l'organisation, la stratégie, l'environnement compétitif et la science comme puits de savoirs, de connaissances et de concepts. La phase de concept et de développement technologique conduit à l'élaboration d'un busines case basé

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

sur le potentiel du marché, les besoins des clients, les investissements nécessaires, les risques et incertitudes technologiques.

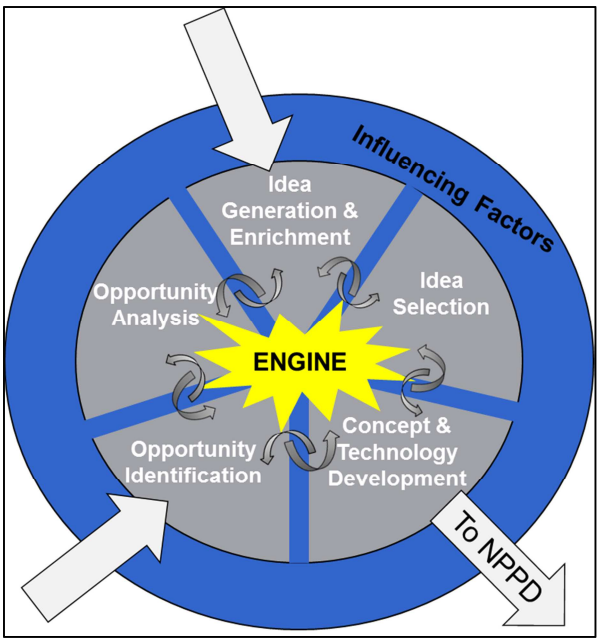


Figure 14: Modèle du New Concept Development (Koen et al. 2001)

Les différents modèles et processus présentés précédemment mettent en évidence des bases solides pour structurer la phase amont.

Dans le cas d'innovation incrémentale, la phase amont doit être abordée par une approche de processus linéaire initié par une identification d'opportunités, puis par une génération et sélection d'idées. Les idées filtrées sont étudiées et conceptualisées; seuls certains concepts sont sélectionnés pour un prototypage approfondi. Le prototypage est accompagné d'une analyse de besoins et d'un business case. Le business case condense l'ensemble des données démontrant que le projet est faisable et que l'environnement où il s'intégrera est prêt (Yannou et al. 2012). Il s'accompagne d'une présentation du produit, de ses futures applications et des efforts à mettre en œuvre pour le développer et le commercialiser (Wirthlin & Rebentisch 2003).

De plus, la phase amont est structurée par des jalons : les décisions reposent sur les connaissances et données produites lors des diverses activités. Les jalons sont des outils de pilotage de la phase amont.

Le Tableau 2 résume l'ensemble des caractéristiques du processus de pilotage de la phase amont.

Tableau 2 : Caractéristiques essentielles de la phase amont

Caractéristiques essentielles de la phase amont	
Cas d'innovation incrémentale : processus linéaire	
Processus d'innovation est un entonnoir : définition de jalons	
Critère de sélection aux jalons	
Couplage stratégie produit/processus d'innovation/besoins du client	
Des activités : • Génération d'idées • Sélection d'idées • Développement expérimental / études de faisabilité	Des livrables • Besoins clients • Spécifications techniques • Prototypes • Business Case • Plan de développement • Equipe projet et planification des ressources

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

En conclusion la phase amont est un processus sélectif: le transfert d'une activité à une autre, c'est à dire le pilotage du processus, repose sur l'évaluation de critères. (Cooper 1990) évoque l'alignement avec la stratégie, la faisabilité du projet lié à l'idée, l'opportunité, les avantages apportés, la cohérence avec les ressources et les besoins du marché. La notion de business case semble être centrale pendant la phase amont et un requis pour justifier du transfert des produits amont en développement. Cependant une analyse plus approfondie de la littérature est nécessaire pour déterminer les critères sélectifs de la phase amont. En effet, quelques points interrogent : **l'implémentation d'un processus linéaire sélectif est-elle suffisante pour innover sur le produit avec succès ? Quels en sont les leviers de succès ?**
Dans le cas d'innovation d'ingénierie, **quels critères devons-nous définir pour structurer le processus amont ? Quels critères de sélection permettraient de piloter et d'évaluer la phase amont ?**
Les activités de génération et sélection d'idées étant bien couvertes dans la littérature, on décide de se concentrer, en phase amont, sur la phase de démonstration de (Ledibois 2001), appelée *« Concept and Technology Development Phase »* par (Koen et al. 2001). Mais **quelles activités sont à réaliser lors des développements expérimentaux ? Comment construire les études de faisabilité pour anticiper et explorer les risques d'un développement ? Quels critères permettent de piloter des études de faisabilité ?**

1.2- Innover avec succès : les enjeux du pilotage

Innover avec succès est une problématique sur laquelle de nombreux chercheurs se penchent. Jusqu'à présent nous avons affiné cette problématique en :

- choisissant de nous concentrer sur les études de faisabilité en phase,
- montrant que la définition d'un processus linéaire est nécessaire.

1.2.1- Analyse bibliographique des facteurs clés de succès (FCS) de la phase amont

A présent, intéressons-nous au levier de succès de la phase amont.
Tout d'abord une analyse de la littérature, détaillée dans le Tableau 3, formalise les facteurs clés de succès amont. Huit articles de 1997 à 2013 ont été analysés afin d'identifier les bonnes pratiques pour piloter la phase amont avec succès.

Ensuite, parce que le succès d'une innovation repose sur le succès de son adoption par un marché et parce que la phase amont nécessite une méthodologie de pilotage dédié, nous proposons de classer les facteurs de chacun des auteurs étudiés selon qu'ils relèvent de l'innovation, du marché ou de la gestion de la phase amont.

Finalement les facteurs clés de succès collectés dans la littérature sont regroupés selon trois familles :

- les facteurs liés à la gestion de la phase amont qui intègrent les aspects organisationnels, le processus de pilotage, la définition de la stratégie d'entreprise et la planification des projets et ressources. (organisation, rôle, processus)
- les facteurs liés à l'innovation, à ses caractéristiques technologiques et aux incertitudes associées
- les facteurs liés au marché visé par l'innovation et aux incertitudes économiques associées.

Tableau 3 : Références bibliographiques relatives au succès de la phase amont du processus d'innovation

Facteurs de succès des phases amont	Familles de facteurs
(Khurana & Rosenthal 1997)	
- Définition claire de la stratégie produit, en lien avec les besoins des clients • Vision	- Gestion de la phase amont et Marché

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

• Choix technologiques - Planification du portefeuille de produit • Analyse des risques • Lien avec d'autres projets • Lien avec les ressources - Structure organisationnelle du développement de produit • Equipe multifonctionnelle et multidisciplinaire • Définition de rôles, structures de communication • Implication des hiérarchies • Revues décisionnelles • Existence d'un leader - Définition claire du concept du produit pendant les phases amont, en cohérence avec les besoins des clients - Définition du produit (anticipation des changements technologiques et changement du marché) - Anticipation des partenariats et des besoins de la chaine logistique (production, maintenance) - Définition et planning de la phase amont • Priorisation des projets • Analyse des futures ressources • Analyse des compétences nécessaires • Intégration au portfolio de produit	- Gestion de la phase amont - Gestion de la phase amont - Innovation et Marché - Innovation - Innovation - Gestion de la phase amont
Facteurs de succès des phases amont	**Familles de facteurs**
(Verganti 1997)	
- Implication de l'ensemble des parties prenantes pour élargir la connaissance sur le marché et sur les technologies concernées (marketing, R&D, production, maintenance, logistique …) - Harmonisation des objectifs entre l'ensemble des parties prenantes - Motiver et soutenir l'anticipation : structurer et formaliser les phases amonts (processus et livrables), prototyper les concepts. - Assurer le transfert des connaissances et informations avec les phases de conception détaillée : interopérabilité organisationnelle - Assurer de la flexibilité pour respecter la créativité et les délais - Garder en mémoire les expériences et projet du passé	- Gestion de la phase amont - Gestion de la phase amont et Innovation - Gestion de la phase amont et Innovation - Gestion de la phase amont - Gestion de la phase amont - Gestion de la phase amont
(Verworn & Herstatt 2003)	
- Génération et sélection interdisciplinaire d'idées : collaboration de toutes les fonctions de l'entreprise dès les phases amont (marketing, R&D, production...) - Réduction des incertitudes du marché : • Marché ciblé • Clients ciblés • Besoins clients • Potentiel du marché - Réduction des incertitudes technologiques	- Gestion de la phase amont - Marché - Innovation

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

• Spécification techniques • Faisabilité technique - Planification des activités de phase amont en perspective d'un développement	- Innovation et Gestion de la phase amont
Facteurs de succès des phases amont	**Familles de facteurs**
(Kim & Wilemon 2002)	
- Sélection de la bonne opportunité - Préparation et définition des exigences du concept • Impliquer le client • Collaborer avec les fournisseurs et partenaires - Un processus de sélection des concepts efficace et rapide • Formaliser la procédure de sélection • Définition des critères de sélection - Une organisation efficace des phases amont et du transfert • Mise en place d'une équipe dédiée et ayant suffisamment de connaissance et d'expérience • Soutien des hiérarchies (mise à disposition de ressources) • Accepter l'échec d'un projet • Outils de communication • Formaliser le processus des phases amont • Equipes multidisciplinaires et multifonctionnelles	- Gestion de la phase amont - Innovation - Gestion de la phase amont - Gestion de la phase amont
(Millier 2005)	
- Conditions techniques • Valeur technologique du projet (capacité à répondre à un problème donné, degré d'innovation) • Protection industrielle • Tendances technologiques / Veille technologique – Disponibilités des savoirs scientifiques et technologiques nécessaires • Capacité de l'entreprise à s'adapter aux exigences de production de l'innovation - Conditions économiques et commerciales • Capacité à surmonter les obstacles de mise sur le marché (éthiques, réglementaires, environnementales) • Identification d'un ou plusieurs clients • Identification d'un segment de marché • Existence d'un marché de taille suffisante - Conditions interne à l'entreprise • Communication et diffusion du projet en interne de l'entreprise • Gestion du projet (processus de gestion et équipe projet) • Anticiper le transfert vers les phases suivantes • Communication et préparation de la diffusion externe (clients, partenaires, fournisseurs) Mobilisation de ressources (humaines, financières, informationnelles, organisationnelles, managériales)	- Innovation - Marché - Gestion de la phase amont

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Facteurs de succès des phases amont	Familles de facteurs
(Tao et al. 2009)	
- La technologie • Principes observés et définis • Prototypage et validation des composants • Vérification et validation des fonctionnalités	- Innovation
- Le marché • Besoins des clients collectés • Clients finaux identifiés (segment et taille du marché) • Plan de mise sur le marché élaboré	- Marché
- L'organisation • Cohérence avec la stratégie • Acteurs clés impliqués	- Gestion de la phase amont
- Les partenariats qui contribuent à la conception du produit • Identification et choix des potentiels partenaires	- Gestion de la phase amont
- Les risques • Risques technologiques anticipés (solutions alternatives envisagées) • Risques organisationnels anticipés (prévision des profits)	- Marché et Innovation
(Yannou et al. 2012), (Yannou et al. 2013)	
- Anticiper le potentiel d'un nouveau produit à engendrer un succès commercial en prouvant : • La faisabilité du concept • L'utilité du concept : importance du concept pour le client en termes d'usage et de satisfaction émotionnelle • La profitabilité du concept : bénéfices apportés • L'aspect innovant apporté par le concept : offre un nouveau service attendu	- Innovation et Marché
- Collecter des preuves en phase amont pour chaque aspect à démontrer : • Preuve de l'utilité : problématique du client, client ciblé, l'usage attendu et sa pertinence, l'expression du besoin idéal, la prise en compte des contraintes (règlementaire, économique, légale) • Preuve de la profitabilité : élaboration d'une chaine de distribution, mise en place de la stratégie de valorisation et commerciale, évaluation du retour sur investissement, service fourni au client, service fourni au système auquel appartient le client • Preuve de l'innovation : connaissance de la chaine de la valeur, mise en place et résultats de la veille juridique, technique et économique • Preuve du concept : plan d'actions, description du concept, gestion budgétaire du projet, compétences et connaissances de l'équipe projet, partenaires du projet, analyse de risques, processus de validation des jalons du projet	- Gestion de la phase amont, Innovation et Marché
- Impliquer des experts du secteur concerné pour évaluer les preuves	- Innovation et Gestion de la phase amont

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Les facteurs liés à la gestion de la phase amont en conditionnent la « forme » alors que ceux liés à l'innovation et au marché en conditionnent « le fond ». En effet, les FCS liés à l'innovation et au marché représentent les critères de sélection aux jalons du processus.

Intéressons-nous à présent plus en détail à chacune de ces familles de critères.

1.2.2- Piloter avec succès la phase amont : maitriser les facteurs liés à sa gestion

A partir de l'analyse du tableau 3 et de la classification en trois familles de facteurs, on identifie quatre facteurs liés à la gestion de la phase amont mis en évidence dans la Figure 15 :

- la stratégie d'entreprise,
- la planification des ressources et projets
- l'organisation de la phase amont,
- le processus de pilotage de la phase amont.

Chacun des facteurs se caractérise par des critères illustrés en Figure 15.

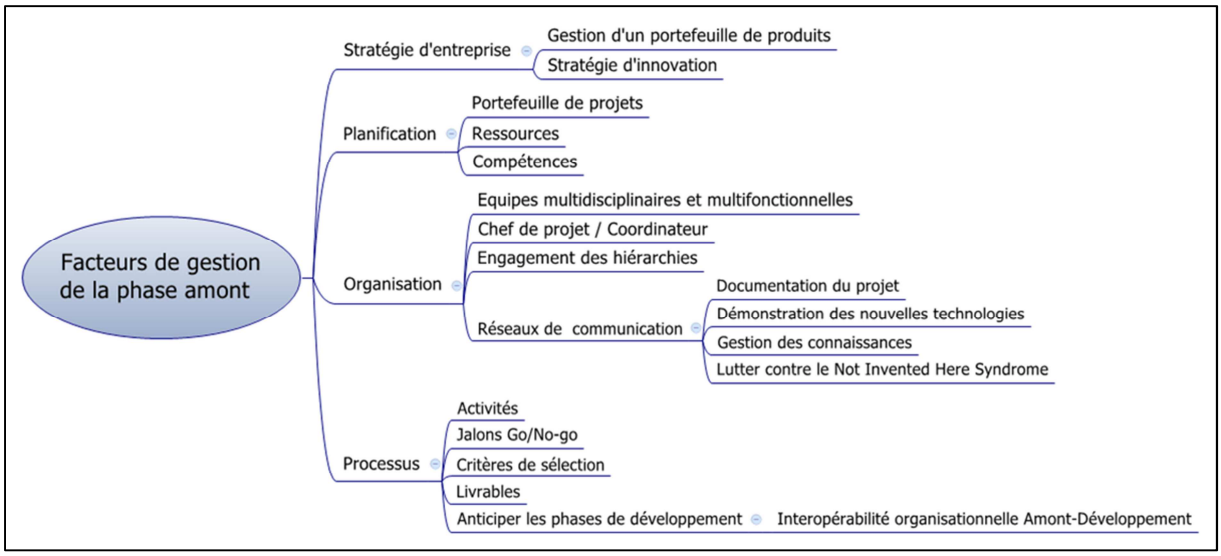


Figure 15: Facteurs clés de succès de gestion de la phase amont

Tout d'abord, la stratégie d'entreprise influence l'innovation : l'innovation est un moyen pour atteindre des objectifs stratégiques. Par conséquent, pour innover avec succès et piloter la phase amont, la stratégie d'entreprise doit être définie et déclinée sur toutes les strates organisationnelles de l'entreprise.

L'implémentation de la stratégie est associée à une planification des ressources et des projets. En effet, les plannings des projets amont, des projets de développement et des programmes hélicoptères doivent être cohérents. De plus, les projets d'innovation réclament des ressources (humaines, financières et matérielles). La disponibilité de ces ressources est à anticiper et à planifier afin de ne pas contraindre ni stopper un projet.

Ensuite, la phase amont implique de nombreuses parties prenantes. La mise en œuvre d'une organisation est donc requise. L'innovation lie des aspects marketing, technologique mais également de développement, de production, de vente et de communication. Tous les aspects du cycle de vie d'une innovation sont à anticiper : omettre un aspect, c'est remettre en cause la faisabilité de l'innovation. La phase amont requiert la mise en œuvre d'équipes multifonctionnelles et multidisciplinaires, ainsi que la nomination d'un chef de projet. De plus l'engagement de la hiérarchie est important : en sponsorisant les initiatives et projets d'innovation, la hiérarchie s'engage à mettre à disposition les ressources nécessaires et motive l'ensemble des parties prenantes. Le soutien de la hiérarchie crédibilise le projet et favorise la participation au projet ainsi que l'adoption des résultats. Enfin, parce que chaque discipline parle son propre langage, des réseaux de communication sont à

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

définir. Ils offrent des «clés de traduction » : la documentation sur le projet, les règles de communication.

Le processus amont (abordé en partie 1.1.3) est linéaire, jalonné par des prises de décisions, elles-mêmes basées sur des critères de sélection. Son objectif est d'anticiper les exigences de la phase de développement et de la commercialisation (Verganti 1997). Il est donc important que le processus amont anticipe le transfert de connaissances et de technologies vers les phases de développement. (Brooks 1966) définit le transfert technologique comme « *the process by which science and technology are diffused throughout human activity".* Le transfert entre les phases amont et de développement du processus d'innovation est un transfert intra-entreprise mais inter-organisationnel, car les phases amont et de développement ne sont pas gérées par les mêmes organisations. L'objectif est de diffuser des connaissances et technologies dans un but de développement d'innovation (Amesse & Cohendet 2001). Les livrables amont formalisent des preuves qui justifient l'intérêt d'un transfert en développement et qui soutiennent les revues décisionnelles. Les livrables mettent en évidence la valeur du produit attendue par les clients.

Les facteurs de la gestion amont influencent le succès de l'innovation. L'organisation et plus précisément le processus structurent le pilotage en vue d'un transfert des technologies vers la phase de développement. Les critères de sélection jouent un rôle central pendant la phase amont : ils conditionnent l'avancée des projets en fonction des incertitudes liées à l'innovation et au marché. Les critères de sélection sont des repères de pilotage pour les acteurs dans leurs activités.

1.2.3- Piloter avec succès la phase amont : anticiper les incertitudes de l'innovation et du marché

L'analyse de la littérature montre que l'anticipation des incertitudes liées à l'innovation et au marché oriente l'innovation vers un succès. « *Des experts industriels estiment que la résolution de problèmes technologiques avant le développement de produit apportent 10 fois plus de gains que si on corrige les problèmes pendant et après le développement* » (United States General Accounting Office 1999). Un des enjeux de la phase amont est alors de réduire les incertitudes et tout autre risque.

Les incertitudes liées à l'innovation relèvent principalement des risques technologiques alors que les incertitudes liées au marché relèvent plutôt des risques économiques.

a) Les facteurs clé de succès pour anticiper les incertitudes liées à l'innovation

Les risques technologiques représentent la probabilité de ne pas être en mesure d'atteindre des fonctionnalités ou performances techniques espérées (Millier 2005).

L'analyse de la littérature, illustrée en Figure 16 et construite à partir du tableau 3, détaille les facteurs et sous-critères qui influencent les incertitudes technologiques. Elaborer puis développer un nouveau produit nécessite d'anticiper :

- la faisabilité technologique
- l'utilité du concept
- la disponibilité des compétences et savoir-faire
- l'identification et mise en place des réseaux de partenaires nécessaires

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

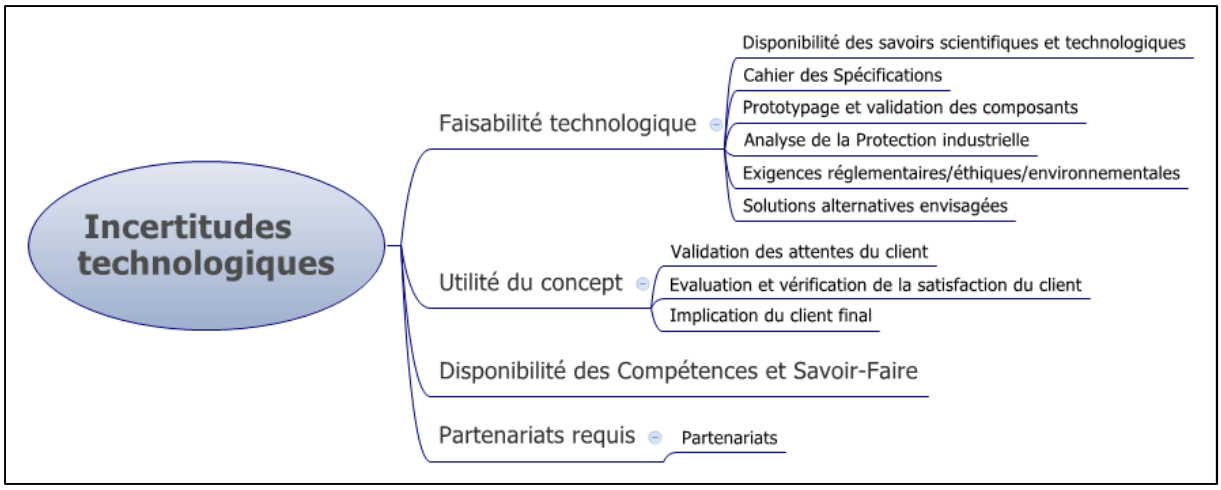


Figure 16: Facteurs clés de succès en relation avec les incertitudes technologiques

L'évaluation de la faisabilité technologique revient à spécifier l'innovation et surtout à vérifier son comportement dans un contexte donné via des prototypes. La faisabilité dépend aussi de la capacité d'une entreprise à développer et à produire l'innovation, c'est-à-dire de ses ressources et du contexte dans lequel les phases en aval se dérouleront. L'évaluation de la faisabilité technologique est proche de la preuve du concept proposée par Yannou (Yannou et al. 2012).
De plus, un concept ne sera réalisable que si les principes scientifiques et technologiques à la base de l'innovation sont disponibles.

Ensuite, un produit faisable n'engendre pas obligatoirement de succès. Il doit être adopté par le client. C'est l'évaluation de l'utilité, aussi appelée valeur d'usage : un produit doit être adopté et créé de la valeur pour l'usager, on parle de satisfaction émotionnelle (Yannou et al. 2012). D'où la nécessité d'impliquer le client tout au long des phases amont. L'étude de concepts et de leur prototype requiert des compétences et savoir-faire. Ceux-ci doivent être disponibles au moment des études. Enfin, la conception puis le futur développement nécessitent certainement des partenariats à anticiper pendant la phase amont.

Les facteurs associés aux incertitudes technologiques collectés dans la littérature sont propres aux innovations de produit. Mais sont-ils adaptables au cas d'innovation d'ingénierie ?

b) Les facteurs clés de succès pour anticiper les incertitudes liées au marché

Une innovation est source de valeur pour le client et pour le producteur. Les incertitudes économiques représentent la probabilité de ne pas atteindre le profit planifié, c'est-à-dire le risque de déployer une innovation non rentable (Millier 2005).

La Figure 17 est elle aussi créée à partir du tableau 3. Elle illustre les critères à évaluer en phase amont pour réduire au mieux les incertitudes économiques et par là, assurer le transfert vers les phases de développement.

L'identification du segment de marché et du client est le premier critère à évaluer : elle repose sur une étude de marché. Une analyse des forces et faiblesses de la technologie couplée à une analyse des menaces et opportunités (matrice SWOT) du marché doit permettre de mieux cibler le marché final, de vérifier la cohérence avec la stratégie d'entreprise et de déterminer les faiblesses à minimiser. L'identification du marché et client alimente le plan de déploiement ou plan de commercialisation. Une stratégie de vente (volumes, prix, stratégie de communication, planning des ventes...) doit être également définie. Enfin, une innovation est source de valeur pour le producteur : elle doit donc dégager des profits à évaluer grâce à une analyse des retours sur investissements. Un des facteurs clés de succès est donc la rentabilité du concept amont.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

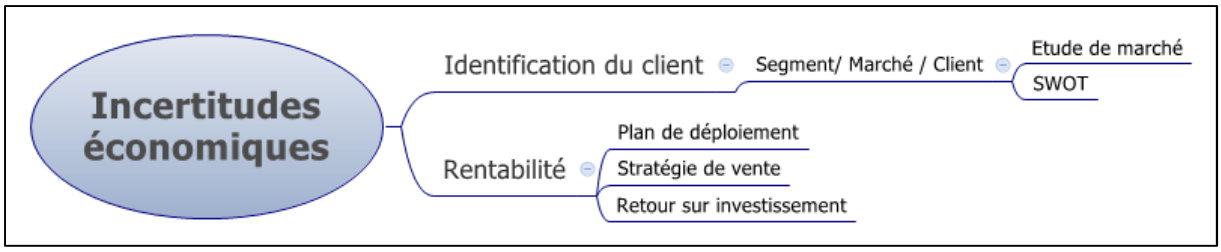


Figure 17 : Facteurs clés de succès en relation avec les incertitudes économiques

Finalement, la littérature et son analyse mettent en lumière des facteurs clés de succès pour organiser et piloter la phase amont du processus d'innovation. Chacun des facteurs se caractérise par des critères. Nous avons ainsi identifié des indicateurs de pilotage : la faisabilité technologique, l'utilité, la disponibilité des compétences, la disponibilité des partenariats, l'identification du client et la rentabilité. C'est en évaluant ces indicateurs que l'on évalue une innovation en phase amont, et c'est de cette façon que des actions correctives peuvent être anticipées et appliquées pour assurer le succès de la transition en phase de développement.
Les facteurs associés à la gestion de la phase amont ne sont pas des indicateurs mais plutôt des préconisations, c'est-à-dire les bases du pilotage.

Nous avons vu précédemment que le processus d'innovation est un processus de création de valeur. **Mais quels liens y a t'il entre réduction des incertitudes et création de valeur ? Les indicateurs identifiés sont associés aux innovations de produit, sont-ils valables pour des innovations d'ingénierie ?**

1.2.4- Réduction des incertitudes et création de valeur : quels liens ?

Innover c'est créer de la valeur, et ce pour tous les acteurs et clients du processus d'innovation. Selon (Boly 2004), la valeur de l'innovation peut avoir plusieurs natures :

- financière : génération d'une marge
- stratégique : avantage concurrentiel
- intellectuelle : savoir-faire, connaissances
- commerciale : nouvelles parts de marché
- fonctionnelle : nouveaux services d'un produit, avantage technique
- liée au degré de nouveauté : innovant aux yeux du client
- liée à la notoriété : différentiel d'image
- hédoniste : plaisir et motivation des créateurs/développeurs

La valeur est perçue par un individu et porte sur un objet : évaluer la valeur d'une innovation nécessite alors de caractériser l'innovation et le point de vue utilisé.

Le processus d'innovation produit différentes natures de connaissances, comme illustré en Figure 18. Selon (Edvinsson et al. 2004) le processus d'innovation génère :

- de la connaissance innovatrice qui intègre les nouvelles connaissances et les nouvelles idées issues de la recherche fondamentale, de séances de créativité.
- de nouveaux usages de la connaissance et de l'invention qui correspond à l'application de la connaissance innovatrice au travers de concepts appliqués, de prototypes
- une innovation, issue de la commercialisation et de l'exploitation des usages des connaissances innovatrices.

Les résultats du processus d'innovation sont produits, utilisés et exploités par divers organisations et acteurs (Van Horne & Poulin 2007) :

- le producteur de la connaissance innovatrice
- le consommateur de la connaissance innovatrice spécifie le nouvel usage de la connaissance puis développe, produit et commercialise l'innovation
- le consommateur de l'innovation spécifie le nouvel usage de la connaissance puis achète et utilise l'innovation

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

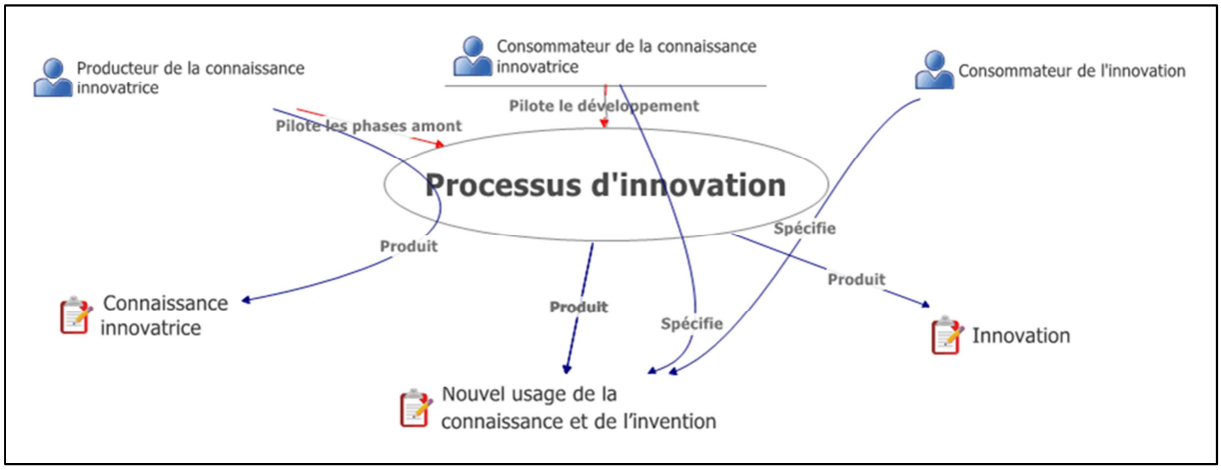


Figure 18: Acteurs et connaissances produites pendant le processus d'innovation, vers une matrice de l'innovation et de sa valeur

Rappelons que dans le contexte d'une innovation d'ingénierie, trois entités sont impliquées dans le processus d'innovation, en Figure 19 :

- l'équipe de projet amont
- l'équipe de projet de développement Méthodes et Outils
- l'équipe de programme de développement hélicoptère.

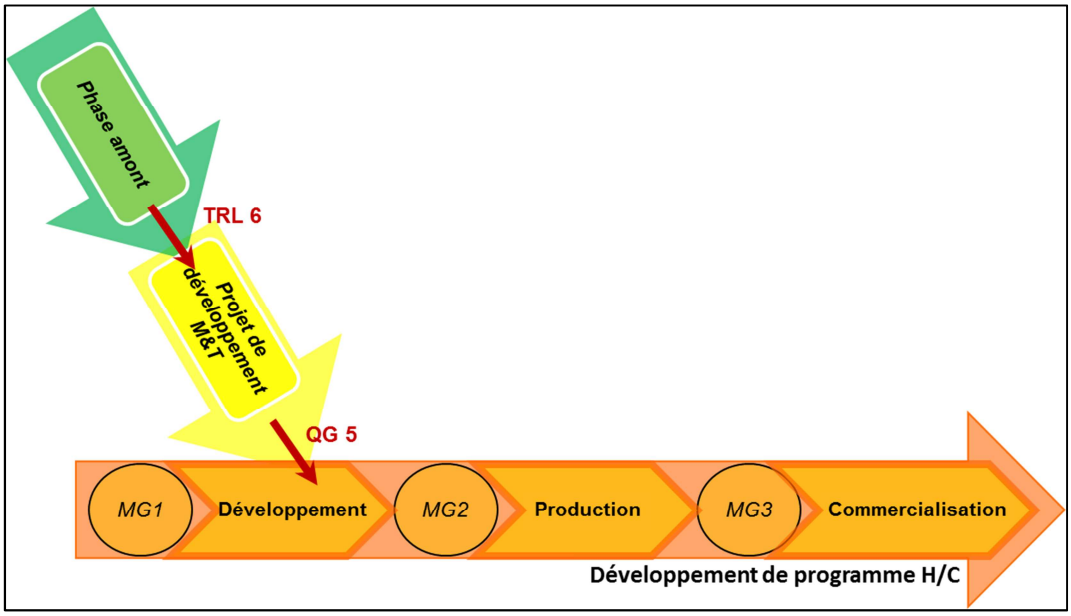


Figure 19: Modèle du processus d'innovation d'ingénierie

De cette façon, le producteur de la connaissance innovatrice correspond à l'équipe de projet amont, le consommateur de la connaissance innovatrice à l'équipe de projet de développement Méthodes et Outils et enfin, le consommateur de l'innovation correspond aux métiers qui conçoivent un hélicoptère.

Finalement, en phase amont, le producteur de la connaissance innovatrice cherche à convaincre le consommateur de la connaissance innovatrice et de l'innovation de la valeur apportée par le futur usage de la connaissance. Innover avec succès dès la phase amont, c'est-à-dire en anticipant et en assurant le transfert vers la phase de développement, nécessite comme illustré en Figure 20, de :

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

- démontrer la valeur stratégique, financière et commerciale au consommateur de la connaissance innovatrice (le projet de développement Méthodes et Outils)
- démontrer la valeur fonctionnelle et intellectuelle au futur consommateur de l'innovation

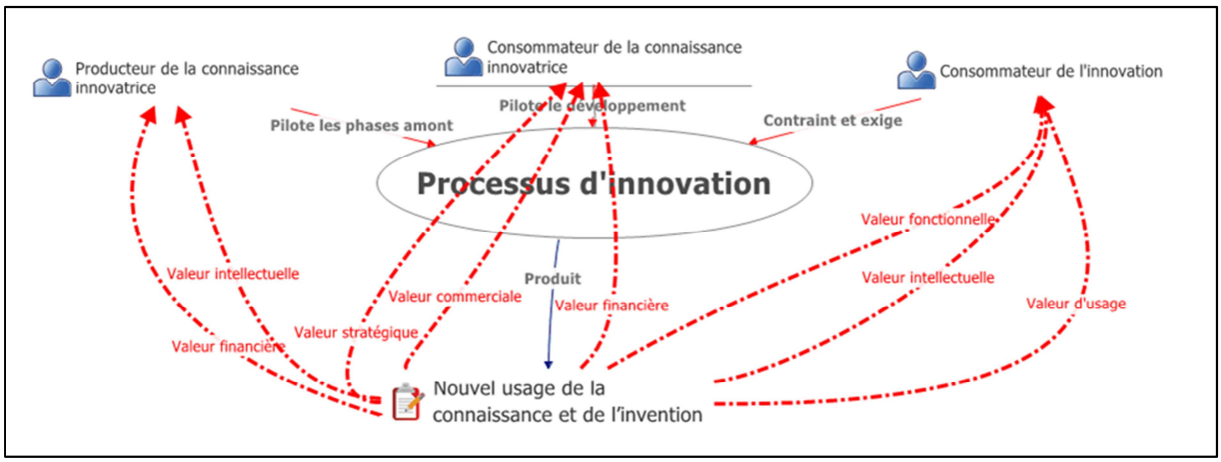


Figure 20 : Processus d'innovation, acteurs, connaissances et valeur

De plus, les approches économiques (A. Smith 1776), (Malleret 2006) décomposent la valeur en :

- valeur d'usage qui correspond à la satisfaction d'un individu à utiliser un bien et qui se caractérise par les interactions entre un utilisateur, un bien et un contexte. La valeur d'usage dépend de l'expérience de l'utilisateur et reflète l'utilité qu'il attribue à un bien selon des critères subjectifs qui lui sont propres.
- valeur d'échange qui correspond à la somme échangée lors de la vente/achat de ce bien. Elle nécessite de lister l'ensemble des coûts et des bénéfices ce qui est complexe.

La valeur financière et la valeur d'échange sont assez proches : la valeur financière réfère à la rentabilité engendrée par l'innovation et la valeur d'échange en est un paramètre.

Finalement, nous identifions deux voies pour innover avec succès dès la phase amont :

- maitriser des facteurs clés de succès liés à la gestion de la phase amont, à la réduction des incertitudes technologiques et économiques.
- évaluer la valeur de l'innovation selon le point de vue de chaque acteur :
    - valeur stratégique, financière et commerciale pour l'investisseur
    - valeur fonctionnelle, intellectuelle et d'usage pour le client

Par conséquent, il existe une corrélation entre l'évaluation de la valeur et la réduction des incertitudes technologiques et économiques, rapportée dans le Tableau 4. Ainsi, les preuves, justifications et livrables qui caractériseront les indicateurs identifiés préalablement contribueront aussi à évaluer les diverses valeurs de l'innovation. On propose d'évaluer la valeur stratégique au travers des roadmaps et de la cohérence de l'innovation avec ces roadmaps stratégiques.

Tableau 4 : Liens entre valeur de l'innovation et indicateurs de pilotage amont

Valeur de l'innovation	Indicateurs de pilotage
Valeur financière et commerciale	Identification du client Rentabilité
Valeur fonctionnelle et intellectuelle	Faisabilité technologique Partenariats industriels
Valeur d'usage	Utilité Disponibilités des compétences
Valeur stratégique	Cohérence avec la stratégie d'entreprise

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Finalement l'évaluation des incertitudes technologiques et économiques en phase amont est un moyen d'anticipation et d'évaluation de la valeur globale de l'innovation.

En conclusion le processus de pilotage de la phase amont s'appuie sur l'évaluation d'indicateur de la valeur d'une innovation. L'évaluation est de type qualitative et quantitative, et se base sur des livrables. La phase amont, bien qu'exploratoire, contribue à anticiper la valeur d'une innovation par la réduction des incertitudes technologiques et économiques.
Cependant **comment évaluer la valeur d'usage ou utilité ? Qu'est-ce que la rentabilité d'une innovation qui n'est pas à vendre ? Comment prototyper et vérifier l'intégration d'innovation d'ingénierie ?**

Synthèse Partie 1 : Innover avec succès, le rôle du processus et des indicateurs

L'innovation est un concept complexe et multi-facettes qui, lorsque correctement maîtrisé et piloté, engendre de la valeur. L'innovation s'inscrit dans une stratégie et repose sur un processus de plusieurs phases.

Cette thèse se concentre sur la racine du processus d'innovation, la phase amont, et plus particulièrement aux études de faisabilité, aussi appelées développements expérimentaux.
De nombreux processus de pilotage de la phase amont pour une innovation de produit sont formalisés dans la littérature. Cependant cette thèse s'intéresse à l'innovation d'ingénierie, innovation incrémentale. L'état de l'art a alors étudié les processus classiques pour les innovations de produit afin d'en comprendre les avantages et les limites.

L'analyse des processus amont permet également de déterminer des facteurs clé de succès de la phase amont. On identifie tout d'abord des facteurs de succès liés à l'environnement (organisation, processus, stratégie) de la phase amont et des facteurs de succès liés à la réduction des incertitudes économiques et technologiques. Ces facteurs sont des indicateurs de pilotage. On identifie la faisabilité technologique, l'utilité, la disponibilité des compétences et des partenariats, l'identification d'un client et la rentabilité. L'évaluation des indicateurs guident les parties prenantes en phase amont : les parties prenantes sont en mesure de décider de la poursuite, de la réorientation ou bien de l'arrêt du projet. De plus, l'évaluation des indicateurs de pilotage contribue à évaluer la valeur d'une innovation, langage et critère de décision des décideurs.

Se dessinent à présent deux axes de réflexion. Le premier axe concerne l'adaptation et l'adéquation des concepts collectés dans l'état de l'art pour les innovations de produit au cas des innovations d'ingénierie.

« Les indicateurs identifiés dans l'état de l'art sont-ils adaptés et adéquats pour piloter une innovation d'ingénierie en phase amont ? »

« Que signifie l'utilité ou même la rentabilité d'une innovation d'ingénierie qui n'a pas vocation à être vendue mais à être utilisée pour optimiser le développement d'un hélicoptère ? »

Le second axe de réflexion concerne l'évaluation des indicateurs :

« Comment quantifier et qualifier les indicateurs de pilotage identifiés dans la littérature? »

Partie 2 : L'évaluation des indicateurs de pilotage en phase amont

On a vu précédemment que la phase amont initie le processus d'innovation, et qu'elle précède la phase de développement par une exploration de nouveaux concepts et technologies. L'analyse de la littérature en Partie 1 met également en valeur des indicateurs, rappelés dans le Tableau 5:

- les indicateurs de pilotage associés à la réduction des incertitudes technologiques (faisabilité technologique, utilité …)
- les indicateurs de pilotage associés à la réduction des incertitudes économiques (étude de marché, rentabilité…)

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

L'analyse des indicateurs en Partie 1 met en évidence des critères de caractérisation des indicateurs (Figures 16 et 17).

Tableau 5 : Indicateurs de pilotage de la phase amont et leurs critères

Valeur de l'innovation	Indicateur de pilotage	Critères
Valeur fonctionnelle	Faisabilité technologique	Disponibilité des savoirs scientifiques et technologiques
		Spécifications
		Contraintes réglementaires/environnementales/éthiques
		Validation des prototypes
		Analyse de la protection industrielle
		Solutions alternatives
	Partenariats	NC
Valeur d'usage	Utilité du concept	Validation des attentes du client
		Vérification de la satisfaction client
		Implication du client
	Disponibilités des compétences et savoir-faire	NC
Valeur financière	Identification du client	Analyse du segment
		Analyse du marché
		Choix du client
	Rentabilité	Retour sur investissement
		Plan de déploiement
		Stratégie de vente
Valeur stratégique	Cohérence avec les roadmaps stratégiques	NC

Notre ambition est de proposer (et de déployer) une méthodologie de pilotage d'innovations d'ingénierie lors des études de faisabilité en phase amont. Cette méthodologie s'appuie sur les facteurs clés de succès de gestion de la phase amont : un processus de pilotage, mais aussi de méthodes et outils d'évaluation des indicateurs et une organisation.

La première brique à concevoir est le processus de pilotage en lui-même ainsi que ses jalons. Sans ce processus, la phase amont est désorganisée et n'a que peu de chances d'aboutir sur un succès. Ce processus sélectif se compose d'activités, de jalons et de critères décisionnels.
Cette thèse se focalise sur la phase amont et plus particulièrement sur les études de faisabilité/développements expérimentaux. **Mais comment structurer et jalonner les études de faisabilité ? Quelle méthodologie peut nous y aider ?**

Ensuite, l'évaluation de la valeur fonctionnelle repose principalement sur l'évaluation de la faisabilité technologique au travers de prototypes. Ils permettent d'appréhender la technologie et de valider un certain nombre de critères :

- les besoins et connaissances scientifiques et technologiques nécessaires
- les spécifications techniques et autres contraintes
- les problématiques de propriété intellectuelle

Mais **comment prototyper une innovation d'ingénierie ? Comment élaborer un prototype en adéquation avec les exigences du client ?** Et ensuite, **comment utiliser le prototype pour évaluer les autres critères du Tableau 5 ?**

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

On se demande aussi comment évaluer l'utilité du concept : **est-ce que la validation des exigences valide la satisfaction du client ?**

Enfin, au sujet de la valeur financière et plus précisément de la rentabilité : **comment construire un business case et plus largement, comment évaluer la rentabilité d'une innovation d'ingénierie ?**

Finalement, cette partie 2 interroge **les méthodes et outils permettant d'évaluer les indicateurs de pilotage de la phase amont et donc la valeur d'une innovation ?**

2.1- Piloter les études de faisabilité amont : vers une implémentation de la méthodologie des TRL

Dans la littérature, le terme de maturité est très souvent utilisé pour qualifier un projet. (Gonzales Ramirez 2009) propose la définition suivante de la maturité : *« Un projet est dit mature si l'ensemble des processus qui le composent est maîtrisé et permet d'atteindre les objectifs fixés, cette maîtrise se contrôlant au fur et à mesure de l'avancement du projet ».* Les modèles de maturité utilisés pour évaluer la maturité d'un projet s'appuient sur une échelle qui compare la performance du projet à celles des meilleures pratiques établies. Ces modèles ((Gonzales Ramirez 2009) en recense pas moins de 30) visent l'amélioration des processus de gestion de projet. Dans le contexte de la présente recherche, l'objectif est plutôt de piloter l'avancement technologique des concepts de l'innovation d'ingénierie et non d'améliorer le projet amont à proprement parlé.

2.1.1 Le pilotage des études de faisabilité par l'évaluation de la maturité

En 1995, Mankins a formalisé une méthodologie d'évaluation de l'état de préparation (readiness) d'une technologie : la méthodologie des Technology Readiness Level (TRL) (Mankins 1995). L'objectif est d'évaluer de façon incrémentale l'aptitude d'une technologie face à son futur déploiement: on détermine comment une technologie fonctionne et comment elle se comporte dans le monde « réel », c'est-à-dire au sein de son futur environnement opérationnel (Mackey et al. 2003).

(J. Smith 2005) et (Tetlay & John 2009) différencient les notions de « readiness » et de « maturity ». Tetlay (Tetlay & John 2009) définit la maturité d'un système comme : *«The verification of the system development lifecycle (…). It occurs before system readiness, i.e. the system must first be fully mature before it can be ready for use. (…) System maturity asks the question: do we have a complete, well-defined design that has been implemented and verified? ».*
Dans cette logique, une équipe projet définit un système comme *prêt* s'il est apte à être déployé dans son environnement opérationnel. La notion de readiness est liée au futur contexte d'utilisation de la technologique ou du système étudié en phase amont. Son évaluation nécessite l'apport de preuves objectives ou subjectives par un expert du domaine concerné (Tan et al. 2009). Finalement l'évaluation de la maturité, au sens des TRL, intègre les notions d'incertitudes technologiques.

Concrètement, la méthodologie des TRL se compose de neufs niveaux croissants (TRL1 à TRL9) (Mankins, 1995) (Department of Defense 2011). Chaque niveau est assimilé à un jalon, et sa validation repose sur l'évaluation de critères et l'apport de justification. Les parties prenantes évaluent à chaque TRL l'écart entre les objectifs et la situation réelle, et décident ainsi de l'arrêt, de la poursuite du projet ou d'actions correctives et complémentaires à mettre en œuvre. Le Tableau 6 résume la définition de chaque niveau ainsi que les justifications attendues. Afin d'en faciliter la compréhension, l'exemple de l'étude d'une radio embarquée est développé dans le Tableau 6.

Dans son rapport sur l'implémentation industrielle de la méthodologie des TRL, (United States General Accounting Office 1999) conclut que cette méthodologie est un bon outil pour anticiper les incertitudes technologiques. Les enquêtes menées sur des projets industriels révèlent que le TRL6 est crucial : il conditionne fortement le succès d'un programme de développement. A TRL6, les technologies sont à l'état de système global et sont étudiées dans un environnement représentatif de

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

l'environnement opérationnel. On peut alors considérer le TRL6 comme le premier niveau de readiness, les TRL1 à TRL5 étant plutôt des jalons de maturité. En raison d'une croissante utilisation de la méthodologie des TRL, une norme décrivant chaque niveau est en cours de finalisation (ISO 2013).

Tableau 6 : Définition des niveaux de TRL par (Mankins 1995), (United States General Accounting Office 1999), (Mitchell 2007), (DGA 2009), (ISO 2013)

Justifications attendues	Type de projets	Exemple : Radio embarquée
TRL1 : Les principes de bases sont observés et décrits		
Publication de travaux de recherche	Recherche scientifique Recherche fondamentale	Principes de fonctionnement d'une radio
TRL2 : Concept technologique et/ou applications sont formulées		
Publication aux autres références qui illustrent les applications potentielles	Recherche scientifique Recherche fondamentale	Définition des applications, nomenclature de la radio
TRL3 : Les éléments clés du concept sont démontrés (Proof of concept)		
Description des fonctionnalités clés de l'application Résultats de mesures en laboratoire	Développement expérimental	Démonstrations des éléments qui composent la radio (circuit électrique …)
TRL4 : Validation des éléments clés et de leur intégration en laboratoire		
Listes des problèmes adressés par la maquette Résultats d'essais de maquettes de laboratoire.	Développement expérimental	Les éléments de la radio et leurs interfaces sont testés avec des contraintes légères
TRL5 : Validation des éléments clés et de leur intégration en environnement représentatif		
Résultats d'essais d'une maquette de laboratoire du système, intégrée à des éléments supports dans un environnement opérationnel simulé	Développement expérimental	Les éléments de la radio sont prototypés et sont connectés entre eux pour vérifier l'intégration. Les éléments ne forment pas encore une radio.
TRL6 : Démonstration d'un prototype dans un environnement représentatif		
Résultats d'essais en laboratoire d'un système prototype très proche de la configuration désirée.	Développement expérimental	Création d'un prototype intégrant les éléments. On vérifie que le prototype fonctionne.
TRL7 : Démonstration d'un prototype dans un environnement opérationnel		
Résultats d'essais d'un système prototype en environnement opérationnel.	Développement industriel	Le comportement du prototype est testé dans son futur environnement hélicoptère (maquette hélicoptère ou simulation cockpit)
TRL8 : Système réel achevé et qualifié par des tests et des démonstrations		
Résultats d'essai du système dans sa configuration finale	Développement industriel	La radio, dans sa version finale, est installée dans le cockpit et ses interfaces avec d'autres équipements sont testées.
TRL9 : Système réel qualifié par des missions opérationnelles réussies		
Rapports de tests et d'évaluations opérationnelles.	Déploiement industriel	La radio est intégrée dans l'hélicoptère et fonctionne.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

2.1.2- TRL et processus d'innovation

Un parallèle est à faire entre les TRL et les jalons du processus d'innovation, comme illustré en Figure 21. Considérons quatre phases dans le processus d'innovation :

- la génération d'idées
- les études de faisabilité (développement expérimental de concepts et technologies)
- le développement du produit
- la commercialisation du produit

Le TRL3 valide le concept d'une nouvelle technologie (voir Tableau 6) et initie des niveaux de développement expérimental (TRL4 à 6). Alors, le TRL3 s'assimile au jalon de « sélection d'une idée ». Le TRL6 valide la faisabilité technologique du prototype dans un environnement représentatif du futur environnement opérationnel. La validation du TRL6 conditionne le lancement des phases de développement.

Finalement, les études de faisabilité sont jalonnées par les TRL4 à 6, démontrant la maturité des composants et de la technologie complète dans des environnements précis. **Piloter des études de faisabilité en phase amont par une perspective de réduction des incertitudes technologiques nécessite de valider les niveaux de TRL 1 à 6**. Les livrables produits en phase amont sont des justifications pour la validation des revues de TRL.

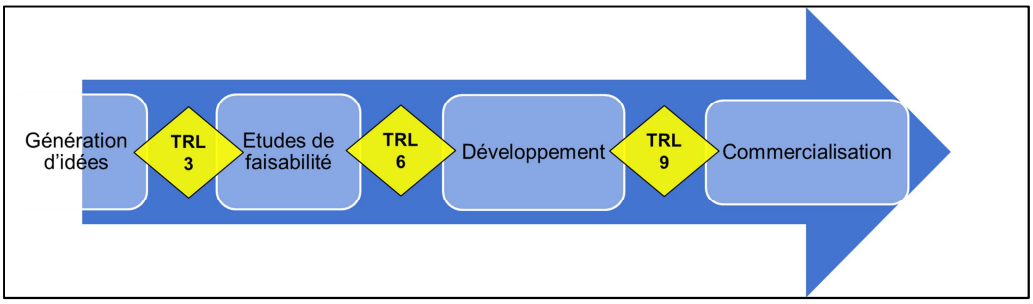


Figure 21: Relations entre niveaux de maturité et jalons du processus d'innovation de produit

Cependant, les définitions des TRL présentées dans le Tableau 6 ont été conçues pour des produits et applications spatiales (NASA). **Mais qu'est-ce que signifie un « environnement représentatif » dans le cadre d'une innovation d'ingénierie ? Qu'est-ce que signifie « tester les composants » d'une innovation d'ingénierie ?**

2.1.3- TRL et innovation d'ingénierie

La méthodologie des TRL doit être adaptée au contexte d'étude. (Tan et al. 2009) ont recensé les adaptations de la méthodologie :

- dans des contextes de production : Manufacturing Readiness Levels (MRL), (US Defense Acquisition University n.d.)
- pour des études de logiciels et de hardware : System Readiness Level (SRL), (Sauser et al. 2006)
- concernant les approches d'intégration : Integration Readiness Levels (IRL), (Sauser et al. 2010)

Lorsque l'objet de l'étude consiste en une intégration de technologies, l'étude de la readiness est complexe : il est préconisé d'évaluer la readiness de chaque technologie puis celle de l'ensemble. Mais cette procédure est longue et fastidieuse pour un travail de phase amont. De plus, (J. Smith 2005) pointe du doigt la non-adaptabilité des méthodologies classiques des TRL, SRL et IRL au cas des systèmes et outils logiciels non développables. Par technologie non-développable, Smith entend les outils commerciaux et gouvernementaux sur étagère (COTS), les solutions open-sources (OSS), les solutions technologiques susceptibles d'être intégrées au sein de système d'information, c'est-à-dire d'innovation d'ingénierie. Ce type de technologie vivra sous différentes versions tout au long de

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

son cycle de vie, mais celles-ci ne remettent-elles pas en cause la maturité du produit ? **Faut-il donc à chaque livraison de version réévaluer les TRL ?**
De plus, le contexte opérationnel dans lequel la technologie est évaluée ne sera peut-être plus le même en fin de vie de la technologie. **A chaque nouvel usage, est-il nécessaire de réévaluer la maturité d'une technologie déjà en utilisation ?**

Pour combler ces manques, (J. Smith 2005) propose d'améliorer les méthodologies traditionnelles en définissant quatre famille d'attributs :

- aptitude à répondre aux exigences (fonctionnelles et non-fonctionnelles) énoncées, évaluée sur 6 niveaux (de idéal à insatisfaisant).
- la fidélité et les caractéristiques de l'environnement de test utilisé à reproduire l'environnement opérationnel, caractérisée par 6 types d'environnement (environnement opérationnel, simulé, comparable ...)
- la criticité de la technologie au sein du système complet, évaluée sur 6 niveaux de criticité
- la disponibilité et la maturité de la technologie

L'auteur propose ainsi une alternative à la méthodologie des TRL en affinant l'évaluation sur les particularités d'un système. Cependant, la mise en œuvre de la méthodologie de Smith repose sur une approche mathématique (Analytic Hierarchy Process) nécessitant plus d'efforts que dans une méthodologie TRL classique, trop contraignants pour la phase amont. De plus, les améliorations proposées sont purement théoriques.

Finalement, la méthodologie des TRL, sous réserve d'améliorations, semble une bonne base pour structurer et piloter les études de faisabilité technologique en phase amont. Les TRL symbolisent ainsi des jalons où, à partir de maquettes et prototypes, l'indicateur « faisabilité technologique » est évalué dans un contexte défini. De plus cette méthodologie est bien connue et appropriée dans l'organisation Airbus Helicopters. Mais **comment concevoir un prototype d'innovation d'ingénierie en phase amont ? La méthodologie des TRL évalue la faisabilité technologique mais qu'en est-il de l'utilité et de la rentabilité ?**

2.2- Concevoir, en phase amont, un prototype d'innovation d'ingénierie par une approche d'ingénierie système

2.2.1- Déployer une logique de conception en phase amont : l'ingénierie système

Le prototype et plus largement les démonstrations sont des outils d'anticipation et d'étude d'une technologie. Ces approches virtuelles ou physiques soutiennent et illustrent des faisabilités (Glennan 1978). L'auteur définit une démonstration comme « *a project, involving an innovation and operated at or near full scale in a realistic environment* » (Glennan 1978) et précise que la démonstration vise deux objectifs majeurs : prouver et montrer les comportements et caractéristiques d'une innovation. Le succès des démonstrations repose en partie sur leur capacité à répondre à des objectifs et sur la qualité du projet (Glennan 1978). La définition d'une démonstration et des moyens sur lesquels elle repose doivent alors être en accord avec les besoins du client visé.

Dans le contexte de cette thèse, les innovations étudiées couvrent des dimensions organisationnelles, humaines et technologiques que doivent prendre en compte leurs prototypes. En assimilant alors une innovation d'ingénierie et ses prototypes à des systèmes complexes, nous proposons d'étudier l'application des méthodes de conception telles que l'ingénierie système aux innovations d'ingénierie.

L'ingénierie système, ou system engineering en anglais, est une démarche méthodologique normalisée de résolution de problèmes. Basée sur des processus multidisciplinaires, des méthodes et outils, elle guide la définition, la conception et la vérification d'un système complexe apportant une solution à un besoin opérationnel (Aidi 2007). Un système rassemble des produits, processus et

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

personnes qui, une fois intégrés, offrent un service répondant à un besoin (Department of Defense 2001).

Dans la pratique, l'ingénierie système conjugue des approches descendantes (top-down) et ascendante (bottom-up) itératives, illustrées en Figure 22. La démarche s'initie par une expression de besoin et une analyse des exigences. Cette première étape nécessite une forte implication et participation de toutes les parties prenantes impactées par le futur système dont les clients finaux.
Chaque exigence est déclinée sur les niveaux systèmes, sous-systèmes et composants à concevoir, puis traduite en fonction : c'est l'architecture fonctionnelle. Ensuite, pour chaque fonctionnalité, des solutions techniques sont déterminées : c'est l'architecture organique.
En parallèle des définitions fonctionnelles et organiques, les parties prenantes déterminent les tests de vérification et de validation adéquats qui seront exécutés dans la seconde phase du cycle, la phase ascendante. Ces tests ont pour but de valider l'adéquation entre la solution physique et les besoins initiaux, vérifiant ainsi qu'une propriété est mesurable.
La phase ascendante consiste enfin à intégrer les solutions techniques des composants, puis les sous-systèmes et systèmes en validant au fur et à mesure les exigences de départ, par exécution des tests.

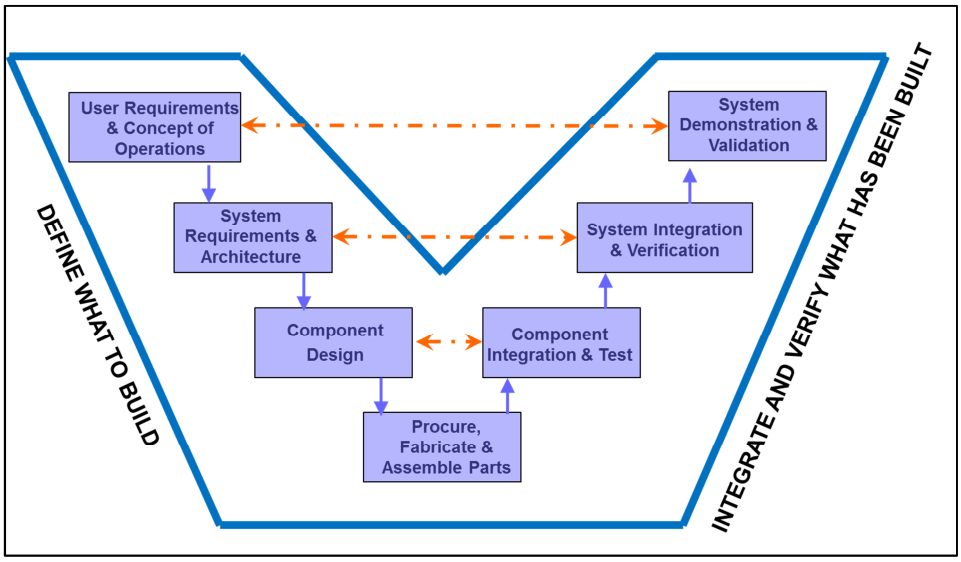


Figure 22: Processus d'ingénierie système (Sauser et al. 2010)

Le couplage d'approches ascendante et descendante caractérise le processus d'ingénierie système couramment représentée par le cycle en V.
L'ensemble des processus techniques de l'ingénierie système qui sont appliqués de l'analyse des exigences à la définition et validation physique du système sont normalisés (IEEE 1220 2005).

La mise en œuvre de l'ingénierie système assure :

- une bonne adéquation entre les besoins du client et la qualité du produit délivré
- une meilleure anticipation des problématiques d'intégration du système avec son environnement dès les phases de définition fonctionnelle.
- une satisfaction de toutes les parties prenantes impliquées dans le cycle de vie du système.

Bien que complexe et plus appropriée à la phase de développement de produit, l'ingénierie système est une méthodologie qui soutient dans notre contexte l'élaboration de prototypes en adéquation avec les besoins clients.

Cependant, la phase amont demeure une phase exploratoire: les besoins ne sont pas toujours connus. Dans ce cas-là, **comment anticiper des besoins et exigences en phase amont? Quelles exigences sont à anticiper et à vérifier par le prototypage et les démonstrations?**

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

2.2.2- Les exigences à collecter

Afin de concevoir un système, l'ingénierie système préconise de définir les besoins du client mais aussi l'ensemble des contraintes du système à concevoir, c'est ce qu'on appelle l'analyse des exigences (Department of Defense 2001), (Haskins 2010).
L'analyse des exigences est menée itérativement et conjointement à l'analyse fonctionnelle par des équipes multidisciplinaires impliquant le client. Deux grandes familles d'entrées sont à collecter:

- les besoins et exigences du système et des parties prenantes impliquées et impactées :
    - les exigences des clients : attentes du système en termes de missions, d'environnement, de contraintes …
    - les exigences fonctionnelles : caractéristiques des tâches, actions ou activités que le système doit pouvoir réaliser
    - les exigences de performance : quantité, qualité, échelle, durée, disponibilité attendues pour les fonctions du système
    - les exigences du cycle de vie : exigences rattachées aux moyens à mettre en œuvre pour concevoir les solutions (code, création, achat …), les produire, les certifier, les mettre en service, les maintenir.
- les contraintes du projet de conception qui sont les conditions et les limites imposées par l'environnement opérationnel (sécurité de l'information, sûreté), par les interfaces et par les procédures et politiques d'entreprise.

Le standard IEEE P1220 (IEEE 1220 2005) guide l'analyse des exigences par une liste de 15 tâches à réaliser:

- définir les attentes des clients
- déterminer les contraintes d'entreprise et de conception (standards, procédures, coûts …)
- identifier les contraintes externes (lois, règlementations…)
- anticiper les possibles environnements opérationnels (interactions, interfaces)
- caractériser les environnements opérationnels
- déterminer des indicateurs d'évaluation de la satisfaction client
- définir les limites du système et ses interactions
- déterminer les interfaces fonctionnelles et physiques
- déterminer les exigences pour développer, produire, tester, vendre et maintenir le système
- rédiger les exigences fonctionnelles, c'est-à-dire ce que le système doit faire pour répondre aux problèmes posés
- rédiger les exigences de performances pour chaque grande fonctionnalité du système
- préciser les modes d'opérations du système
- de définir la vue physique (comment le système est construit) pour pouvoir formaliser les exigences physiques et des exigences de performance (caractéristiques des utilisateurs, caractéristiques des technologies …)
- de définir les interfaces fonctionnelles et physiques
- identifier et caractériser les caractéristiques physiques attendues

En collectant et formalisant l'ensemble des exigences, données et informations précédemment listées, les équipes multidisciplinaires sont en mesure de clairement définir et caractériser les vues opérationnelles, fonctionnelles et physiques du système à concevoir.

L'analyse des exigences que nous souhaitons mener a lieu en phase amont du processus d'innovation où les besoins ne sont pas toujours connus. La liste des tâches proposée par IEEE est une excellente base méthodologique mais il serait judicieux d'y associer des moyens pour aider à anticiper les besoins. (Neill & Laplante 2003) recensent plusieurs techniques d'analyse pour analyser les exigences dont les brainstormings, les interviews, la méthode QFD, les scénarios… Le choix des méthodes et outils d'anticipation des besoins dépend de leur complexité : en phase amont, les moyens étant limités, les études doivent être de petites échelles et par conséquent il devient difficile de penser et de prendre en compte toutes les exigences.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

2.3- Intégrer le concept de scénario dans l'ingénierie système : vers une expression des besoins et une évaluation de l'utilité en phase amont

2.3.1- Utilité ou valeur d'usage

Un produit techniquement faisable peut être non-utile. Il faut donc s'assurer de son utilité, aussi appelée valeur d'usage (Langlois 1988). Selon Caelen (Caelen & Mallein 2002), l'usage renvoie à l'utilisation d'un produit faite par un usager et l'usager se caractérise par un profil et une attitude. Un produit utilisable pourra être rejeté par un usager s'il n'a pas de sens pour lui. L'usage est lié à l'adoption du produit par un usager et « *recouvre (…) l'emploi des techniques, (…) les comportements, les attitudes et les représentations des individus qui se rapportent directement ou indirectement à l'outil* » (Jouët 1993). L'usage dépend non seulement de l'usager mais aussi du fonctionnement du produit et du contexte d'usage (Kanis 1999), (Kroes 1998), (Shakel 1984). Par conséquent, pour évaluer l'usage, il faut comprendre quel est l'usager concerné, quel est le fonctionnement du produit attendu et dans quel contexte.

Trois approches caractérisent la notion d'usage (Caelen & Mallein 2002) dont une approche centrée sur la manipulation de l'objet dans le cadre d'une action (Kanis 1999). L'observation des pratiques est dans ce cas-là un moyen d'identifier les méthodes de travail, les organisations, les interactions, les habitudes et compétences. Innover en anticipant l'usage nécessite tout d'abord de penser aux usages puis ensuite à la création du produit. De cette façon, les spécifications des pratiques attendues par les utilisateurs seront intégrées dans la conception du produit (Valette 2005). Evaluer la valeur d'usage (aussi appelée utilité) d'une innovation d'ingénierie revient à déterminer les usages des prototypes, à les créer et à vérifier et valider les usages.

(Yannou et al. 2013) définit la preuve de la valeur d'utilité comme étant *« la preuve (…) qui permet à des experts de mesurer le potentiel d'une idée, d'une solution conceptuelle ou d'un prototype relativement à la couverture des situations d'usages d'un utilisateur »*. La valeur d'utilité demande si l'idée est utile pour des utilisateurs.

Quatre preuves sont à caractériser pour évaluer la preuve de la valeur de l'utilité:

- la définition de la problématique
- l'identification de la cible, du client visé
- la pertinence de l'usage au travers de la définition des situations d'usage envisagées
- l'expression du besoin idéal

Globalement, pour évaluer la valeur d'usage, aussi appelée utilité, il faut :

- cerner le client
- comprendre les attentes liées aux technologies pour répondre aux problèmes constatés
- déterminer les contextes ou situations d'usages

Le client est logiquement déjà identifié (voir Figure 22), et dans l'hypothèse où les exigences et contraintes sont connues, il reste à déterminer **comment définir et construire des situations d'usages ?**

2.3.2- Anticiper et formaliser des usages: le rôle du scénario

a) Le scénario: outil d'anticipation

La phase amont explore et valide un ou plusieurs futurs possibles qui répondent à un même problème initialement posé. Ces futurs possibles correspondent à des situations d'usages et le scénario est un outil adapté à leur formalisme.

Le scénario est une approche orientée utilisateur qui permet d'appréhender les attentes du client final et les contextes d'usages. La communauté HCI (Human Computer Interface) considère le scénario comme un levier de découverte des besoins et des pratiques des utilisateurs. Il aide à

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

penser, dès les premiers moments du cycle de vie du projet de conception, l'intégration du système à concevoir dans les pratiques de travail (John M Carroll 1990). Le scénario décrit la situation dans laquelle l'usage de l'innovation, en cours de conception, va se construire et prendre sens. Décrire cette situation revient à anticiper les interactions futures entre la technologie et ses utilisateurs selon le contexte d'usage. Dans le contexte de l'ingénierie des exigences et de la gestion stratégique, le scénario assume trois rôles (A. Sutcliffe 2003), (Brechet 2005) :

- il décrit le système actuel et ses faiblesses à combler par un nouveau système
- il décrit une vision future du nouveau système à concevoir et ses exigences fonctionnelles et opérationnelles
- et enfin, il représente un cas d'utilisation c'est-à-dire un enchainement de tâches faisant appel au système à concevoir. Le scénario illustre des comportements du système en interaction avec l'utilisateur.

Le scénario est un bon outil pour stimuler et simuler des pensées (Jarke & J M Carroll 1999). C'est une représentation critique de la réalité et du futur dont l'application reste assez souple et structurée.

Dans les pratiques industrielles, les notions de cas d'utilisation et de scénario sont souvent confondues. Un cas d'utilisation fait référence à un outil et donc à des procédures, des méthodes de travail, alors que le scénario décrit un processus dont l'implémentation nécessite, entre autres, des outils.

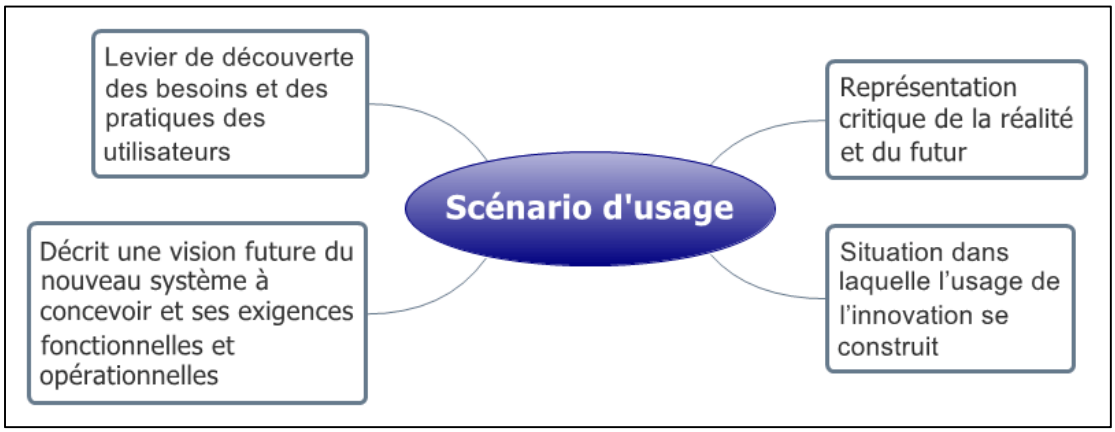


Figure 23: Rôles du scénario d'usage

Le scénario d'usage, en Figure 23, sert donc à :

- comprendre et représenter la réalité et les besoins des utilisateurs par rapport à un système ou un outil existant
- anticiper et visionner le futur système à concevoir ainsi que les interactions avec les utilisateurs dans des situations d'usage.
- saisir des options futures pour mieux en cerner les impacts

Le scénario se révèle finalement un bon outil d'anticipation des exigences et contraintes du client en phase amont. **Mais comment élaborer un scénario ? Comment intégrer le scénario dans l'ingénierie système ? Comment lier scénario et exigences à collecter ?**

b) Elaborer des scénarios: notion de modèle

Dans le cas d'innovation d'ingénierie, le scénario représente un enchainement d'activités à implémenter pour produire un service nécessaire à la conception d'un hélicoptère. Dans notre contexte de recherche, le scénario illustre ainsi un processus métier, aussi appelé scénario de processus par Anton (Anton et al. 1994). De par cette propriété, il est envisageable de construire un scénario en suivant les règles de modélisation d'un processus métier où la première étape consiste à

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

définir un modèle de description du processus. Le modèle définit la syntaxe et sémantique du langage (Cornu 2012). A chaque élément du modèle est associé :

- un sens définit par une sémantique
- une syntaxe concrète (le formalisme graphique par exemple), qui elle aussi nécessite une sémantique (signification des formalismes).

Le modèle définit la forme et le contenu du scénario (Rolland, 1996) et renseigne les objets et attributs qui sont ensuite modélisés (Debauche & Mégard 2004). Par exemple, il précisera des objets comme les acteurs, les rôles, les informations et leurs relations entre les objets. (Potts, 1995) rentre plus dans le détail et caractérise le scénario par un responsable, des objets, des acteurs, des objectifs et une séquence d'actions/évènements.

Le modèle définit un langage de modélisation mais **quels éléments doivent le composer ? Comment les caractériser ?** Les données et informations concernant chaque élément du modèle sont à collecter auprès des parties prenantes. Pour cela il est nécessaire d'élaborer un questionnaire de collecte.

Finalement, pour prototyper et démontrer en phase amont de nouvelles technologies, nous avons vu l'intérêt de la méthodologie de l'ingénierie système pour associer solutions techniques et besoins ainsi que l'intérêt du scénario pour collecter les besoins. Mais **comment coupler à présent le scénario et la méthodologie de l'ingénierie système? Et finalement, comment cette approche globale contribue à l'évaluation de l'utilité ?**

2.3.3- Coupler le scénario et l'ingénierie système ?

Le modèle précédemment discuté est le cœur du scénario. Cependant ce dernier vit et évolue au cours de la phase amont: le scénario est utilisé pour imaginer des futurs qui sont évolutifs. (Julien et al. 1975) proposent une méthodologie de scénarisation en trois temps, qui est partagée par (Brechet 2005):

- mise à plat et partage de la situation existante par la définition d'éléments structurants, de limites, de problèmes, de voies d'amélioration
- définition d'une transition entre le présent et un futur
- description de la situation finale obtenue à partir de l'analyse et amélioration de la situation existante.

Cette approche de scénarisation est approfondie par (J. Carroll & Rosson 2002) qui proposent un « *scenario-based design framework* » :

- la conception d'un nouveau système débute par une analyse des problèmes et opportunités qu'il doit adresser. Cette étape formalise des évidences des limites actuelles ainsi que des scénarios problèmes à résoudre.
- les scénarios problèmes sont transformés en solutions fonctionnelles qui spécifient le système à concevoir. Ce travail est itératif : on analyse les impacts de chaque scénario sur le système.
- enfin, le système conçu est prototypé et évalué dans le contexte des scénarios problèmes.

Julien et Carroll placent le scénario dans une approche d'amélioration d'une situation.

De plus, parce que dans notre contexte, un scénario s'apparente à un processus métier, il est possible de faire une analogie avec les approches traditionnelles d'amélioration et de réingénierie des processus (Muthu et al. 1999), (Harrison & Pratt 1993) construites autour des activités suivantes :

- la détermination des objectifs du processus
- la modélisation du processus existant : le processus AS-IS, qui correspond au 1er point de (Julien et al. 1975)
- l'analyse des voies d'amélioration du processus AS-IS, faisant écho au 2nd point de Julien
- la proposition d'un nouveau processus : le processus TO-BE, en lien avec le 3ème point de (Julien et al. 1975)
- la conception, implémentation et validation du processus TO-BE, en lien avec les 2nd et 3ème point de Carroll.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Deux types de scénarios sont ainsi à caractériser, en Figure 24 :

- le scénario AS-IS : état des pratiques actuelles à améliorer par l'intégration de nouvelles innovations
- le scénario TO-BE : scénario possible illustrant les futures pratiques, améliorées par l'intégration d'innovation, aussi appelé par Carroll, scénario problème. Il représente aussi un environnement de test dont les exigences doivent être vérifiées et validées par l'innovation d'ingénierie, dans la phase ascendante du cycle en V.

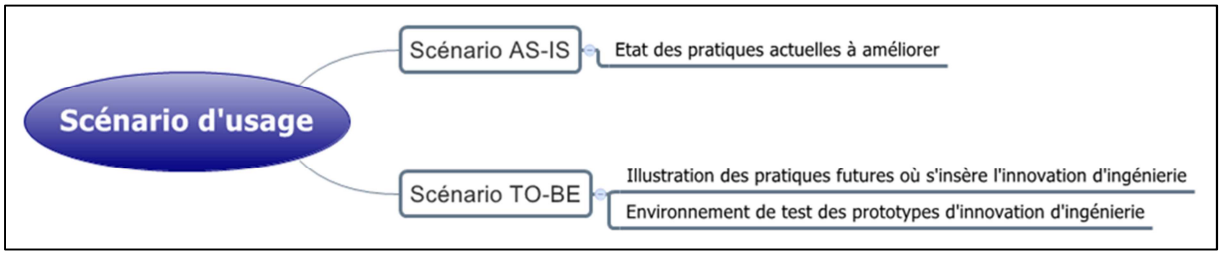


Figure 24: Rôles des scénarios d'usage AS-IS et TO-BE

Finalement, l'utilisation de scénario d'usage en début de cycle en V semble permettre de :

- collecter les besoins des parties prenantes
- formaliser des exigences associées à des situations d'usage
- puis de tester les concepts d'innovation d'ingénierie
- et enfin de vérifier et valider les attentes des clients et leur satisfaction, critères de l'indicateur de pilotage « utilité »

Cependant quelques limites sont à résoudre et/ou réduire :

- les scénarios illustrent des exemples spécifiques du monde réel. Il est donc important de bien les analyser pour en extraire des besoins génériques.
- les scénarios sont créés à partir de cas réel. Les parties prenantes auront tendance à proposer des scénarios TO-BE en adéquation avec leur vision. Il existe donc des biais lors de la création des scénarios futurs (Cyert & March 1970).
- plusieurs scénarios TO-BE sont possibles pour résoudre un même problème. **Comment comparer et choisir entre plusieurs TO-BE ?**

Enfin, **est-il possible d'utiliser les scénarios pour évaluer la rentabilité des concepts en phase amont, et donc pour alimenter le business case?**

2.4- Evaluation de la rentabilité d'une innovation d'ingénierie en phase amont

2.4.1- Le business case

Le business case est un livrable cœur de la phase amont. C'est avant tout un outil de communication nécessaire pour soutenir des prises de décisions : il formalise l'ensemble des données, informations et connaissances permettant de répondre aux questions suivantes, (Capirossi 2004) :

- quels sont les objectifs du projet et son périmètre ?
- quelle est la rentabilité du projet ?
- quel montant d'investissement est nécessaire ?
- quels sont les risques ? Les alternatives possibles ?

Les objectifs du projet, son périmètre, les risques et alternatives sont des sujets traités et caractérisés via l'implémentation de l'ingénierie système et des scénarios. Reste alors à caractériser la rentabilité d'une innovation en phase amont.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

2.4.2- Evaluation de la valeur financière ou rentabilité

(Yannou et al. 2013) considèrent un prototype ou simple concept d'une future innovation rentable s'il permet « d'améliorer l'image de marque, d'améliorer les revenus de l'entreprise, d'améliorer la fidélité des clients ou bien encore de gagner de nouveaux marchés ».
Les auteurs proposent d'évaluer la rentabilité à partir de six éléments : la stratégie de vente, la stratégie de communication, la chaine de distribution, les retours sur investissement, les services fournis aux clients ou bien au système au sein duquel se trouve l'utilisateur.

Une innovation d'ingénierie est conçue en interne de l'entreprise pour des utilisateurs de cette même entreprise : il n'est donc pas question de stratégie de vente, de chaine de distribution. Les services fournis aux clients relèvent de l'utilité et la stratégie de communication repose principalement sur l'implication active des futurs utilisateurs dans le projet innovant. Reste l'évaluation des retours sur investissement.
Dans le monde industriel et financier, les retours sur investissements et plus largement la rentabilité sont calculés par une approche d'actualisation des flux de trésorerie (Hooge 2010).

L'actualisation des flux de trésorerie part du principe que l'argent perd de sa valeur avec le temps et s'expose à plus de risques. L'idée est alors de prendre en compte les risques et aléas susceptibles d'apparaitre en actualisant les flux de trésorerie futurs, et ce à l'aide d'un taux d'actualisation. A partir de ce taux, trois critères de rentabilité sont calculés et utilisés pour évaluer un produit ou un projet.

a) La valeur actuelle nette (VAN)

La valeur actuelle nette (VAN) s'exprime en euros et représente l'enrichissement supplémentaire obtenu sur un investissement par rapport à ce que les financiers avaient initialement exigés comme le minimum à réaliser. En évaluant la VAN on regarde si l'investissement est rentable. Plus la VAN est grande plus la rentabilité de l'investissement est importante.
Cet indicateur est purement financier et donc très peu appréhendable par des parties prenantes en dehors de ce domaine.

b) L'indice de profitabilité

Dans le monde de la finance, l'indice de profitabilité correspond au rapport entre la valeur actuelle nette et le capital investi. Il représente le degré de rentabilité par rapport à l'investissement initial, c'est-à-dire la somme perçue pour 1€ investi.

c) Le délai de récupération du capital

Le délai de récupération du capital investi, appelé en anglais Pay back Time (PBT) correspond à la durée nécessaire pour rembourser l'investissement initial. Plus le délai est long plus l'investissement est considéré comme risqué. Ce critère dépend du taux d'actualisation.

Estimer la rentabilité d'une innovation d'ingénierie nécessite d'une part une implication des services financiers et d'autre part d'évaluer trois critères caractéristiques précédemment définis. Pour cela, il faut être en mesure d'évaluer l'enrichissement (VAN) apporté par l'innovation.
Dans le cas d'un produit dédié à la vente, l'enrichissement est appréhendé en collectant des données sur :

- l'investissement initial
- les frais et les recettes d'exploitation
- les délais de mise en œuvre
- la durée de vie du produit

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Mais c**omment évaluer les recettes d'exploitation d'une innovation d'ingénierie qui n'a pas vocation à être vendue?**

Une innovation d'ingénierie par son utilisation améliore des pratiques et plus globalement optimise le processus de développement d'un hélicoptère. Par conséquent l'utilisation d'une innovation d'ingénierie engendre des gains directs quantifiables et indirects qualitatifs.
Un gain quantifiable d'une innovation d'ingénierie est par exemple la durée nécessaire pour réaliser une action. L'évaluation des recettes d'exploitation repose alors sur la comparaison de la valeur d'un critère de gain avant et après l'utilisation de l'innovation d'ingénierie. Cette notion de « avant et après utilisation de l'innovation d'ingénierie » fait appel au scénario AS-IS et TO-BE.

Par conséquent, en définissant des critères de gains et en les évaluant dans le scénario AS-IS et TO-BE, alors les parties prenantes sont en mesure de chiffrer des gains quantitatifs, à partir desquelles les financiers pourront évaluer les critères de rentabilité.

Synthèse Partie 2 : Piloter et évaluer les indicateurs en phase amont: associer et coupler des méthodes et outils

La mise en œuvre d'un processus de pilotage de la phase amont n'est pas suffisante pour innover avec succès. Il faut aussi jalonner le processus par une évaluation d'indicateurs, identifiés en Partie 1.

1- Mais quelles méthodes et quels outils contribuent à évaluer la faisabilité technologique, l'utilité, la rentabilité d'une innovation d'ingénierie ?
2- Comment élaborer un prototype d'innovation d'ingénierie en adéquation avec les exigences du client ?
3- Quelles exigences sont à anticiper ?
4- Le couplage scénario-ingénierie système contribue-t-il à évaluer l'utilité d'une innovation d'ingénierie ?
5- Comment évaluer la rentabilité d'une innovation d'ingénierie qui n'a pas vocation à être vendue?

La Partie 2 de ce chapitre se concentre sur l'analyse de méthodologie et d'outils susceptibles de nous aider dans le pilotage d'une innovation d'ingénierie en phase amont.

Tout d'abord, les niveaux de maturité proposés par la méthodologie des TRL semblent être de bons jalons pour piloter une innovation d'ingénierie en phase amont. Les niveaux croissants de TRL se complexifient au niveau du système étudié mais aussi au niveau de son environnement d'évaluation. Les études de faisabilité en phase amont se conclues par une évaluation de TRL6 : évaluation d'un prototype d'innovation d'ingénierie dans son futur environnement opérationnel.

L'évaluation de maturité repose sur l'évaluation d'indicateurs technologiques (faisabilité technologique). On propose d'étendre le concept et d'y inclure les indicateurs « utilité », « rentabilité » et « cohérence stratégique » (en Tableau 7).
Nous proposons d'utiliser les roadmaps stratégiques pour évaluer la cohérence stratégique de l'innovation d'ingénierie.

La méthodologie des TRL guide l'évaluation de la faisabilité technologique à l'aide de prototypes. Cependant ces derniers doivent répondre à des besoins pas toujours connus. L'ingénierie système guide l'élaboration d'un système complexe tout en vérifiant et validant les exigences initiales. Le scénario d'usage aide les parties prenantes à formaliser et visualiser des situations d'usages de la future innovation d'ingénierie. Le scénario TO-BE formalise des exigences à partir desquelles s'initient le cycle d'ingénierie système.
Finalement l'intégration de scénarios d'usage au sein de l'ingénierie système permet d'évaluer la faisabilité technologique et l'utilité d'un concept en phase amont.

Concernant la rentabilité, les outils financiers ne sont pas directement appropriés : la notion de prix n'a pas de sens pour une innovation d'ingénierie. Il est alors nécessaire d'utiliser les scénarios

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

AS-IS et TO-BE pour évaluer des critères de gains. C'est en comparant les usages avant et après utilisation de l'innovation d'ingénierie, que les parties prenantes pourront en évaluer la valeur-ajoutée et ainsi évaluer des critères de rentabilité.

Le Tableau 7 rappelle les indicateurs de pilotage conservés suite à l'analyse de l'état de l'art et les méthodes et outils qui supportent leur évaluation.
Le pilotage d'une innovation d'ingénierie par l'évaluation de sa faisabilité technologique, de son utilité, de sa rentabilité et de sa cohérence stratégique contribue à évaluer sa valeur et aide ainsi les parties prenantes à décider de la poursuite, réorientation ou de l'arrêt du projet innovant.

Tableau 7 : Méthodes et outils d'évaluation des indicateurs de pilotage

Valeur de l'innovation	Indicateur de pilotage	Critères	Méthodes et Outils d'évaluation
Valeur fonctionnelle	Faisabilité technologique	Disponibilité des savoirs scientifiques et technologiques	Analyse des exigences Scénario AS-IS
		Spécifications	
		Contraintes réglementaires/environnementales/éthiques	
		Analyse de la protection industrielle	
		Partenariats	Prototypes Scénario TO-BE
		Validation des prototypes	
Valeur d'usage	Utilité du concept	Implication du client	Scénario AS-IS Scénario TO-BE
		Validation des attentes et de la satisfaction du client	Tests des prototypes Scénario TO-BE
		Disponibilités des compétences et savoir-faire	Analyse des exigences Scénario TO-BE
Valeur financière	Rentabilité	Identification du client	Scénario AS-IS Scénario TO-BE
		Retour sur investissement	Comparaison de critères de gains entre les scénarios AS-IS et TO-BE Critères de rentabilité
Valeur stratégique	Cohérence stratégique	Cohérence avec les roadmaps stratégiques	Roadmap

Reformulation des questions de recherche

L'innovation représente plus qu'un nouveau produit ou nouveau procédé. L'innovation est avant tout un processus complexe qui démarre par une génération d'idées pour aboutir sur la commercialisation d'une seule d'entre elles.

Ce travail de recherche se focalise le pilotage des études de faisabilité en phase amont. On souhaite optimiser leur pilotage pour mieux anticiper la phase de développement : les études de

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

faisabilité génèrent des connaissances et informations sur une future innovation, qui soutiennent des prises de décision.
De plus la recherche s'intéresse à un cas bien particulier d'innovation, celui des innovations dites d'ingénierie (processus, méthodes, système d'information, fonctionnalités) utilisées par les designers et analystes pour concevoir un produit final.

Au sein de l'abondante littérature autour de l'innovation, les problématiques d'innovations d'ingénieries restent assez rares, c'est pourquoi l'état de l'art a étudié les pratiques associées aux innovations de produit pour ensuite en questionner l'adaptation et l'adéquation au cas d'innovation d'ingénierie.

La première partie du chapitre met en lumière de nombreux modèles de pilotage de la phase amont qui reposent sur des facteurs clés de succès. On identifie trois familles de facteurs clés de succès : les facteurs relatifs à la forme et à l'organisation de la phase amont, les facteurs associés à la réduction des incertitudes technologiques et enfin les facteurs associés à la réduction des incertitudes économiques. La première famille de facteurs offre des préconisations, des bases pour innover avec succès : la phase amont repose sur un processus jalonné, fait appel à des équipes multidisciplinaires et répond à une stratégie d'entreprise. Les deux autres familles identifient des indicateurs de pilotage comme la faisabilité technologique, l'utilité, la rentabilité d'un concept.

Piloter, dès la phase amont, une innovation d'ingénierie vers un succès nécessite de structurer la phase amont, de définir les indicateurs de pilotage puis de les évaluer pour décider de la poursuite ou réorientation du projet.

La question de recherche initialement formalisée concerne les **moyens et indicateurs de pilotage d'innovation d'ingénierie, dès la phase amont, et ce en vue d'un succès industriel**.

La seconde partie de l'état de l'art s'est alors concentrée sur les méthodologies et outils susceptibles de nous aider dans l'évaluation des indicateurs de pilotage.
L'ingénierie système et l'utilisation de scénario offrent en phase amont des solutions pour exprimer des besoins, formaliser des exigences, élaborer des prototypes et vérifier les exigences. Finalement le couplage scénario-ingénierie système contribue à évaluer la faisabilité technologique et l'utilité d'une innovation d'ingénierie. De plus, les scénarios d'usage offrent des pistes intéressantes pour évaluer la rentabilité d'une innovation d'ingénierie. D'autre part, la méthodologie des TRL préconise de rythmer l'étude de technologies en recomposant le système et en complexifiant l'environnement d'étude. Ainsi les niveaux de TRL jalonnent l'étude de concepts.

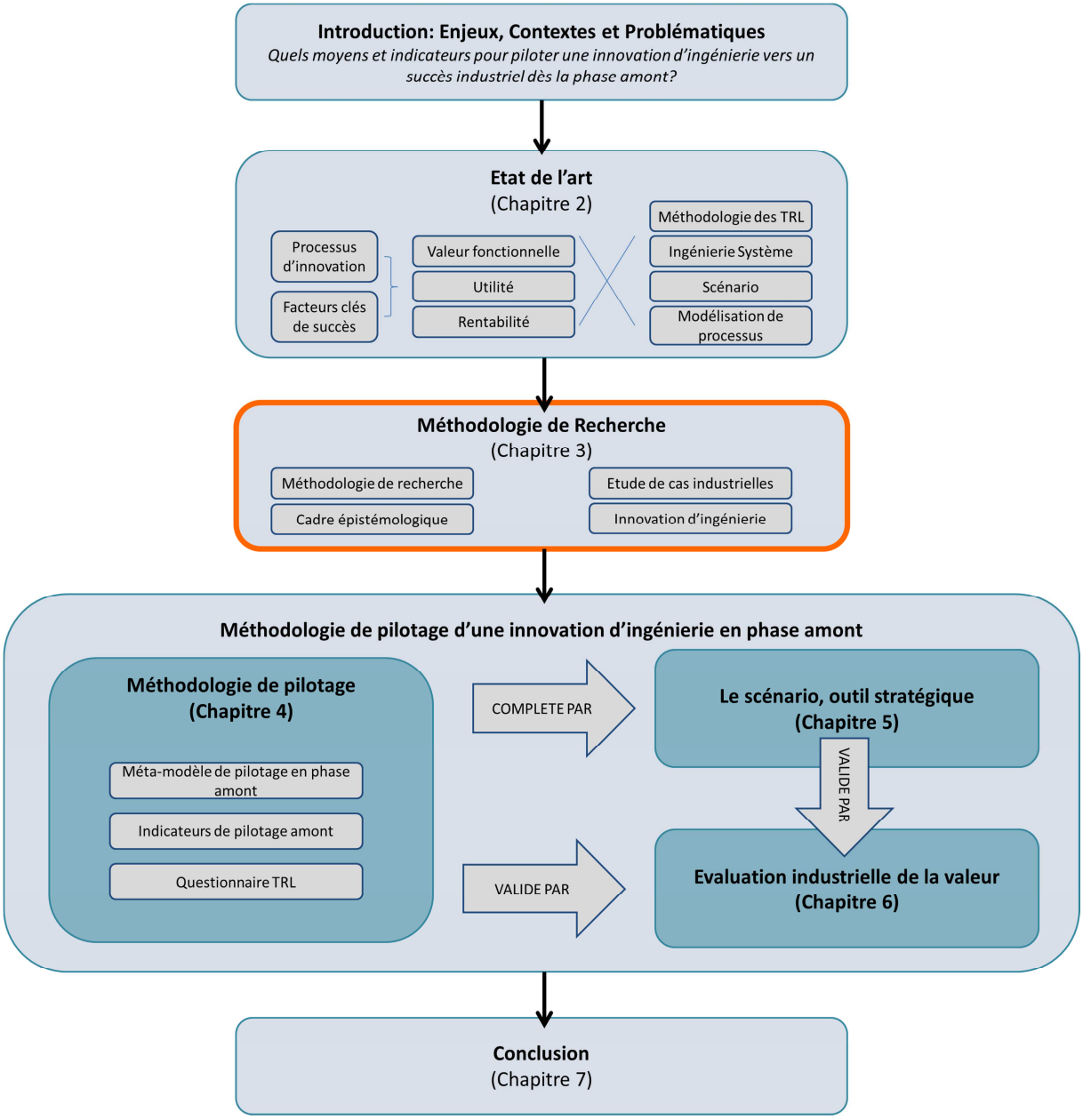
Finalement, après analyse et discussion de l'état de l'art, ce travail de recherche pose les questions suivantes :

- La méthodologie des TRL permet-elle de structurer et jalonner la phase amont ?

- Comment concrètement évaluer la faisabilité technologique, l'utilité, la rentabilité et valeur stratégique d'une innovation d'ingénierie à l'aide de l'ingénierie système et de scénario d'usage ?

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Chapitre 3- Méthodologie de recherche



La recherche présentée dans cette thèse a été menée au cours d'une thèse CIFRE en collaboration avec l'industriel Airbus Helicopters (Marignane) et le laboratoire G-SCOP (Grenoble). Un des enjeux a été d'analyser les pratiques industrielles, de les confronter aux théories scientifiques, et enfin d'en proposer des améliorations sous le double éclairage de la théorie et des pratiques.
La démarche de recherche mise en œuvre pour répondre aux problématiques de recherche s'appuie sur deux cadres méthodologiques : la recherche action et la recherche collaborative.

Ce chapitre éclaire tout d'abord le lecteur sur les grands principes des deux cadres méthodologiques précédemment cités. Ensuite, le cœur du chapitre explique la démarche adoptée dans cette thèse pour résoudre les questions de recherche. Enfin, nous précisons les cas pilotes sur lesquels la recherche s'est appuyée ; enfin le concept d'innovation d'ingénierie est expliqué.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Partie 1 : Recherche collaborative et recherche-action : les interactions chercheurs-praticiens

Ces deux cadres méthodologiques, malgré une approche spécifique, cherchent à réduire le fossé entre pratique et théorie. Ils s'intéressent non pas au transfert des savoirs théoriques vers la pratique mais s'assurent au plus tôt des interactions entre pratiques et théories pour mieux créer et échanger de nouveaux savoirs (Avenier 2008) (Avenier 2009).

1.1- La méthodologie recherche-action

La recherche-action est une approche de recherche qui vise à conjointement résoudre un problème et créer de la connaissance relative au problème (Coughlan & Coghlan 2002), (Middel et al. 2006). Le chercheur tient un rôle central dans cette approche (Gummesson 2000) caractérisée par :

- un problème à résoudre ou à modifier (Farel 2013)
- des activités collaboratives entre chercheurs et praticiens (Coughlan & Coghlan 2002)
- une séquence d'actions (planification, action, observation, analyse) (Coughlan & Coghlan 2002)

Paul Coughlan et David Coghlan structurent la démarche de recherche action autour de trois étapes, illustrées en Figure 25 (Coughlan & Coghlan 2002) (Coughlan & Fergus 2009). La démarche s'initie par une analyse du contexte et du but de la recherche pour déterminer le problème pratique à étudier ainsi que la contribution scientifique appropriée. Cette étape conduit à la formulation de la question de recherche. Ce travail est collaboratif : le chercheur interroge le client pour mieux cerner ses attentes. La question de recherche initie un cycle itératif : c'est la seconde étape de la démarche. Cette étape correspond à un enchainement d'actions que sont la collecte de données, le partage de ces données avec le client, l'analyse collaborative des données avec le client, la planification d'actions, le déploiement de ces actions par le client et enfin l'évaluation et les retours d'expériences. Cet enchainement peut être répété plusieurs fois jusqu'à résolution du problème pratique. Le cycle permet d'élaborer des savoirs relatifs au problème.
La dernière étape correspond à un pilotage global de l'approche : cette étape pilote la réalisation des activités et leur enchainement.

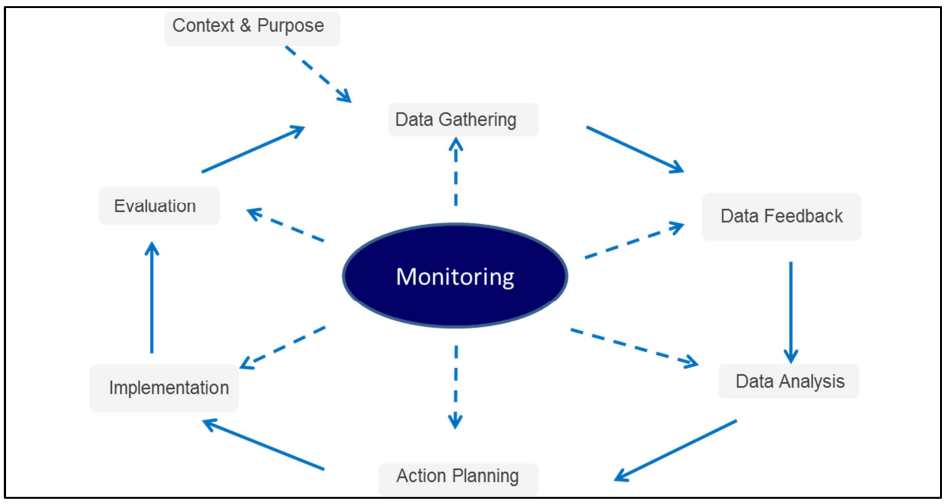


Figure 25: l'approche de recherche action par (Coughlan & Coghlan 2002)

1.2- La méthodologie de recherche-collaborative

Le cadre méthodologique de la recherche collaborative, aussi appelée recherche interactive, conjugue méthodologie et épistémologie pour développer des savoirs scientifiques ayant un intérêt pour la pratique (Avenier 2009). Avenier explique et illustre deux principaux dysfonctionnements des

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

méthodologies de recherche : la formulation de la question de recherche, soit théorique soit pratique mais difficilement à la croisée des deux mondes ; et le manque de fondements épistémologiques précisant comment les savoirs sont élaborés et surtout pourquoi et comment ils sont valables (Avenier 2009).

Avenier élabore et propose un cadre méthodologique qui s'inscrit dans le paradigme épistémologique du constructivisme radical pour favoriser l'élaboration de savoirs scientifiques pertinents pour la pratique (von Glaserfeld 2001), (Le Moigne 1995), (Le Moigne 2002). Le paradigme épistémologique du constructivisme radical postule que « *ce qui est connaissable est l'expérience du réel et que l'on ne sera jamais sûr de connaître rationnellement le réel* » (Avenier & Catherine 2011). La connaissance est représentée par des constructions symboliques, aussi appelées représentations (Avenier 2009). Les savoirs sont élaborés à partir d'expériences empiriques et sont reconnus comme contributions scientifiques légitimes lorsqu'ils comblent un vide théorique (pertinence du champ de recherche) et que leur processus d'élaboration est clairement énoncé (transparence et qualité des processus d'obtention des résultats) (Avenier 2009). L'élaboration des savoirs et leur légitimation sont deux processus indissociables. Les savoirs élaborés dans ce paradigme dépendent des buts et des contextes de leur élaboration.

Le cœur du cadre méthodologique proposé par Avenier (Avenier 2009), illustré en Figure 26, se construit autour de trois activités:

- la formulation de la question de recherche
- la construction des savoir locaux et des savoirs génériques
- la légitimation des savoirs génériques élaborés

La question de recherche repose sur l'identification d'un problème pratique persistant rencontré par les praticiens. Le chercheur procède à une analyse de la littérature pour déterminer si les éclairages théoriques existants sont suffisants pour résoudre la problématique pratique. Le cas échéant, les praticiens et chercheurs identifient conjointement des vides théoriques à combler. La question de recherche va ainsi interroger le vide théorique. L'élaboration de la question de recherche est un travail collaboratif entre chercheurs et praticiens.

La définition de la question de recherche permet d'initier la recherche et s'intègre dans le canevas de la recherche (Avenier 2008) qui comprend aussi les hypothèses du référentiel épistémologique choisi, les référents théoriques mobilisés et enfin les situations pratiques à étudier. Le canevas de recherche n'est pas figé une bonne fois pour toute au début de la recherche, bien au contraire.

Dans un second temps, le chercheur, tel un enquêteur, collecte des données et informations sur les pratiques existantes. Le chercheur, en interaction avec les praticiens, construit alors des savoirs locaux qui l'aideront à questionner la littérature, et ainsi à identifier des liens avec des savoirs publiés. Les savoirs locaux formalisent les connaissances des praticiens en relation avec la question de recherche. Les savoirs locaux sont ensuite décontextualisés à l'aide d'une analyse épistémique puis reconceptualisés en savoirs génériques : méta-modèle, framework…. Cette conceptualisation fait appel à des savoirs publiés mais également aux connaissances et à l'expérience du chercheur et d'autres praticiens. Les échanges avec les praticiens valident les savoirs génériques proposés et valident également leur intérêt.

Les savoirs génériques sont ensuite d'une part, diffusés auprès des sphères académiques et pratiques, et d'autre part, activés c'est-à-dire utilisés dans de nouveaux contextes ou sur de plus grands échantillons. Cette dernière étape de communication et activation correspond à la légitimation des savoirs génériques élaborés pendant la recherche.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

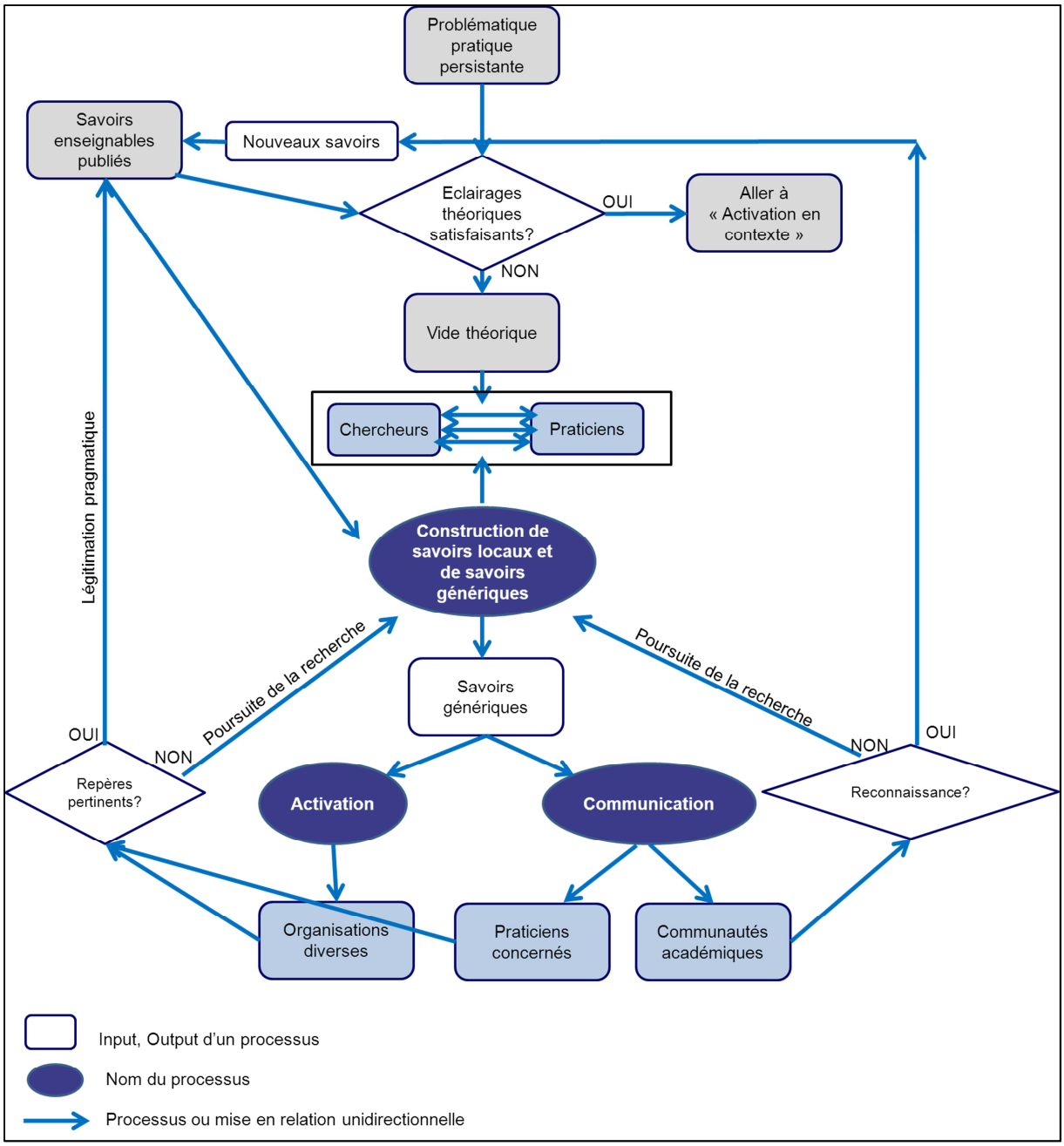


Figure 26: Représentation du cadre méthodologique d'Avenier (Avenier 2009)

Avenier met en avant deux fondamentaux d'un cadre méthodologique de recherche :

- la définition d'un cadre épistémologique pour préciser comment sont élaborés les savoirs et comment ils sont validés
- la collaboration entre chercheurs et praticiens pour élaborer des savoirs pertinents pour la pratique et des savoirs qui comblent un vide théorique.

1.3- Recherche action et Recherche collaborative: des fondamentaux à ne pas négliger

La rapide analyse des deux démarches de recherche, qui allient pratique et théorie, met en avant des fondamentaux importants à ne pas négliger.

Tout d'abord, le choix d'un **cadre épistémologique et méthodologique**. Il permet non seulement de guider le chercheur dans sa démarche, mais renseigne et justifie aussi la validité des savoirs élaborés. Ensuite, **la question de recherche** doit clairement être énoncée et formalisée en

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

collaboration entre chercheurs et praticiens. La question de recherche met en évidence le problème pratique à résoudre ainsi que le vide théorique à combler.
La **collaboration praticien-chercheur** est également essentielle : les savoirs sont élaborés à la fois par les praticiens et chercheurs qui vont ensuite les activer. Il est donc essentiel d'anticiper **la légitimation des savoirs élaborés** et d'en faire un des objectifs de la recherche.
On retiendra également une différence dans le rôle du chercheur dans les deux démarches étudiées. Dans la recherche-action, le chercheur agit en tant qu'acteur de la situation : il propose des solutions déployées par le client ; alors que dans la recherche collaboration, le chercheur est au centre de la recherche : il assure le trait d'union entre chercheur et praticiens.

Les fondamentaux à présent identifiés, appliquons-les pour construire et proposer une démarche de recherche appliquée à cette thèse.

Partie 2 : La démarche de recherche appliquée dans cette thèse

2.1- La démarche méthodologique

Intégrée dans le service Méthodes et Outils du bureau d'étude d'Airbus Helicopters, « client » du travail de recherche, la doctorante a joué le rôle de chercheur et celui de praticien dans le cadre de projets industriels et de projets de recherche européen (CRESCENDO (Commission Européenne (FP7) n.d.), TOICA (Commission Européenne (FP7) n.d.)).
Pour Airbus Helicopters, le besoin associé au projet de recherche CRESCENDO était double : d'une part, il est question d'explorer des solutions de gestion des processus et données de simulation, d'autre part se pose la question du pilotage d'un tel projet en phase amont. La doctorante a alors porté sa recherche sur le pilotage de projets innovants en phase amont, et a contribué par son bagage technique aux études pendant les projets de recherche.

La démarche de recherche est illustrée en Figure 27 et explicitée ci-après. Au vu du contexte de recherche, nous avons choisi d'inscrire cette recherche dans un paradigme épistémologique de constructivisme radical. Quatre étapes ont été appliquées pour répondre aux questions de recherche (voir Chapitre 2) :

a) Compréhension et formalisation du problème pratique et des questions de recherche

La démarche de recherche s'initie par la compréhension du problème industriel et des attentes associées. Immergée et intégrée au sein des pratiques industrielles, la doctorante a questionné et analysé les pratiques. Des entretiens avec les praticiens concernés ont contribué à comprendre le contexte, définir le périmètre de recherche, collecter des exigences et des pratiques industrielles. Airbus Helicopters souhaite optimiser le pilotage de projet de recherche pour s'assurer de l'exploitation de leurs résultats.
C'est à partir des données collectées, d'échanges avec les praticiens et les chercheurs encadrants de thèse que des questions de recherche ont été formulées. Elles ont ensuite été validées conjointement par les praticiens et chercheurs lors de comités de pilotage d'avancement de la thèse. Cette thèse s'interroge sur le pilotage d'innovation d'ingénierie en phase amont, en vue d'assurer le succès de leur futur déploiement.

b) Analyse de référents théoriques

La doctorante s'est ensuite plongée dans la littérature pour identifier des éléments de réponses aux questions de recherche. Plusieurs référents théoriques ont été étudiés (l'ordre n'est pas temporel) :

- l'innovation, sa gestion, ses processus, ses facteurs de succès,
- la notion de pilotage et d'indicateurs,
- la méthodologie des TRL et la notion de maturité,
- l'ingénierie système,
- le lean engineering,

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

- la valeur, ses définitions, son évaluation,
- l'utilité,
- la rentabilité,
- le scénario d'usage.

Ces référents théoriques ont, d'une part, permis de reformuler scientifiquement les questions de recherche, et d'autre part apporté plusieurs éléments de réponse aux questions de recherche. Cependant, les savoirs publiés dans l'état de l'art n'ont pas été jugés suffisants : un fossé théorique à franchir a été identifié, objet de la présente recherche.

c) Proposition de savoirs génériques

Une première analyse des pratiques industrielles (basée sur le cas pilote n°1 : intégration aérothermique du moteur dans le cadre du projet CRESCENDO au sein d'Airbus Helicopters) a permis de construire et de formaliser des savoirs locaux : le modèle de la méthodologie de pilotage d'une innovation de produit hélicoptère chez Airbus Helicopters.
C'est à partir de ces savoirs locaux et des savoirs publiés, ainsi qu'à partir de discussions avec les praticiens et chercheurs, que plusieurs savoirs génériques ont été formalisés, dont un processus de pilotage d'innovation d'ingénierie en phase amont, des indicateurs et outils d'évaluation de la valeur d'une innovation et une méthode d'élaboration de scénarios. Certains de ces savoirs génériques ont été construits et activés durant la thèse à l'aide d'un second cas pilote (Cas pilote n°2 : conception d'un déviateur de jet).

d) Légitimation des savoirs génériques

Au fur et à mesure de l'avancée de la recherche, les savoirs génériques ont été communiqués aux praticiens et chercheurs. Ces retours d'expérience ont permis de confronter les savoirs élaborés aux besoins des praticiens et de les valider dans ce contexte. La légitimation et l'activation des savoirs génériques sont réalisées par le biais de communications et d'un troisième cas pilote :

- des communications auprès des praticiens (dans le cadre de revue de projet ou de réunion de service)
- des communications auprès des chercheurs (AIP-Primeca (de Fontaines et al. 2012), GDR-Macs, SiG Design Theory (de Fontaines 2013), PLM (de Fontaines, Lefeuve, et al. 2013), ICED (de Fontaines, Prudhomme, et al. 2013))
- une publication scientifique (en cours de rédaction)
- une activation dans un troisième cas pilote (Cas pilote n°3 : intégration des équipements avioniques) liée au projet de recherche TOICA (Commission Européenne (FP7) n.d.).

Les quatre étapes présentées précédemment n'ont pas été appliquées linéairement dans la chronologie de la thèse : les savoirs publiés ont été étudiés au fur et à mesure de l'avancement de la thèse et, c'est la formalisation de savoirs génériques qui a mis en lumière de nouvelles problématiques, alimentant alors les savoirs publiés à analyser.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

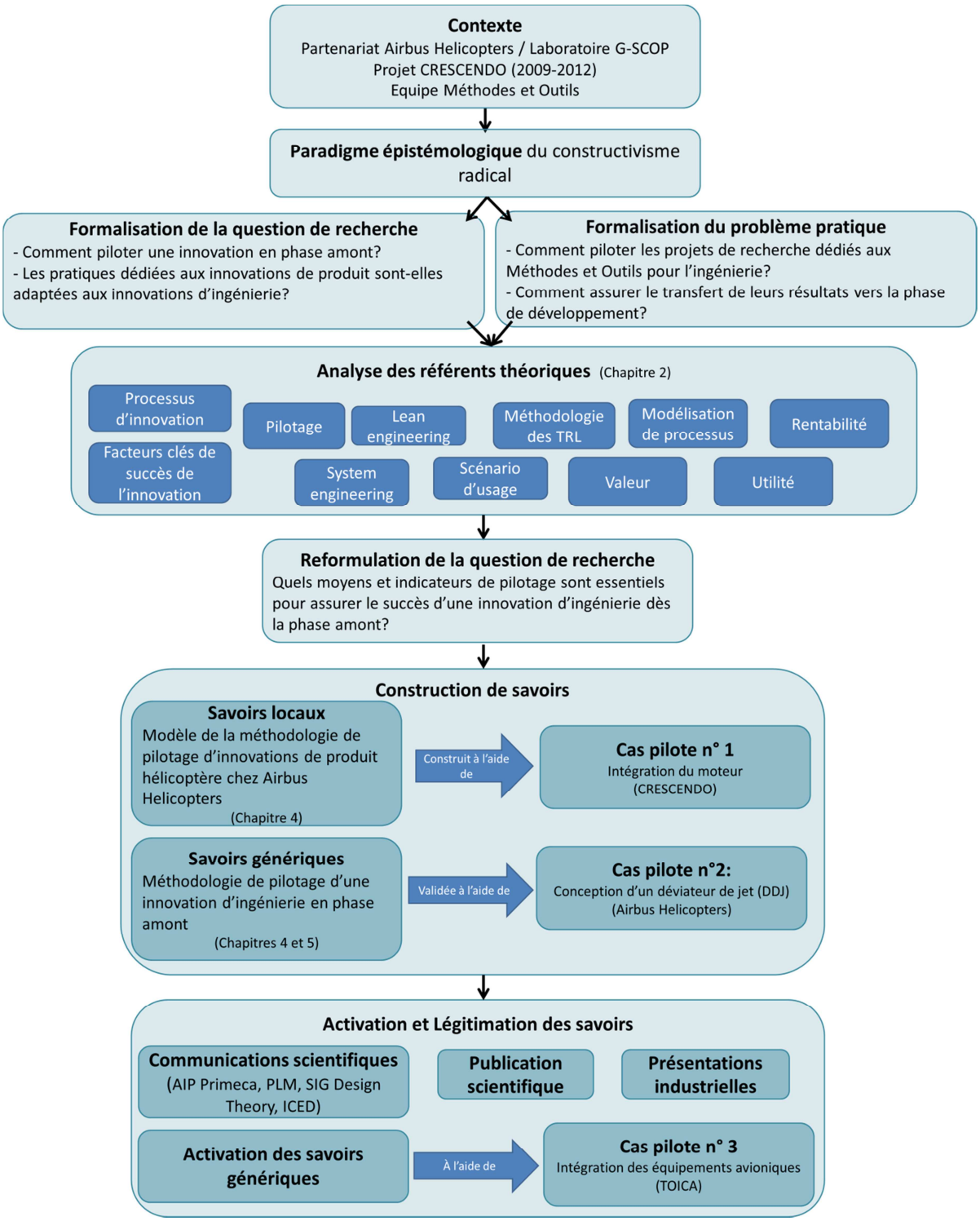


Figure 27: Schéma de l'approche méthodologique du travail de recherche

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

2.2 – Les cas pilotes

Le travail mené au cours de cette thèse s'appuie sur trois cas pilotes.

a) Cas pilote n°1 : Intégration aérothermique du moteur dans son compartiment, dimensionnement des écopes d'air

Le moteur d'un hélicoptère est encastré dans un compartiment appelé « compartiment moteur », illustré en Figuré 28. Ce compartiment, fermé par le capot de l'hélicoptère, contient une structure (le moteur et autre équipement) et doit permettre la circulation d'un fluide de refroidissement (flux d'air). En effet, le moteur en fonctionnement est un organe chaud qui dissipe de la chaleur et un refroidissement du compartiment est nécessaire pour assurer la tenue thermique de la structure. Le refroidissement est réalisé grâce à des écopes ou entrées d'air, situées sur le capot, associées à un système de ventilation mécanique par effet venturi en sortie de tuyère.

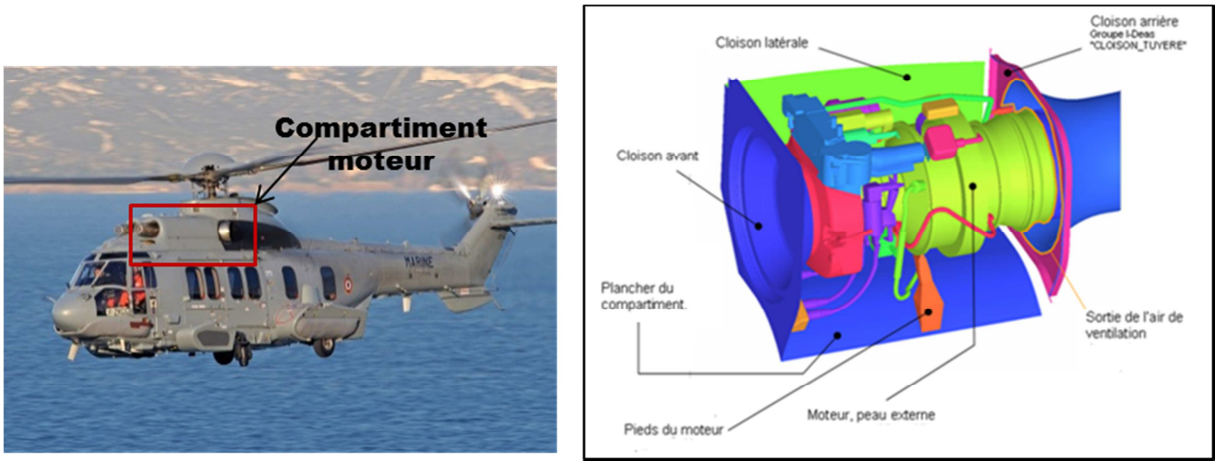


Figure 28 : Photographie et schéma illustrant la localisation et la nomenclature d'un compartiment moteur

Le cas pilote traite du refroidissement du compartiment moteur et plus particulièrement du dimensionnement des ventilations sur le capot pour écoper l'air. L'objectif technique est de modéliser le comportement aérothermique d'un compartiment moteur dans le but de prédire les températures des structures du compartiment moteur ainsi que les flux d'air nécessaires à la ventilation.

Cette problématique technique fait intervenir quatre familles d'acteurs : un motoriste externe à l'entreprise Airbus Helicopters, un designer, un ingénieur thermique, un ingénieur aérodynamique. La problématique technique est associée à une problématique métier : la réalisation de calculs multi-physiques (aérodynamique et thermique), multipartenaires (Airbus Helicopters et ses équipementiers) et multi-acteurs.

Ce cas pilote s'inscrit dans un projet de recherche Européen, CRESCENDO (2009-2013), piloté par Airbus, rassemblant 60 partenaires de l'aéronautique.

b) Cas pilote n°2 : Conception d'un déviateur de jet (DDJ)

Le refroidissement du compartiment moteur nécessite d'évacuer les gaz en sortie à hautes températures, générés par le moteur et qui engendrent une signature thermique de l'appareil. Dans certains cas, les missions de vols nécessitent de limiter cette signature en refroidissant l'air au voisinage de la structure et du rotor : c'est le rôle de la tuyère déviateur de jets (DDJ).

Habituellement, les gaz en sortie du moteur sont directement évacués à l'extérieur de l'appareil à l'aide d'une tuyère primaire. Pour le cas particulier de la limitation de la signature thermique, les gaz chauds, générés par le moteur, sont évacués par la tuyère primaire et déviés, grâce au DDJ, dans un caisson de sortie. Les gaz chauds sont alors mélangés à l'air froid ambiant, puis évacués du caisson.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Le déviateur de jet, en Figure 29, est placé entre la tuyère primaire et le caisson de sortie et dévie les gaz chauds du moteur dans le caisson, où la température des gaz d'échappements est réduite.

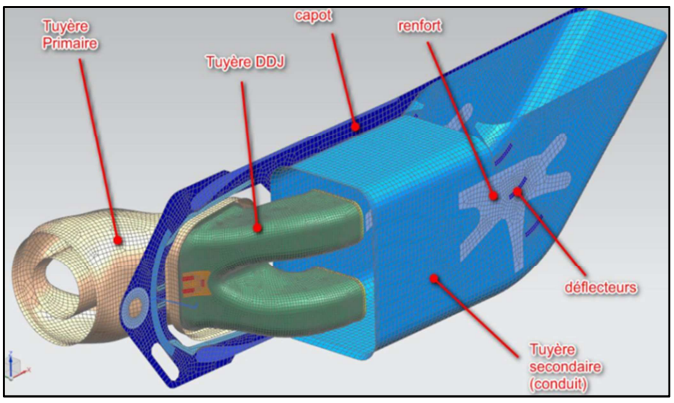


Figure 29 : Nomenclature d'un ensemble tuyère primaire – déviateur - caisson

Au cours du fonctionnement d'un hélicoptère, le déviateur de jet est soumis à de hautes températures et d'importants phénomènes vibratoires, entrainant parfois l'apparition de fissures. La problématique technique du cas d'étude est donc de modéliser le comportement aéro-thermo mécanique du déviateur de jet au cours des différentes missions de vols dans le but de prédire sa durée de vie et d'étudier l'influence des matériaux et de l'usinage (soudure, perçage…). Cette problématique technique fait intervenir plusieurs familles d'acteurs : un designer, un ingénieur thermicien, un ingénieur structure-matériaux, un ingénieur aérodynamicien et enfin un ingénieur vibrations. Au cours du cas pilote n°2, les aspects vibratoires n'ont pas été inclus. La problématique technique est associée à une problématique métier : la réalisation de calculs multi-physiques (aérodynamique, thermique et mécanique) et multi-acteurs.

c) <u>Cas pilote n°3 : Intégration des équipements avi oniques dans leurs baies</u>

Airbus Helicopters fait face aujourd'hui à de nouvelles problématiques de conception liées aux équipements avioniques. En raison des nombreuses missions réalisées par les appareils, les puissances requises sont plus importantes. De plus, la forte demande de customisation nécessite de mieux gérer l'agencement des équipements. L'agencement et les puissances dissipées conditionnent les besoins en ventilation, qui elle-même conditionne le poids de l'hélicoptère mais aussi le temps avant décollage...

La problématique technique traitée concerne la prédiction de l'agencement, du positionnement et de la ventilation des équipements avioniques dans leurs baies. Cette problématique fait intervenir des architectes systèmes et structures, des ingénieurs avioniques, des ingénieurs thermiques, aérodynamiques et ventilation, ainsi que des équipementiers.

La problématique technique est associée à une problématique métier : la réalisation de calculs multi-physiques (aérodynamique, thermique), multipartenaires (Airbus Helicopters et équipementiers) et multi-acteurs.

2.3 – Le concept d'innovation d'ingénierie

Les trois cas pilotes sont des exemples représentatifs de problématiques métiers génériques: les calculs multidisciplinaires (échanges de données et interopérabilité des outils) sont de plus en plus requis. La simulation est un moyen pour tester virtuellement plusieurs configurations et pour ainsi gagner du temps sur les cycles de développement de l'hélicoptère. Mais la simulation repose sur des processus et des méthodes de travail complexes, qui sont aujourd'hui des problématiques métiers à résoudre. Les trois cas pilotes illustrent les problématiques métiers suivantes:

- le calcul multidisciplinaire, multi-acteurs et multipartenaires : comment échanger des données sous divers formats ?

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

- la collaboration externe (équipementier) : comment échanger et travailler à distance tout en automatisant et optimisant les processus de simulation ? comment gérer la confidentialité des données dans des boucles d'automatisation ?
- les échanges de données entre divers outils
- la gestion des données et métadonnées (traçabilité, archivage, liens)
- l'automatisation de processus
- l'optimisation des calculs
- la transformation (nettoyage et simplification) des données CAO

De plus, on remarque que la résolution des problématiques techniques repose sur un processus de simulation allant de l'assemblage de CAO, sa simplification, son maillage puis à la modélisation et exploitation de résultat (le cœur de la Figure 30). L'implémentation de ce processus de simulation:

- fait appel à des données, des paramètres et des outils (couche intermédiaire de la Figure 30).
- se structure et repose sur des études, des échanges, des validations, des interfaces (couche externe de la Figure 30).

Finalement la résolution des problématiques métiers des trois études de cas fait appel aux fonctionnalités illustrées sur les trois couches de la Figure 30 : un système d'information de gestion des données et processus de simulation.

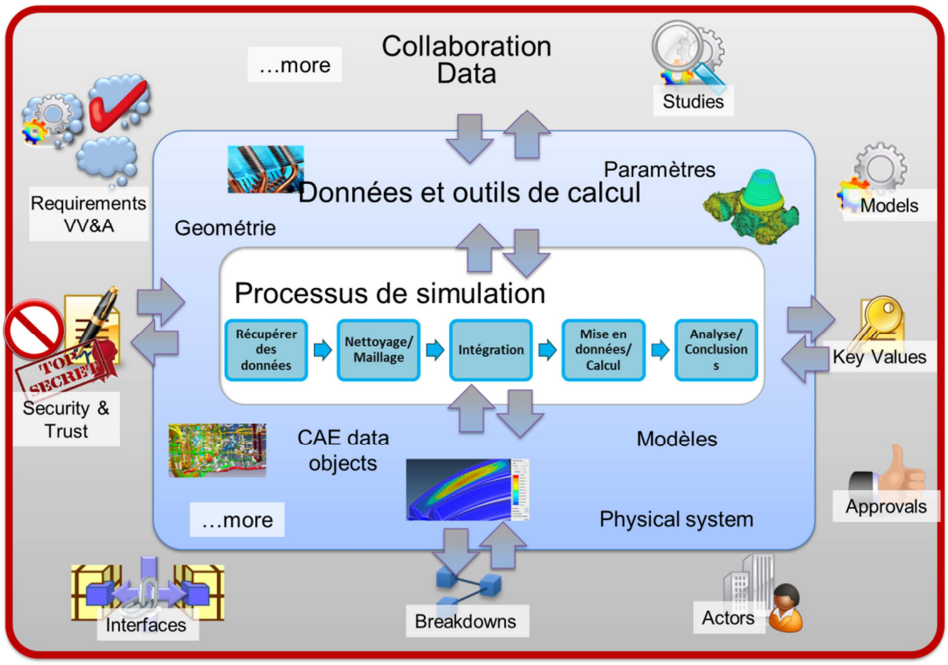


Figure 30: Environnement d'un processus de simulation

Aujourd'hui certains éditeurs de logiciels proposent des solutions de gestion des données et processus de simulation appelées Simulation Lifecycle Management (S.L.M) mais ces dernières ne sont pas suffisantes. En effet, l'interopérabilité des solutions n'est pas résolue : la solution S.L.M d'un éditeur X communiquera avec des solutions d'un éditeur Y à condition de développer une passerelle. Sachant que chez Airbus Helicopters, les solutions de simulation représentent au moins 50 COTS[1] il n'est pas envisageable de développer toutes les passerelles requises. C'est là toute l'ambition du projet de recherche CRESCENDO (FP7), en Figure 31 (Commission Européenne (FP7) n.d.).

[1] COTS : Commercial Off the Shelf, outils sur étagère

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Pendant trois ans, des industriels, des éditeurs de logiciels, des universitaires ont travaillé en collaboration pour élaborer un nouveau concept : le Mastered-Behavioural Digital Aircraft (M-BDA).

Le M-BDA est une innovation d'ingénierie construite sur une architecture (et un futur standard en devenir (CRESCENDO Project 2013)) : le Business Object Model, qui permet à des solutions de divers éditeurs construites sur ce standard d'être interopérables. Le Business Object Model (CRESCENDO Project 2009) joue un rôle de langage assurant l'interopérabilité entre des fonctionnalités de divers éditeurs de logiciels. Il n'est alors plus question de penser outil, mais fonctionnalités associées à un processus de simulation, et l'ensemble des fonctionnalités est implémenté par divers outils.

Figure 31: Fiche d'identité du projet de recherche CRESCENDO

Finalement, l'innovation d'ingénierie déployée pour résoudre les problématiques métiers des études de cas est un système d'information composé de fonctionnalités construite sur le concept du Mastered-Behavioural Digital Aircraft.

Nous définissons une **innovation d'ingénierie** comme un ensemble d'exigences qui caractérisent un système d'information, son architecture, ses fonctionnalités et les processus métiers qui y font appel. Dans notre contexte, une innovation d'ingénierie est une innovation incrémentale.
Une innovation d'ingénierie correspond au résultat du processus complet d'innovation (de la phase amont au déploiement). Une innovation d'ingénierie est composée de plusieurs produits technologiques, concept et/ou technologies étudiés en phase amont. Un produit technologique est par exemple l'architecture du système d'information ou une de ses fonctionnalités.
L'innovation d'ingénierie influence favorablement la durée et les coûts de développement d'un hélicoptère par le biais de gains métiers. Par exemple, ces gains métiers sont la meilleure définition en phase préliminaire et détaillée des paramètres à tester en vol, la réduction de la durée des calculs, la réduction de la charge nécessaire pour une étude.

Conclusion Chapitre 3

Le Chapitre 3 présente l'approche méthodologique déployée au cours des trois années de thèse en vue de répondre aux questions de recherche. La démarche méthodologique est construite à partir de deux approches (recherche-action et recherche-collaborative). Un schéma global (en Figure 27) présente et décrit les quatre grandes étapes de notre approche.

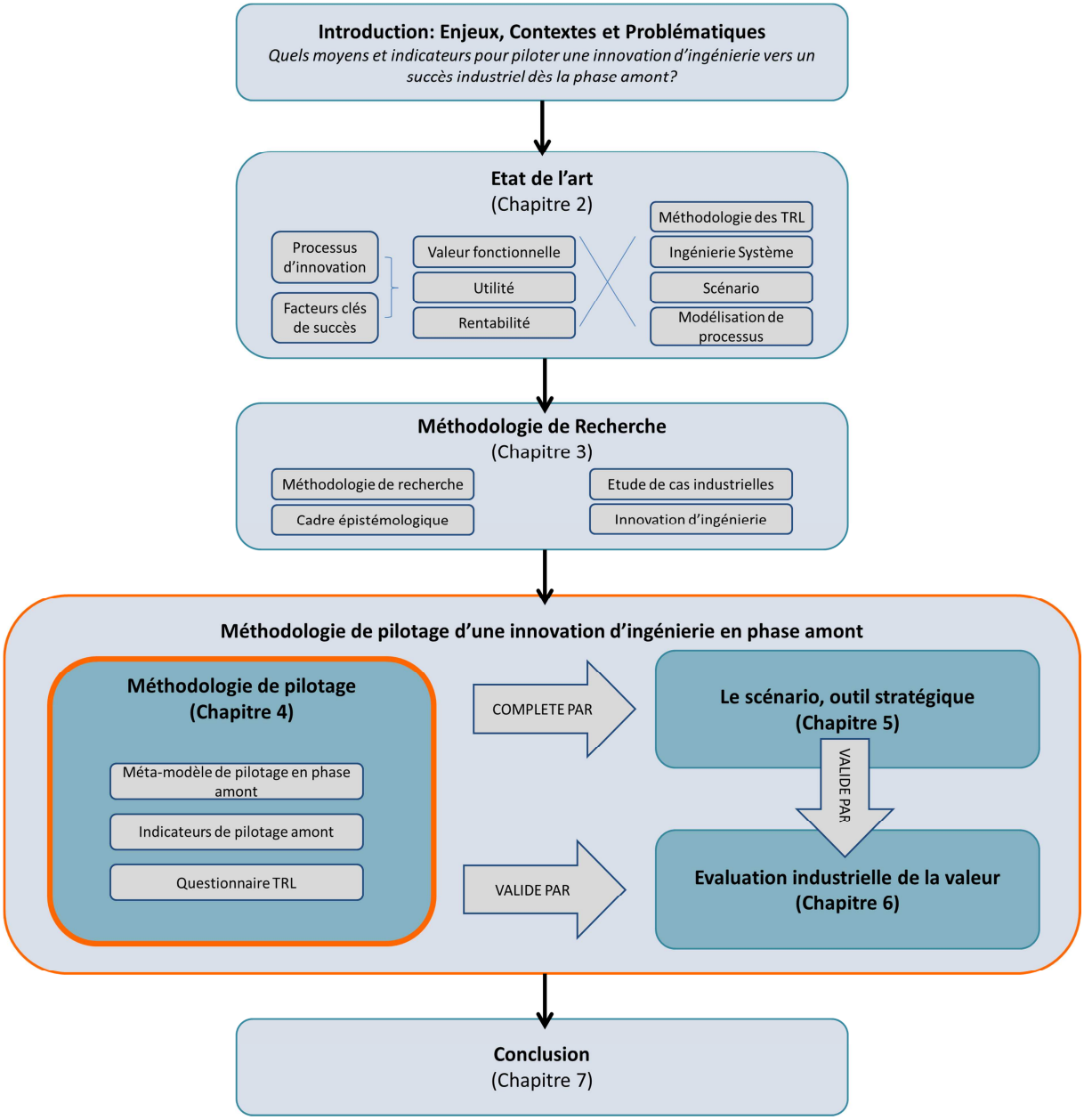
L'élaboration de nouveaux savoirs et leur vérification se sont appuyées sur des cas pilotes industriels. Ils présentent diverses problématiques techniques de conception mais illustrent aussi une même problématique métier globale : la gestion des processus et des données de simulation chez Airbus Helicopters. La problématique métier sera résolu par le biais de projets amont (CRESCENDO,

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

TOICA, projet interne Airbus Helicopters) travaillant sur une innovation d'ingénierie et ses produits technologiques : le Mastered-Behavioural Digital Aircraft.
Les Chapitres 4 et 5 s'appuieront sur le cas pilote n°1-Intégration aérothermique du moteur. Le Chapitre 6 s'appuiera, quant à lui, sur le cas pilote n°2-Conception d'un déviateur de jet.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Chapitre 4- Méthodologie de pilotage d'innovation d'ingénierie en phase amont



Ce chapitre présente le cœur de la contribution de cette thèse : la méthodologie de pilotage d'une innovation d'ingénierie en phase amont. Précisons que lorsque nous parlons de phase amont, nous nous concentrons uniquement sur les études de faisabilité en phase amont. La génération d'idées est hors de notre périmètre d'étude.

Notre objectif est de structurer et de piloter les études de faisabilité en phase amont pour mieux anticiper les exigences et risques des phases de développement et de déploiement.

Dans un premier temps nous préciserons les exigences d'Airbus Helicopters, relatives à la méthodologie de pilotage. Nous analyserons ensuite comment une innovation de produit hélicoptère est aujourd'hui pilotée chez Airbus Helicopters. A partir de ce diagnostic, une méthodologie dédiée aux innovations d'ingénierie sera élaborée.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Partie 1 : Initier la démarche du pré-déploiement de la méthodologie de pilotage

1.1- Déploiement d'une méthodologie

Dans la littérature, la notion de déploiement est très souvent associée au processus, mais dans cette étude nous l'étendons à une méthodologie complète.

La méthodologie est souvent définie comme la science de la méthode qui est, quant à elle, une démarche systématique qui permet de résoudre un problème, en proposant un enchainement de tâches prescrites (Audibert 2009). Dans ce travail, nous nous référons à (Estefan 2008) qui précise qu'une méthodologie, comme illustrée en Figure 32, est une boite à outils, au sein de laquelle se trouvent des processus, des méthodes et des outils qui, conjointement déployés, permettent, par exemple, de résoudre un problème. L'auteur définit un processus comme « *un ensemble d'activités corrélées et exécutées en vue d'atteindre un objectif* ».

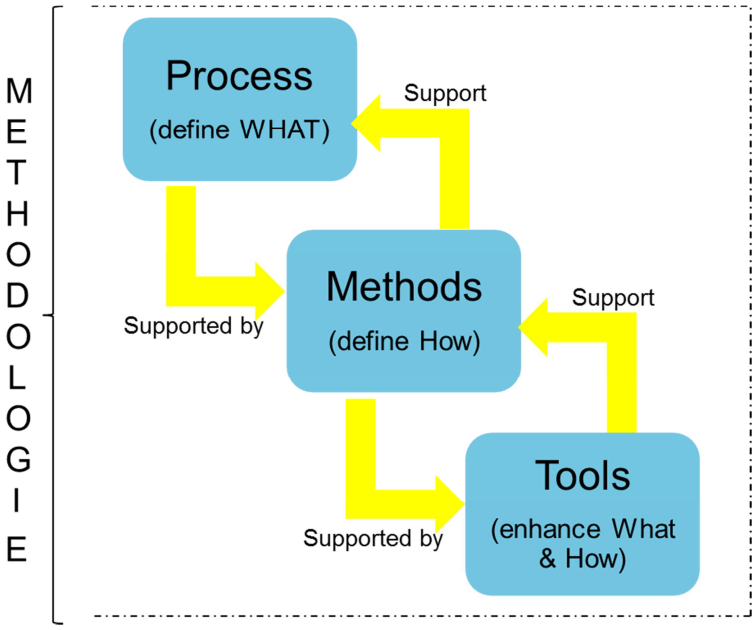


Figure 32 : Décomposition d'une méthodologie selon (Estefan 2008)

Ce chapitre propose ainsi de définir les processus, méthodes et outils sur lesquels s'appuie la méthodologie de pilotage d'une innovation d'ingénierie en phase amont.

Le déploiement d'une méthodologie s'initie par une phase de pré-déploiement, où de nouvelles pratiques sont formalisées à partir d'un diagnostic des pratiques existantes. Les propositions de la nouvelle méthodologie sont ensuite mises en pratique lors d'une phase de per-déploiement (Cornu 2012). Enfin, l'évaluation de la performance des nouvelles pratiques ainsi que d'éventuels ajustements sont réalisés lors de la phase de post-déploiement. Cette thèse se concentre sur la première phase : la phase de pré-déploiement.

La phase de pré-déploiement, schématisée en Figure 33, démarre par une étape d'initiation où le projet de définition de la méthodologie est cadré en termes de besoin et d'objectifs. Ensuite, parce que la méthodologie doit améliorer des pratiques existantes, il est essentiel d'en réaliser un diagnostic. C'est à partir de ce diagnostic que nous serons en mesure de proposer des améliorations (processus, méthodes et outils) pour piloter efficacement une innovation d'ingénierie.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

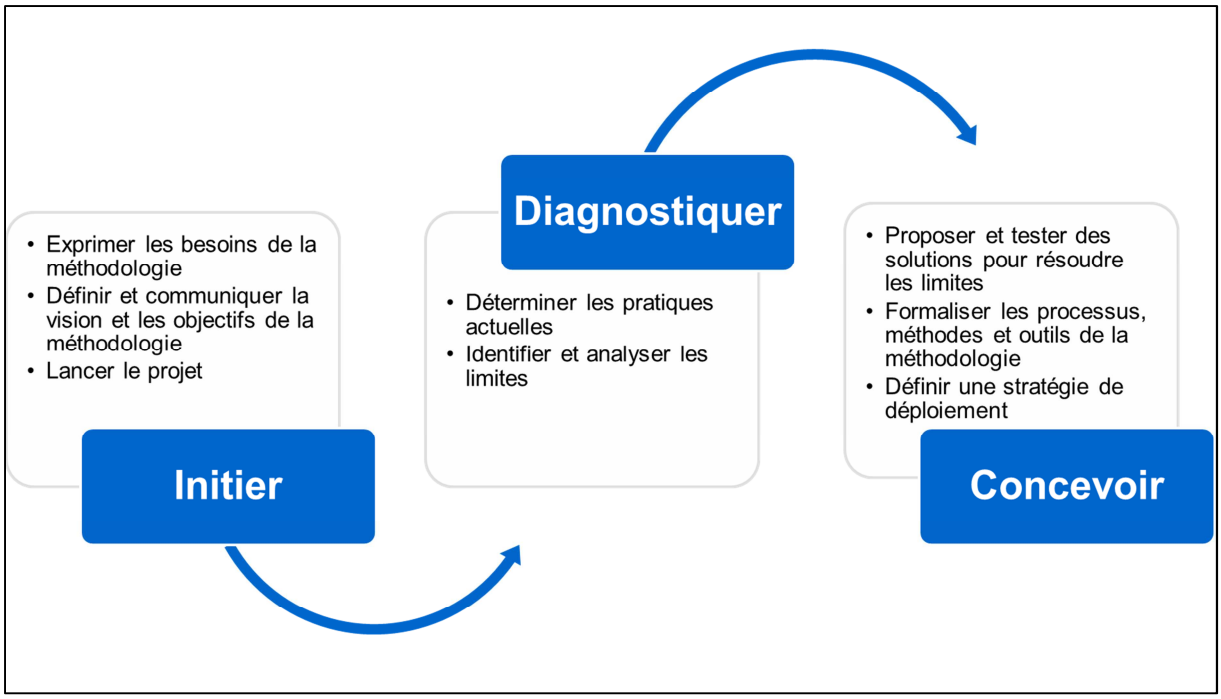


Figure 33: Description des étapes de la phase de pré-déploiement d'une méthodologie

1.2- Les besoins et objectifs de la méthodologie de pilotage

L'innovation est un axe stratégique pour toute entreprise qui souhaite maintenir une position concurrentielle et gagner des parts de marché. L'innovation de produit crée directement de la valeur auprès du client, c'est-à-dire de l'acheteur de l'hélicoptère. L'innovation d'ingénierie est tout aussi importante : elle améliore et optimise les méthodes de travail en conception (design, calcul…), réduit les coûts et la durée des cycles de développement et contribue ainsi à la mise sur le marché plus rapide de nouveaux produits. La maitrise des innovations d'ingénierie pour Airbus Helicopters est donc tout aussi essentielle que l'innovation de produits.

L'analyse de l'état de l'art menée en Chapitre 2, a démontré le rôle et l'impact de la phase amont sur le processus global d'innovation : le succès de cette phase est un facteur clé de succès de l'innovation. Dans cette thèse, on se focalise sur les études de faisabilité en phase amont. Créer avec succès des innovations d'ingénierie nécessite de maitriser **la phase amont et le pilotage d'une innovation d'ingénierie lors d'études de faisabilité.**

Les pratiques actuelles de pilotage d'études de faisabilité se consacrent aux innovations de produits hélicoptères. Le pilotage d'innovation d'ingénierie est une nouvelle préoccupation et requiert une méthodologie dédiée. La méthodologie à concevoir doit proposer un processus, des méthodes et outils, mais elle **ne doit pas pour autant révolutionner les bonnes pratiques existantes**, propres aux innovations de produits hélicoptères.

Synthèse Partie 1: Approche de pré-déploiement d'une nouvelle méthodologie

Cette première partie du chapitre présente la démarche à appliquer pour construire une méthodologie de pilotage d'innovation d'ingénierie en phase amont. On s'est concentré sur l'initiation de la démarche : on a déterminé les besoins du client Airbus Helicopters et on a cadré les objectifs de la nouvelle méthodologie. La seconde partie du chapitre se concentrera sur le diagnostic des pratiques existantes, et la partie 3 sur la proposition d'une méthodologie de pilotage d'innovation d'ingénierie qui répond aux besoins d'Airbus Helicopters.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Partie 2 : Diagnostic des pratiques existantes

La Partie 2 présente le diagnostic des pratiques existantes sur les innovations de produit hélicoptère. A partir de ce diagnostic, un modèle est proposé puis discuté et étoffé pour s'adapter au pilotage d'innovation d'ingénierie pendant les études de faisabilité en phase amont.

2.1- Le pilotage d'innovations de produit hélicoptère en phase amont

Les pratiques existantes ont été étudiées à partir d'entretiens avec les praticiens, ainsi que de collectes et d'analyses d'informations.
Les études de faisabilité, en phase amont, sont alimentées par des idées issues de la génération et sélection d'idées. Les études de faisabilité sont pilotées par un *processus*, qui consomme, transforme et produit des *résultats*. Le processus de pilotage des études de faisabilité est piloté par des *parties prenantes* (stakeholders), et s'appuie sur des *méthodes et outils*. Au sein de l'entreprise Airbus Helicopters, les études de faisabilité sont formalisées par des *projets*.

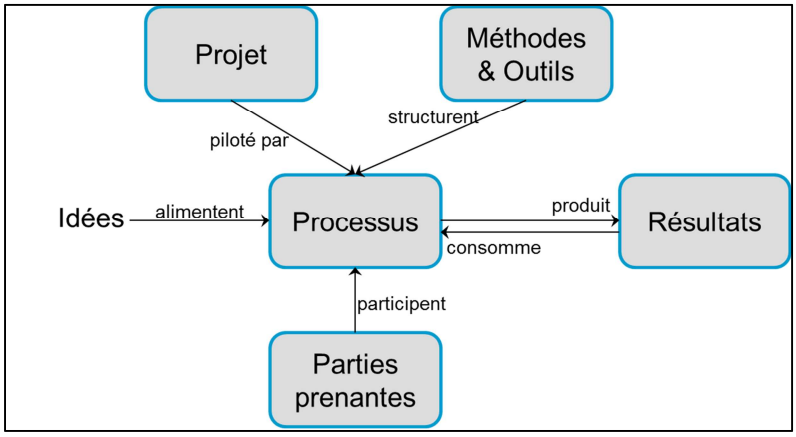


Figure 34: Modèle de caractérisation d'un processus

La phase de diagnostic consiste à caractériser, pour une innovation de produit hélicoptère, chacun des éléments de la Figure 34 : les résultats, les projets, les parties prenantes et enfin le processus, les méthodes et outils de pilotage des études de faisabilité en phase amont.

2.1.1 Les résultats

Les études de faisabilité étudient des concepts pour répondre aux besoins exprimés par un ou plusieurs clients. Par exemple, les clients d'Airbus Helicopters souhaitent acheter des hélicoptères plus silencieux. La phase amont ne produit pas directement une innovation de produit hélicoptère, mais étudie et produit des produits technologiques qui pourront entrer dans sa composition. Par exemple, pour proposer des hélicoptères plus silencieux, de nouveaux design de pâles font l'objet d'études pour caractériser leur comportement aérodynamique. Le produit technologique est ici le nouveau design de pâle.
Associées au produit technologique, la phase amont produit des connaissances explicites et implicites:

- parmi les connaissances implicites, on trouve les savoir-faire des parties prenantes
- parmi les connaissances explicites, se trouvent les comptes-rendus de réunion, les dossiers de spécifications, les rapports de tests, les maquettes, les prototypes …

Les connaissances explicites autres que les prototypes se cristallisent dans des livrables. Le prototype, comme tout autre démonstrateur, illustre des connaissances d'implémentation et des connaissances opérationnelles (Franck 2003) :

- les connaissances d'implémentation sont les connaissances nécessaires pour déployer et installer le produit technologique dans son environnement opérationnel.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

- les connaissances opérationnelles sont les connaissances nécessaires pour utiliser le produit technologique dans son environnement opérationnel.

Deux catégories de résultats sont donc produits lors des études de faisabilité en phase amont : un produit technologique associé à des livrables.
Les produits technologiques sont produits par des parties prenantes dont l'une est responsable du résultat. Un produit technologique est caractérisé par un responsable et par un niveau de maturité, évalué par la méthodologie des TRL (voir Chapitre 2).
Les produits technologiques de la phase amont sont caractérisés par les attributs :

- Titre du produit technologique
- Format du produit technologique : {texte, modèle, architecture, maquette, prototype}
- Responsable du produit technologique
- Niveau de maturité (TRL)

Les livrables de la phase amont sont caractérisés par les attributs :

- Titre du livrable
- Format
- Responsable du livrable
- Description

Le processus amont est alimenté et produit des résultats caractérisés par les attributs :

- Titre
- Format
- Responsable
- Description

Les résultats sont de même nature que les entrées du processus amont : en effet les résultats d'une activité peuvent être les entrées de l'activité suivante.

2.1.2 Les projets

Le projet est un moyen d'explorer et d'étudier la faisabilité technologique de nouveaux concepts et technologies ainsi que leur aptitude à répondre à des besoins.
Le projet s'intègre dans les pratiques de Recherche et Développement (R&D) définies par l'OCDE comme étant : « *les travaux de création entrepris de façon systématique en vue d'accroître la somme des connaissances (…) ainsi que l'utilisation de cette somme de connaissances pour de nouvelles applications* (OCDE 2002) ». Le manuel de Frascati (OCDE 2002) précise que trois types de R&D, définis dans le Tableau 8, sont à distinguer :

- la recherche fondamentale
- la recherche appliquée
- le développement expérimental

Tableau 8 : Définition de la recherche fondamentale, de la recherche appliquée et du développement expérimental par (OCDE 2002)

La **recherche fondamentale** vise l'acquisition de nouvelles connaissances basées sur des phénomènes et des faits observables, sans envisager une application ou une utilisation particulière. La **recherche appliquée** vise un objectif pratique déterminé. Elle cherche à déterminer des applications possibles des résultats de la recherche fondamentale. Le **développement expérimental** initie de futures phases de conception et de

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

production et peut comporter des étapes de démonstrations où « *une démonstration est un projet portant sur une innovation que l'on met en œuvre pour ainsi dire en vraie grandeur dans des* ***conditions réalistes*** *en vue de définir une politique nationale ou de mettre en valeur cette innovation* » (Glennan dans (OCDE 2002)). Le développement expérimental conduit au développement seulement si les résultats expérimentaux sont convaincants (Franck 2003).

Un projet d'études de faisabilité, en phase amont, peut faire appel à des connaissances issues de la recherche fondamentale mais en aucun cas il se concrétise par un projet de recherche fondamentale. Au sens de la R&D, un projet d'études de faisabilité peut être un projet de recherche appliquée et/ou un projet de développement expérimental.

La recherche appliquée et le développement expérimental se concrétisent par des projets de recherche et technologies (projet R&T):

- interne à l'entreprise Airbus Helicopters
- interne au groupe Airbus
- collaboratif européen, associée entre autres à la commission européenne

Les projets R&T sont construits autour de cas pilotes illustrant des problématiques techniques. Cependant, pour les projets collaboratifs européens, des contraintes de sécurité et de confidentialité sont à prendre en compte : les cas pilotes partagés doivent être génériques. Un travail d'adaptation en parallèle est à mener pour s'assurer que les études et solutions proposées sur les cas pilotes génériques sont viables pour les cas pilotes réels en interne.
Au niveau organisationnel, tout type de projet R&T est piloté en interne par un chef de projet, qui peut aussi être le responsable du produit technologique.

Nous proposons de qualifier le type de Recherche et Développement (R&D) et le type de projet de Recherche et Technologie (R&T) appliqués en phase amont, selon l'état de maturité (TRL) d'un produit technologique (voir Figure 35). Rappelons que le TRL6 est le premier niveau de readiness alors que les TRL1 à 5 sont plutôt des jalons de maturité. De plus, le TRL6 est le dernier jalon de la phase amont (voir Chapitre 2).
Lorsque le niveau TRL est compris entre TRL3 et TRL5, le type de projet est qualifié de recherche appliquée, et lorsqu'il est entre TRL5 et TRL6 il s'agit de développement expérimental. Rappelons qu'entre TRL1 et TRL3, le projet amont est qualifié de recherche fondamentale et produit des concepts, futures données d'entrée de la recherche appliquée.
Pour des développements expérimentaux, il est préférable de réaliser des projets R&T interne à l'entreprise pour pouvoir étudier directement les cas pilotes industriels propres à l'entreprise.

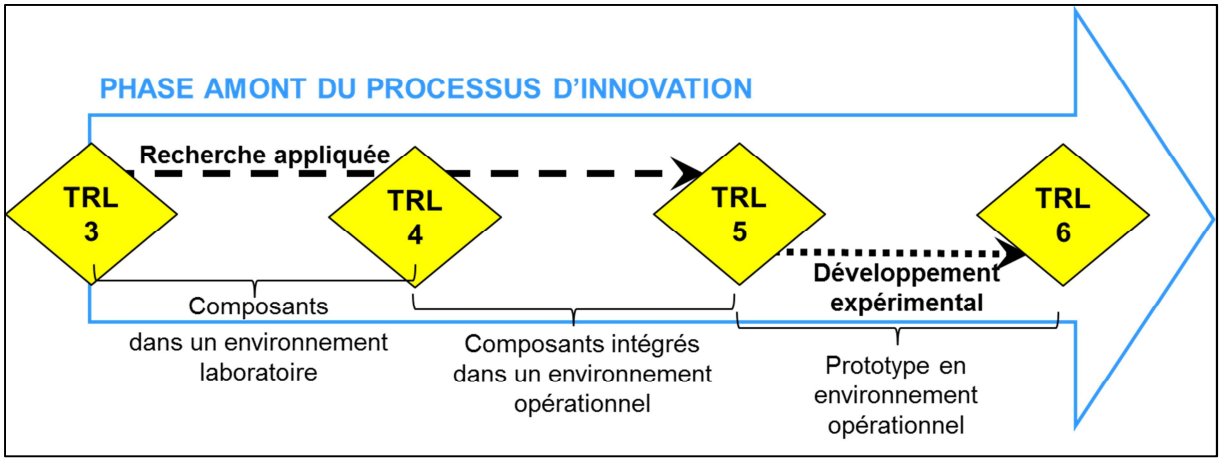


Figure 35 : Type de R&D selon l'état de readiness d'un produit technologique

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Attention, l'objectif de la phase amont est d'étudier un produit technologique en visant un TRL6, c'est-à-dire en visant le succès de la phase de développement. Plusieurs projets R&T peuvent donc être nécessaires pour atteindre un TRL6 : un premier projet qui étudie les TRL4 et 5 par exemple, suivi d'un second projet pour étudier le TRL6. Le projet R&T est un moyen d'étudier un produit technologique.

Nous proposons de caractériser un projet d'études de faisabilité en phase amont par les attributs :

- Type de R&D concerné : {recherche appliquée, développement expérimental}
- Type de projet R&T : {interne Airbus Helicopters, interne au groupe Airbus, Européen}
- Nom du projet R&T
- ID du chef de projet
- Cas pilote
- Durée
- Contexte

L'attribut « cas pilote » réclame quelques éléments de détail comme un titre et une description de la problématique technique. Précisons que le cas pilote illustre à petite échelle des besoins exprimés par le client.

2.1.3 Les parties prenantes

Les produits technologiques hélicoptères étudiés en phase amont seront ensuite développés et produits dans le cadre d'un programme hélicoptère. L'hélicoptère acquiert de cette façon des fonctionnalités innovantes. On distingue ainsi trois catégories de parties prenantes: le producteur de l'innovation, l'investisseur de l'innovation et le client qui achète l'hélicoptère innovant :

- le *client*, externe à l'entreprise, a préalablement formalisé un besoin, résolu par la future innovation de produit. Le client est souvent représenté par un *responsable marketing*. Le client ne participe pas aux études en phases amont, par contre, les produits technologiques sont étudiés pour répondre à ses besoins.
- *l'investisseur de l'innovation* est représenté par le programme hélicoptère qui intègre les produits technologiques et finance leur développement et production. Le programme hélicoptère est interne à l'entreprise et est représenté par :
    - le *chef du programme hélicoptère*
    - le *responsable financier du programme hélicoptère*

  Ainsi dans notre cas, les représentants du programme hélicoptère participent au processus amont en contraignant les études sur les produits technologiques en termes de stratégie, planning, budget et surtout fonctionnalités technologiques. Le programme hélicoptère développe un hélicoptère qui répond aux besoins du client.
- le *producteur de l'innovation* regroupe l'ensemble des fonctions et disciplines nécessaires sur le cycle de vie de l'innovation de produit allant des études en phase amont jusqu'à la maintenance. On identifie dans cette catégorie :
    - le *chef du projet amont*
    - le *responsable du produit technologique*
    - des *experts techniques* (matériaux, mécaniques, structure …) associés au produit technologique
    - un *représentant par fonction* impliquée sur le cycle de vie de la future innovation de produit (développement, production, vente, maintenance …).

Le *chef de projet amont* (projet R&T) est en charge de la gestion des ressources et du planning du projet amont. Le *responsable du produit technologique* pilote les études de faisabilité au sein du projet amont en collaboration avec les *experts techniques et représentants fonctionnels*.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Les parties prenantes de la catégorie « producteur de l'innovation » spécifie et étudie en phase amont des produits technologiques susceptibles de répondre à la fois aux besoins du client et aux exigences du programme hélicoptère.

Les parties prenantes endossent des rôles respectifs au cours du processus amont, décrits dans le Tableau 9, et forment une équipe multifonctionnelle et multidisciplinaire.

Tableau 9 : Parties prenantes et leurs responsabilités en phase amont pour une innovation de produit

Parties Prenantes		Responsabilités
PRODUCTEUR DE L'INNOVATION	Chef de projet amont	• Collecte les exigences des clients auprès des responsables marketing. • Gère la mise en place du projet amont (budget, contrat, négociation, revues d'offres) • S'assure de la bonne application de la méthodologie des TRL • Organise les revues de TRL
	Responsable de produit technologique	• Responsable technique de l'innovation jusqu'à TRL6 • Pilote les études de faisabilité et l'équipe projet • Prépare les revues de TRL, en collectant les différentes preuves nécessaires pour les TRL
	Représentants fonctionnels	• Travaillent en collaboration pendant la phase amont • Spécifient et conçoivent des prototypes expérimentaux de produits technologiques • Sont chacun responsable d'un axe d'évaluation de la maturité d'un produit technologique
	Experts techniques	• Evaluent et valident la véracité des justifications apportées aux revues de TRL • Objectivent les revues de TRL
INVESTISSEUR	Chef du programme hélicoptère	• Contraint les études en phase amont par ses exigences de stratégie, de planning, de budget, d'applications industrielles et par les besoins du client • Futur responsable du développement et de la production de l'innovation de produit
	Responsable financier du programme hélicoptère	• Evalue et valide le business case livré à TRL6 • Soutient le chef de programme hélicoptère dans ses décisions
CLIENT	Responsable Marketing	• Représente le futur client auprès du programme hélicoptère Exprime les besoins du client

Une partie prenante est une entité qui incarne un rôle et des responsabilités. Elle est caractérisée par les attributs :

- Rôle amont {Chef de projet amont, Responsable de produit technologique, Représentant fonctionnel, Expert technique, Chef de programme hélicoptère, Responsable financier, Responsable marketing}
- Organisation

L'ensemble des parties prenantes représentent une équipe multidisciplinaire. Une partie prenante est représentée par un acteur, où un acteur se caractérise par les attributs :

- Identité de l'acteur

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

- Organisation
- Fonction dans l'organisation

On différencie partie prenante et acteur, puisqu'au cours d'un même projet, les acteurs peuvent changer. Cependant les parties prenantes sont requises pour le bon déroulement du projet, elles représentent un point de vue stable tout au long du projet.

2.1.4 Le processus, les méthodes et outils de pilotage

Le processus de pilotage d'études de faisabilité se décompose en trois phases : une phase de définition du projet R&T, une phase d'acquisition du projet et une phase d'exécution du projet R&T. De plus, comme nous étudions des processus métier (Weske 1998), il est judicieux d'utiliser BPMN[2] comme syntaxe concrète pour formaliser et décrire le processus de pilotage (Figures 36 et 37) (Object Management Group 2011).

La phase de définition se concentre sur l'expression et la définition des besoins du client ainsi que sur un premier cadrage du projet R&T en termes de produits technologiques, d'activités de budget et de planning. En phase de définition, le chef de projet amont constitue une pré-proposition technique et financière dont la validation provoque le démarrage de la phase d'acquisition (Phase de définition en Figure 36). En phase d'acquisition, les études de faisabilité visées sont détaillées et chiffrées financièrement. Cette phase d'acquisition conduit à l'acceptation d'une proposition financière et technique et au lancement du projet amont, c'est à dire l'exécution des activités et études des produits technologiques en vue d'un futur développement (Phase d'acquisition et Phase d'exécution en Figure 36). Les phases de définition et d'acquisition sont pilotées par le chef de projet amont autour d'activités et de jalons de type Go/No go (acceptation de la pré-proposition et acceptation de la proposition). Les phases de définition et d'acquisition définissent le projet en phase amont et son contenu et objectif.

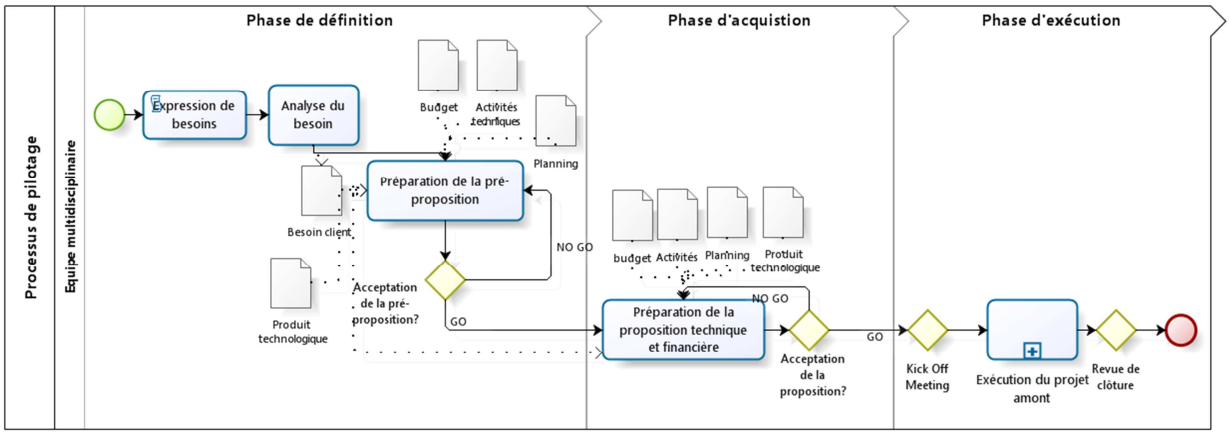


Figure 36 : Modèle du processus en phase amont pour les innovations de produit hélicoptère

La phase d'exécution, pilotée par le responsable du produit technologique (Figure 36), se consacre à la réalisation du projet amont c'est-à-dire à la spécification, aux tests et l'évaluation de la maturité du produit technologique. L'étude du produit technologique est menée de façon incrémentale sur chacun de ses niveaux composants, sous-systèmes et systèmes. A chaque niveau d'étude (voir Figure 37), on évalue la maturité du produit technologique par la méthodologie des TRL : la maturité est évaluée dans un contexte, soit dit « de laboratoire » (TRL4), soit représentatif de l'opérationnel (TRL5 et TRL6). L'évaluation de la maturité s'appuie sur la caractérisation de quatre indicateurs : la performance du produit technologique, la capacité de développement, la productibilité et enfin la maintenabilité du produit technologique.

[2] BPMN : Business Process Modeling Notation

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

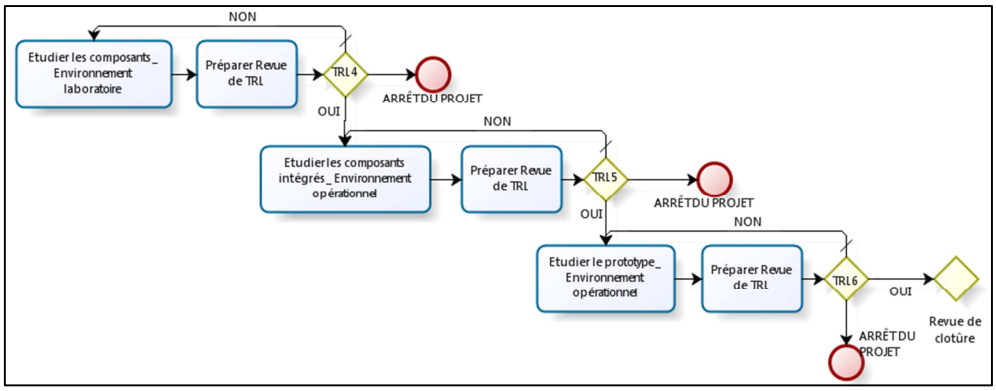


Figure 37 : Modèle du sous-processus « Exécution du projet amont»

L'évaluation de la maturité est un jalon où une décision est prise, à partir du questionnaire TRL et des justifications. A chaque TRL, trois types de décisions sont envisageables :

- soit l'analyse du questionnaire et des critères qualifiés n'est pas concluante, alors le projet amont est stoppé : décision « ARRET DU PROJET » en Figure 37.
- soit, malgré les justifications, certains critères de maturité ne peuvent être validés ou ne sont pas concluants, alors des actions correctives sont formulées. Il est décidé d'itérer une nouvelle fois les études de faisabilité jusqu'à validation de la maturité : décision « NON » en Figure 37.
- soit le niveau de maturité, et donc le jalon, est validé : décision « OUI » en Figure 37.

On propose de caractériser le processus de pilotage d'études de faisabilité en phase amont par les attributs :

- Titre du processus
- Objectif du processus
- Responsable du processus

Le processus est composé d'un sous-processus ('Exécution du projet amont') et d'activités, tous deux caractérisés par les attributs :

- Titre
- Responsable

On distingue des activités décisionnelles, aussi appelées jalons, où des décisions sont prises grâce à une qualification et caractérisation d'indicateurs. Les indicateurs permettent de piloter l'avancement des études de faisabilité en phase amont vers les objectifs, c'est-à-dire la satisfaction des besoins client initialement exprimés.

Les jalons se caractérisent par

- Titre
- Type de décision

et les indicateurs se caractérisent par

- Titre
- Type de preuves
- Des critères d'évaluation

Cependant, la méthodologie des TRL implémentée dans le cas d'innovation de produit hélicoptère reste très générale et ne précise pas certains points essentiels tels que:

- les activités à mener pour passer d'un TRL à un autre,
- les méthodes et outils de caractérisation des indicateurs,
- les livrables attendus pour chaque indicateur.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Une plus grande précision de ces éléments essentiels de pilotage améliorerait la rigueur dans l'obtention et la pérennité des résultats, qui aujourd'hui reposent sur la mémoire et les connaissances des acteurs de l'entreprise.

2.1.5 Le transfert technologique vers la phase de développement

La phase amont est pilotée jusqu'au TRL6, jalon où l'équipe multidisciplinaire décide ou non d'un développement du produit technologique dans le cadre d'un programme hélicoptère. Ce jalon symbolise un transfert technologique qui repose sur un consensus entre plusieurs parties prenantes. La non-implication d'un représentant fonctionnel (par exemple de la production) dès la phase amont a des répercussions sur la suite du processus d'innovation. Décider de lancer le développement d'un produit technologique sans avoir anticipé les éventuelles problématiques de production peut entrainer des coûts et délais considérables lors de la future production de l'hélicoptère.

Transférer avec succès un produit technologique vers son développement implique alors de répondre aux attentes et contraintes de toutes les parties prenantes pendant la phase amont, illustrées en Figure 38. Les exigences concernent la performance de la future innovation de produit, son développement, sa productibilité et sa maintenabilité, c'est-à-dire la maturité du produit technologique. La future innovation de produit doit également engendrer des bénéfices financiers, et ces bénéfices sont d'autant plus importants que l'innovation apporte de la valeur au client. Il est donc fondamental que les produits technologiques répondent aux besoins du client et qu'ils s'alignent avec les contraintes du programme hélicoptère qui investit (planning, budget, contraintes fonctionnelles …).

Les études menées en phase amont produisent des livrables, données et connaissances, aides à la décision à TRL6.

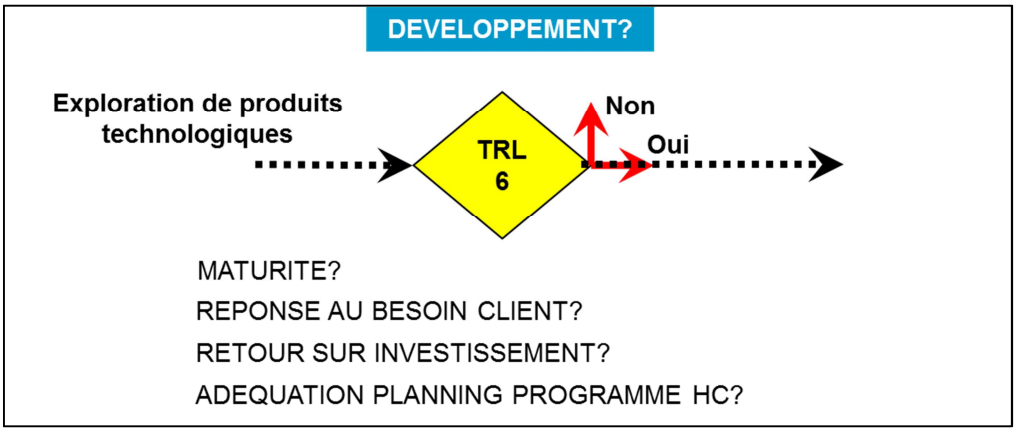


Figure 38: Exigences principales à valider pour lancer la phase de développement

Le transfert technologique vers la phase de développement s'accompagne d'un changement organisationnel : les équipes de travail et les organisations en phase amont et en phase de développement sont différentes. De plus, le processus de pilotage n'est pas le même durant les phases de développement et amont. Des problèmes de non-interopérabilité organisationnelle sont à prendre en compte et à limiter à la jonction amont-développement.

2.2- Analyse des pratiques de pilotage d'innovations de produit hélicoptère

A partir de la description des pratiques existantes, un modèle de la méthodologie de pilotage d'une innovation de produit est élaboré. C'est à partir de ce modèle que nous envisageons d'identifier des limitations et de formaliser des exigences pour la méthodologie de pilotage d'innovation d'ingénierie à concevoir.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

2.2.1 Proposition d'un modèle des pratiques

Pour décrire le modèle, nous choisissons les conventions d'écriture UML (Unified Modelling Language) (Rumbaugh et al. 1999) via l'outil StarUML où :

- un concept est représenté par une classe (Class)
- une classe peut être caractérisée par des attributs (Attribute), de type entier, chaine, date…
- les classes sont connectées entre elles par des associations (Reference) représentées par une ligne continue
    - dans le cas particulier d'une composition (ou agrégation), l'association est représentée par un losange plein accolé à la classe composite
    - une association entre classes se caractérise par une multiplicité qui précise le nombre d'instances qui peuvent être liées à une même instance par l'association. La multiplicité « plusieurs » est symbolisée par « * ».

Le modèle (voir Figure 39) est construit à partir de l'analyse précédente des résultats, de la typologie d'un projet amont, de la typologie des parties prenantes, des caractéristiques d'un processus, des méthodes et outils de pilotage.
On propose de construire le modèle à partir de quatre vues : une vue Organisation, une vue Information, une vue Processus et enfin une vue Méthodes et Outils dédiés au pilotage. La construction d'un modèle par vues permettra plus facilement ensuite de l'analyser et de l'adapter au cas d'une innovation d'ingénierie.
Chaque vue, représentée par un code couleur en Figure 39, rassemble des concepts, eux-mêmes caractérisés par des attributs, et liés par des associations. Les concepts et leurs attributs sont décrits par une sémantique explicitée en langage naturel.

- **<u>Vue Organisation</u>**

La vue Acteur correspond à la description des concepts qui composent la structure organisationnelle de la phase amont : les parties prenantes et l'équipe multidisciplinaire

[Class] partie prenante
Ressource humaine impliquée et/ou impactée par le projet amont et l'innovation qui en découle. Les parties prenantes expriment des besoins étudiés via le processus amont. Elles participent au processus en participant aux activités aussi opérationnelles que décisionnelles. Une partie prenante participe au processus en phase amont avec un rôle et des responsabilités.
[Class] acteur
Une partie prenante est représentée par un ou plusieurs acteurs. Il est important de différencier partie prenante et acteur : chaque partie prenante doit être impliquée dans le projet amont pour s'assurer de son succès, néanmoins, au cours d'un même projet amont, différents acteurs pourront représenter une même partie prenante.

Les attributs qui caractérisent certains concepts de la vue Acteurs :

[Attribute] role (partie prenante)
Rôle de chaque partie prenante en phase amont Pour une innovation de produit hélicoptère, on identifie les rôles suivants : {Chef du projet amont, Responsable du produit technologique, Représentant fonctionnel, Expert technique, Chef de programme hélicoptère, Responsable financier du programme hélicoptère, Client, Responsable marketing}

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

[Attribute] organisation (partie prenante) (acteur)
Entreprise, organisation à laquelle appartient la partie prenante
[Attribute] ID (acteur)
Identité de chaque acteur
[Attribute] fonction (acteur)
Fonction exercée par chacune des parties prenantes dans l'entreprise
[Attribute] equipe multidisciplinaire (partie prenante)
Ensemble constituée par les parties prenantes d'un projet amont

- **Vue Information**

La vue Information décrit les concepts qui transitent, sont transformés et produits au cours du processus amont : le besoin, le projet amont, le cas pilote, les données d'entrée, les résultats, le produit technologique et les livrables.

[Class] projet amont
Initiative, projet au sein duquel se formalisent les études de faisabilité d'un ou plusieurs produits technologiques qui visent à répondre au besoin du client. Un projet amont est structuré autour d'un ou plusieurs cas pilotes.
[Class] resultat
Ensemble des éléments consommés, transformés et produit au cours du processus amont. On identifie principalement trois types de résultats : le besoin du client, le produit technologique et les livrables associés. Les résultats d'une activité peuvent être requis pour lancer une activité suivante.
[Class] besoin
Attentes exprimées par les parties prenantes qui visent l'amélioration d'un produit. L'expression de ce besoin déclenche le processus en phase amont, et plus précisément la phase de définition du projet amont. Le besoin appartient au concept de Résultats. Pour une innovation de produit hélicoptère, les améliorations concernent par exemple la performance, le confort, la capacité, les missions.
[Class] produit technologique
Concept, technologie étudié en phase amont qui est à la base d'une future innovation. Un produit technologique se caractérise par un ensemble d'exigences qui sont formalisées tout au long du processus amont. Le produit technologique est une réponse aux besoins initialement formulés.
[Class] livrable
Document qui formalise un certain nombre d'informations et de connaissances qui caractérise un produit technologique. Un livrable aide les prises de décision en qualifiant des indicateurs. Pour une innovation de produit hélicoptère, deux livrables sont requis : un prototype et un business case.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Les concepts de la vue information se caractérisent par les attributs suivants.

[Attribute] titre (projet amont) (résultat) (besoin) (produit technologique) (livrable)
Cet attribut correspond au titre ou nom de la classe.
[Attribute] responsable (projet amont) (résultat) (produit technologique) (livrable)
Cet attribut correspond à l'identité de la personne responsable de la classe. Pour le projet amont, il correspond à l'identité du chef de projet amont. Pour un produit technologique il correspond à l'identité du responsable du produit technologique. Pour un livrable, l'attribut correspond au responsable.
[Attribute] format (résultat), (produit technologique), (livrable)
Cet attribut correspond au format du résultat, du produit technologique et du livrable. Plusieurs formats sont possibles :{texte, modèle, architecture, maquette, prototype
[Attribute] ID emetteur (besoin)
Cet attribut correspond à l'identité de la partie prenante qui émet et formule le besoin
[Eattribute] description (besoin)
Cet attribut correspond à la description du besoin formulé par une partie prenante
[Attribute] niveau de maturité (produit technologique)
Cet attribut correspond au niveau de maturité du produit technologique évalué à partir des indicateurs et de l'outil de pilotage. Le niveau de maturité d'un produit technologique peut être compris entre TRL3 et TRL6.
[Attribute] typeR&D (projet amont)
Cet attribut correspond au type de projet R&D concerné par le projet amont. Pour une innovation de produit hélicoptère, deux types de projet R&D sont possibles : {recherche appliquée, développement expérimental}
[Attribute] typeR&T (projet amont)
Cet attribut correspond au type de projet R&T choisi par le chef de projet amont pour le projet amont Pour une innovation de produit hélicoptère, trois types de projets R&T sont envisagés : {interne Airbus Helicopters, interne au groupe Airbus, Européen}.
[Attribute] caspilote (projet amont)
Situation de travail présentant une problématique plutôt technique sur l'hélicoptère ou une faiblesse à combler (performance, bruit). Le cas pilote illustre à petite échelle la problématique en question à résoudre. Les activités techniques d'un projet amont sont définies en relation avec le cas pilote.
[Attribute] durée (projet amont)
Durée du projet amont. Plusieurs projets amont peuvent être requis pour mener un même produit technologique de TRL4 à TRL6
[Attribute] contexte (projet amont)
Un projet amont s'inscrit dans un contexte : quelles initiatives ont déjà été réalisées pour répondre au

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

besoin ? Quelles en étaient les conclusions ?

[Attribute] objectif (projet amont)

Un projet amont vise un objectif à atteindre en une durée déterminée.

- **Vue Processus**

La vue Processus rassemble l'ensemble des concepts qui décrivent le processus amont et la logique d'enchainement, c'est-à-dire les liens entre les concepts : processus, sous-processus, activité, activité opérationnelle et jalon.

[Class] processus

Enchainement de sous-processus et d'activités qui transforment et produit des données, informations et connaissances en vue de proposer une solution qui répond aux besoins des parties prenantes.

[Class] sous-processus

Processus contenant un autre processus, lui-même composé d'activités et piloté par une partie prenante.

[Class] activité

Ensemble de tâches élémentaires réalisées par les parties prenantes, qui produit des résultats nécessaires à un ou plusieurs clients ou activités.
On distingue deux types d'activités : des activités opérationnelles et des activités décisionnelles, appelées jalons.

[Class] jalon

Un jalon est une activité décisionnelle qui rythme le projet par des décisions. Le jalon pilote l'avancement du projet amont à partir d'indicateurs.

Dans le cas d'une innovation de produit hélicoptère, on identifie par exemple les jalons {Acceptation de la proposition technique et financière} et {Validation du TRL4}

[Class] activité opérationnelle

Mise en œuvre de tâches pour transformer des données d'entrée en résultats. Une activité opérationnelle décompose des processus et sous-processus.

Les concepts de la vue processus se caractérisent par les attributs suivants.

[Attribute] titre (processus), (sous- processus), (activité), (jalon), (activité opérationnelle)

Cet attribut correspond au titre du concept.

[Attribute] objectif (processus)

Cet attribut définit et décrit l'objectif du processus en phase amont, à partir de l'analyse des besoins et de la définition du projet amont.

[Attribute] responsable (processus), (sous- processus), (activité), (activité opérationnelle)

Cet attribut correspond à l'identité du responsable du concept

[Attribute] type Décision (jalon)

Cet attribut correspond au type de décision qui peut être prise au jalon.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Pour une innovation de produit hélicoptère, on identifie principalement trois types de décisions {go, actions correctives, no go}.

- **Vue Méthodes et Outils**

La vue Méthodes et Outils correspond à la description des concepts nécessaires pour évaluer le produit technologique pendant la phase amont : indicateur et méthode d'évaluation.

[Class] indicateur

Outil d'évaluation et d'aide à la décision au jalon. L'indicateur renseigne à un instant t de l'état du produit technologique.

Pour une innovation de produit hélicoptère, les décisions sont prises à partir de l'indicateur « maturité ».

[Class] méthode d'évaluation

Méthode appliquée pour caractériser un indicateur.

Pour les innovations de produits hélicoptères, la méthode d'évaluation est la méthodologie des Technology Readiness Level (TRL).

Les concepts se caractérisent par les attributs suivants.

[Attribute] titre (indicateur), (méthode d'évaluation)

Cet attribut représente le nom de l'indicateur et de la méthode d'évaluation, par exemple : maturité et méthodologie des TRL.

[Attribute] valeur (indicateur)

Un indicateur se caractérise par une valeur, à partir de laquelle des décisions sont prises

[Attribute] typepreuve (indicateur)

Cet attribut renseigne le format de preuves et de justifications attendues pour évaluer l'état du produit technologique. Certaines preuves seront physiques (prototypes par exemple) et d'autres seront des livrables papiers (cahier des exigences, spécification).
Les preuves permettent de déterminer la valeur de l'indicateur.

[Attribute] critère évaluation (indicateur)

La caractérisation d'un indicateur peut reposer sur la caractérisation de critères.

Pour une innovation de produit hélicoptère, la maturité est caractérisée par la performance du produit technologique, la gestion de l'ingénierie associée au produit, les moyens nécessaires à la production et enfin les moyens nécessaires à la maintenance.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

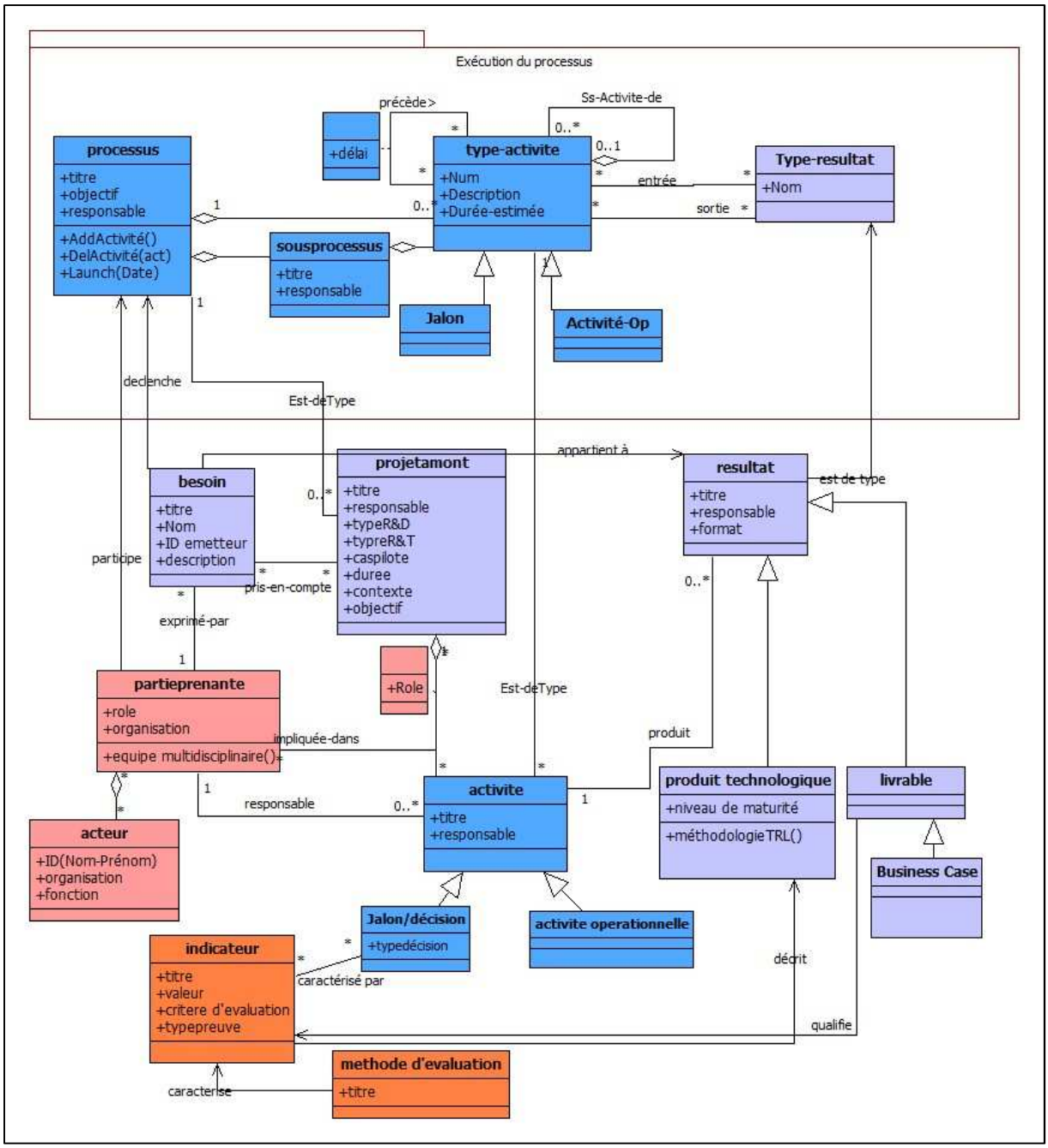


Figure 39: Modèle de la méthodologie de pilotage amont pour une innovation de produit hélicoptère

Le niveau du bas du modèle assure la traçabilité des activités et du déroulement d'un projet en phase amont. Le niveau du haut représente et spécifie les actions à mener pour proposer une réponse au besoin du client : l'exécution du processus amont.

2.2.2 Discussion sur les limites des pratiques existantes : de nouvelles exigences pour évaluer les innovations d'ingénierie en phase amont

Les pratiques existantes, formalisées par un modèle (Figure 39), sont analysées vis-à-vis :

- des facteurs de succès d'une phase amont collectés dans l'état de l'art (Chapitre 2)
- du cas particulier d'une innovation d'ingénierie.

Suite à l'analyse de l'état de l'art, on identifie des facteurs de succès liés à l'organisation de la phase amont (stratégie, organisation, processus) et deux familles d'indicateurs de pilotage d'une

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

innovation de produit en phase amont : les indicateurs associés à la réduction des incertitudes technologiques et économiques (faisabilité technologique, utilité, rentabilité et cohérence stratégique).

L'analyse du modèle est réalisée en confrontant ses vues (Organisation, Information, Processus, Méthodes et Outils) à l'état de l'art :

- les vues Organisation et Processus du modèle rassemblent les concepts associés au FCS « organisation de la phase amont ».
- les vues Informations et Méthodes et Outils rassemblent les concepts associés aux indicateurs de pilotage d'une innovation de produit (faisabilité technologique, utilité, rentabilité et cohérence stratégique).

L'analyse du modèle s'appuie aussi sur les retours d'expériences de pilotage d'innovation hélicoptère en phase amont qui met en évidence un écart entre le prescrit et le réalisé.

➔ **Analyse des Vues Organisation et Processus**

Les projets d'études de faisabilité en phase amont s'inscrivent dans une stratégie d'entreprise et leur mise en place et exécution repose sur un processus. Malgré la formalisation du processus et de l'organisation, la mise en pratique de cette approche de pilotage présente des limites.

Concernant l'organisation, l'implication des acteurs est difficile : la phase amont est perçue comme déconnectée des contraintes opérationnelles et souffrent alors du manque de motivation des acteurs, et ce malgré un effort de communication. Cet aspect est lié au fait qu'il n'existe pas d'acteurs dédiés aux études amont : les activités de recherche appliquée et de développement expérimental sont à mener en plus des activités quotidiennes de développement d'un hélicoptère.

Concernant le processus, les activités à mener pour exécuter le projet amont ne sont pas décrites. Les parties prenantes doivent répondre à un questionnaire TRL et y apporter des preuves mais elles ne sont pas guidées dans leur démarche. De plus, mis à part un business case et des prototypes, aucun autre livrable n'est clairement identifié. Certes, les études de faisabilité reposent sur de la créativité mais un des objectifs est de déterminer le potentiel d'un produit technologique hélicoptère par rapport au besoin du client.

➔ **Analyse des vues Information et Méthodes et outils**

Le pilotage des études de faisabilité s'appuie sur des informations, des méthodes et des outils. Un produit technologique hélicoptère est évalué sur sa performance, sur sa capacité à être développé, sur sa productibilité et maintenabilité. Mais qu'en est-il de son utilité, de sa rentabilité et de sa cohérence stratégique ? Les indicateurs de maturité semblent, en aspect, interroger uniquement la faisabilité technologique et évoquer la rentabilité puisqu'un business case est souhaité. De plus, pour guider les parties prenantes dans l'évaluation de ces quatre indicateurs, le questionnaire TRL interroge des critères (confidentiels). Mais aucune méthode ni outil ne sont préconisé pour l'évaluation des indicateurs et critères : comment est construit le business case ?

Airbus Helicopters souhaite que le pilotage en phase amont d'innovation d'ingénierie repose sur les pratiques des innovations de produit hélicoptère. Nous proposons alors d'améliorer les pratiques en résolvant certains points décrits précédemment, et en adaptant le pilotage aux innovations d'ingénierie. Des améliorations sur le processus d'exécution du projet amont, sur les méthodes et outils de caractérisation des indicateurs et sur les résultats du processus sont à proposer. L'innovation d'ingénierie influence aussi l'organisation et les méthodes et outils avec de nouvelles parties prenantes, de nouveaux rôles et de nouveaux indicateurs.

Synthèse Partie 2: Améliorer et adapter les pratiques existantes-vers le pilotage d'innovations d'ingénierie

A partir d'entretiens et d'analyse d'informations, un diagnostic des pratiques existantes de pilotage d'une innovation de produit hélicoptère, en phase amont, a été réalisé. Le diagnostic décrit les résultats, la typologie des projets amont, la typologie des parties prenantes ainsi que le processus

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

de pilotage. A partir de cette analyse, un modèle de la méthodologie de pilotage d'une innovation de produit hélicoptère est construit. Ce modèle s'organise sur quatre vues : organisation, information, processus, méthodes et outils. Le modèle permet, d'une part, de discuter l'écart entre les pratiques industrielles et les préconisations publiées dans l'état de l'art, et d'autre part, de déterminer les adaptations qu'implique une innovation d'ingénierie.

Partie 3- Conception d'une méthodologie de pilotage d'innovation d'ingénierie en phase amont

Cette troisième et dernière partie de chapitre présente et discute une méthodologie de pilotage d'innovations d'ingénierie en phase amont. Cette méthodologie est élaborée à partir du diagnostic et de l'analyse des vues du modèle de pilotage d'innovation de produit hélicoptère (en Figure 39 et résumées en Figure 40).

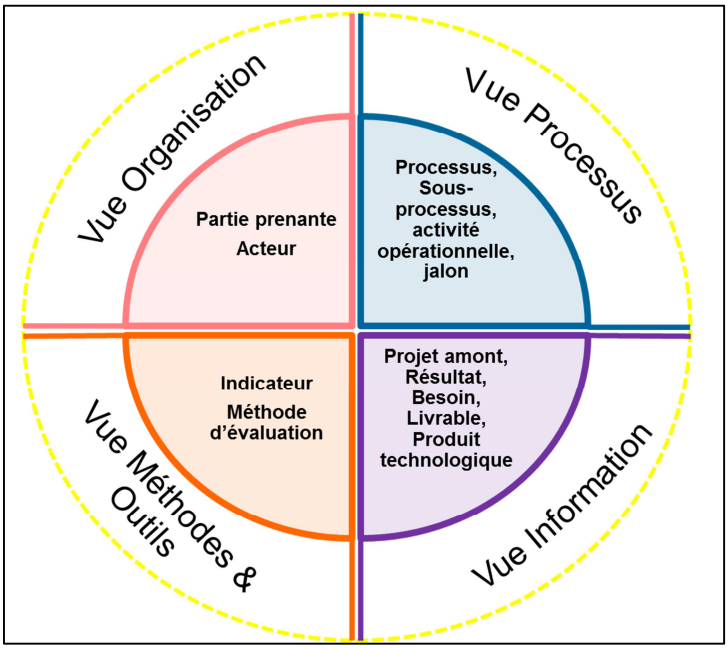


Figure 40: Rappel des vues et concepts du modèle de pilotage d'une innovation de produit hélicoptère

Sur chacune de ces vues, nous améliorons et adaptons les concepts existants et en créons de nouveaux afin de proposer un modèle de la méthodologie de pilotage d'innovation d'ingénierie en phase amont.

3.1- La vue Organisation

La vue Organisation comprend des parties prenantes et des acteurs (en Figure 40). Pour une innovation de produit hélicoptère, une partie prenante se caractérise par une organisation et un rôle {chef de projet amont, responsable produit technologique, représentant fonctionnel, expert technique, chef de programme hélicoptère, responsable financier du programme hélicoptère, responsable marketing}.

Le pilotage d'innovation d'ingénierie implique de nouveaux rôles. Contrairement à une innovation de produit hélicoptère, une innovation d'ingénierie n'a pas vocation à être vendue à un client. Une innovation d'ingénierie est développée et déployée en interne d'Airbus Helicopters pour améliorer et aider la conception d'un hélicoptère. Le client est ainsi l'utilisateur, c'est-à-dire des designers et analystes du bureau d'études d'Airbus Helicopters.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

De plus, le cycle de vie d'une innovation d'ingénierie se caractérise par trois familles de projets (en Figure 41):

- les projets en phase amont (en vert Figure 41) où sont étudiés des produits technologiques (comme pour une innovation de produit hélicoptère).
- les projets de développement d'innovation d'ingénierie (en jaune Figure 41), appelés projets de développement Méthodes et Outils.
- le programme hélicoptère (en orange Figure 41) où a lieu le déploiement et l'utilisation de l'innovation d'ingénierie.

Entre sa création, son développement et son déploiement, une innovation d'ingénierie transite entre trois organisations précises, contrairement à l'innovation de produit hélicoptère qui est créée en phase amont puis développée et produite lors d'un programme hélicoptère.

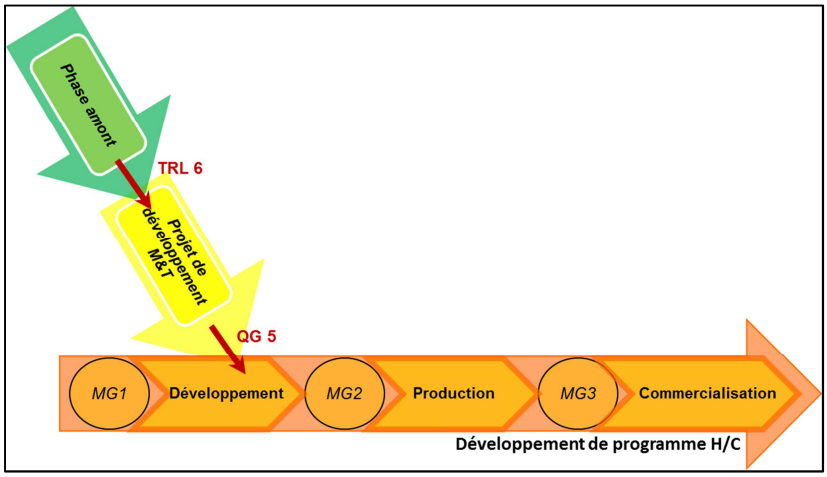


Figure 41 : Cycle de projets d'une innovation d'ingénierie

➔ **Le client de l'innovation : les utilisateurs qui participent au programme hélicoptère**

Les produits technologiques d'innovation d'ingénierie sont développés en interne dans l'entreprise en vue d'être utilisés par les analystes et designers du bureau d'études (*client de l'innovation d'ingénierie*). Par conséquent, le *représentant marketing* n'est pas nécessaire.

Cependant il faut être en mesure de « vendre » les produits technologiques auprès des futurs clients : c'est le rôle des *représentants Méthodes et Outils (M&T)*. Un représentant M&T gère une famille d'utilisateurs. Par exemple, le représentant Predictives gère l'ensemble des utilisateurs d'outils de simulation.

Le client exprime ses besoins auprès de son représentant Méthodes et Outils.

Le client, c'est-à-dire le futur utilisateur, utilise les nouvelles innovations d'ingénierie au cours d'un programme hélicoptère. C'est le programme hélicoptère qui impose ainsi son planning de conception. Par conséquent, les besoins des clients doivent être corrélés aux exigences du programme hélicoptère. C'est le rôle du *responsable de la Multi-Functional Team (MFT) Méthodes et Outils* de préciser les contraintes du programme hélicoptère aux responsables Méthodes et Outils.

Dans le cas d'une innovation d'ingénierie, le « responsable marketing », c'est-à-dire le représentant du client est assuré par deux parties prenantes : le représentant M&T et le responsable de la MFT M&T.

➔ **L'investisseur de l'innovation : le projet de développement Méthodes et Outils**

En fin de phase amont, si l'évaluation d'un produit technologique est concluante, alors celui-ci est intégré dans un projet de développement Méthodes-Outils (Figure 41), piloté par l'équipe Méthodes-Outils de l'entreprise, dont font partie les représentant Méthodes et Outils précédemment cités.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

L'investisseur de l'innovation correspond au *chef du projet de développement Méthodes et Outils*, épaulé par un *responsable financier*.
De plus, parce qu'une innovation d'ingénierie s'intègre dans un système d'information, il est nécessaire qu'un *architecte informatique et système d'information* co-pilote le projet de développement Méthodes et Outils. L'architecte informatique et système d'information construit et vérifie l'architecture de l'innovation d'ingénierie.

Dans le cas d'une innovation d'ingénierie, il est possible que le représentant M&T des clients, le responsable du produit technologique et le chef de projet de développement M&T soient une seule et même personne.

➔ **Le producteur des produits technologiques: les acteurs du projet amont**

Le producteur de produit technologique est représenté par:

- le *chef de projet amont* qui est en charge du pilotage des ressources et du planning du projet amont
- le *responsable du produit technologique* qui pilote les activités techniques nécessaires pour créer et étudier les produits technologiques en vue d'un futur développement
- les *représentants fonctionnels* et *des experts techniques* qui spécifient et participent aux tests du produit technologique.

De plus, tout comme pour une innovation de produit, il est important d'anticiper la phase de développement et de déploiement d'où une participation attendue de l'investisseur et du client dès la phase amont.

Le Tableau 10 résume les différentes parties prenantes de la phase amont et leurs interactions dans le cas d'une innovation d'ingénierie. En italique dans le tableau, sont distinguées les principales différences avec une innovation de produit.

Tableau 10 : Typologie des parties prenantes en phase amont pour une innovation d'ingénierie

Parties Prenantes		Responsabilités
PRODUCTEUR DE L'INNOVATION	Chef de projet amont	• Gère la mise en place du projet amont (budget, contrat, revues d'offres) • S'assure de la bonne application de la méthodologie de pilotage de la phase amont • Organise les revues de pilotage où un produit technologique est évalué à l'aide d'indicateurs et de preuves
	Responsable du produit technologique	• Responsable technique du produit technologique • Pilote l'exécution du projet amont et l'équipe de projet amont • Prépare les revues de pilotage, en collectant les différentes preuves nécessaires. • Il fait partie de l'équipe des responsables Méthodes et Outils
	Représentants fonctionnels	• Travaillent en collaboration pendant la phase amont • Spécifient et conçoivent des prototypes expérimentaux de produits technologiques • Sont chacun responsable d'un axe d'évaluation de la maturité d'un produit technologique

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

	Experts techniques	• Evaluent et valident la véracité des justifications apportées aux revues de pilotage • Objectivent les revues de pilotage
INVESTISSEUR	*Chef de projet de développement Méthodes et Outils*	• Contraint les études en phase amont par ses exigences de stratégie, de planning, de budget, d'applications industrielles et par les besoins du client • Futur responsable du développement et du déploiement de l'innovation d'ingénierie
	Architecte informatique et système d'information	• Construit l'architecture de l'innovation d'ingénierie à partir des spécifications • Responsable de l'intégration du produit technologique et de la future innovation d'ingénierie dans l'environnement opérationnel • Pilote le déploiement industriel informatique de l'innovation d'ingénierie
	Responsable financier du projet de développement Méthodes et Outils	• Evalue et valide le business case livré en fin de processus amont • Soutient le chef de projet de développement M&T dans ses décisions
CLIENT	*Utilisateur de l'innovation d'ingénierie*	• Futur client de l'innovation d'ingénierie • Exprime des besoins relatifs à ses processus opérationnels, ses méthodes et outils de travail auprès des responsables M&T • Teste les produits technologiques en phase amont • S'approprie les produits technologiques dès la phase amont • « Vends » l'innovation d'ingénierie auprès de ses collaborateurs : il communique et illustre une future appropriation de l'innovation d'ingénierie
	Représentant Méthodes et Outils	• Représente les futurs utilisateurs de l'innovation • Collecte les besoins des utilisateurs • Aide les utilisateurs à spécifier leurs besoins
	Responsable de la MFT Méthodes et Outils	• Collecte les contraintes principalement le planning du premier programme hélicoptère associé au déploiement de l'innovation d'ingénierie • Communique les contraintes et exigences du premier programme hélicoptère concerné par l'innovation d'ingénierie auprès du responsable du produit technologique et du chef du projet de développement M&T.

La vue Organisation du modèle de pilotage d'une innovation d'ingénierie est améliorée sur le concept de « partie prenante » où de nouveaux rôles sont identifiés.

[Attribute] role (partie prenante)
Rôle de chaque partie prenante en phase amont Pour <u>une innovation de produit hélicoptère</u>, on identifie les rôles suivants : {Chef du projet amont, Responsable du produit technologique, Représentant fonctionnel, Expert technique, Chef de programme hélicoptère, Responsable financier du programme hélicoptère, Client, Responsable

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

marketing}

Pour une innovation d'ingénierie, on identifie les rôles suivants : {Chef du projet amont, Responsable du produit technologique, Représentant fonctionnel, Expert technique, Chef de projet de développement M&T, Architecture informatique et système d'information, Responsable financier du projet de développement M&T, Utilisateur, Représentant M&T, Responsable de la MFT M&T sur le premier programme hélicoptère de déploiement}

3.2- La vue Processus

L'analyse du modèle de pilotage d'innovation de produit hélicoptère (en Figure 39) met en évidence des limitations à améliorer pour une innovation d'ingénierie : les activités à mener pour exécuter le projet amont ne sont pas décrites. De plus, en raison de l'apparition de nouveaux rôles, les phases de définition et d'acquisition d'un projet R&T sont quelques peu modifiées.

3.2.1 Phase de définition

La phase de définition consiste à collecter les besoins et à cadrer un projet amont pour répondre aux besoins. Cette phase intègre des activités de veille technologique, de collecte des besoins, de définition d'une équipe de projet et de cadrage du projet amont.
La Figure 42 représente la phase de définition du processus pour une innovation d'ingénierie, en langage BPMN.

La phase de définition s'initie par une expression de besoins par le client (utilisateur de la future innovation d'ingénierie), et éventuellement par le responsable de la MFT Méthodes et Outils.
Le responsable Méthodes et Outils collecte et analyse les besoins, puis déterminent si les possibles solutions relèvent plus d'un projet de développement ou d'un projet amont. On s'intéresse au cas du projet amont.
Le responsable Méthodes et Outils est aussi responsable de la fédération des besoins utilisateurs : on ne peut pas mettre en œuvre un projet amont pour répondre aux attentes d'un seul utilisateur. Certains besoins sont partagés par plusieurs utilisateurs : les besoins sont dit génériques. Le responsable Méthodes et Outils doit donc préalablement identifier les besoins génériques à résoudre, ou du moins ceux qui englobent le plus de clients possibles. Un besoin générique formalise des limites dans les pratiques des métiers : travail non collaboratif, échange de données laborieux, processus non automatisés. En résolvant ces problématiques métiers, on optimise la résolution de problématiques techniques en conception : prédiction de la durée de vie d'une tuyère, analyse de l'agencement d'équipements avioniques dans une architecture… Différentes problématiques techniques peuvent être liées à une même problématique métier.
Le responsable Méthodes et Outils échange avec un chef de projet amont pour définir le projet amont adéquat pour étudier les problématiques métiers.
Le chef de projet amont identifie le type de projet de Recherche et Technologie à implémenter, et dirige la définition d'une pré-proposition technique et financière : quelles problématiques techniques de l'hélicoptère sont concernées ? Quelle est l'équipe projet nécessaire ? Quelles activités sont envisagées ? A quels coûts ? Sur quelle durée ? Quels sont les produits technologiques étudiés ?
Pour aider les parties prenantes à définir le cadre du projet amont, il est conseillé de travailler à partir d'un ou plusieurs cas pilotes : étude à petite échelle, représentative de la future utilisation de l'innovation d'ingénierie.

La pré-proposition technique et financière est soumise à la fois auprès de l'organisme responsable du projet amont et en interne de l'entreprise : son acceptation conditionne la suite du processus.

La nomination du responsable du produit technologique et du chef de projet amont dépend de la nature des besoins exprimés.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

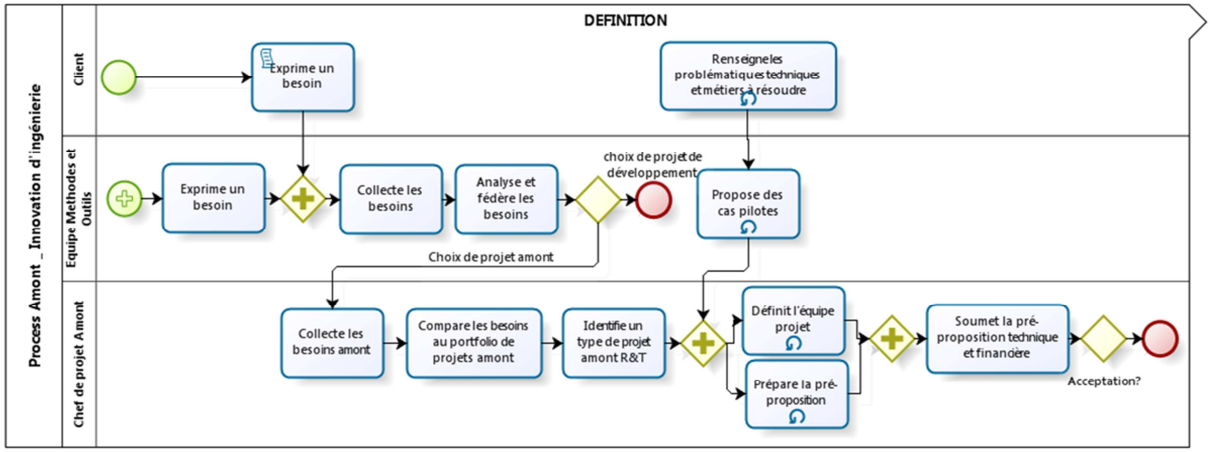


Figure 42 : Modèle de la phase de « Définition » du processus amont pour une innovation d'ingénierie

L'élaboration de la pré-proposition, à partir de cas pilotes, et la définition de l'équipe projet est un travail itératif : au fur et à mesure que de nouveaux acteurs sont identifiés il est important de vérifier que les cas pilotes proposés intègrent leurs problématiques.
La mise en œuvre de ce processus nécessite des outils méthodologiques, non traités dans cette thèse :

- guide/questionnaire pour collecter les besoins
- veille technologique M&T
- portfolio de projets R&T
- portfolio de projets de développement
- méthode pour construire un cas pilote

3.2.2 Phase d'acquisition

La phase d'acquisition (modélisée en Figure 43) démarre lorsque la pré-proposition a été acceptée. L'équipe projet affine et décrit les activités à mener durant le projet amont, définit le ou les produits technologiques étudiés, le coût du projet et son planning à partir du cas pilote.
Le client, le responsable M&T, le futur responsable du produit technologique et le chef de projet amont collaborent pour définir et rédiger la proposition technique et financière. Cette phase d'acquisition se conclut par l'acceptation de la proposition technique et financière.

C'est lors de la définition de cette proposition que, pour des raisons budgétaires, il apparaitra nécessaire de réaliser plusieurs projets amont avant d'atteindre le développement de l'innovation d'ingénierie (validation du TRL6).

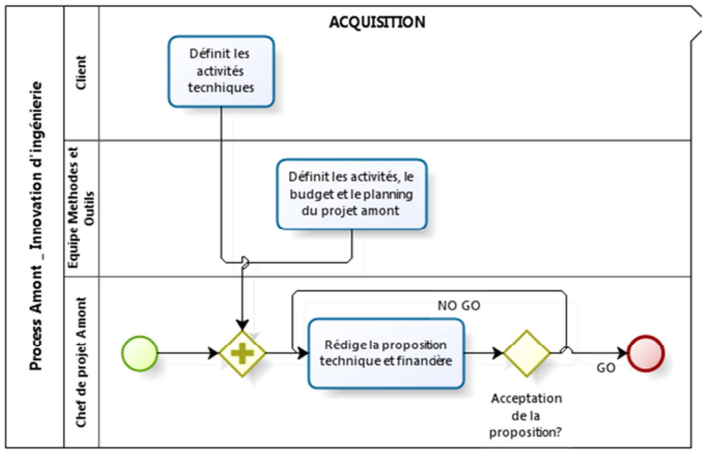


Figure 43 : Modèle de la phase d'Acquisition du processus amont pour une innovation d'ingénierie

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

3.2.3 Phase d'exécution

Dans le cas d'une innovation de produit hélicoptère, cette phase est peu détaillée. Des améliorations sont alors proposées pour exécuter le projet amont et piloter une innovation d'ingénierie pendant les études de faisabilité en phase amont. La phase d'exécution se consacre à l'exécution du projet amont et au pilotage par la valeur d'une innovation d'ingénierie.

a) Les fondements du pilotage d'innovation d'ingénierie en phase amont

Pour guider l'exécution et le pilotage d'un projet amont, nous proposons d'appliquer une approche d'ingénierie système, approche de résolution de problème, exigence d'Airbus Helicopters. L'ingénierie système est habituellement appliquée dans des phases de développement mais ses principes, en version « simplifiée », semblent tout aussi appropriée pour structurer des projets de recherche appliquée ou de développement expérimental en phase amont.
Nous caractérisons l'exécution d'un projet amont en deux phases : une phase descendante de spécification à laquelle nous associons des scénarios d'usage et une phase ascendante de prototypage et validation où nous évaluons et pilotons l'avancement d'un produit technologique par sa valeur (schématisées en Figure 44).

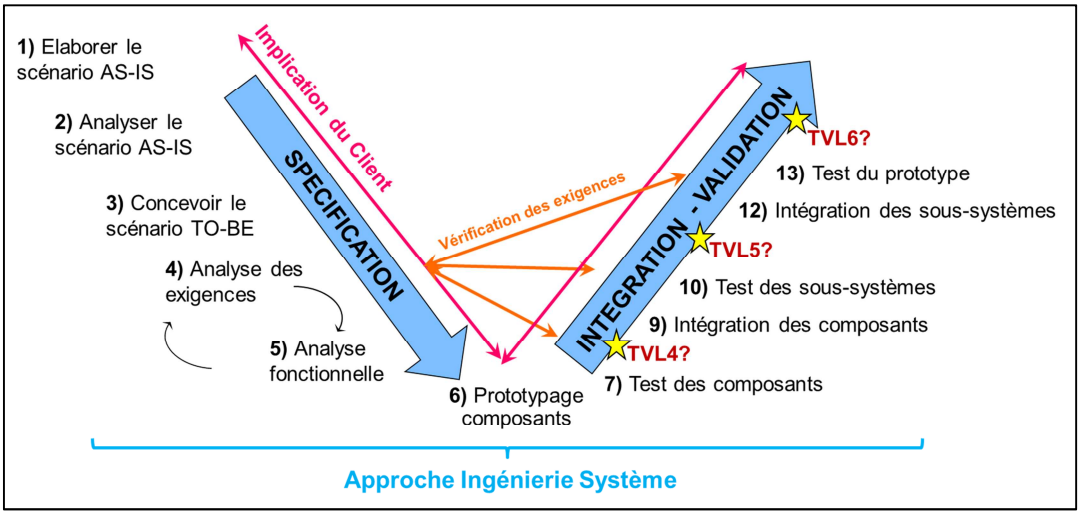


Figure 44 : Logique de pilotage d'un projet d'innovation d'ingénierie en phase amont

La première phase (phase descendante) du processus d'exécution spécifie le produit technologique et s'initie par un kick off meeting entre l'ensemble des parties prenantes (Tableau 10) où sont présentés, par l'équipe projet, le contexte du projet amont, les enjeux, l'organisation, les activités techniques et le planning. Les activités techniques sont associées à un cas pilote, par exemple l'étude de l'intégration du moteur dans son compartiment. Le cas pilote illustre à petite échelle une problématique technique de conception de l'hélicoptère (le dimensionnement de la ventilation du compartiment), qui elle-même repose sur des problématiques métiers (calcul multidisciplinaire, interopérabilité des outils). Le cas pilote intègre ainsi des processus métiers opérationnels aujourd'hui déployés dans le cadre d'un programme de développement hélicoptère mais qu'il faut améliorer.
L'objectif de la phase amont est d'étudier des produits technologiques d'innovation d'ingénierie en vue d'améliorer et d'optimiser des processus métier. Les études en phase amont s'intègrent ainsi dans une approche d'amélioration ou de réingénierie des processus métiers (Hammer & Champy 2003). Par analogie avec l'amélioration de processus, on caractérise un cas pilote par deux types de scénarios d'usage:

- le scénario d'usage AS-IS est un diagnostic des processus et méthodes de travail existants et déployés pour répondre à une problématique technique. C'est un état des lieux des pratiques industrialisées qui connaissent des faiblesses dues à des problématiques métiers.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

- le scénario TO-BE est une proposition d'un processus reposant sur de nouveaux produits technologiques. Il améliore le scénario AS-IS en résolvant les problématiques techniques et métiers. Il illustre le futur environnement opérationnel d'une innovation d'ingénierie basée sur un ensemble de produits technologiques.

C'est à partir du scénario AS-IS que les parties prenantes déterminent et affinent les forces et faiblesses de leurs actuelles méthodes de travail. Et c'est à partir du scénario TO-BE que les parties prenantes spécifient le produit technologique et en construisent son architecture fonctionnelle.

La seconde phase, ascendante, consiste à prototyper le produit technologique à partir des exigences et spécifications, et surtout à piloter son avancement. Le pilotage jalonne la phase ascendante et permet de stopper et/ou réorienter un projet amont très rapidement en vue d'un futur développement.

On propose de jalonner la phase ascendante en adaptant l'évaluation de la maturité (TRL, exigence d'Airbus Helicopters) vers une évaluation de la valeur d'une innovation d'ingénierie (**Technology Value Level**). On définir la valeur d'un produit technologique comme étant la preuve de sa valeur fonctionnelle, de son utilité, de sa rentabilité et de sa valeur stratégique.

La phase ascendante enchaine des étapes de prototypage, de test et d'évaluation sur les différents niveaux composants, sous-systèmes et systèmes du produit technologique et selon l'environnement du niveau de valeur évalué. Cette approche de pilotage sera plus détaillée dans la Vue Méthodes et Outils (Partie 3.3 de ce chapitre).

Détaillons un peu plus les activités de chacune des phases de l'exécution d'un projet amont.

b) Spécification d'un produit technologique

La phase descendante démarre par un kick-off meeting et est dédiée à la spécification des produits technologiques. Le pilotage du projet amont est géré par le chef de projet amont pour les aspects ressources et planning et par le responsable du produit technologique pour les activités techniques.

Activité 1 : Elaborer le scénario AS-IS

Cette activité est un diagnostic des pratiques existantes : comment travaille-t-on aujourd'hui pour résoudre la problématique technique ? Le scénario AS-IS est assimilé à un processus métier.
L'activité 1 (Figure 45) est pilotée par le responsable du produit technologique et est réalisée par l'ensemble de l'équipe du projet amont à partir de la définition du cas pilote, du projet amont et de la description des activités techniques. L'activité 1 aboutit sur un modèle BPMN du scénario d'usage AS-IS.

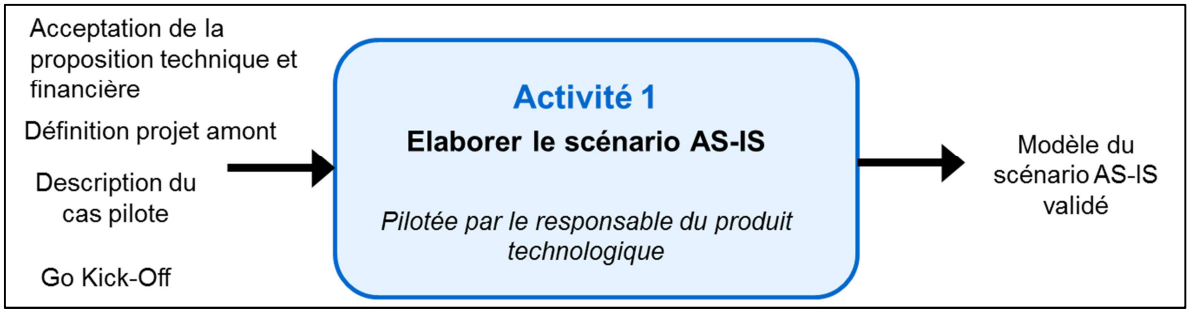


Figure 45 : Activité 1_Elaborer le scénario AS-IS

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Activité 2 : Analyser le scénario AS-IS

A partir du modèle BPMN du scénario AS-IS, les parties prenantes étudient les forces et faiblesses des pratiques existantes. On se demande si les pratiques AS-IS sont optimisées et comment les améliorer ? L'activité 2 (Figure 46) affine la problématique métier, formulée en phase de définition et d'acquisition, en produisant une liste détaillée et priorisée des problèmes du scénario AS-IS.

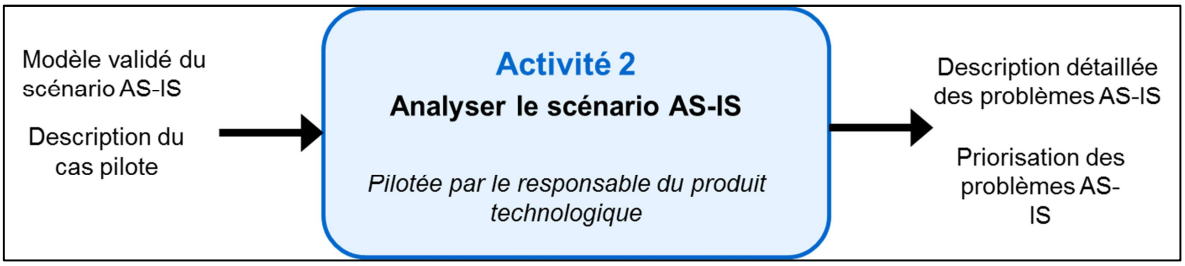


Figure 46 : Activité 2_Analyser le scénario AS-IS

Activité 3 : Concevoir un scénario TO-BE

A l'aide de la liste des problèmes détaillés et priorisés et du modèle du scénario AS-IS, les parties prenantes imaginent et construisent au moins un scénario TO-BE. Le scénario TO-BE répond à la problématique technique ET aux problématiques métiers prioritaires. Le scénario TO-BE illustre un processus métier possible qui s'appuie sur de nouvelles fonctionnalités, de nouvelles méthodes et/ou de nouveaux outils, c'est-à-dire des produits technologiques d'ingénierie en devenir et/ou existants.
L'activité 3 (Figure 47) produit un ou plusieurs scénarios TO-BE à partir de la définition d'actions correctives aux problèmes AS-IS. Cette activité comprend également une tâche de validation du scénario TO-BE prioritaire.

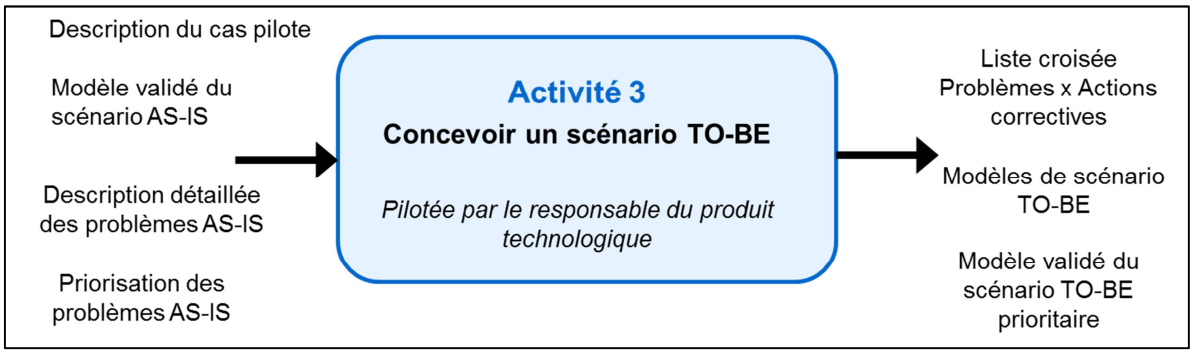


Figure 47 : Activité 3_Concevoir un scénario TO-BE

Activité 4 : Analyser les exigences et **Activité 5** : Définir l'architecture fonctionnelle du produit technologique

A partir du modèle validé du scénario TO-BE, les parties prenantes visualisent leurs besoins et sont ainsi en mesure de formaliser les exigences du produit technologique, de son environnement opérationnel et ses contraintes. Le responsable du produit technologique travaille en collaboration avec le responsable Méthodes et Outils pour formaliser les exigences et construire le cahier des exigences. A partir de ce cahier, l'architecte informatique et systèmes d'information détermine l'architecture fonctionnelle (et la décomposition fonctionnelle) des produits technologiques étudiés (Figure 48). L'architecture proposée, par son analyse, nourrit l'analyse des exigences qui raffine la définition de l'architecture fonctionnelle. Les Activités 4 et 5 sont ainsi menées itérativement.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

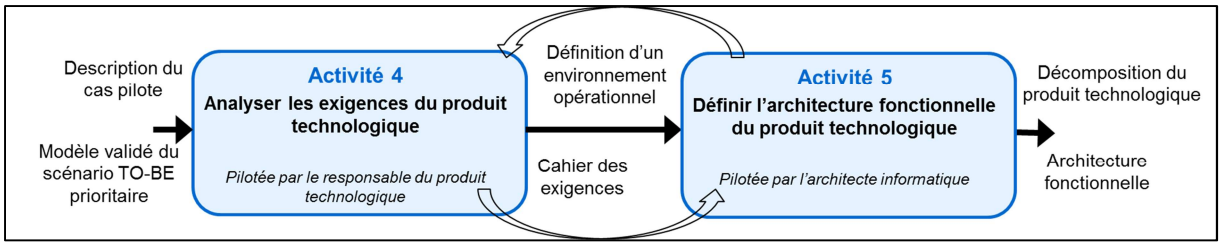


Figure 48 : Itération des Activités 4 et 5

L'ensemble des Activités 1 à 5 seront plus détaillées dans le Chapitre 5 : on y précisera comment les scénarios AS-IS et TO-BE permettent de les réaliser.

c) Prototypage et évaluation de la valeur

La phase ascendante est dédiée au prototypage du produit technologique, à l'intégration de ses éléments et surtout à son pilotage à l'aide de l'évaluation de la valeur. L'évaluation de la valeur repose en partie sur les résultats des tests des prototypes dans des environnements précis. On identifie trois jalons d'évaluation de la valeur d'un produit technologique : TVL4, TVL5 et TVL6.

Activité 6 : Prototyper les composants du produit technologique

A partir de la décomposition fonctionnelle du produit technologique et de la description de l'architecture fonctionnelle, les parties prenantes prototypent les composants du produit technologique (Figure 49). Dans un contexte d'innovation d'ingénierie, cette activité consiste à déterminer les solutions (logicielles par exemple) qui répondront aux fonctions identifiées dans l'architecture fonctionnelle. Les solutions peuvent être disponibles en interne dans l'entreprise, ou bien à faire faire ou bien encore à acheter.

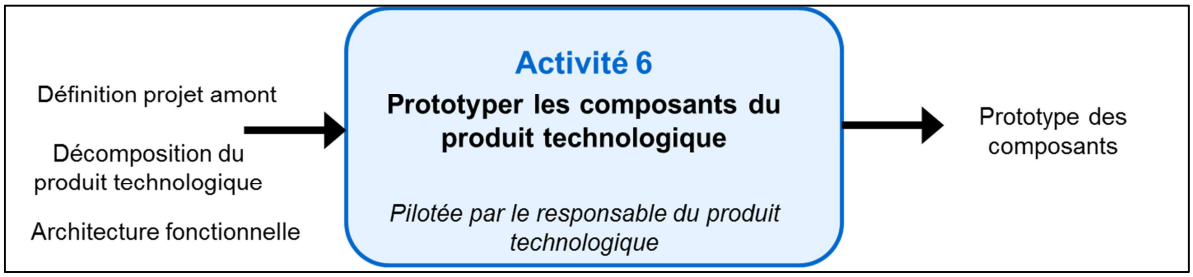


Figure 49 : Activité 6_Prototyper les composants du produit technologique

Activité 7 : Tester les composants dans l'environnement TO-BE (TVL4)

L'activité 7 consiste à tester les composants du produit technologique dans l'environnement décrit par le scénario TO-BE (Figure 50). Attention, l'activité 7 se consacre à l'étude des composants dans un environnement TVL4. Il est donc au préalable nécessaire de définir l'environnement d'évaluation du TVL4, qu'on appellera environnement simplifié.

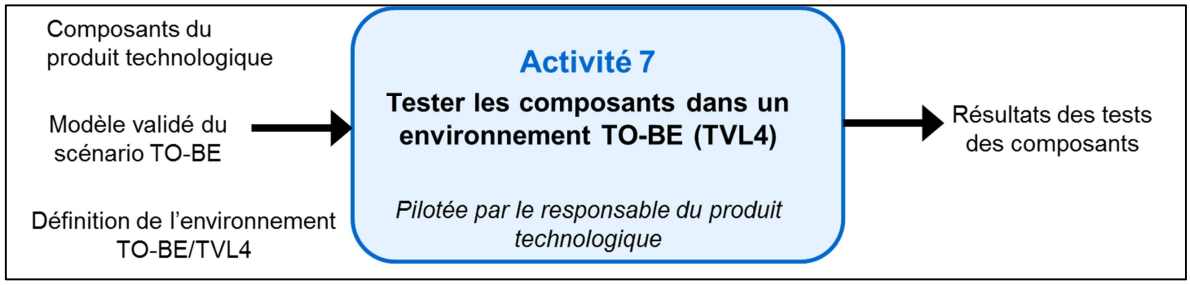


Figure 50 : Activité 7_Tester les composants dans l'environnement TVL4

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Activité 8 : Evaluer la valeur des composants (TVL4)

Lorsque les composants sont testés, il est nécessaire de réaliser une première évaluation de leur valeur (Figure 51): est-ce que la caractérisation des indicateurs de pilotage est concluante ? Dans le cas contraire, des actions correctives sont à déterminer et à implémenter sur l'architecture fonctionnelle. L'évaluation de la valeur TVL4 est un premier jalon qui peut entrainer une itération d'une partir du cycle en V (Figure 58).

L'évaluation de la valeur est pilotée par le chef de projet amont même si la caractérisation des indicateurs et l'apport de preuves sont, elles, plutôt pilotées par le responsable du produit technologique en collaboration avec les représentants fonctionnels et les experts techniques.

L'évaluation de la valeur sera plus détaillée en Partie 3.3 de ce chapitre.

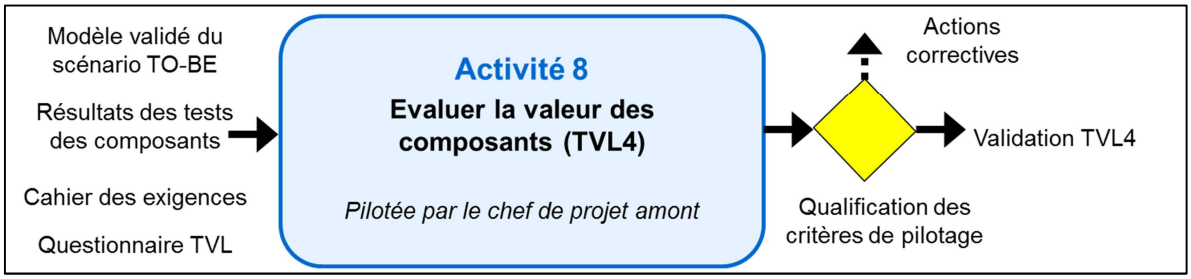


Figure 51 : Activité 8_Evaluer la valeur des composants (TVL4)

Activité 9 : Prototyper les sous-systèmes du produit technologique

Les composants du produit technologique sont intégrés pour créer les sous-systèmes du produit technologique (Figure 52). L'intégration est réalisée en vue d'évaluer un niveau de valeur TVL5.

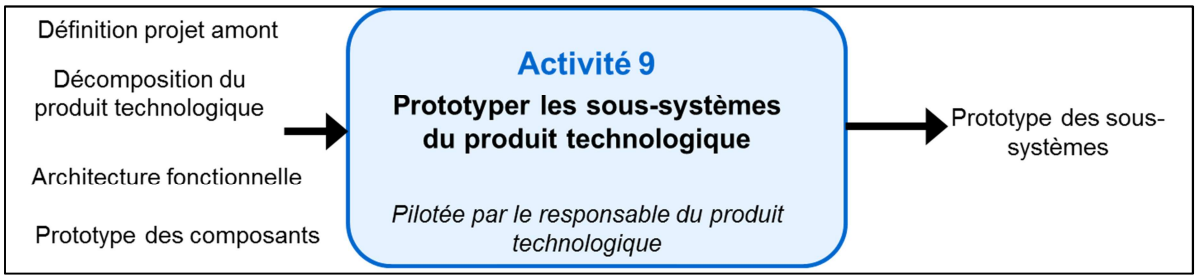


Figure 52 : Activité 9_Prototyper les sous-systèmes du produit technologique

Activité 10: Tester les sous-systèmes dans l'environnement TO-BE (TVL5)

L'activité 10 concerne le test des sous-systèmes dans l'environnement opérationnel du scénario TO-BE mais à TVL5 (Figure 53). De la même façon que pour l'activité 7, les parties prenantes doivent préalablement caractériser l'environnement d'évaluation TVL5, qu'on appellera environnement représentatif.

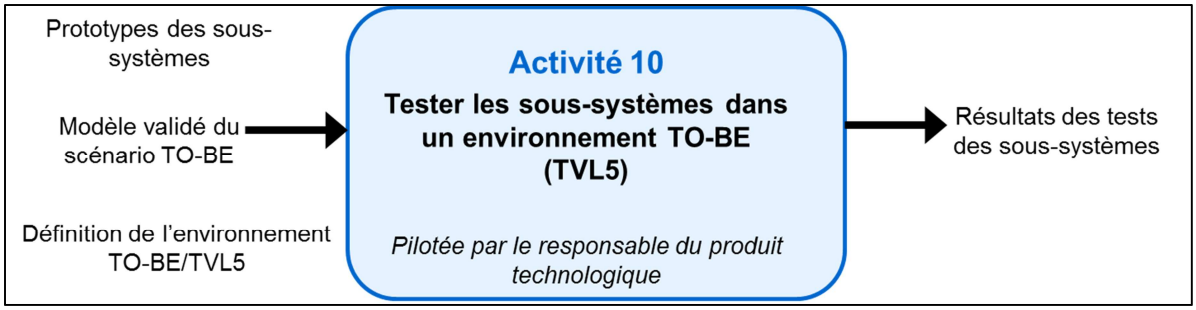


Figure 53 : Activité 10_Tester les sous-systèmes dans un environnement TO-BE (TVL5)

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Activité 11: Evaluer la valeur des sous-systèmes (TVL5)

Une fois les sous-systèmes testés, comme pour les composants, les indicateurs de pilotage sont caractérisés. Cette activité fait appel au modèle du scénario TO-BE, aux résultats des tests et au cahier des exigences. L'évaluation de la valeur à TVL5 est un second jalon (Figure 54).

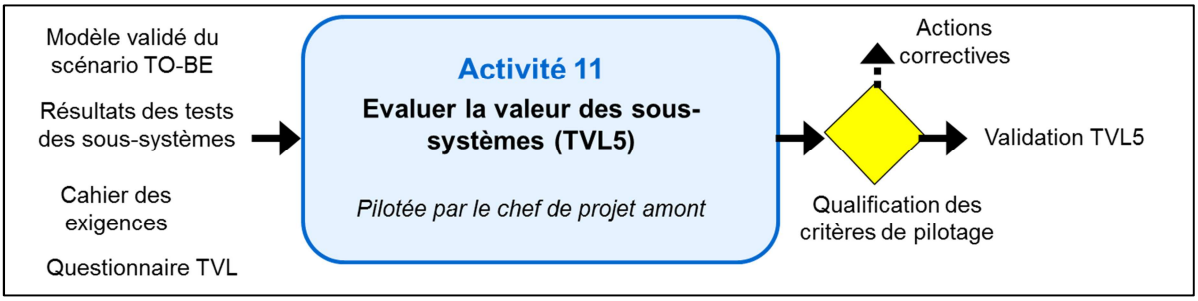


Figure 54 : Activité 11_Evaluer la valeur des sous-systèmes (TVL5

Activité 12 : Prototyper le produit technologique

Les sous-systèmes sont intégrés pour produire un prototype du produit technologique global (Figure 55).

Figure 55 : Activité 12_Prototyper le produit technologique

Activité 13 : Tester le produit technologique dans l'environnement TO-BE (TVL6)

Le produit technologique est testé dans l'environnement décrit par le scénario TO-BE (Figure 56). L'environnement de test à TVL6 est le même qu'à TVL5 : un environnement représentatif de l'environnement opérationnel.

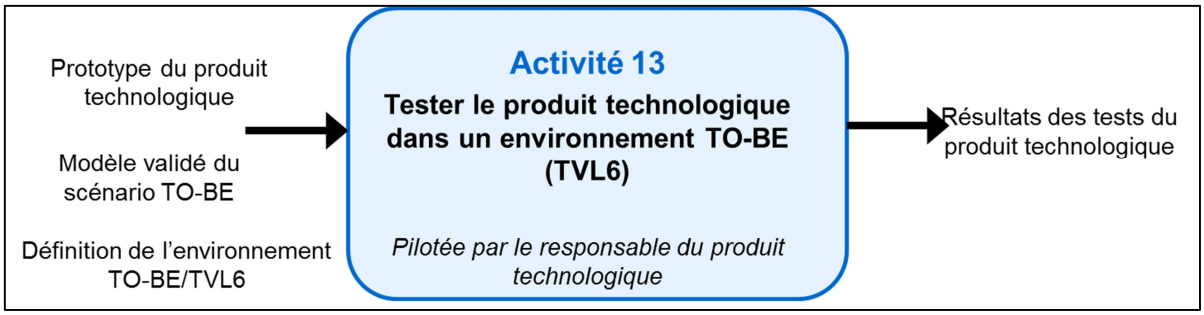


Figure 56 : Activité 13_Tester le produit technologique

Activité 14 : Evaluer la valeur du produit technologique (TVL6)

Une fois le produit technologique testé, les parties prenantes caractérisent les indicateurs de pilotage à TVL6. L'évaluation de la valeur à TVL6 est un troisième jalon.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

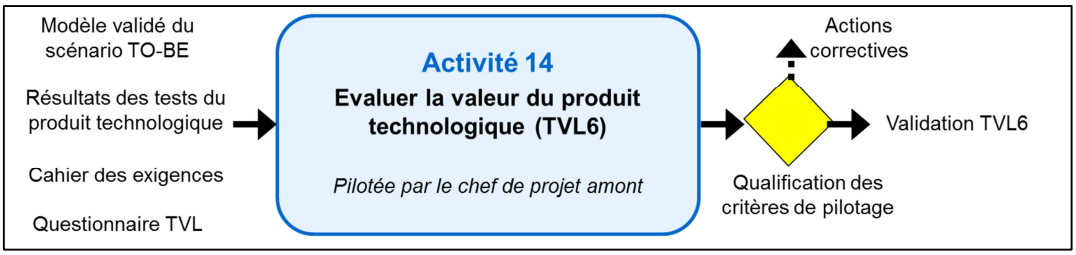


Figure 57 : Activité 14_Evaluer la valeur du produit technologique (TVL6)

Finalement, l'exécution du projet en phase amont repose sur une approche couplant l'ingénierie système et les scénarios d'usage. La spécification d'un produit technologique et le pilotage par l'évaluation de sa valeur repose sur un enchainement de 14 activités, détaillées précédemment et modélisées en Figure 58.

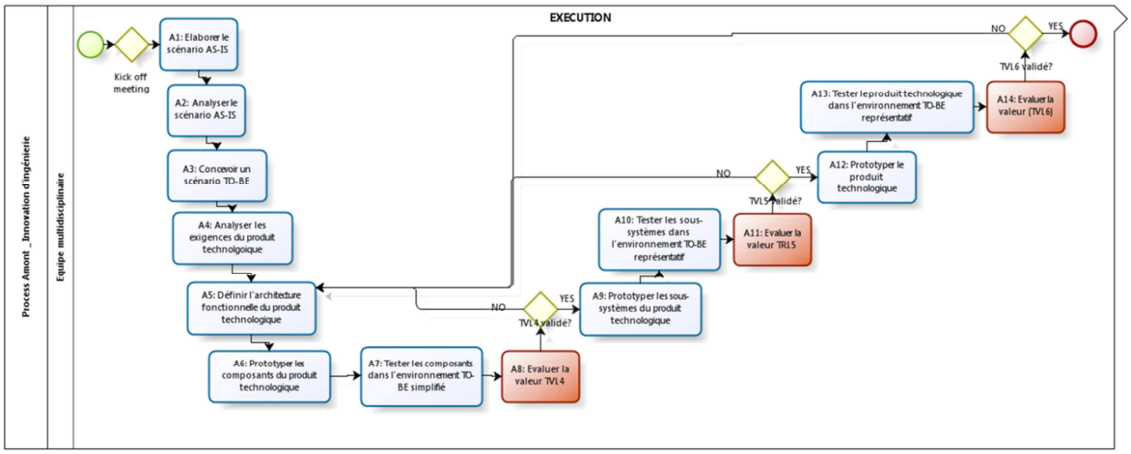


Figure 58 : Modèle de la phase d'exécution du processus amont pour une innovation d'ingénierie

La vue Processus du modèle de pilotage est inchangée pour une innovation d'ingénierie, par rapport à une innovation de produit hélicoptère (Figure 59). On détaille plus les activités à réaliser pour définir et exécuter un projet amont ainsi qu'anticiper la phase de développement par une évaluation de la valeur. Plusieurs projets amont, chronologiquement consécutifs, seront parfois nécessaires pour étudier et valider les trois niveaux de valeurs (TVL) d'un même produit technologique. Le scénario d'usage TO-BE est central : il spécifie un produit technologique tout en décrivant un plan de tests de ses spécifications. La réalisation des activités 1 à 5 seront plus précisément décrites en Chapitre 5.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

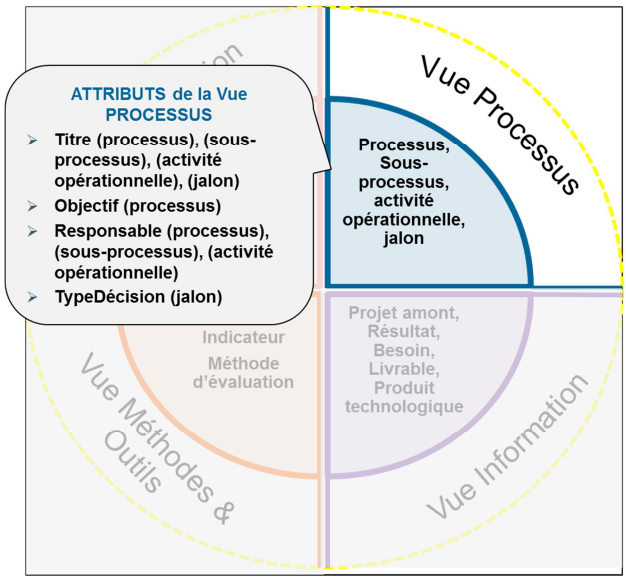


Figure 59 : Zoom sur la vue Processus du modèle de pilotage d'une innovation

3.3- La vue Méthodes et Outils

On se consacre à présent à la Vue Méthodes et Outils (Figure 60) de pilotage d'une innovation d'ingénierie au cours des activités 8, 11 et 14 de la phase ascendante (Figure 58). Cette vue est améliorée en proposant une évaluation de la valeur, qui s'appuie sur de nouveaux indicateurs, et sur de nouvelles méthodes et outils.

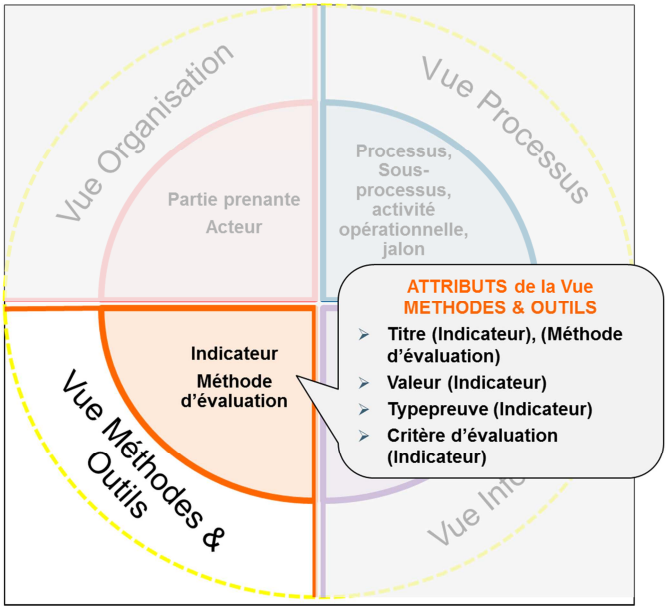


Figure 60 : Zoom sur la vue Méthodes & Outils du modèle de pilotage d'une innovation

3.3.1 Evaluation de la valeur d'une innovation d'ingénierie : adaptation des niveaux de TRL en TVL

La méthodologie classique des TRL (présentée dans le Chapitre 2) questionne principalement la valeur fonctionnelle (faisabilité technologique) d'un produit technologique, ce qui n'est pas suffisant pour une innovation d'ingénierie. Suite à l'analyse de l'état de l'art, nous proposons d'élargir le champ de maturité et readiness à la valeur, transformant alors les niveaux de maturité et readiness (TRL) en niveau de valeur (TVL). Un niveau de valeur (TVL) se caractérise par un niveau de décomposition du produit technologique, un environnement d'évaluation et des indicateurs de pilotage à caractériser

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

(Figure 61). La phase amont, et plus précisément les études de faisabilité, adressent les niveaux de maturité compris entre TVL 4 et 6 inclus :

- à TVL3 on étudie des composants de futur produit technologique dans un environnement générique c'est-à-dire non contraint. Le TVL3 correspond à la preuve du concept (Proof of Concept).
- à TVL4 on étudie les composants d'un produit technologique dans un environnement industriel opérationnel simplifié.
- à TVL5, on intègre les composants dans des sous-systèmes et on étudie leur maturité dans un environnement plus complexe : l'environnement représentatif du futur environnement opérationnel de l'innovation d'ingénierie
- à TVL6, on étudie la maturité du système complet, c'est à dire le produit technologique à la base de l'innovation d'ingénierie dans un environnement représentatif.

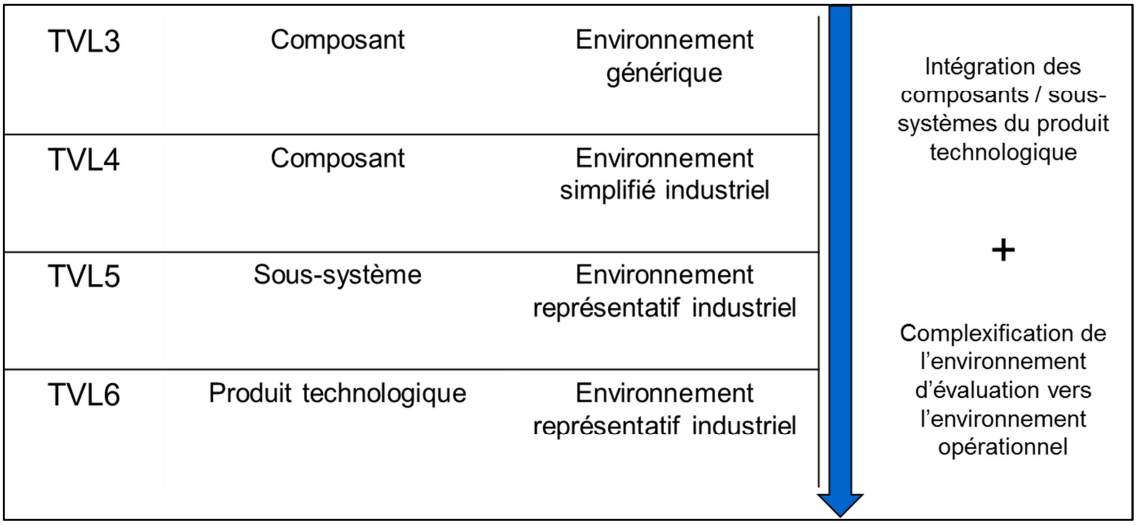


Figure 61 : Définition des niveaux de valeur (TVL) en phase amont pour une innovation d'ingénierie

On caractérise les environnements d'évaluation de la valeur par rapport au futur environnement opérationnel :

- l'environnement opérationnel est décrit par le scénario TO-BE. Il correspond à l'environnement au sein duquel sera déployée la future innovation d'ingénierie associée au produit technologique et se caractérise par des interfaces, un nombre d'utilisateurs, des performances, des volumes de données, des règles informatiques et de sécurité (droits d'accès, propriété intellectuelle…)
- l'environnement représentatif des TVL5 et 6 « imite » l'environnement opérationnel : certaines caractéristiques peuvent être simulées (le nombre d'utilisateurs, le volume des données échangées …). Il représente à petite échelle l'environnement opérationnel
- l'environnement simplifié du TVL4 allège l'environnement opérationnel d'un certain nombre de contraintes. En étudiant un élément dans cet environnement on cherche à comprendre et vérifier son comportement et non son aptitude à répondre à toutes les exigences et contraintes.

L'évaluation de la valeur repose sur la caractérisation d'indicateurs à l'aide d'un questionnaire. Pour chaque indicateur des preuves sont à fournir.

3.3.2 Les indicateurs de pilotage

A partir de l'analyse de l'état de l'art, nous avions conclu en Chapitre 2 (Tableau 7, Chapitre 2) sur quatre macro-indicateurs de pilotage d'une innovation de produit en phase amont : la valeur fonctionnelle, l'utilité, la rentabilité et la valeur stratégique.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Nous choisissons d'utiliser ces quatre macro-indicateurs pour piloter par la valeur d'une innovation d'ingénierie. La caractérisation de chaque macro-indicateur repose sur la qualification et/ou quantification de critères et sous-critères (Tableau 11).
Les critères et sous-critères sont construits à partir des savoirs publiés dans la littérature et des savoirs locaux présentés en Partie 2 de ce chapitre.

➔ **Valeur fonctionnelle**

La valeur fonctionnelle est la preuve que le produit technologique d'une future innovation d'ingénierie est faisable tout au long de son cycle de vie (développement, déploiement, utilisation et maintenance) et qu'il s'intègre bien dans le futur environnement opérationnel dédié.
L'évaluation de la valeur fonctionnelle d'un produit technologique repose sur :

- la démonstration de la faisabilité technologique
- la vérification de la capacité d'intégration du produit technologique dans le futur environnement opérationnel
- l'anticipation et l'intégration des exigences du cycle de vie de l'innovation d'ingénierie

Afin d'aider et de guider les parties prenantes dans cette évaluation de la valeur, des sous-critères affinent la caractérisation des critères (Tableau 11). Par exemple, pour démontrer la faisabilité technologique, les parties prenantes devront, dans un premier temps, définir les exigences, contraintes et spécifications du produit technologique et de son intégration dans l'environnement opérationnel puis tester le produit technologique et valider les exigences.

➔ **L'utilité**

L'utilité, aussi appelée valeur d'usage correspond à la satisfaction du client à utiliser l'innovation d'ingénierie. L'évaluation de l'utilité d'un produit technologique repose sur :

- l'identification du client
- la formalisation des besoins du client
- l'anticipation et validation des futurs usages par le produit technologique

➔ **La rentabilité**

La rentabilité d'un produit technologique et plus globalement d'une innovation d'ingénierie correspond à sa capacité à produire des gains financiers pour le producteur de l'innovation et l'investisseur. L'évaluation de la rentabilité d'un produit technologique repose sur :

- l'identification et évaluation de gains quantitatifs
- l'identification et évaluation de gains qualitatifs

➔ **La valeur stratégique**

La valeur stratégique représente la capacité de l'innovation d'ingénierie à s'intégrer et à répondre à la vision stratégique de l'entreprise, productrice de l'innovation. L'évaluation de la valeur stratégique d'un produit technologique repose :

- l'engagement des hiérarchies au cours du projet amont
- l'analyse des risques et opportunités associés à l'innovation d'ingénierie étudiée en phase amont
- l'adéquation et l'impact de l'innovation d'ingénierie sur la vision d'entreprise

3.3.3 Les méthodes et outils de caractérisation des indicateurs

En seconde partie de l'état de l'art (Chapitre 2), nous avons étudié des méthodes et outils pour caractériser les indicateurs de pilotage. En lien avec l'analyse menée en Chapitre 2 et en lien avec la proposition de processus d'exécution du projet amont (Figure 58), nous proposons dans le Tableau 11 des méthodes et outils de caractérisation des sous-critères et critères des indicateurs de pilotage.

La qualification des critères et sous-critères reposent principalement sur les scénarios AS-IS et TO-BE. En effet, c'est en décrivant le scénario AS-IS du cas pilote que les parties prenantes

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

expriment et formalisent leurs besoins. Ensuite en imaginant et modélisant un scénario TO-BE, elles spécifient le produit technologique et son environnement opérationnel. C'est à partir de ces spécifications qu'une architecture de produit technologique est proposée, et que des prototypes sont créés.
D'autre part l'étude du scénario TO-BE permet de définir l'environnement opérationnel et de le décliner en environnement représentatif et simplifié.
Le scénario TO-BE et les tests des prototypes permettent d'anticiper les exigences liées au cycle de vie de la future innovation d'ingénierie et de vérifier l'utilité La satisfaction du client est évaluée en testant les prototypes de produit technologique dans le scénario TO-BE, défini par les parties prenantes, en adéquation avec les besoins du client.
De plus, en comparant les scénarios AS-IS et TO-BE, on identifie des améliorations. En définissant en scénario AS-IS des critères d'amélioration et en les évaluant dans le scénario TO-BE lors des tests, les parties prenantes sont en mesure de quantifier les critères d'amélioration. On identifie ainsi un retour sur investissement, qui permet de calculer les critères de rentabilité. Il est ici question de gains quantitatifs mais l'identification de gains qualitatifs enrichit la valeur ajoutée apportée par la future innovation d'ingénierie.
On précise que les roadmaps et matrice SWOT sont des outils préconisés pour évaluer la valeur stratégique d'une innovation d'ingénierie.

L'évaluation des sous-critères et critères est incrémentale et se complexifie avec le niveau de TVL étudié. Pour aider les parties prenantes dans l'approche des TVL, un questionnaire est proposé interrogeant les critères et sous-critères en Tableau 11. Cependant, pour des raisons de confidentialité, ce questionnaire ne peut être diffusé.

Le scénario d'usage apparait donc comme un outil clé pour évaluer la valeur d'un produit technologique d'innovation d'ingénierie. L'élaboration des scénarios AS-IS et TO-BE ainsi que les méthodes nécessaires pour spécifier un produit technologique ou évaluer la rentabilité seront explicitées plus en détail dans le Chapitre 5.

Tableau 11 : Critères et sous-critères pour évaluer la valeur (TVL) d'une innovation d'ingénierie

Critères	Sous-critères	Méthodes et Outils
VALEUR FONCTIONNELLE		
Démonstration de la faisabilité technologique	• Définition des exigences et des spécifications des composants, de l'intégration et du système global • Formalisation des contraintes (certification, réglementaire, de sécurité) • Définition de l'architecture du système • Tests des composants et du système • Analyse et anticipation des problématiques de propriété industrielle	Analyse du modèle des scénarios AS-IS et TO-BE Tests des prototypes
Vérification de la capacité d'intégration	• Spécification de l'environnement opérationnel • Spécification de l'environnement représentatif • Spécification de l'environnement simplifié • Tests des composants et du système dans les environnements d'usage	Spécification des environnements à partir de l'environnement opérationnel dans le scénario TO-BE
Anticipation de la gestion du cycle de vie du produit	• Définition des exigences du développement et de la mise en service (impacts, plan de déploiement, fournisseurs, partenaires)	Analyse du modèle des scénarios AS-IS et TO-BE

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

	• Définition de la stratégie de support et de la gestion de l'obsolescence	
UTILITE		
Identification du client	Pas de sous-critères	Analyse du cas pilote
Formalisation des besoins du client	• Définition des problématiques techniques et métiers visées • Formalisation des besoins métier • Définition des applications industrielles	Analyse du modèle du scénario AS-IS
Anticipation et validation des usages	• Modélisation des scénarios d'usage • Anticipation et analyse des compétences nécessaires à l'utilisation • Identification des éventuels impacts organisationnels • Validation des usages par les prototypes	Voir Chapitre 5 Tests des prototypes dans le scénario TO-BE
RENTABILITE		
L'identification et évaluation de gains quantitatifs	Pas de sous-critères	Comparaison de critères de gains entre le scénario TO-BE et AS-IS Critères de rentabilité Identification de gains qualitatifs
L'identification et évaluation de gains qualitatifs	Pas de sous-critères	
VALEUR STRATEGIQUE		
L'engagement des hiérarchies au cours du projet amont	Pas de sous-critères	Analyse d'une matrice SWOT Intégration de l'innovation d'ingénierie dans la roadmap industrielle
L'analyse des risques et opportunités associés à l'innovation d'ingénierie étudiée en phase amont	Pas de sous-critères	
L'adéquation et l'impact de l'innovation d'ingénierie sur la vision d'entreprise	Pas de sous-critères	

La vue Méthodes & Outils du modèle de pilotage est améliorée et adaptée au cas des innovations d'ingénierie en créant de nouvelles classes et en adaptant les attributs (les tableaux ci-dessous présentent seulement les nouveautés):

[Class] indicateur

Outil d'évaluation et d'aide à la décision au jalon. L'indicateur renseigne à un instant t de l'état du produit technologique.

Pour une innovation de produit hélicoptère, les décisions sont prises à partir de l'indicateur « maturité ».

Pour une innovation d'ingénierie, un produit technologique est évalué en fonction de sa valeur fonctionnelle, de son utilité, de sa rentabilité et de sa valeur stratégique.

Un indicateur se caractérise par des critères et sous-critères et par des méthodes et outils de caractérisation.
Les indicateurs s'intègrent dans une approche globale d'évaluation.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

[Class] méthode d'évaluation
Méthode globale d'évaluation d'un produit technologique, de ses indicateurs et critères. Cette classe prend en compte l'ensemble des méthodes et outils utilisés pour caractériser un indicateur et soutenir une décision. Cette classe représente la boite à outils du projet amont. On retrouve dans cette classe le questionnaire TVL mais aussi la matrice SWOT, les roadmaps, les critères de rentabilité (Tableau 5).
[Class] scenario AS-IS
Etat des pratiques industrielles implémentées. Le scénario AS-IS offre une image des pratiques industrielles à t0 en lien avec le cas pilote et les problématiques techniques et métiers du client.
[Class] scenario TO-BE
Etat possible de nouvelles pratiques industrielles à implémenter. Le scénario TO-BE illustre l'environnement opérationnel du produit technologique. Le scénario TO-BE est construit par l'ensemble des parties prenantes.

[Attribute] typeM&T (indicateur)
Cet attribut renseigne la méthode et/ou l'outil utilisé pour caractériser un critère et son indicateur.
[Attribute] critère, sous-critères (indicateur)
La caractérisation d'un indicateur peut reposer sur la caractérisation de critères et de sous-critères (Tableau 5).

3.4- La vue Information : précision des livrables en phase amont

La vue Information (Figure 62) rassemble les éléments consommés, transformés et produits au cours du processus amont (de la phase de définition à la phase d'exécution).

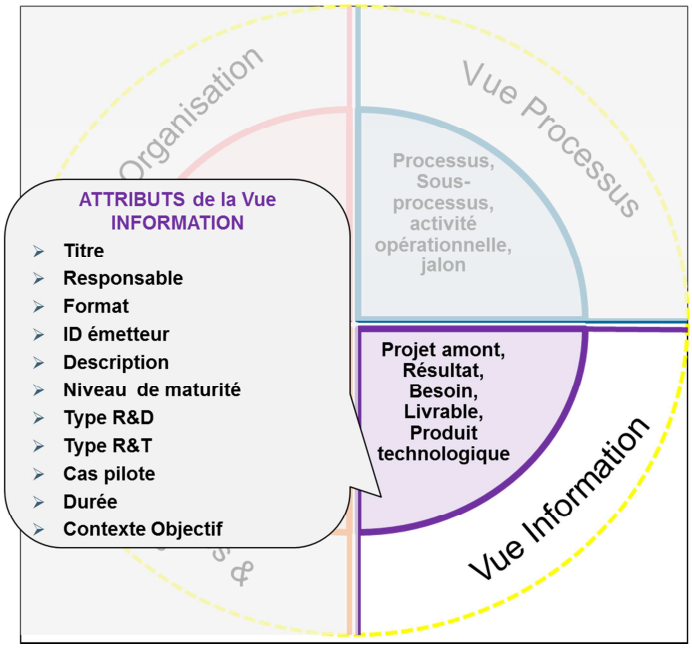


Figure 62 : Zoom sur la vue Information du modèle de pilotage d'une innovation

Dans le cas d'innovation de produit hélicoptère, on a vu que l'exécution d'un projet amont est assez flou en termes d'activités, de méthodes, d'outils et de livrables : les parties prenantes ne sont pas guidées dans l'exécution du projet amont, dans l'évaluation d'un produit technologique et dans la

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

caractérisation des indicateurs. Les limites de la vue Processus ont été comblées à l'aide d'une nouvelle approche d'exécution du projet amont, basée sur l'ingénierie système et les scénarios d'usage. La vue Méthodes et Outils a été améliorée par la définition d'indicateurs de valeurs et d'outils d'évaluation.
A présent, on propose d'améliorer le pilotage d'innovation en phase amont en détaillant la classe [livrable] du modèle. Le projet amont doit permettre d'anticiper et de produire les preuves nécessaires à la caractérisation des indicateurs de valeur. Le Tableau 12 résume les livrables par phase du processus amont.

Tableau 12 : Ensemble des livrables du processus amont, de la phase de définition à l'exécution

Livrables de la phase de définition et acquisition	**Livrables de la phase d'exécution**	
	Spécification du produit technologique	**Prototypage et évaluation de la maturité**
Formalisation du besoin du client	Modèle du scénario AS-IS	Prototype des composants, des sous-systèmes et du produit technologique
Identification et caractérisation du client	Description détaillée et priorisée des faiblesses du scénario AS-IS	Résultats des tests : - des composants dans l'environnement simplifié - des sous-systèmes dans l'environnement représentatif - du produit technologique dans l'environnement représentatif
Définition du cas pilote : problématique technique et métier, acteurs, contexte	Liste des actions correctives au scénario AS-IS en lien avec les faiblesses	Validation du cahier des exigences
Définition du ou des produits technologiques traités dans le cadre du projet amont	Modèles du scénario TO-BE	Business case : - Valeur des critères de gains dans le scénario TO-BE représentatif - Calculs des critères de rentabilité - Définition de gains qualitatifs
Définition de l'équipe du projet amont	Définition de l'environnement : - TO-BE opérationnel - TO-BE représentatif - TO-BE simplifié	Analyse de la matrice SWOT
Proposition technique et financière (activités, budget, planning)	Définition de critères de gains + Valeur des critères de gains dans le scénario AS-IS	Roadmap et applications industrielles du produit technologique
Engagement des hiérarchies au kick off meeting	Cahier des exigences (fonctionnelles, contraintes, opérationnelles, cycle de vie, propriété intellectuelle)	Stratégie de déploiement et de support
	Analyse fonctionnelle du produit technologique	Analyse des compétences et savoir-faire
		Validation des revues du questionnaire TVL

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Synthèse Partie 3- Conception d'une méthodologie dédiée aux innovations d'ingénierie

A partir de l'analyse du modèle de pilotage d'innovation de produit hélicoptère en phase amont, on propose une méthodologie de pilotage d'innovation d'ingénierie. Le pilotage d'innovation d'ingénierie modifie quelque peu la typologie des parties prenantes d'un projet amont. De plus, on propose d'améliorer l'exécution d'un projet amont en structurant les études de faisabilité par une approche d'ingénierie système. L'ingénierie système est ici utilisée pour des projets en phase amont. De plus, on décide de piloter les études de faisabilité par une évaluation de la valeur d'un produit technologique. La valeur est évaluée à l'aide d'une adaptation de la méthodologie des TRL en TVL, et s'appuie sur quatre indicateurs : la valeur fonctionnelle, l'utilité, la rentabilité et la valeur stratégique. La caractérisation des indicateurs repose sur des critères et sous-critères, caractérisés, en partie, à l'aide de scénarios d'usages. Un questionnaire TVL guide les parties prenantes dans l'évaluation de la valeur et interroge, à chaque jalon, les critères et sous-critères.

Finalement, à partir de l'analyse de l'état de l'art, du diagnostic des pratiques pour les innovations de produit hélicoptère et de son analyse, on propose un modèle global de pilotage d'innovation d'ingénierie en Figure 63.

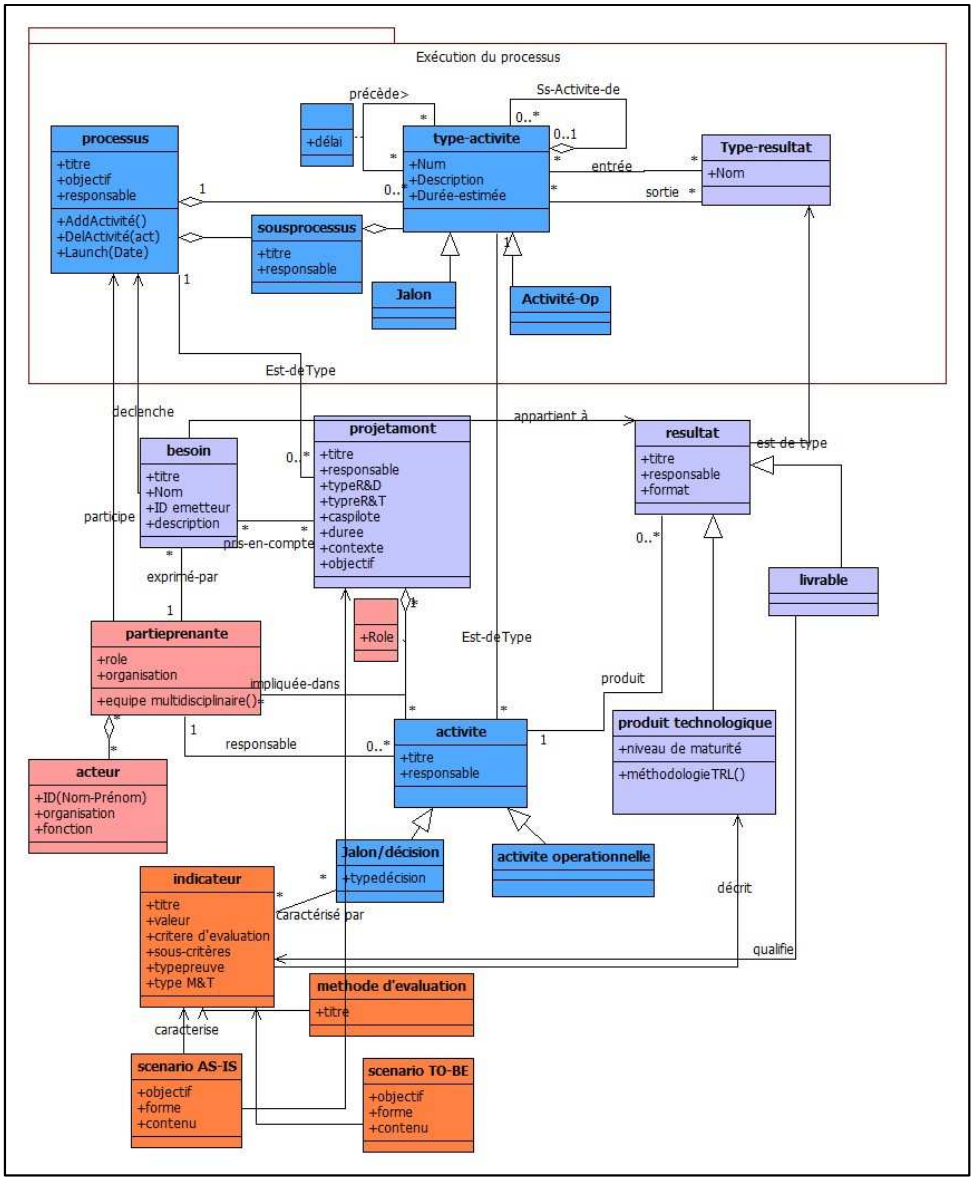


Figure 63 : Modèle du pilotage d'une innovation d'ingénierie en phase amont

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Conclusion Chapitre 4 : Méthodologie de pilotage d'innovation d'ingénierie en phase amont

Ce chapitre constitue le cœur de la contribution scientifique de cette thèse : de nouveaux savoirs sont élaborés à partir de l'analyse des savoirs publiés et des savoirs locaux chez Airbus Helicopters. Notre objectif était de proposer des moyens et des indicateurs pour piloter une innovation d'ingénierie lors des études de faisabilité en phase amont, tout en tenant compte des exigences d'Airbus Helicopters. Airbus Helicopters souhaite que le pilotage repose sur la logique actuelle appliquée (méthodologie des TRL) pour le pilotage amont d'innovation de produit hélicoptère.

A partir de la définition des besoins et exigences d'Airbus Helicopters, un diagnostic du pilotage d'innovation de produit hélicoptère a permis de formaliser la typologie des projets amont, la typologie des parties prenantes, les résultats amont et, surtout, le processus exécuté pour définir et exécuter un projet amont. Les études de faisabilité se caractérisent par des projets de recherche appliquée ou de développement expérimental. Les produits technologiques étudiés ont une maturité inférieure à TRL6.

Suite au diagnostic, un modèle de pilotage d'innovations de produit hélicoptère est défini. Ce modèle est ensuite interrogé pour le cas d'une innovation d'ingénierie : quels éléments du modèle sont à modifier, à ajouter pour piloter une innovation d'ingénierie ? Nous avons mis en évidence quelques limites :

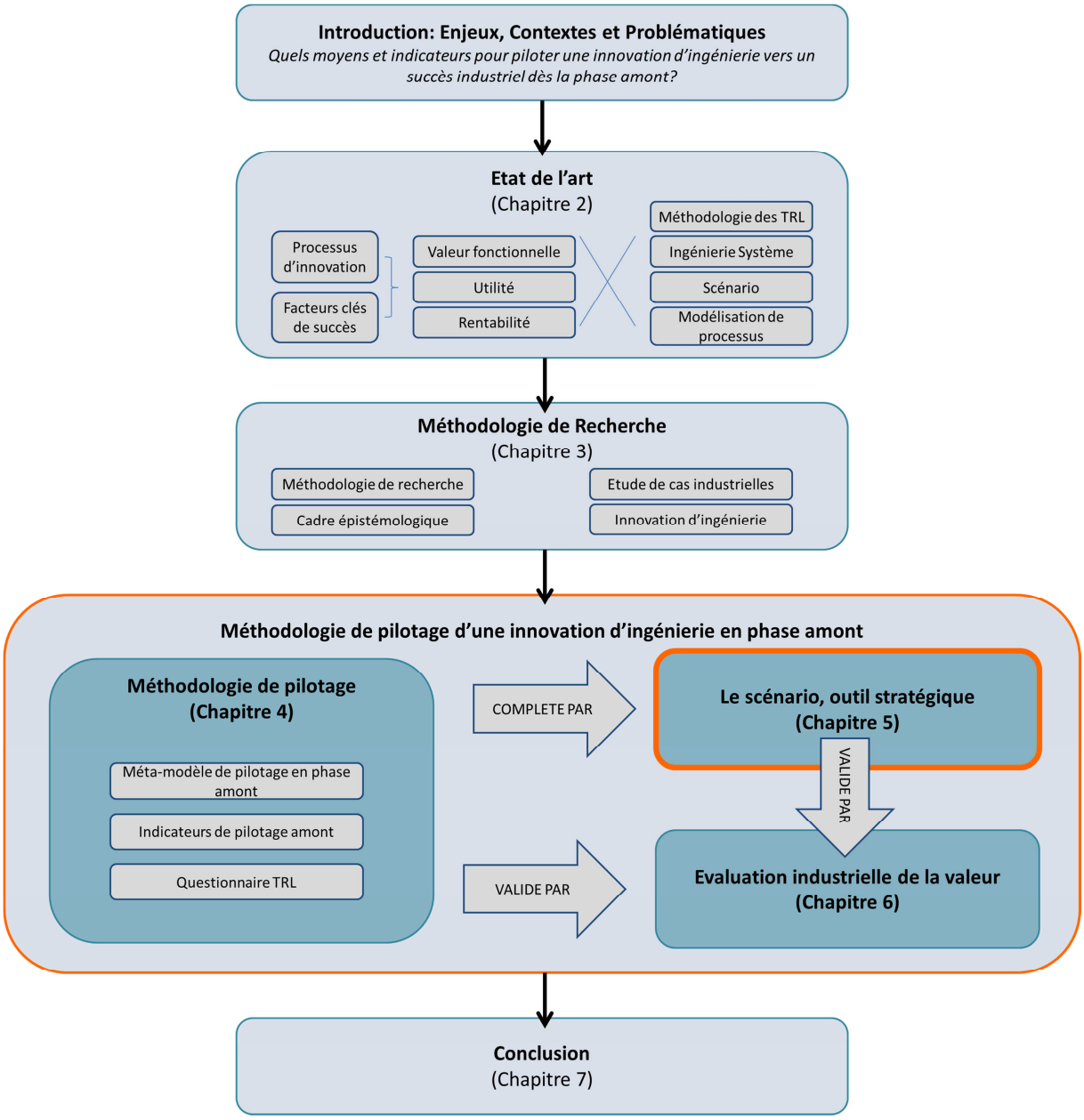
- le processus d'exécution du projet amont n'est pas assez structuré : les parties prenantes ne savent pas quelles activités menées lors du projet pour pouvoir ensuite conduire l'évaluation de la maturité
- les jalons décisionnels reposent sur une évaluation de la maturité, mais comment caractériser les indicateurs associés ?

A l'aide de cette analyse, une méthodologie dédiée aux innovations d'ingénierie est conçue. Le pilotage d'innovation d'ingénierie implique de nouvelles parties prenantes et de nouveaux rôles. De plus, on propose d'exécuter un projet amont à l'aide d'une approche d'ingénierie système à laquelle nous intégrons des scénarios d'usage et une évaluation de la valeur. Le Chapitre 4 présente ainsi la méthodologie de pilotage d'une innovation d'ingénierie en phase amont en décrivant l'organisation à définir, les projets à formaliser, le processus à mettre en œuvre, les méthodes et outils à appliquer et enfin, les livrables à formaliser.

Mais **comment modéliser les scénarios d'usage ? Comment spécifier un produit technologique à partir d'un scénario d'usage ?** C'est ce que nous allons voir au chapitre suivant.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Chapitre 5 - Le scénario, outil stratégique en phase amont



L'exécution d'un projet amont, présentée en Chapitre 4 (Figure 58), repose sur l'élaboration de scénarios d'usage AS-IS et TO-BE. Le Chapitre 5 se focalise sur les activités 1 à 5 : élaboration et analyse du scénario AS-IS, conception d'un scénario TO-BE, formalisation des exigences du produit technologique et enfin analyse fonctionnelle du produit technologique. L'objectif du chapitre 5 est de montrer comment le scénario d'usage en tant qu'outil fournit des données et informations permettant d'évaluer les TVL (cahier des spécifications, prototypes et gains).

Dans un premier temps, nous rappellerons les intérêts et enjeux du scénario d'usage, puis nous nous intéresserons à son élaboration. Ensuite, nous montrerons comment le scénario d'usage permet de spécifier un produit technologique et d'en évaluer la rentabilité.

Certains aspects de ce chapitre seront illustrés à l'aide du cas pilote n°1 : intégration aérothermique du moteur (voir Chapitre 3).

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Partie 1- Le scénario d'usage – son rôle, ses caractéristiques

1.1 - Le scénario, outil central de la phase amont

Les parties prenantes ont besoin d'outils pour imaginer et visualiser des futurs possibles en phase amont : c'est un des intérêts du scénario d'usage. Il intègre de nouvelles fonctionnalités et de nouvelles méthodes : les innovations d'ingénierie.
Le scénario d'usage doit :

- décrire des usages actuels ou possibles et ainsi :
    - capturer les besoins des acteurs impliqués et impactés par le produit technologique
    - illustrer les interfaces et l'environnement opérationnel de la future innovation
- permettre d'analyser et de comparer plusieurs alternatives
- aider à évaluer des gains engendrés par la future utilisation de l'innovation d'ingénierie

La méthodologie de pilotage, proposée au Chapitre 4, montre que le scénario d'usage soutient le cycle en V d'exécution du projet amont. Un scénario d'usage illustre deux problématiques parallèles :

- une problématique technique liée à la conception d'un produit. Par exemple, la prédiction du comportement aérothermique d'un moteur dans son compartiment
- une problématique métier qui met en avant l'utilisation d'innovation d'ingénierie pour résoudre une problématique technique. Par exemple, la nécessité de réaliser des calculs multidisciplinaires et d'automatiser des processus pour optimiser la prédiction aérothermique du moteur dans son compartiment. La problématique métier à aborder englobe à la fois les limitations liées à un métier et les limitations de collaboration inter-métiers.

La résolution de ces problématiques repose sur l'élaboration et l'analyse d'au moins deux scénarios :

- un scénario AS-IS, diagnostic des pratiques actuelles pour résoudre la problématique technique, mais qui met en évidence des problématiques métiers
- un scénario TO-BE, nouvelle démarche de travail imaginée et conçue pour résoudre à la fois la problématique technique et métier.

1.2 - Un cadre pour caractériser un scénario d'usage

1.2.1- Caractérisation d'un scénario d'usage

Pour bien structurer et comprendre le rôle de chacun des scénarios AS-IS et TO-BE, nous proposons de les caractériser à l'aide du cadre conceptuel de (Rolland et al. 1998) où un scénario se caractérise par:

- un OBJECTIF qui décrit l'enjeu de l'utilisation du scénario
- une FORME qui traite du mode d'expression du scénario en termes de description et présentation
- un CONTENU qui concerne le niveau d'abstraction du scénario, son contexte et les éléments qui le composent
- un CYCLE DE VIE qui précise l'évolution du scénario dans le temps.

Les scénarios AS-IS et TO-BE sont caractérisés sur chacun de ces quatre points.

OBJECTIF

Les scénarios AS-IS et TO-BE décrivent et expliquent des pratiques métiers et inter-métiers à implémenter pour concevoir un hélicoptère.
Le scénario AS-IS se consacre aux pratiques actuelles dans l'entreprise. Il soutient l'analyse et la

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

formalisation des difficultés associées à la problématique métier.
Le scénario TO-BE décrit et illustre de nouvelles pratiques possibles. Il explique comment ces nouvelles pratiques comblent les limites actuelles. De plus, plusieurs scénarios TO-BE sont imaginables pour résoudre une même problématique. Le scénario TO-BE peut explorer plusieurs alternatives.

FORME

Les deux scénarios sont des outils de communication : ils traduisent des pensées et idées dans un langage, supposé commun par toutes les parties prenantes impliquées.
Le scénario TO-BE, en illustrant l'environnement opérationnel d'innovations d'ingénierie, est physiquement déployé pour la réalisation des tests de prototypes.
Mais comment formaliser leur description ?

CONTENU

Le scénario AS-IS est concret, c'est une photo de la réalité à formaliser mais pas à construire.
Le scénario TO-BE est également concret mais se veut générique : il prend en compte des besoins concrets associés à une problématique technique et métier mais contribue à concevoir une innovation générique et adaptée aux besoins des clients.
Le scénario TO-BE capture des éléments qui permettent de déterminer les exigences et spécifications d'une future innovation d'ingénierie. Le scénario TO-BE est une anticipation : il doit être construit par l'ensemble des parties prenantes.

Les scénarios AS-IS et TO-BE représentent tous deux un processus opérationnel et organisationnel au sein duquel évoluent des acteurs, qui font appel à des méthodes, outils et systèmes pour exécuter des activités.
Mais comment construire le scénario TO-BE, et ce à partir du scénario AS-IS ?
Quels éléments constituent un scénario?

CYCLE DE VIE

Les scénarios AS-IS et TO-BE font partie intégrante de la documentation du projet amont : ce sont des livrables nécessaires pour l'évaluation de la valeur d'une innovation d'ingénierie.
Le scénario AS-IS est une photo à un instant t. Le scénario TO-BE sera susceptible d'évoluer dans le temps : c'est une base de réflexion pour améliorer et optimiser les pratiques. Un scénario d'usage, aujourd'hui TO-BE, sera une fois déployé, un scénario AS-IS.

La caractérisation des scénarios d'usage AS-IS et TO-BE met en évidence quelques points à éclaircir concernant le contenu et la formalisation des scénarios. On approfondit, dans la suite du chapitre, le Contenu (1.2.2) et la Forme (1.2.3) d'un scénario.

1.2.2- Le Contenu d'un scénario : quels éléments ?

Un scénario, et plus largement un processus métier, regroupe les réponses aux questions quoi, pourquoi, qui, où, quand, comment relatives à une problématique posée (AFNOR 2002). Ces réponses caractérisent des vues de modélisation du processus. Nous choisissons les quatre vues suivantes (Curtis et al. 1992) et (CECIMA 2010):

- la vue fonctionnelle qui représente les concepts du processus,
- la vue logique qui représente comment les concepts sont liés entre eux,
- la vue organisationnelle qui représente où et par qui les concepts du processus sont exécutés,
- la vue informationnelle qui représente les données consommées et produites tout au long du processus.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Un scénario se compose ainsi de quatre vues (Figure 64), et chacune de ces vues est caractérisée par des concepts (objectifs du scénario, processus, jalons, données d'entrée …). Ce sont ces concepts qui forment le contenu d'un scénario.
La vue fonctionnelle décrit les *activités* du scénario, réalisées pour délivrer de la valeur aux clients: la résolution d'une problématique technique et métier dans notre contexte. La vue logique explique comment les *activités* s'enchainent et identifie les éventuels *jalons.* La vue organisationnelle précise quelles sont les *parties prenantes* qui pilotent et réalisent les activités et la vue informationnelle renseigne l'ensemble des *objets* qui transitent et fluctuent pendant et entre les activités : données d'entrée, données de sortie, livrables, méthodes.

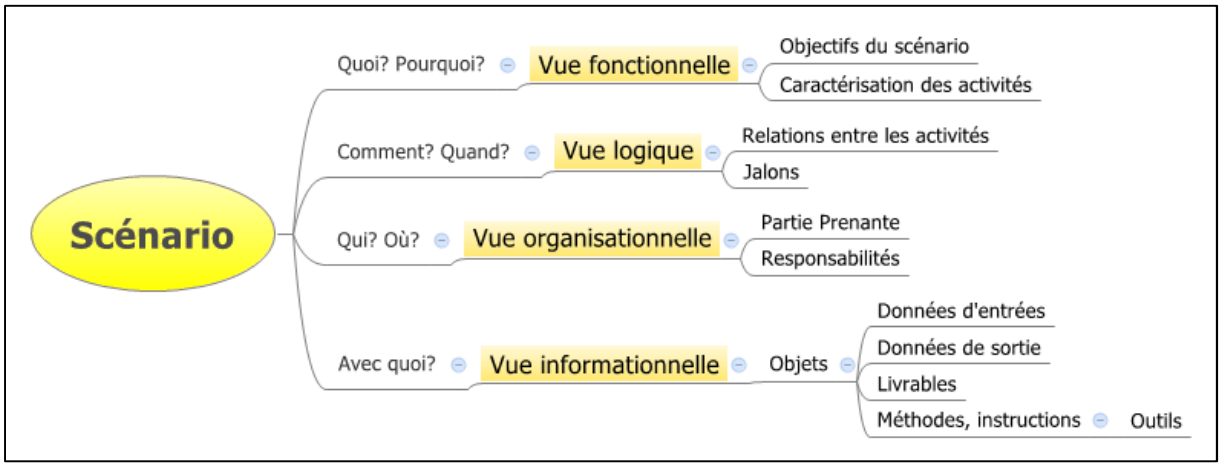


Figure 64: Vers le contenu d'un scénario

Le concept de scénario se compose finalement des concepts (activité, jalon, partie prenante, objet) définis ci-dessous.

Scénario

Un scénario d'usage a pour objectif d'apporter des réponses/solutions aux besoins de clients. Dans notre contexte, les besoins sont liés à une ou plusieurs problématiques techniques et à une ou plusieurs problématiques métiers, exprimées en début de phase amont par les parties prenantes.
Un scénario se caractérise par un objectif qui décrit la problématique technique et métier.

Activité (Vue fonctionnelle et logique)

Une activité est pilotée par une partie prenante et se caractérise par un objectif et un responsable.
Au cours de l'exécution du scénario, les activités sont exécutées selon une chronologie : il existe des relations entre activités. La réalisation de chaque activité mobilise des ressources et s'appuie sur des méthodes et outils.

Jalon (Vue logique)

Un jalon pilote la réalisation de la séquence des activités du scénario. Le jalon est un point de passage qui conduit à des décisions, prises à partir de l'analyse d'indicateurs et de livrables.

Objet (Vue informationnelle)

Un objet fournit des informations sur ce que les activités consomment, transforment et produisent. On trouve les données d'entrée, de sortie, des objets supports (méthodes ou instructions, outils), des livrables …

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Un objet se caractérise par un titre, une nature, un format, un volume, un émetteur, un récepteur, et éventuellement une localisation.

Partie prenante (Vue organisationnelle)

Une partie prenante participe au projet amont et inclut clients, fournisseurs, partenaires et tous autres métiers impliqués. Chaque partie prenante incarne des responsabilités. Une partie prenante se caractérise par une identité, une organisation et des responsabilités.

1.2.3- La Forme d'un scénario: définition d'un langage de modélisation

La forme d'un scénario correspond à l'organisation et aux relations entre les concepts de son contenu. Un processus métier, et plus précisément un scénario d'usage, se formalise à l'aide d'un langage :

- qui s'appuie sur une syntaxe dite « abstraite » où sont définis les concepts et leurs relations ; et sur une syntaxe dite « concrète » qui précise les formalismes appliqués pour modéliser les concepts (Combemale 2008).
- où chaque syntaxe s'appuie sur une sémantique qui précise comment interpréter les concepts (Hardebolle 2008).

La syntaxe « abstraite » est basée sur l'UML (Unified Modelling Language) (Rumbaugh et al. 1999) et s'appuie sur le langage naturel français comme sémantique (Figure 65). L'outil logiciel de modélisation est StarUML. La syntaxe dite « concrète » s'appuie sur la notation BPMN[3] de l'OMG (Object Management Group) (en Annexe 1). La notation BPMN est une notation graphique standardisée qui relève de la modélisation de processus métiers. Chacune des deux syntaxes est associée à une sémantique : un langage naturel associé au vocabulaire industriel. La Figure 65 modélise la syntaxe abstraite d'un scénario d'usage : chacun des concepts, précédemment identifiés, dans la vue Contenu est décrit et les liens entre concepts sont précisés.

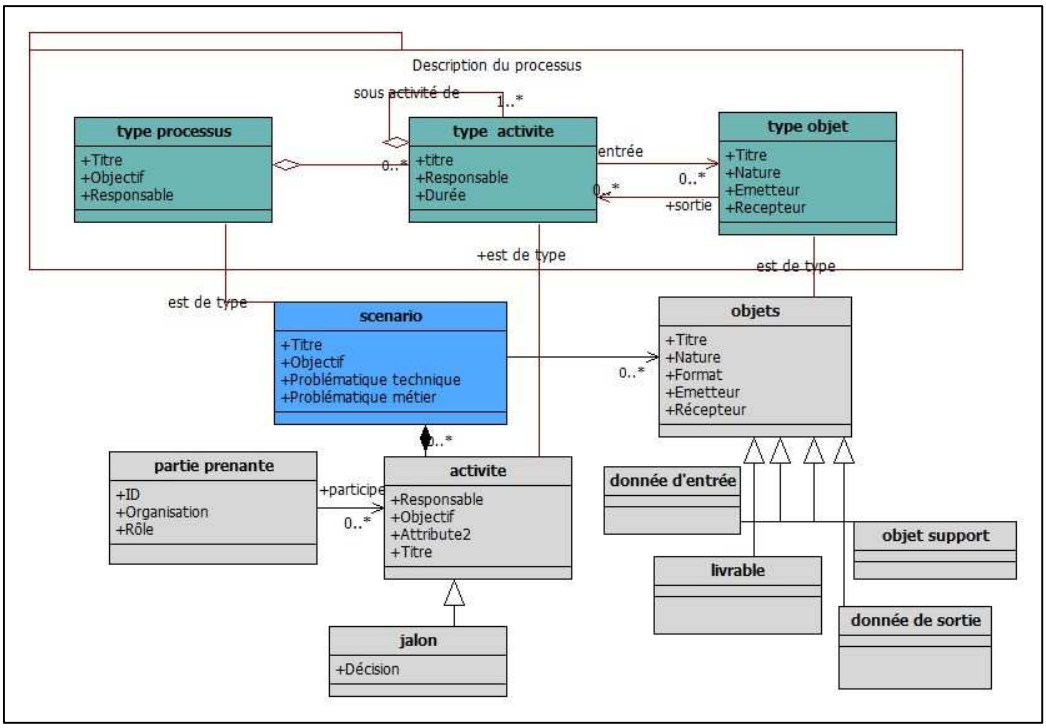


Figure 65: Modèle d'un scénario d'usage (syntaxe abstraite)

[3] Business Process Modelling Notation

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

En conclusion, les scénarios d'usage AS-IS et TO-BE soutiennent l'exécution du projet amont en aidant les parties prenantes à visualiser un processus métier. Ce processus métier correspond à des pratiques existantes, ou en devenir, associées à une problématique technique et métier. L'exécution d'un projet amont, et plus précisément l'étude d'une innovation d'ingénierie, repose sur la construction des scénarios d'usage AS-IS et TO-BE. Un scénario d'usage se compose de concepts {activité, jalon, objet, partie prenante} modélisé en Figure 65. Concevoir un scénario d'usage AS-IS ou TO-BE nécessite de caractériser chacun des concepts de la syntaxe abstraite et de modéliser leurs interactions sous le langage BPMN (syntaxe concrète).

1.3 – Précision sur le scénario TO-BE

Le scénario TO-BE représente un futur possible dont l'implémentation résout à la fois la problématique technique et métier. Plusieurs scénarios TO-BE sont envisageables pour résoudre une même problématique. Un scénario TO-BE est construit sur la base du scénario AS-IS : soit il s'en inspire et propose des améliorations, soit il se positionne en rupture. On parlera de scénario incrémental ou de scénario de rupture, illustrés en Figure 66.

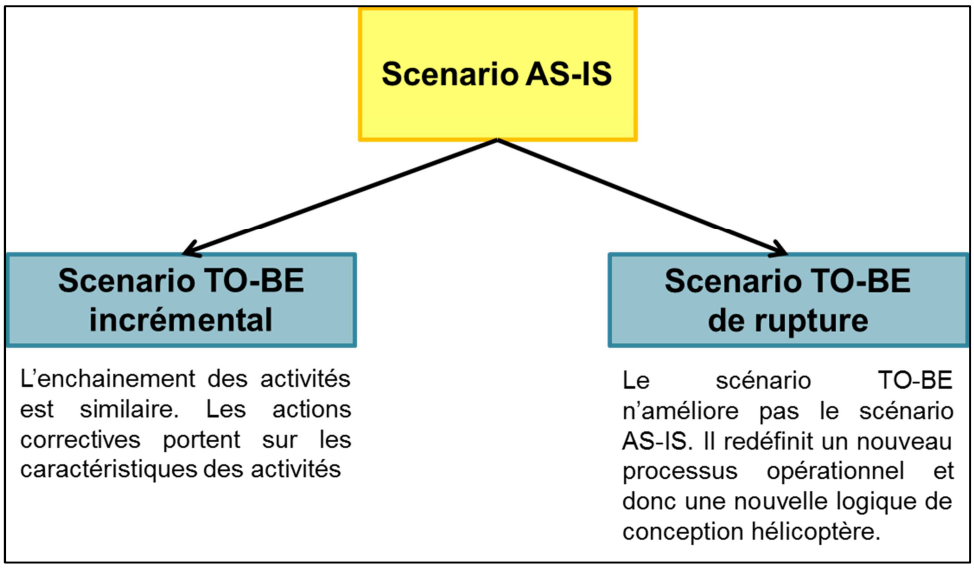


Figure 66 : Caractérisation des scénarios

Le scénario TO-BE incrémental intègre des actions correctives au niveau des activités et de leurs caractéristiques. En d'autres termes, ce n'est pas l'approche globale métier qui est remise en cause, mais seulement les méthodes et outils sur lesquels s'appuie l'exécution des activités. C'est donc principalement la vue informationnelle qui est retravaillée. On s'intègre ici dans une approche d'amélioration de la qualité ou de lean engineering (Hammer & Champy 2003).

Le scénario TO-BE de rupture intègre des actions correctives sur toutes les vues du contenu d'un scénario (vues fonctionnelle, logique, organisationnelle et informationnelle). Il est ici question de réingénierie, où un changement radical est opéré: « *une remise en cause fondamentale et une redéfinition radicale des processus opérationnels pour obtenir des gains spectaculaires dans les performances critiques que sont les coûts, la qualité, le service et la rapidité* » (Hammer & Champy 2003). Le scénario AS-IS est analysé pour en comprendre les objectifs, mais le scénario TO-BE réinvente les méthodes de travail. Un travail de fond est à mener : imaginer et collecter les concepts du scénario TO-BE. Le scénario TO-BE de rupture remet en cause la répartition des tâches, la logique des activités et les frontières organisationnelles. Créer un scénario TO-BE de rupture demande un travail différent, privilégiant l'imagination, la réflexion et les échanges entre les parties prenantes.

Les différents cas pilotes (présentés en Chapitre 3), sur lesquels s'appuie cette thèse, font appel à des scénarios TO-BE incrémentaux.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Synthèse Partie 1- Rôle et caractéristique du scénario d'usage en phase amont

La méthodologie de pilotage en phase amont s'appuie sur des scénarios d'usage. Le scénario d'usage illustre un processus métier, dont le déploiement résout à la fois une problématique technique de conception et une problématique métier. On identifie le scénario d'usage AS-IS comme diagnostic des pratiques opérationnelles actuelles et le scénario d'usage TO-BE comme futur possible de nouvelles pratiques.
Un scénario d'usage se caractérise par un objectif, une forme, un contenu et un cycle de vie. On propose de créer un scénario autour des concepts (activité, jalon, partie prenante, objet). Décrire un scénario consiste à caractériser ces concepts et leurs attributs, et à les modéliser sous le langage BPMN (Business Process Modelling Notation). La modélisation sous BPMN s'appuie sur la syntaxe abstraite (modèle UML en Figure 65). Le scenario TO-BE est à construire à partir du scenario AS-IS. Plusieurs scénarios TO-BE peuvent améliorer un même scénario AS-IS. On distingue ainsi le scénario TO-BE dit incrémental et le scénario TO-BE dit de rupture. Dans cette thèse, on se focalisera uniquement sur les scénarios TO-BE incrémentaux.

Partie 2- Elaboration des scénarios AS-IS et TO-BE dans le processus amont

La caractérisation de chacun des scénarios AS-IS et TO-BE étant plus claire, regardons à présent comment les élaborer au sein du processus d'exécution d'un projet amont (Figure 67) :

- Activité 1 : Elaborer le scénario AS-IS
- Activité 2 : Analyser le scénario AS-IS
- Activité 3 : Concevoir un scénario TO-BE

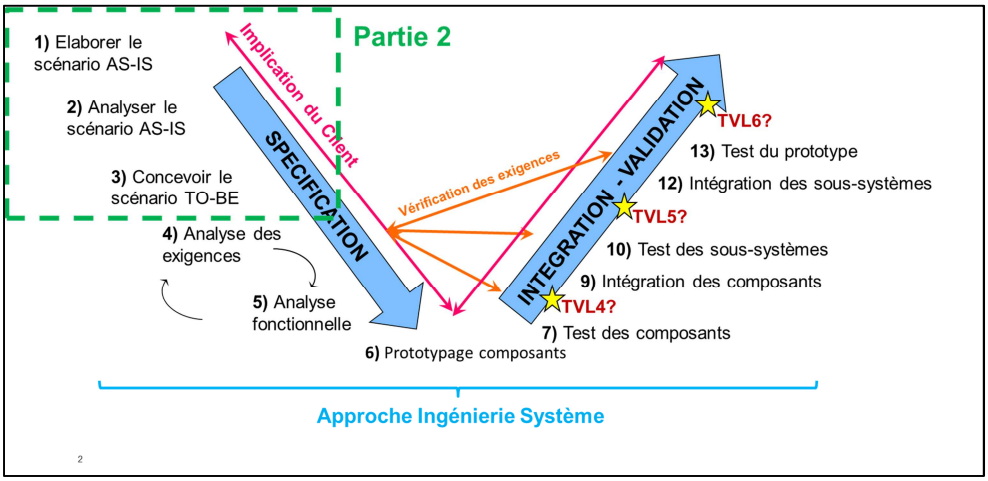


Figure 67: Focus sur les activités 1 à 3 du processus d'exécution d'un projet amont

2.1- Activité 1 : Elaborer le scénario AS-IS

L'activité 1, pilotée par le responsable du produit technologique, est déclenchée par une décision de lancement du projet amont prise lors d'un kick off meeting de démarrage de projet. L'objectif de l'activité 1 est d'élaborer le scénario AS-IS, représentatif des pratiques opérationnelles relatives au cas pilote du projet amont.

La modélisation du scénario AS-IS nécessite trois tâches:

- Tâche 1.1 : collecter les données pour qualifier les concepts d'un scénario
- Tâche 1.2 : modéliser sous BPMN le scénario AS-IS
- Tâche 1.3 : valider le modèle du scénario AS-IS

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Activité 1- Tâche 1.1 : Collecter les données pour qualifier les concepts d'un scénario

Les données sont à collecter sur le terrain par le responsable du produit technologique à partir d'interviews auprès des parties prenantes (CECIMA 2010). Durant cette thèse, les parties prenantes sont contactées par email pour une interview d'une heure. Les interviews sont semi-formelles et se réalisent à l'aide d'un guide. Il présente l'objectif et la démarche à suivre pour collecter et caractériser les concepts d'un scénario. Le guide a été construit dans le cadre de cette recherche et est applicable pour tout projet amont d'innovation d'ingénierie.
La collecte est menée à partir d'une adaptation de l'approche SIPOC (Pillet 2003) (Improvement Skills Consulting 2008) où SIPOC est une abréviation anglaise pour Supplier-Input-Process-Output-Customer (Tableau 13). Dans notre contexte :

- le cœur de l'approche correspond aux activités du scénario (Process pour SIPOC)
- une activité est activée par un déclencheur et transforme des données d'entrée (Inputs pour SIPOC),
- les données d'entrée sont émises par des émetteurs (Supplier pour SIPOC)
- la transformation des données d'entrée, pendant les activités, repose sur l'utilisation d'Objets supports qui comprennent des méthodes, des outils et toute autre ressource nécessaire à la réalisation d'une activité
- les activités produisent des données de sortie (Output pour SIPOC)
- les données de sortie sont envoyées à un ou plusieurs clients (Customer pour SIPOC)

Les déclencheurs, données d'entrée et de sortie permettent de dessiner les relations entre activités.
Le guide d'interview vise la collecte et la caractérisation des concepts (Contenu d'un scénario), activité par activité (Tableau 13).

Tableau 13 : Adaptation de l'approche SIPOC pour collecter les concepts du scénario AS-IS

Déclencheur	Emetteur	Données d'entrée	Activité	Objets supports	Données de sortie	Client
Activité précédente, évènement, jalon	Identité Organisation	Nature, format, emplacement des données, volume	Objectif et Responsable	Méthodes, outils, autres ressources	Nature, format, emplacement des données, volume	Identité Organisation

Chacun des acteurs interrogés renseignera les activités qu'il réalise et celles auxquelles il participe en tant qu'émetteur ou client. Le responsable du produit technologique obtient ainsi une vision et une caractérisation des activités du scénario AS-IS.

Illustration sur l'exemple du cas pilote n°1 :
Un exemple de cette approche est réalisé sur le cas pilote n°1 et présenté en Annexe 2. La problématique technique concerne la prédiction aérothermique du moteur dans son compartiment et la problématique métier concerne la gestion des données et processus de simulation.

Activité 1- Tâche 1.2 : Modéliser sous BPMN le scénario AS-IS

A partir du tableau complété en tâche 1.1, le responsable du produit technologique est en mesure de modéliser sous BPMN un premier modèle de scénario AS-IS. Cette tâche est réalisée à l'aide de l'outil de modélisation Bizagi et génère un modèle de scénario AS-IS.

Illustration sur l'exemple du cas pilote n°1 :
Pour des raisons de confidentialité, il n'est pas possible de communiquer les modèles BPMN du cas pilote de l'intégration moteur. On propose alors une version simplifiée pour illustrer nos propos et aider

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

le lecteur dans sa compréhension. La Figure 68 illustre le modèle du scénario AS-IS pour le cas pilote n°1. Il a été construit à partir de l'approche SIPO C en Annexe 2.

Le processus s'initie par la réception d'une géométrie de peau du moteur par le designer. Le designer est en charge d'assembler cette géométrie à la géométrie globale de l'hélicoptère (activité a). Ensuite, avec l'aide du thermicien et de l'aérodynamicien, il simplifie et nettoie la géométrie (activité b) : le designer fournit une géométrie simplifiée de la zone compartiment + moteur. L'aérodynamicien maille la géométrie simplifiée (activité c). En parallèle, le thermicien extrapole le comportement thermique du moteur pour certains points de fonctionnement de l'hélicoptère, à partir d'abaques du motoriste (activité d). L'aérodynamicien, à partir du maillage et des données comportementales du moteur transmise par le thermicien, calcule les champs de vitesses dans le compartiment moteur (activité e). Le thermicien exploite les champs de vitesse en les transposant sur un maillage aérodynamique affiné (activité f). Le thermicien étudie les champs de températures dans le compartiment et analyse les résultats vis-à-vis du dimensionnement de la ventilation (activité g).
Cet enchainement d'activités est réalisé pour chaque design de ventilation du compartiment moteur.

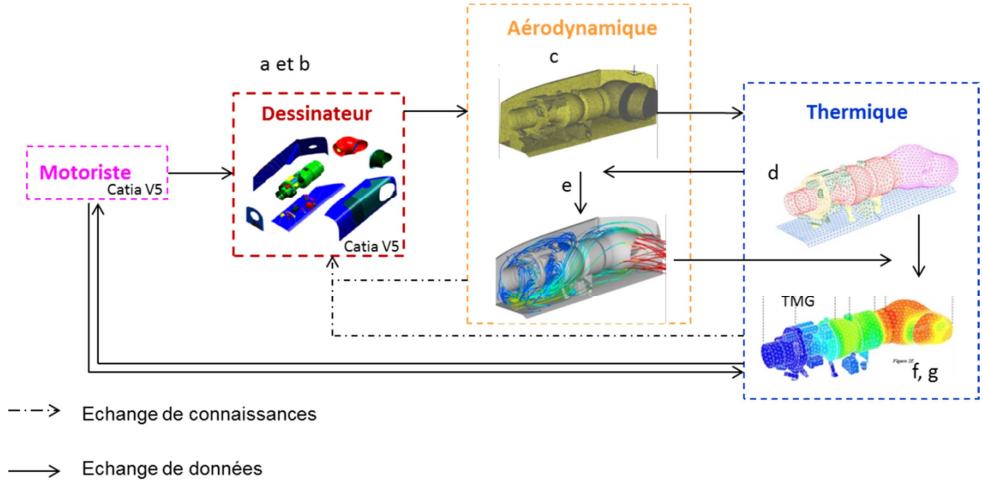


Figure 68: Modèle du scénario AS-IS du cas pilote n°1

Activité 1- Tâche 1.3 : Valider le modèle du scénario AS-IS

Le modèle de scénario AS-IS est présenté par le responsable du produit technologique à l'ensemble des parties prenantes pour vérification et validation lors d'une revue de projet. L'objectif est de vérifier qu'aucune activité essentielle au scénario n'a été oubliée, que les acteurs clés ont tous été interrogés et que le modèle du scénario AS-IS représente réellement les pratiques actuelles associées au cas pilote. Cette tâche 1.3 se conclut par un jalon où une décision est prise :

- soit, décision 1 : le modèle du scénario AS-IS construit est représentatif de la réalité et est validé par les parties prenantes. Il est décidé de passer à l'activité 2.
- soit, décision 2 : quelques éléments mineurs du modèle AS-IS sont à corriger ou ajouter. Il est alors décidé que le responsable du produit technologique corrige le modèle : itération des tâches 1.2 et 1.3 jusqu'à validation du modèle.
- soit, décision 3 : de nouvelles parties prenantes sont identifiées. Il est alors nécessaire de les interroger. Le responsable du produit technologique itère les tâches 1.1 à 1.3 jusqu'à validation du modèle.

Finalement, l'activité 1 de modélisation du scénario AS-IS, schématisée en Figure 69, est composée de trois tâches menées par le responsable du produit technologique. Elles font appel à un guide d'interview, des règles et un outil de modélisation et enfin, le plus essentiel, à une approche participative et collaborative.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

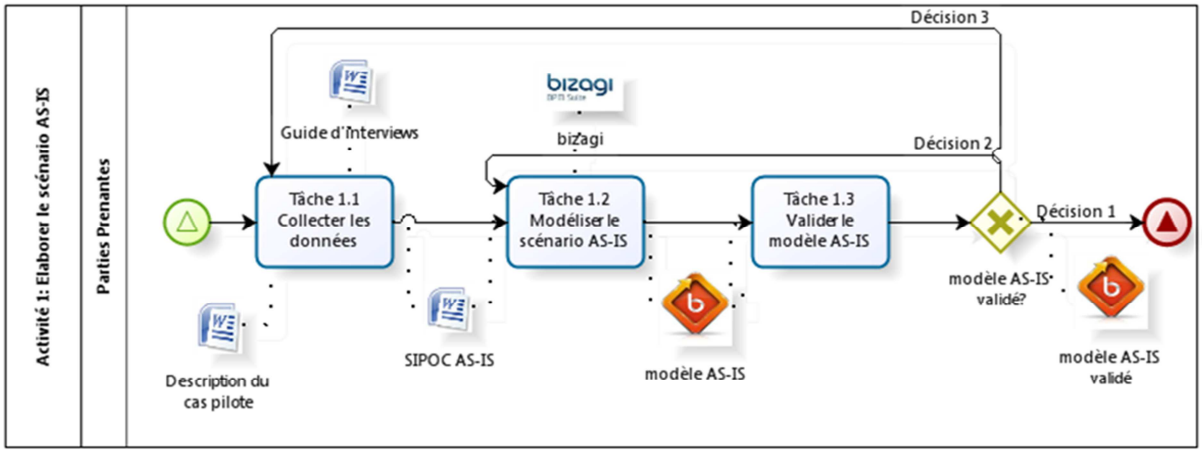


Figure 69: Modèle de l'activité 1 - Elaborer le scénario AS-IS

2.2- Activité 2 : Analyser le scénario AS-IS

L'activité 2, pilotée par le responsable du produit technologique, déclenchée par la validation du modèle de scénario AS-IS. L'objectif de l'activité 2 est d'analyser le modèle du scénario AS-IS pour en déterminer les problèmes. Ces derniers sont des besoins auxquels doit répondre les produits technologiques d'innovation d'ingénierie en étude dans le projet amont. L'activité 2 initie une approche de résolution de problèmes.

Le responsable du produit technologique ne peut pas identifier seul les limites du scénario AS-IS : cette activité est également participative et se formalise par des réunions de travail entre l'ensemble des parties prenantes du projet amont. L'analyse du scénario AS-IS repose sur les tâches :

- Tâche 2.1 : collecter les problèmes
- Tâche 2.2 : décrire les problèmes
- Tâche 2.3 : identifier les causes des problèmes
- Tâche 2.4 : prioriser les problèmes

Activité 2- Tâche 2.1 : Collecter les problèmes du scénario AS-IS

Dans un contexte de lean manufacturing, chaque flux et chaque activité représentés dans le modèle AS-IS seraient analysés en termes de coûts, de délais et de gaspillage ; c'est le value stream mapping (VSM) (Mcmanus 2005). Dans un contexte d'ingénierie (lean engineering), les notions de coûts et de délais sont plus difficilement quantifiables. Cependant, cette approche de value stream mapping convient pour identifier et collecter les problèmes du scénario AS-IS. Le responsable du produit technologique guide cette réflexion en interrogeant les parties prenantes sur les activités, sur les échanges, sur les méthodes. Les questions sont par exemple :

- est-ce que certaines données d'entrée doivent être retravaillées pour être utilisées ?
- des données sont-elles manquantes ?
- des activités sont-elles automatisables ?
- des données échangées sont-elles inutiles ?
- y-a-t-il des délais importants entre chaque activité ?
- des activités sont-elles sans valeur ajoutée ?
- la documentation pour réaliser une activité est-elle manquante ?
- existe-t-il un problème de communication aux interfaces : le responsable d'une activité connait-il ses fournisseurs de données et ses clients ?
- les flux entre les activités peuvent-ils être simplifiés ?

A partir de cette tâche 2.1, le responsable du produit technologique collecte une liste de problèmes à résoudre pour optimiser le scénario AS-IS. Pour faciliter la suite de l'activité 2, à chaque

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

problème, il est essentiel d'associer un métier responsable ou un service pour pouvoir ensuite creuser et détailler le problème en question. Dans le cas de problèmes inter-métier, le responsable M&T qui joue un rôle transversal, prendra la responsabilité du problème.
Finalement, les divers problèmes identifiés précisent la problématique métier, identifiée initialement lors du montage du projet amont.

Illustration sur l'exemple du cas pilote n°1 :
Concernant le cas pilote n°1, les problèmes identif iés sont par exemple:

Problème 1 → **Maillage non partagé** : le maillage réalisé par l'ingénieur aérodynamicien ne convient pas pour les études thermiques (activité c).

Problème 2 → **Méthode de maillage non optimisée** : les temps dédiés aux maillages sont trop longs (activité c).

Problème 3 → **Approximation des données** : les abaques fournis par le motoriste concernant le comportement thermique du moteur sont trop approximatifs (activité d).

Problème 4 → **Non-interopérabilité des outils** : les outils de calculs aérodynamique et thermique sont non-interopérables : pour pouvoir utiliser les données aérodynamiques, le thermicien doit les retravailler sous son format (activités e et f).

Problème 5 → **Méthode de calcul non optimisée** : les étapes de calculs nécessitent plusieurs itérations, il serait intéressant d'automatiser un workflow de calcul (activité e et f).

Problème 6→ **Perte de traçabilité et de qualité des données** : certaines données échangées et générées au cours du processus ne sont pas tracées : on ne sait quelle est la dernière version ni où la trouver.

Activité 2- Tâche 2.2 : Décrire les problèmes

Le responsable du produit technologique enquête et décrit chaque problème à l'aide d'une approche empirique de questionnement appelée QQOQCP (Quoi, Qui, Où, Quand, Comment, Pourquoi ?) en Tableau 14. Chaque problème est ainsi décrit par un périmètre, des enjeux et contraintes.

Tableau 14 : Fiche d'identité d'un problème du scénario AS-IS

Question	Sujet de la question	Exemple
Quoi	Problème	Quel est le problème
Qui	Personne	Qui est impliqué ?
	Service, Organisation	Quelles sont les organisation et/ou entreprises impliquées ?
Où	Concept	Sur quel concept du modèle AS-IS ?
Quand	Scenario	A quel moment du scénario AS-IS ?
Comment	Circonstances	Comment le problème apparait ? Comment est-il détecté ?
Pourquoi	Apparition du problème	Pourquoi le problème existe ?

Illustration sur l'exemple du cas pilote n°1 :
Un exemple de description de problème du cas pilote n°1 est proposé sur le Problème 3 → **Approximation des données,** due à des échanges d'abaques entre le motoriste et Airbus Helicopters.

Question	Sujet de la question	Problème 3
Quoi	Problème	Les caractéristiques thermiques du moteur, en

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

			fonction des points de fonctionnement de l'hélicoptère, sont trop approximatives
	Qui	Personne	Sont impliqués l'ingénieur thermique et le motoriste. Le motoriste appartient à une organisation externe à Airbus Helicopters.
		Service, Organisation	
	Où	Concept	Ce problème est associé aux échanges entre le thermicien et le motoriste lors du workflow de calculs.
	Quand	Scenario	
	Comment	Circonstances	Le comportement thermique du moteur n'étant pas assez précis, les analystes doivent prendre des marges lors des calculs. Les design de ventilations sont donc approximatifs.
	Pourquoi	Apparition du problème	Les données moteur sont confidentielles et de la propriété du motoriste. Il ne peut pas fournir à Airbus Helicopters le modèle comportemental du moteur. De plus, les abaques échangés ne prennent pas en compte tous les cas de vols possibles d'un hélicoptère.

Activité 2- Tâche 2.3 : Identifier les causes des problèmes

La tâche 2.3 se concentre sur l'identification des causes des problèmes, c'est-à-dire la question « Pourquoi » du Tableau 14. A partir de séances de brainstorming et de l'outil « 5Why », le responsable du produit technologique interroge les causes des problèmes. L'outil 5WHY est une des techniques utilisées dans la méthodologie DMAIC Six Sigma (Define, Measure, Analyse, Improve, Control) (Pillet 2003). Elle permet de déterminer les causes racines d'un problème.
Les cartes des causes sont réalisées avec l'outil Xmind, et sont exportables sous différents formats. Les cartes décrivent les réponses aux « Pourquoi ? ».

Illustration sur l'exemple du cas pilote n°1 :

Une identification des causes est réalisée concernant le problème 3 d'approximation des données (en Figure 70). La précision des données thermiques du moteur dépend du modèle comportemental utilisé. Ce dernier est la propriété du motoriste et est confidentiel. De plus, les échanges entre acteurs ne sont pas clairs : il n'existe pas de méthodologie, ni de format d'échanges. Le thermicien retravaille alors les données qu'il reçoit du motoriste pour pouvoir les utiliser. On identifie deux causes racines au problème 3 :

- le manque de règles d'échanges entre les acteurs.
- le manque de solutions ou de modèles intermédiaires fins pour respecter les importantes problématiques de confidentialité.

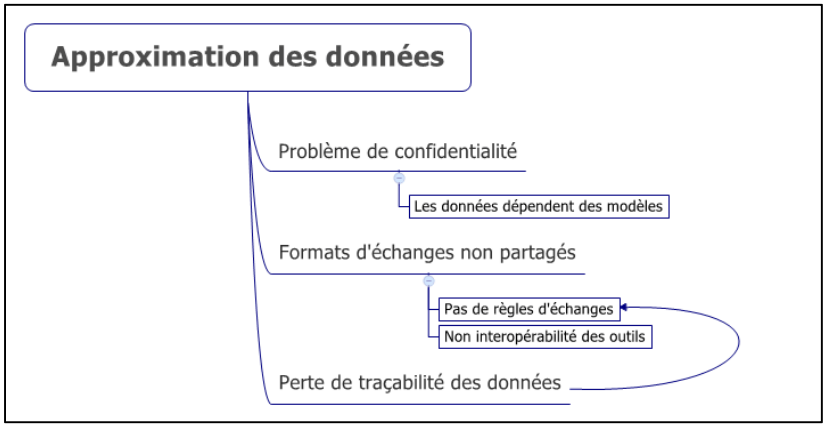


Figure 70: Causes du problème 6 « Perte de traçabilité et de qualité des données »

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Cette approche est également réalisée pour les cinq autres problèmes identifiés.

Activité 2- Tâche 2.4 : Prioriser les problèmes

Il serait idéal de résoudre tous les problèmes identifiés dans un même et seul scénario TO-BE mais, la phase amont reste exploratoire : toutes les solutions ne peuvent être abordées en un seul projet pour des raisons de lisibilité de l'avancement et d'efficacité d'affectation des ressources. Des scénarios intermédiaires (Cornu 2012) résolvant seulement les problèmes identifiés comme les plus critiques sont donc à envisager. La tâche 2.4, à partir de la liste détaillée des problèmes, de l'identification des causes, et des innovations d'ingénierie étudiées dans le cadre de projet amont, est dédiée à la priorisation des problèmes à résoudre. La priorisation des problèmes est réalisée à l'aide de deux critères :

- le problème peut-il être résolu par le projet amont en cours ? Le problème est-il en lien avec le produit technologique associé au projet amont ?
- le problème est-il plus décisif que d'autres ?

La tâche se conclut par une priorisation des problèmes à traiter dans le cadre du projet amont où s'intègre le cas pilote n°1.

Illustration sur l'exemple du cas pilote n°1 :

Concernant le cas pilote n°1, 6 problèmes sont iden tifiés :

- Problème 1 → **Maillage non partagé**
- Problème 2 → **Méthode de maillage non optimisée**
- Problème 3 → **Approximation des données**
- Problème 4 → **Non-interopérabilité des outils**
- Problème 5 → **Méthode de calcul non optimisée**
- Problème 6 → **Perte de traçabilité et de qualité des données**

Les Problèmes 3, 4, 5 et 6 sont prioritaires :

- en raison de l'opportunité du projet de recherche CRESCENDO où le produit technologique étudié (M-BDA, voir Chapitre 3) porte directement sur ces problématiques métiers.
- ils sont partagés par toute la communauté des utilisateurs d'outils de simulation d'Airbus Helicopters. Le besoin est générique.
- ils sont centraux : les problèmes 1 et 2 sont en périphérie du workflow de simulation. Les problèmes 1 et 2 fournissent des données d'entrée au workflow de calculs, qui est lui le cœur de l'étude.

En conclusion, l'activité 2 initie une approche de résolution de problèmes : quelles sont les limitations des méthodes de travail modélisées dans le scénario AS-IS et quelles en sont les causes ? L'activité 2 repose sur quatre tâches, schématisées en Figure 71, qui guident la transition entre les scénarios AS-IS et TO-BE et permettent de réduire l'effet ATAMO : « And Then a Miracle Occurs » (Forster 2006).

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

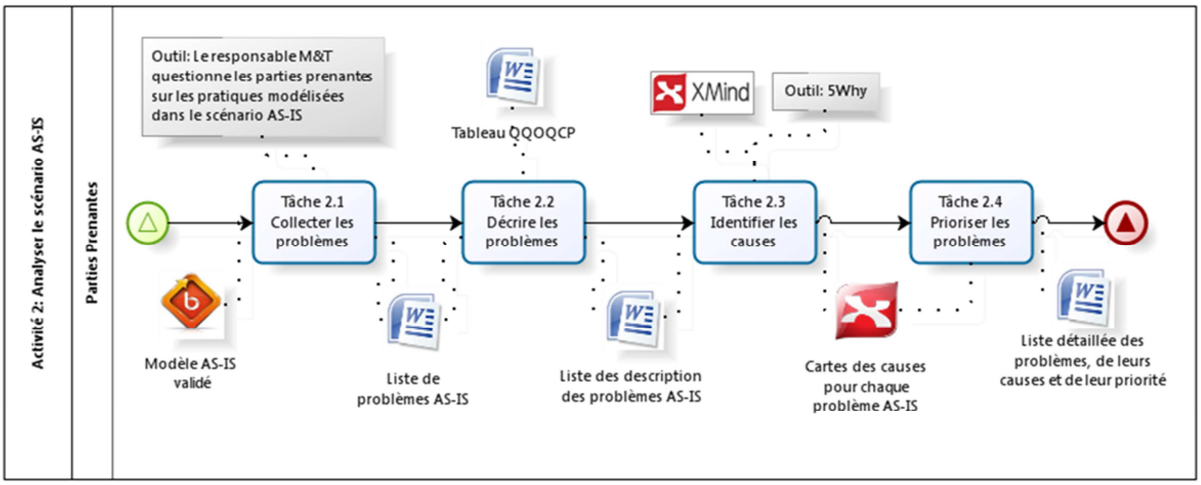


Figure 71 : Modèle l'activité 2 - Analyser le scénario AS-IS

2.3- Activité 3 : Concevoir un scénario TO-BE

L'activité 3 (Figure 73) est pilotée par le responsable du produit technologique et déclenchée par la priorisation des problèmes du scénario AS-IS. L'objectif de l'activité 3 est de construire au moins un scénario TO-BE qui réponde d'une part à la problématique technique de conception et d'autre part aux problématiques métiers spécifiées précédemment (voir activité 2). Cette activité est également participative et se formalise par des réunions de travail entre l'ensemble des parties prenantes du projet amont, que nous appelons « improvement workshop ». La conception du scénario TO-BE nécessite de :

- Tâche 3.1 : identifier des actions correctives
- Tâche 3.2 : modéliser un ou des scénarios TO-BE
- Tâche 3.3 : prioriser les scénarios TO-BE
- Tâche 3.4 : valider le modèle d'un scénario TO-BE

Activité 3- Tâche 3.1 : Identifier des actions correctives

L'identification des actions correctives est une tâche où les parties prenantes proposent des solutions pour résoudre les problèmes précédemment identifiés. A partir de la liste détaillée des problèmes priorisés et de leurs causes, ainsi que des portefeuilles de produits technologiques et d'innovation, les parties prenantes proposent des changements et améliorations pour corriger et optimiser le scénario AS-IS : elles commencent à imaginer des scénarios TO-BE. Les actions correctives peuvent être locales, c'est-à-dire qu'elles sont liées point à point aux problèmes et leurs causes. Mais, les actions correctives locales doivent s'intégrer dans une approche globale : le futur scénario TO-BE.

Durant cette tâche, les parties prenantes défendent des idées, argumentent, prennent des décisions sur des actions correctives. Soit les actions impactent quelques activités du scénario AS-IS, on propose alors un scénario TO-BE incrémental. Soit c'est la logique complète du scénario AS-IS qui est transformée, il est alors question de scénario TO-BE de rupture. Pour un scénario TO-BE incrémental, la collecte des concepts du scénario TO-BE s'appuie sur le Tableau SIPOC du scénario AS-IS crée en tâche 1.1, un nouveau tableau est conçu. Dans le cas de scénario TO-BE de rupture, le responsable du produit technologique initie une nouvelle démarche SIPOC (voir Tâche 1.1).

Les scénarios TO-BE associés aux cas pilotes traitées dans cette thèse (Chapitre 3) sont des scénarios TO-BE incrémentaux.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Illustration sur l'exemple du cas pilote n°1 :
Concernant le Problème 3 (Approximation des données du motoriste), deux actions correctives sont identifiées :
- la définition d'un protocole d'échanges qui s'appuie sur les fonctionnalités du produit technologique M-BDA (voir Chapitre 3), étudié dans le cadre du projet amont CRESCENDO. Le produit technologique M-BDA permettra de faire dialoguer des solutions logicielles de gestion de données, de calculs, d'automatisation et de collaboration.
- la définition d'un surrogate model, modèle qui imite le modèle comportemental précis sur certains points, mais qui est construit telle une boite noire pour gérer les problématiques de confidentialité.

Activité 3- Tâche 3.2 : Modéliser un scénario TO-BE

La réalisation de cette tâche dépend du type de scénario TO-BE, selon qu'il soit incrémental ou de rupture (voir Partie 3).

- Pour un scénario TO-BE incrémental, le responsable du produit technologique utilise le modèle BPMN du scénario AS-IS et ajoute les modifications.
- Pour un scénario TO-BE de rupture, c'est l'ensemble du scénario AS-IS qui est remis en cause. Le responsable du produit technologique utilise le nouveau tableau SIPOC (crée en Tâche 3.1) pour modéliser le TO-BE.

L'objectif de cette tâche 3.2 est de modéliser au moins un scénario TO-BE. Si plusieurs scénarios TO-BE sont proposés, alors il sera nécessaire de les prioriser pour en choisir un seul.

Illustration sur l'exemple du cas pilote n°1 :
Dans le cadre du cas pilote n°1, un seul scénario T O-BE (en Figure 72) a été proposé par les parties prenantes. Celui-ci vise à déployer un processus itératif et distribué de calcul et repose sur les fonctionnalités du M-BDA.
Les activités a et b sont similaires au scénario AS-IS : le designer assemble la géométrie de peau et nettoie la zone compartiment + moteur. Première nouveauté : le designer envoie à l'aérodynamicien (activité c) ET au thermicien (c') la géométrie simplifiée. Chacun des deux analystes réalisent son propre maillage (activité d et d'). De cette façon le thermicien ne doit plus approximer certains phénomènes dû à l'utilisation d'un maillage aérodynamique non adapté à l'échelle des phénomènes thermiques.
L'aérodynamicien initie un premier calcul des champs de vitesse (activité e) à partir d'hypothèses thermiques. Le thermicien collabore avec le motoriste (activité f) pour obtenir les caractéristiques thermiques du moteur. Cette activité repose sur **un nouveau produit technologique : un surrogate model** (résolution du Problème 3). Le thermicien calcule les champs de températures à partir des résultats du surrogate model et des champs de vitesse (activité g). Les résultats sont envoyés à l'aérodynamicien qui rejoue son calcul CFD avec de nouvelles données d'entrée (activité h), puis le thermicien itère son activité g. De cette façon les deux analystes travaillent itérativement jusqu'à convergence des résultats.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

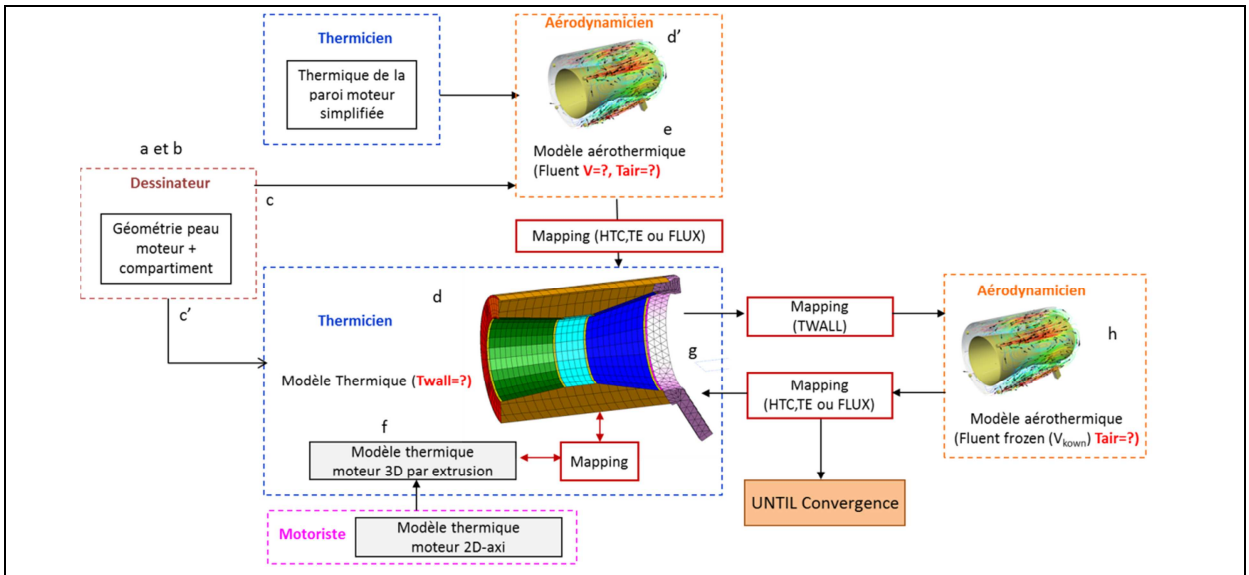


Figure 72 : Scénario TO-BE lié au cas pilote n°1

Activité 3- Tâche 3.3 : Prioriser les scénarios TO-BE

Les parties prenantes peuvent imaginer plusieurs scénarios TO-BE pour résoudre un même problème. Mais tous les scénarios TO-BE ne peuvent être étudiés pendant le projet amont : des choix doivent être faits. Dans le cadre de cette thèse, nous n'avons pas été confrontés à cette situation. Les propositions faites ci-après restent donc à étoffer et valider.

La comparaison de processus métiers peut être basée sur des indicateurs d'évaluations (AFNOR 2002):

- des indicateurs relatifs à l'efficacité
- des indicateurs relatifs à l'efficience
- des indicateurs relatifs à l'adaptabilité

Cependant, l'évaluation de ces indicateurs nécessite d'exécuter le modèle du scénario TO-BE, ce qui à cet instant de la phase amont, n'est pas réalisable. En effet, l'élaboration des scénarios AS-IS et TO-BE initie le cycle en V de pilotage amont, pour ensuite accompagner la spécification de produits technologiques.

Une autre approche pour comparer et prioriser des scénarios TO-BE pourrait être liée à la valeur d'un scénario. La valeur correspond au « *jugement porté par l'utilisateur sur la base de ses attentes ou de ses motivations* » (AFNOR 1996). La valeur d'un scénario TO-BE repose sur ses fonctionnalités. On pourrait adapter l'approche d'analyse de la valeur d'une fonction proposée par (Yannou 1999), où la valeur d'une fonction pour une solution donnée est définie comme :

$$\textit{Valeur relative d'une fonction d'un produit} = Importance * Satisfaction * \frac{Coût\ du\ produit}{Coût\ de\ la\ fonction}$$

L'importance, la satisfaction et le coût sont les trois attributs d'une fonction. L'importance et la satisfaction sont caractérisées qualitativement : une importance (utile, importante ou vitale) et une satisfaction (douteuse, moyenne, bien adaptée). Cependant, à cet instant de la phase amont (activité 3), les fonctionnalités du scénario TO-BE ne sont pas clairement formalisées. Il est, de plus, difficile d'en appréhender le coût et la satisfaction. Cependant, en estimant qualitativement ces inconnues, les parties prenantes peuvent être en mesure, si ce n'est de choisir le meilleur scénario TO-BE, au moins de mettre de côté ceux à éviter.

Dans le cas où les parties prenantes identifient un seul scénario TO-BE, alors la tâche 3.3 n'a pas à être réalisée. Les parties prenantes enchainent directement sur la tâche 3.4.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Activité 3- Tâche 3.4 : Valider le modèle d'un scénario TO-BE

Tout comme le modèle du scénario AS-IS, il est nécessaire de s'assurer que le scénario TO-BE soit bien accepté et validé par l'ensemble des parties prenantes impactées. La validation ne repose pas sur la performance du scénario (non-mesurable à cet instant de la phase amont), mais repose plutôt sur un consensus : les parties prenantes s'assurent que leurs besoins sont pris en compte et s'organisent avec cohérence dans le scénario TO-BE. De la même façon que pour le modèle de scénario AS-IS, une décision est prise au jalon:

- soit, décision 1 : le modèle du scénario TO-BE construit est validé par les parties prenantes. Il est décidé de passer à l'activité 4.
- Soit, décision 2 : quelques éléments mineurs du modèle TO-BE sont à corriger ou ajouter. Il est alors décidé que le responsable du produit technologique reprenne le modèle : itération des tâches 3.2 à 3.4 jusqu'à validation du modèle.

L'activité 3 est l'activité la plus complexe de l'élaboration des scénarios. C'est pourquoi les tâches associées à l'activité 3 (Figure 73) peuvent être déroulées itérativement : la modélisation du scénario TO-BE peut illustrer de nouveaux problèmes, nécessitant des actions correctives.

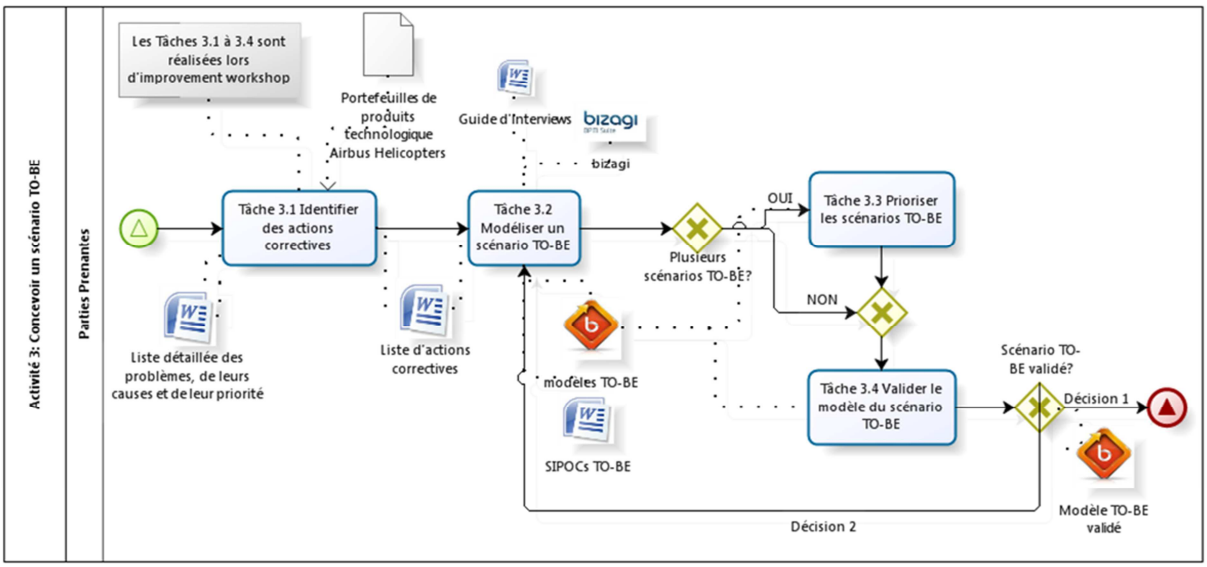


Figure 73 : Modèle de l'activité 3 – Concevoir un scénario TO-BE

Le scénario TO-BE est une image à un instant t : c'est un outil de communication qui aide les parties prenantes à envisager de nouvelles pratiques opérationnelles pour concevoir un hélicoptère dans le contexte d'un cas pilote. En conclusion, l'élaboration des scénarios d'usage AS-IS et TO-BE repose sur trois activités participatives pilotées par un même chef d'orchestre transverse : le responsable du produit technologique. C'est en modélisant, puis analysant le modèle du scénario AS-IS, que les parties prenantes identifient des pistes d'amélioration, concrétisées par des produits technologiques d'innovation d'ingénierie. La conception de scénario TO-BE nécessite d'impliquer l'ensemble des parties prenantes impactées.

Synthèse Partie 2- Elaboration de scénarios d'usage

L'exécution d'un projet d'études de faisabilité, en phase amont, repose sur l'élaboration de scénarios d'usage AS-IS et TO-BE. On identifie trois activités (A1 à A3) à réaliser: élaborer le scénario AS-IS, analyser le scénario AS-IS, puis concevoir un scénario TO-BE. La réalisation de chacune des activités repose sur des tâches, des méthodes et des outils. La description de chacune des tâches guide les parties prenantes et les aide à construire un scénario d'usage TO-BE à partir du scénario

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

AS-IS. La réalisation des activités 1 à 3 repose sur la création et la transformation de livrables, identifiés en Figure 74 (entrées et sorties des activités).

L'élaboration de scénarios d'usage est un travail collaboratif : c'est en échangeant et en discutant que les parties prenantes sont en mesure d'avancer dans la réalisation des tâches. Pour aider les parties prenantes, le responsable du produit technologique agit en tant que pilote des trois activités. Il aide les parties prenantes à aboutir à des consensus prenant en compte les besoins de chacun. La Figure 74 modélise les trois premières activités de l'exécution d'un projet amont, en rappelant les tâches associées et les livrables créés ou transformés.

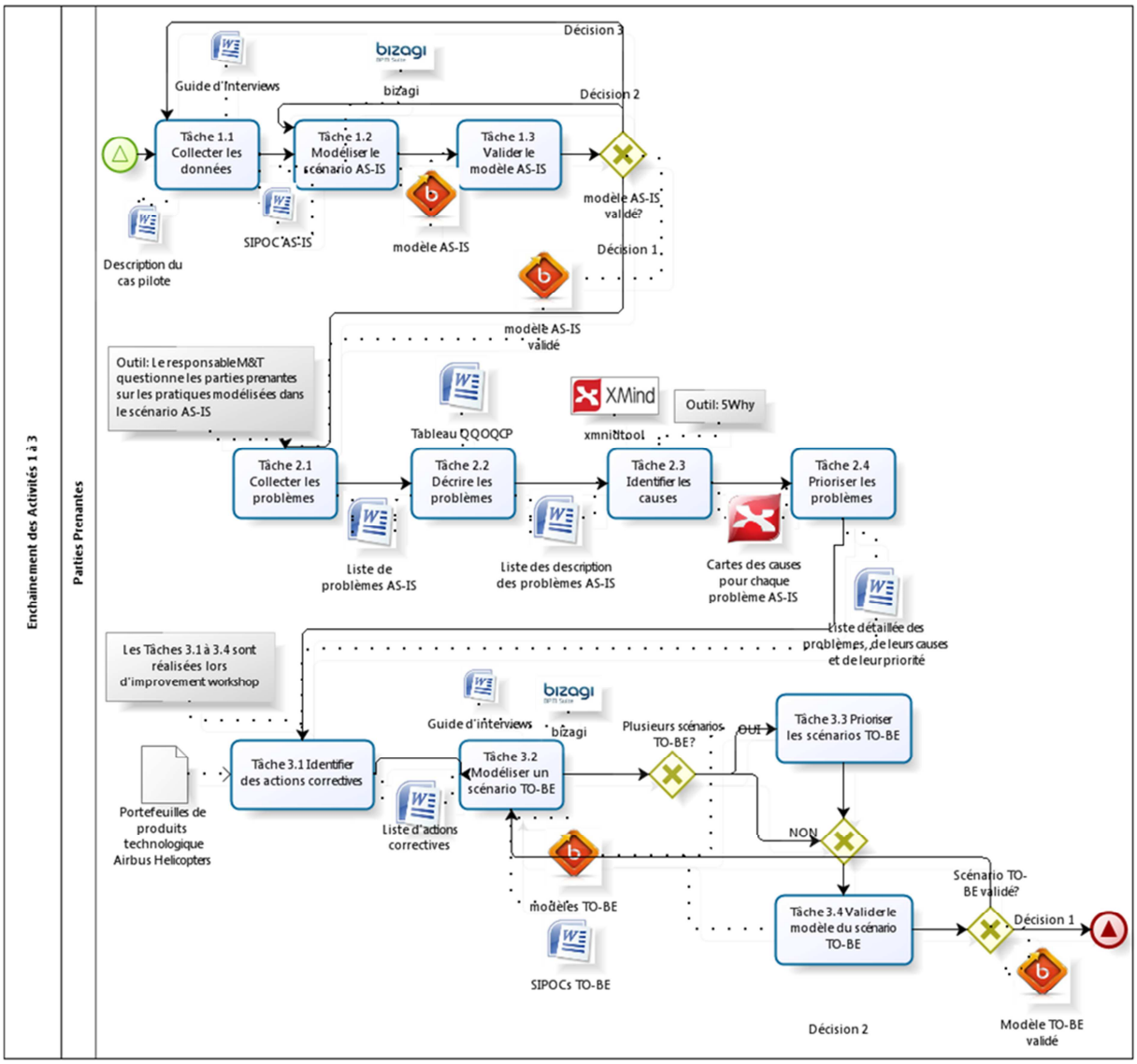


Figure 74: Modèle de l'enchainement des tâches des Activités A1 à A3

Partie 3- Le scénario au cœur du pilotage amont

Nous avons vu en Partie 2 comment réaliser les activités 1 à 3 du processus d'exécution d'un projet amont, à partir de l'élaboration de scénarios. Regardons à présent comment les scénarios AS-IS et TO-BE permettent de spécifier un produit technologique d'innovation d'ingénierie (activité 4 et 5) mais aussi d'aider à évaluer l'indicateur « rentabilité » d'un TVL.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

3.1 – Activités A4 et A5 : Spécification d'un produit technologique d'innovation d'ingénierie

Une fois un modèle de scénario TO-BE validé, le cœur des études de faisabilité en phase amont commence : la spécification du produit technologique (activités 4 et 5 en Figure 75).

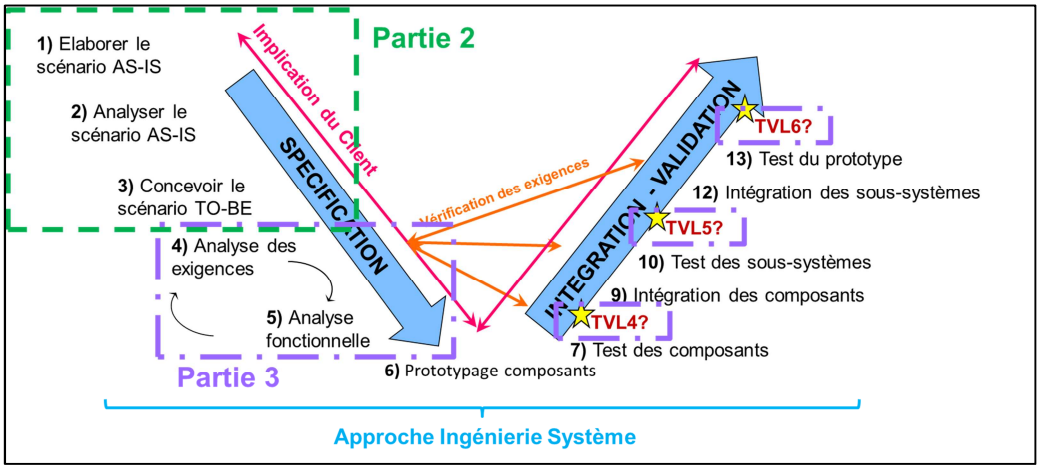


Figure 75 : Le scénario au service des activités 4 et 5 du processus d'exécution d'un projet amont

L'activité A4 est pilotée par le responsable du produit technologique et identifie ce que le produit technologique doit faire, comment, avec quelles performances, dans quel environnement et sous quelles contraintes. Cette activité 4 est participative et repose sur les tâches (Figure 76):

- Tâche 4.1 : définir les attentes des clients
- Tâche 4.2 : définir l'environnement opérationnel du produit technologique
- Tâche 4.3 : définir les exigences du cycle de vie du produit technologique
- Tâche 4.4 : définir les exigences fonctionnelles du produit technologique
- Tâche 4.5 : définir les exigences de performances du produit technologique
- Tâche 4.6 : valider les exigences

Les tâches de l'activité A4 s'appuient sur la méthodologie d'analyse des exigences proposées par (IEEE 1220 2005)

Activité 4- Tâche 4.1 : Définir les attentes des clients

Les parties prenantes identifient les attentes des clients concernant :

- ce que le produit technologique doit faire
- avec quelle performance chaque fonction doit être accomplie
- dans quel environnement opérationnel le produit technologique doit opérer
- les contraintes du produit technologique (coût, logiciels, interfaces, planning, procédures de l'entreprise, règlementations, certifications …)

Le modèle du scénario d'usage TO-BE représente un enchainement d'activités : chaque activité et chaque relation entre activités illustrent des exigences et contraintes.
Attention, les clients font partie des parties prenantes mais le cas pilote n'intègre pas tous les besoins. Il est donc nécessaire d'échanger avec l'ensemble de la communauté des clients pour s'assurer de la prise en compte de leurs attentes.

Les attentes définies en tâche 4.1 alimenteront les tâches 4.2 à 4.5.

Activité 4- Tâche 4.2 : Définir l'environnement opérationnel du produit technologique

Dans le cadre de l'analyse d'exigences d'un système complexe (IEEE 1220 2005), il est recommandé de définir des scénarios opérationnels pour anticiper les usages. On propose d'utiliser le

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

modèle du scénario TO-BE comme définition d'un scénario opérationnel. Le scénario TO-BE illustre un environnement opérationnel.
L'environnement opérationnel du produit technologique est très important : il décrit les contextes d'utilisation où la future innovation d'ingénierie est utilisée et sous quelles conditions. De plus, c'est à partir de cet environnement opérationnel que les environnements de tests et d'évaluation des TVL sont définis.
L'environnement opérationnel d'une future innovation d'ingénierie se caractérise par :

- un nombre d'utilisateurs
- des formats d'échanges de données
- des volumes de données échangées
- des localisations des utilisateurs
- …

Activité 4- Tâche 4.3 : Définir les exigences du cycle de vie du produit technologique

Les exigences du cycle de vie du produit technologique correspondent aux exigences nécessaires pour développer l'innovation d'ingénierie, la produire, la tester, la déployer, la supporter et la maintenir. Parmi ces exigences, on retrouve aussi les besoins en conduite du changement (impact organisationnel, problématiques inter-entreprises, compétences, formation…).
A partir du scénario TO-BE, les parties prenantes formalisent les exigences du cycle de vie du produit technologique. Cette tâche doit être approfondie une fois l'architecture physique du produit technologique déterminée.

Activité 4- Tâche 4.4 : Définir les exigences fonctionnelles du produit technologique

A partir de l'expression des attentes du client (tâche 4.1), les parties prenantes analysent les fonctions du produit technologique. Elles déterminent ce que le produit technologique doit faire. Cette tâche permet d'identifier les grandes fonctions du produit technologique.

Activité 4- Tâche 4.5 : Définir les exigences de performance du produit technologique

Pour chaque exigence fonctionnelle précédemment identifiée, les parties prenantes déterminent les exigences de performances. Les exigences de performance décrivent comment une fonction du produit technologique doit être réalisée pour répondre aux attentes du client. Dans le cadre de l'analyse d'exigences d'un système complexe (IEEE 1220 2005), il est recommandé de définir des moyens pour mesurer l'efficacité et la satisfaction des clients. C'est le rôle du scénario TO-BE.

Les tâches 4.1 à 4.5 sont menées en parallèle (Figure 76) et alimentent un cahier des exigences du produit technologique. Le dossier des exigences est un fichier Excel structuré en deux feuillets :

- un premier feuillet collecte les attentes des clients : chaque attente du client est définie par une identité (B-ID01 par exemple) et caractérisée par une description.
- un second feuillet traduit les attentes des clients en exigences du produit technologique : chaque exigence se caractérise par une identité (R-ID01 par exemple), par une description, par un type d'exigence (contrainte, opérationnelle, cycle de vie, fonctionnelle, performance) et par des relations avec les attentes du client (dans le premier feuillet).

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Activité 4- Tâche 4.6 : Valider les exigences

Les parties prenantes présentent l'ensemble des exigences aux clients et vérifient qu'elles prennent bien en compte leurs attentes et contraintes. Deux décisions sont possibles (Figure 76) :

- soit, décision 1 : les exigences formalisées sont validées, l'activité 4 est terminée
- soit, décision 2 : des attentes et contraintes ne sont pas couvertes, les parties prenantes itèrent les tâches 4.1 à 4.5.

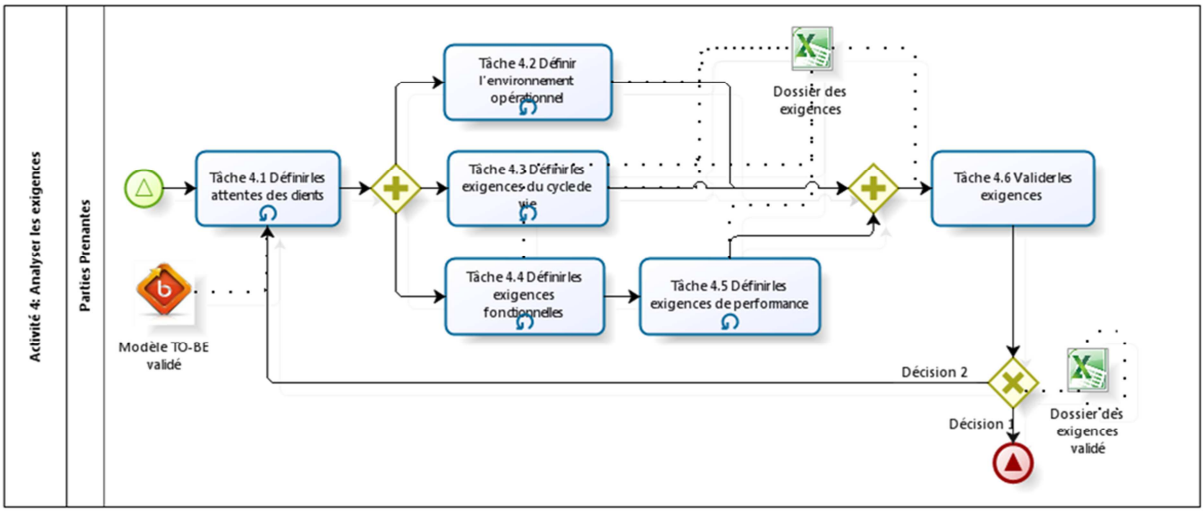


Figure 76 : Modèle de l'Activité 4 - Analyser les exigences du client et du produit technologique

L'activité A5 est pilotée par l'architecte informatique et système d'information. L'objectif de l'activité 5 est de traduire les exigences en fonctions et de décomposer le produit technologique. L'activité 5 se décompose en trois tâches :

- Tâche 5.1 : Analyser les fonctions
- Tâche 5.2 : Etablir une architecture fonctionnelle du produit technologique
- Tâche 5.3 : Valider l'architecture fonctionnelle

Activité 5- Tâche 5.1 : Analyser les fonctions

A partir de la tâche 4.4, l'architecte informatique et système d'information détermine et décompose les fonctions du produit technologique. Un produit technologique se caractérise par :

- des fonctions de service qui correspondent aux actions attendues par le produit pour répondre au besoin du client
- des fonctions techniques qui sont internes au produit technologique, et qui participent à la réalisation des fonctions de service

C'est en interrogeant et énumérant les fonctions de service et les fonctions techniques que les parties prenantes pourront ensuite déterminer des solutions technologiques.
Cette tâche alimente la tâche 4.6 (Figure 77). C'est pourquoi les activités 4 et 5 sont dites itératives.

Activité 5- Tâche 5.2 : Etablir une architecture fonctionnelle du produit technologique

L'architecte informatique détermine l'architecture fonctionnelle du produit technologique à partir de la description des fonctions et de leurs décompositions.
Lorsque l'on étudie un produit technologique en TVL4, 5 ou 6, l'architecture fonctionnelle existe déjà : elle a dû être déterminée en TVL3, preuve du concept du produit technologique. Alors, cette tâche 5.2 consiste à vérifier que l'architecture fonctionnelle existante du produit technologique inclus bien les besoins des clients.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Activité 5- Tâche 5.3 : Valider l'architecture fonctionnelle

Avant de déterminer l'architecture physique du produit technologique, il est nécessaire de vérifier que l'architecture fonctionnelle intègre bien l'ensemble des exigences (identifiées en activité 4). L'architecte informatique vérifie la traçabilité entre les exigences et les fonctions :

- soit l'architecture fonctionnelle est validée, alors les parties prenantes continuent le processus avec l'activité 6,
- soit l'architecture nécessite des corrections, les parties prenantes itèrent la Tâche 5.2.

Finalement, les activités 4 et 5, pilotées à la fois par le responsable du produit technologique et par l'architecte informatique et système d'information, permettent de caractériser les exigences et l'architecture fonctionnelle d'un produit technologique. A partir du scénario TO-BE, les parties prenantes construisent le cahier des exigences, l'architecture fonctionnelle et la décomposition de produits technologiques. De plus, elles déterminent l'environnement opérationnel d'un produit technologique. Les tâches des activités 4 et 5 ainsi que leur enchainement sont modélisés en Figure 77. Ensuite, à partir de l'architecture fonctionnelle, les parties prenantes détermineront des solutions physiques pour répondre aux fonctions (activité 6).

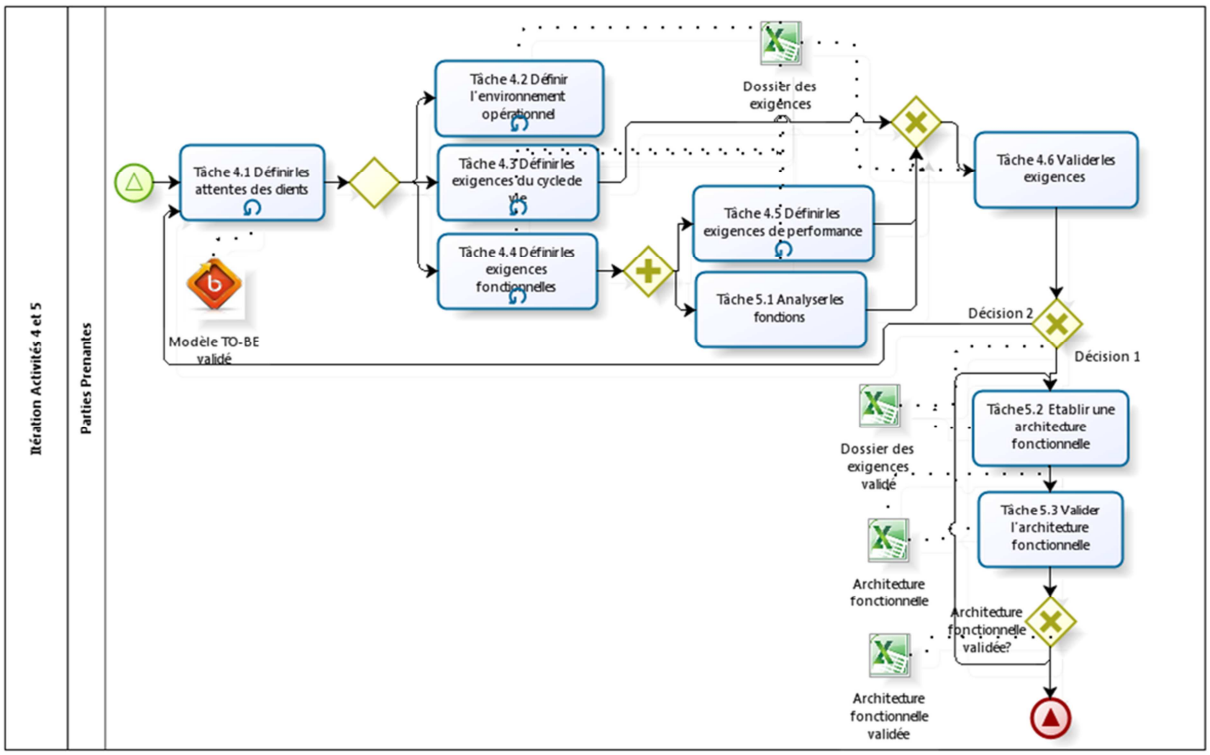


Figure 77 : Modèle des activités 4&5- Analyser les exigences et définir l'architecture fonctionnelle

3.2 – Le scénario, au service de l'évaluation de la valeur

On propose en Chapitre 4 de piloter un projet amont à l'aide de l'évaluation de la valeur d'un produit technologique. Cette évaluation de valeur est réalisée à chaque TVL (voir Figure 78) à l'aide de quatre indicateurs : la valeur fonctionnelle, l'utilité, la rentabilité et la valeur stratégique (voir Chapitre 4).

3.2.1- Evaluation de TVL : focus sur les activités 8, 11 et 14

L'évaluation d'un TVL (activités 8, 11 et 14) se réalise à partir de trois tâches :

- Tâche A : Répondre au questionnaire TVL et justifier les réponses par l'apport de livrables

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

- Tâche B : Revoir le questionnaire TVL lors d'une revue de TVL (jalon symbolisé par une étoile en Figure 78)
- Tâche C : Valider le niveau de TVL

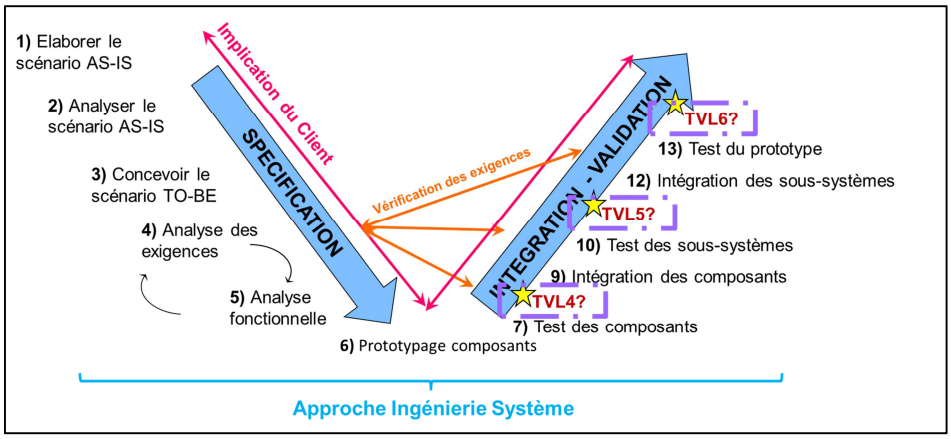


Figure 78 : Le scénario au service des activités 8, 11 et 14 de la méthodologie amont

On se concentre sur la tâche A. Cette dernière consiste à passer en revue les sous-critères et critères des indicateurs de pilotage (valeur fonctionnelle, utilité, rentabilité et valeur stratégique) et à les caractériser par des preuves. Les critères et sous-critères sont questionnés par le questionnaire TVL. Le Tableau 15 présente les preuves attendues pour caractériser les indicateurs de pilotage (Vue Information du modèle de pilotage en Chapitre 4). Un grand nombre de sous-critères et critères sont caractérisés à l'aide de livrables produits par les activités 1 à 5 et par les tests (activités 6-7 ; 9-10 et 12-13). En tâche A, les parties prenantes doivent compléter le questionnaire en :

- vérifiant et validant les exigences à partir des résultats des tests,
- précisant la stratégie de déploiement et de support,
- définissant les applications industrielles potentielles des produits technologiques,
- vérifiant les impacts organisationnels,
- évaluant les gains futurs
- analysant les risques et opportunités associés au produit technologique via une matrice SWOT,
- vérifiant l'intégration des produits technologiques et innovations d'ingénierie associées dans la roadmap d'Airbus Helicopters.

Tableau 15 : Caractérisation des critères et sous-critères des indicateurs de pilotage amont

Critères	Sous-critères	Preuves
VALEUR FONCTIONNELLE		
Démonstration de la faisabilité technologique	• Définition des exigences et des spécifications des composants, de l'intégration et du système global • Formalisation des contraintes (certification, réglementaire, de sécurité) • Analyse et anticipation des problématiques de propriété industrielle • Définition de l'architecture du système • Tests des composants et du système	• Cahier des exigences • Cahier des exigences • Cahier des exigences • Architecture fonctionnelle • Tests des composants et du système et validation des exigences
Vérification de la capacité d'intégration	• Spécification de l'environnement opérationnel	• Les environnements opérationnels sont définis dans le cahier des

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

	• Spécification de l'environnement représentatif • Spécification de l'environnement simplifié • Tests des composants et du système dans les environnements d'usage	exigences • Tests des composants et du système dans les environnements d'usage et validation des exigences
Anticipation de la gestion du cycle de vie du produit	• Définition des exigences du développement et de la mise en service (impacts, plan de déploiement, fournisseurs, partenaires) • Définition de la stratégie de support et de la gestion de l'obsolescence	• Cahier des exigences • Stratégie de déploiement et de support
UTILITE		
Identification du client	Pas de sous-critères	Analyse du cas pilote
Formalisation des besoins du client	• Définition des problématiques techniques et métiers visées • Formalisation des besoins métier • Définition des applications industrielles	• Analyse du scénario AS-IS • Cahier des exigences • Définition des applications industrielles
Anticipation et validation des usages	• Modélisation des scénarios d'usage • Anticipation et analyse des compétences nécessaires à l'utilisation • Identification des éventuels impacts organisationnels • Validation des usages par les prototypes	• Modèles validés des scénarios AS-IS et TO-BE • Cahier des exigences • Identification des éventuels impacts organisationnels • Validation des exigences par les tests
RENTABILITE		
L'identification et évaluation de gains quantitatifs	Pas de sous-critères	Comparaison de critères de gains entre le scénario TO-BE et AS-IS Critères de rentabilité Identification de gains qualitatifs
L'identification et évaluation de gains qualitatifs	Pas de sous-critères	
VALEUR STRATEGIQUE		
L'engagement des hiérarchies au cours du projet amont	Pas de sous-critères	• Décision Go au Kick off
L'analyse des risques et opportunités associés à l'innovation d'ingénierie étudiée en phase amont	Pas de sous-critères	• Analyse d'une matrice SWOT
L'adéquation et l'impact de l'innovation d'ingénierie sur la vision d'entreprise	Pas de sous-critères	• Intégration de l'innovation d'ingénierie dans la roadmap industrielle

On propose d'utiliser les scénarios AS-IS et TO-BE pour évaluer les gains apportés, preuves de la rentabilité. Regardons de plus près comment le scénario permet d'évaluer une rentabilité.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

3.2.2- Le scénario d'usage, au service de l'évaluation de la rentabilité

Le calcul de la rentabilité est réalisé par les responsables financiers à partir du capital investi, des recettes d'exploitation, des délais de mises en œuvre de l'innovation et de sa durée de vie. La donnée manquante concerne les recettes d'exploitation attendues par la future innovation d'ingénierie.

Un scénario TO-BE améliore un scénario AS-IS afin d'optimiser une problématique technique de conception en résolvant une problématique métier. Le scénario TO-BE engendre ainsi des gains sur les pratiques de conception d'un produit. Dans notre contexte, un scénario TO-BE permet de réduire la durée et le coût des cycles de conception d'un hélicoptère. Ces gains stratégiques sont engendrés par l'intermédiaire de gains « métiers ». La Figure 79 présente des exemples de gains métiers possibles sur le cycle de conception d'un hélicoptère : la durée nécessaire pour simplifier les géométries, le nombre d'itérations pour réaliser une simulation, la traçabilité et qualité des échanges de données, le nombre de tests physiques et essais en vols … Les innovations d'ingénierie peuvent aussi directement impacter l'hélicoptère en termes de masse, de puissance et de bruit. Les différents gains métiers de la Figure 79 ont été formalisés à partir des résultats de projets de recherche (CRESCENDO) mais aussi de projets industriels Predictives.

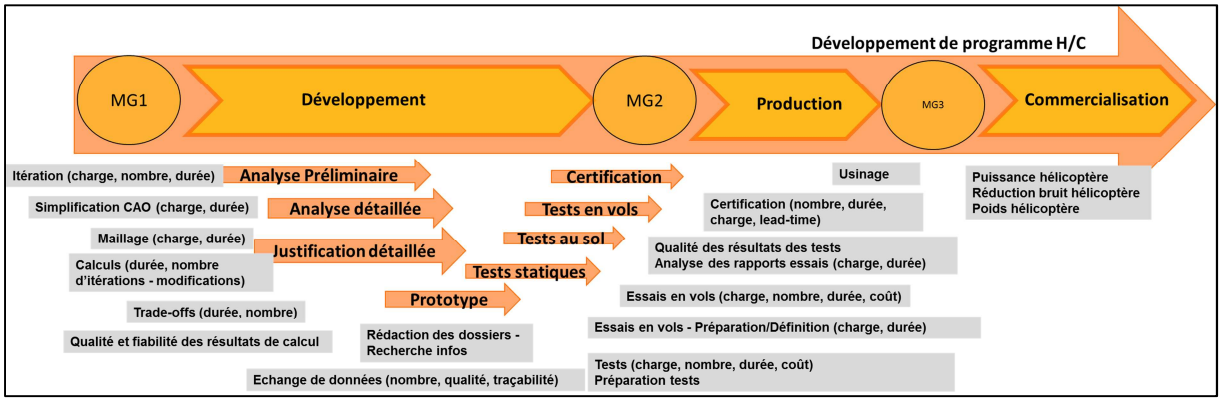


Figure 79 : Exemples de gains générés par une innovation d'ingénierie

Les recettes d'exploitation reposent sur la traduction financière de gains quantitatifs. Les gains qualitatifs peuvent soutenir le pilotage d'un produit technologique en phase amont, mais ne sont pas suffisants pour prendre des décisions. Mais comment mesurer les gains quantitatifs ?

Méthode d'évaluation de la rentabilité d'une innovation d'ingénierie

On propose une méthode d'évaluation de la rentabilité d'une innovation d'ingénierie en deux étapes.

Etape 1 : Détermination des améliorations attendues

Une fois le modèle du scénario TO-BE validé (activité 3) et avant de démarrer la spécification du produit technologique (activités 4 et 5), il est nécessaire de déterminer les améliorations en gains qu'apportera l'utilisation de produits technologiques d'innovation d'ingénierie. L'étape 1 de cette méthode sera définie comme une tâche supplémentaire de l'activité 3.
Les parties prenantes déterminent les gains quantitatifs attendus. Pour chaque gain, elles déterminent un critère de gain qui est un critère de mesure, sa méthode d'évaluation et sa valeur initiale en situation AS-IS.

Illustration sur l'exemple du cas pilote n°1 :

On souhaite réduire le temps requis pour la mise en données et résolution des calculs aérothermique grâce à l'automatisation d'un workflow de calculs.

On définit le critère de gain : « durée de la mise en données à l'exploitation des résultats »

La mesure du critère correspond à la mesure d'une durée entre un point de départ : la mise en données, et un point final : l'exploitation des résultats.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

En situation AS-IS, la durée représente en moyenne 2 jours.

Etape 2 : Evaluer la rentabilité du produit technologique

L'évaluation de la rentabilité est une des activités à réaliser pour évaluer un TVL (activités 8, 11 et 14 de la Figure 78). Cette étape 2 de la méthode d'évaluation de la rentabilité est donc une action à mener en tâche A de chaque jalon TVL.

La qualification de l'indicateur « rentabilité » repose sur deux actions :

- la mesure du critère de gain dans l'environnement TO-BE
- le calcul des critères de rentabilité dans le business case

La mesure du critère de gain dans l'environnement TO-BE est réalisée suite au test du produit technologique (activités 7, 9 et 12). Entre TVL4 et TVL6, un critère de gain est donc mesuré au moins trois fois, sur trois états du produit technologique et dans deux environnements (simplifié et représentatif). En comparant la valeur (AS-IS) et la valeur (TO-BE) du critère de gain, on détermine quantitativement un gain qui traduit une recette d'exploitations. Ensuite, à partir de cette donnée, le responsable financier sera en mesure de compléter un business case en calculant les critères de rentabilité.

Il est nécessaire d'identifier plusieurs critères de gains pour un même produit technologique afin d'étoffer le business case.

Finalement, pour évaluer la rentabilité d'une innovation d'ingénierie il faut :

- Activité 3- Tâche 3.5 : Déterminer les améliorations attendues
- Jalon TVL 8, 11 et 14 – Tâche A : Evaluer la rentabilité du produit technologique

Attention, les deux étapes sont donc réalisées à divers instants du processus d'exécution d'un projet amont.

Synthèse Partie 3- Le scénario au service de la phase amont

Le scénario d'usage est un outil central pour l'exécution d'un projet amont. Il permet de spécifier un produit technologique, d'en déterminer une architecture fonctionnelle et de caractériser des indicateurs de sa valeur. En effet, le scénario TO-BE, construit à partir du scénario AS-IS, décrit et illustre des contraintes, des interfaces, des environnements d'usage, des performances, à partir desquelles, un architecte informatique et système d'information peut définir une architecture fonctionnelle. De plus, le scénario TO-BE définit un moyen de vérification et de tests des propositions et exigences. De cette façon les parties prenantes sont en mesure d'évaluer la valeur fonctionnelle et l'utilité d'une future innovation d'ingénierie.

Egalement, le scénario TO-BE met en évidence un gap franchi par rapport au scénario AS-IS. Ce gap correspond à la résolution de problématiques métiers. C'est en quantifiant ce gap que les parties prenantes déterminent la rentabilité d'une innovation d'ingénierie.

Conclusion Chapitre 5 : Le scénario, outil stratégique

L'application de la méthodologie de pilotage d'un produit technologique en phase amont (présentée en Partie 3 du Chapitre 4) repose sur l'élaboration et l'exploitation de scénario d'usage AS-IS et TO-BE. Le scénario d'usage illustre un processus métier mettant en évidence des problématiques techniques de conception et des problématiques métiers. Une innovation d'ingénierie résout des problématiques métiers.

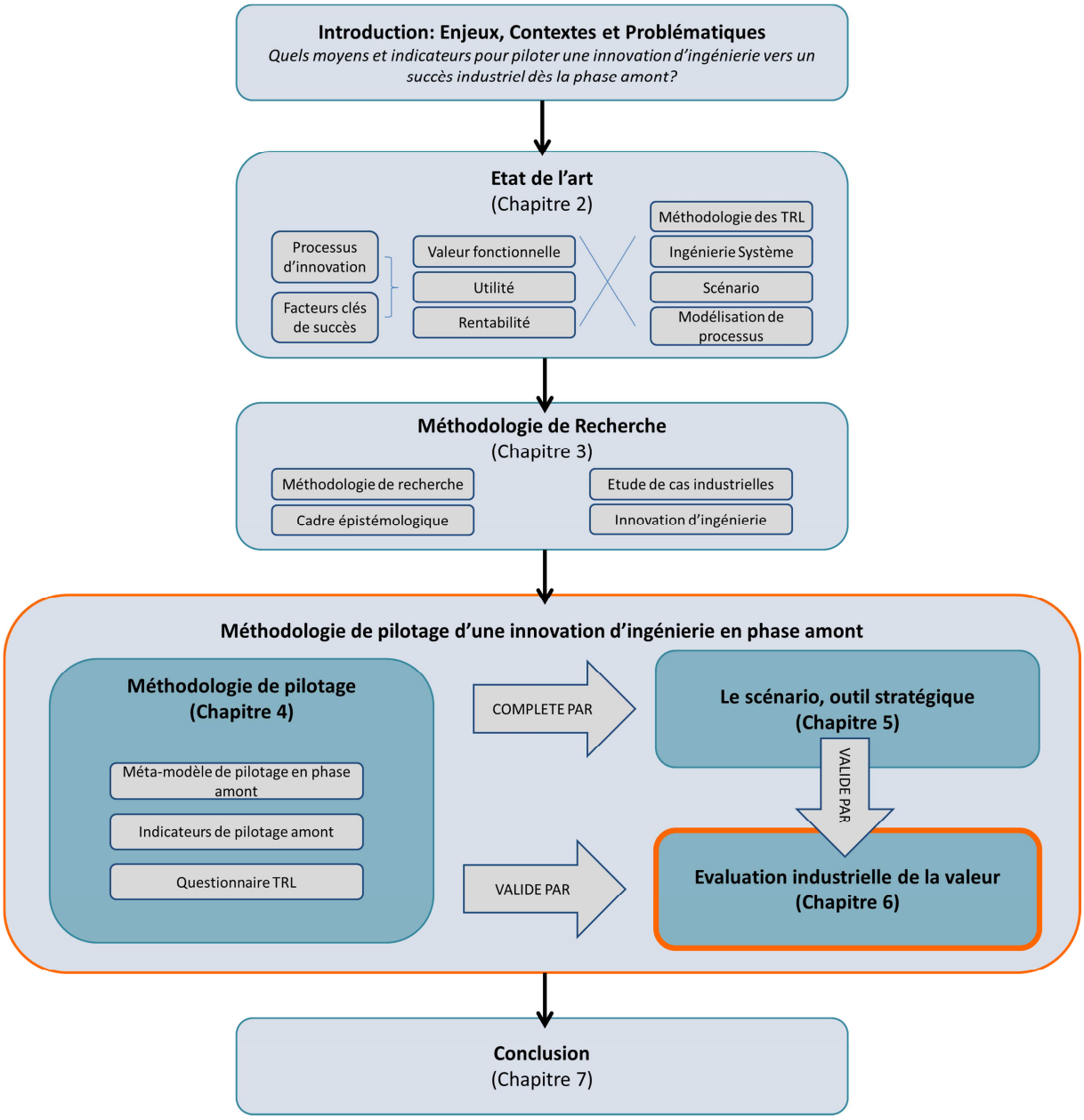
Le scénario d'usage soutient les activités de spécification du produit technologique, de définition de son architecture fonctionnelle et d'évaluation de la valeur. Ces activités s'appuient sur un scénario TO-BE, construit à partir de l'analyse d'un scénario AS-IS. Le Chapitre 5 a présenté les diverses tâches à mettre en œuvre pour réaliser les activités 1 à 5 de l'exécution d'un projet amont. De plus, on a abordé l'évaluation de la rentabilité à partir de scénarios TO-BE et AS-IS.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Le scénario joue un rôle capital. Cependant il décrit deux états d'un cas pilote. C'est donc la définition et le choix du cas pilote qui influence la spécification d'un produit technologique. Plus le cas pilote sera représentatif des besoins, mieux il illustrera les exigences.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Chapitre 6 – Evaluation industrielle de la valeur d'une innovation ingénierie dès la phase amont



Ce chapitre se concentre sur l'évaluation de la valeur de produits technologiques d'une future innovation d'ingénierie à partir de la méthodologie explicitée dans les Chapitres 4 et 5.
Ce chapitre 6 s'illustre sur le cas pilote n°2 « Co nception d'un déviateur de jet », présenté dans le Chapitre 3. Pour des raisons de confidentialité, tous les éléments relatifs aux acteurs ne seront pas explicités. L'objectif du Chapitre 6 est d'activer les savoirs élaborés et de fournir un premier retour d'expérience sur l'applicabilité de la méthodologie de pilotage. Sur un cas pilote, les nombreuses activités (en partie détaillées dans le Chapitre 5) sont appliquées en vue d'évaluer un TVL4 sur un produit technologique d'innovation d'ingénierie.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Partie 1- Définition et Acquisition du projet en phase amont

On a vu en Chapitre 4, rappelé en Figure 80, que le pilotage en phase amont se découpe en trois phases : définition du projet amont, acquisition puis exécution. Les phases de définition et acquisition se concentrent sur la formalisation des besoins du client et sur la définition (technique et financière) du projet amont.

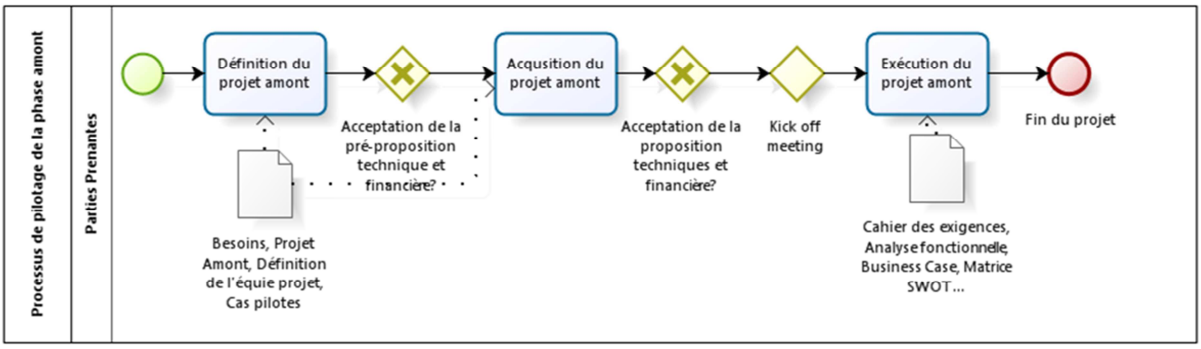


Figure 80 : Modèle du processus de pilotage en phase amont

1.1- Identification des besoins et du client

1.1.1- Formalisation du besoin client

Le responsable M&T Predictives a collecté un ensemble de besoins liés à la gestion des données et processus de simulation. Le responsable M&T Predictive gère les méthodes et outils du bureau d'études, qui relèvent de la modélisation et de la simulation.
Lors d'études faisant appel à de la simulation, les utilisateurs mettent en œuvre une chaine d'activités (en Figure 81) allant de la récupération de données à l'analyse des résultats et aux conclusions sur l'étude. L'exécution de chaque activité repose sur des données, des outils de calculs mais aussi des réseaux de collaboration (équipementier, partenaires …).

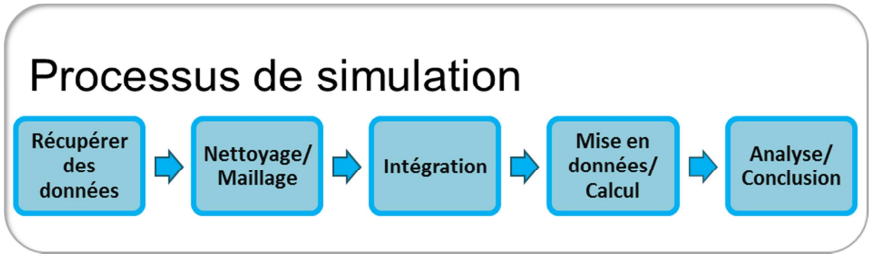


Figure 81 : Chaine classique d'activités d'un processus de simulation

Le constat est que, lors de la mise en œuvre du processus de simulation en Figure 81, les utilisateurs du bureau d'études d'Airbus Helicopters :

- peinent à retrouver leurs données et assurer leur traçabilité
- retravaillent des données réceptionnées pour pouvoir les utiliser avec leurs propres outils
- ne connaissent pas toujours leurs processus opérationnels
- approximent les données échangées faute d'interopérabilité des solutions de calcul
- perdent du temps dans des processus et des activités de faible valeur ajoutée non automatisés et non optimisés.

Malgré des initiatives isolées d'archivage, les analystes perdent du temps à rechercher des données et leur qualité est remise en cause. Par données, nous entendons les géométries nettoyées, les paramètres de nettoyage, les maillages, les paramètres de calcul, les processus de calculs, les

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

résultats… Derrière ce besoin se cache un problème métier plus large: les études à réaliser pour concevoir et dimensionner un hélicoptère impliquent de nombreux métiers (aérodynamique, thermique, structure, vibration …) qui utilisent chacun des outils propres à leurs expertises. La conception d'un hélicoptère réclame une forte collaboration de ces métiers et surtout des échanges de données en interne dans l'entreprise, mais aussi à l'extérieur (partenaires, équipementiers). Faute d'interopérabilité des outils et d'harmonisation des méthodes de travail, chaque acteur doit retravailler les données qu'il reçoit.

Le besoin client **:** gérer (créer, mettre en données, exécuter, automatiser, analyser, tracer, archiver) les données et processus de simulation.

1.1.2- Identification du client

Le besoin est partagé par l'ensemble de la communauté des utilisateurs d'outils de simulation du bureau d'études d'Airbus Helicopters. Le client représente environ 300 utilisateurs, qui utilisent une cinquantaine d'outils sur étagères (COTS). Le client est représenté par le responsable M&T Predictives.
Il existe aujourd'hui sur le marché des outils en mesure de gérer des données et processus de simulation, cependant ils ne résolvent pas les problèmes d'interopérabilité. C'est pourquoi, le besoin métier identifié relève d'une problématique amont et non de développement.

Identification du client : 300 utilisateurs d'outils de simulation du bureau d'études, de multiples disciplines, de multiples organisations ainsi que leurs partenaires industriels (équipementiers, fournisseurs, sous-traitants).

1.2- Définition du projet en phase amont

1.2.1- Contexte associé au besoin du client

Un premier projet de recherche (le projet CRESCENDO) a étudié un nouveau concept, le Mastered-Behavioural Digital Aircraft (M-BDA), langage de communication entre deux fonctionnalités supportées par différents éditeurs de logiciels (voir Chapitre 3). En proposant un tel standard, le projet de recherche CRESCENDO offre aux industriels une possibilité d'élargir le champ des solutions de Simulation Lifecycle Management (SLM) commercialisées : les industriels achètent ou louent des fonctionnalités et non des outils qui communiquent au sein d'un même système d'information, que nous appellerons M-BDA (Mastered Behavioural Digital Aircraft). Ce produit technologique souhaite permettre :

- d'archiver, tracer et associer des métadonnées (modèles, paramètres de calculs) et données pour et issues d'études
- de créer de nouvelles études et processus et de les exécuter
- de piloter les études et leurs résultats en fonction de leur qualité
- de gérer les échanges entre partenaires et acteurs ainsi que les problématiques de confidentialité et de sécurité des données (gestion des accès, pare-feu…)

A l'issue du projet de recherche CRESCENDO, le produit technologique M-BDA a atteint un TRL3 chez Airbus Helicopters : le concept du produit technologique est vérifié dans un environnement générique.

1.2.2- Définition du projet amont et du produit technologique

Le produit technologique M-BDA semble approprié pour résoudre les besoins du client. L'objectif d'Airbus Helicopters est donc de poursuivre l'étude de ce produit technologique dans son propre environnement industriel.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Un projet amont interne Airbus Helicopters relatif au cas pilote n°2, Conception d'un déviateur de jet , est élaboré. Le but du projet amont est, en 6 mois, de mieux formaliser les exigences du client et d'étudier la valeur à TVL4 du produit technologique M-BDA dans l'environnement Airbus Helicopters.

On se concentre sur l'étude du produit technologique M-BDA dans le cadre d'un projet amont interne Airbus Helicopters. L'objectif est d'atteindre un TVL4.

1.2.3- Définition du cas pilote

➔ Problématique technique de conception

Airbus Helicopters fait face aujourd'hui à l'apparition de fissures sur ces déviateurs de jets (DDJ) (voir Description du cas en Chapitre 3). La maintenance associée immobilise les hélicoptères pendant quelques jours et entache l'image d'Airbus Helicopters auprès de ses clients. Le DDJ subit en fonctionnement de fortes contraintes en vibration et température entrainant l'apparition de fissures. Par conséquent, la conception d'un déviateur doit s'appuyer sur l'identification de paramètres influents et surtout étudier et en simuler le comportement avant les phases de production.

La problématique technique repose sur la conception d'un déviateur de jet et plus précisément sur la modélisation de son comportement aéro thermo-mécanique au cours des différentes missions de vols. Les connaissances de son comportement permettront de mieux prédire sa durée de vie et d'étudier l'influence des matériaux et de l'usinage (soudure, perçage…). De cette façon on espère pouvoir diminuer l'apparition de fissures. Cette modélisation intervient en phase de detailed-design.
Les aspects vibratoires ne seront pas pris en compte dans cette étude, et les données aérodynamiques sont considérées comme des données déjà disponibles.

Problématique technique de conception : modélisation du comportement aéro-thermo mécanique d'un déviateur de jet pour différentes missions de vols et détermination des facteurs influents.

➔ Problématique métier

Une modélisation aéro-thermo mécanique nécessite de réaliser des calculs multi-physiques et multi-acteurs. On se demande alors comment travailler de façon collaborative entre différents partenaires (Airbus Helicopters et équipementiers), entre différents acteurs (département et services chez Airbus Helicopters) et entre différentes disciplines (aérodynamique, thermique et mécanique) tout en automatisant certains processus, en traçant les échanges et en archivant les données pertinentes ?

Problématique métier : optimiser des calculs multidisciplinaires, multi-acteurs tout en traçant les échanges et les données.

Les activités techniques associées au cas pilote seront explicitées ci-après lors de la phase de spécification et de prototypage. Lors de la préparation du projet amont, un planning sur 6 mois a été défini par l'équipe projet.

1.2.4- Définition de l'équipe projet

L'équipe projet est composée du responsable M&T qui joue le rôle de chef de projet amont, du responsable du produit technologique et du futur chef de projet de développement Méthodes et Outils, appuyée par la doctorante. Le client est représenté par un ingénieur de chaque discipline nécessaire pour la résolution de la problématique technique : un designer, un ingénieur thermicien, un ingénieur structure-matériaux, un ingénieur aérodynamicien. Un architecte informatique prend part au projet en tant que bras droit du futur chef de projet de développement Méthodes et Outils et en tant que représentant fonctionnel (développement, maintenance et support informatique). Le designer n'est pas représenté : on considère que les géométries sont mises à disposition via l'outil de gestion de la maquette numérique.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

L'ensemble de ces éléments (contexte et définition du projet amont, du produit technologique, du cas pilote et de l'équipe projet) constitue la proposition technique et financière. Après validation de cette dernière par les responsables financiers, un kick off meeting est planifié. Le but de cette réunion est d'officialiser le démarrage du projet amont en rappelant les objectifs et enjeux, les activités à mener et leur planning et de s'assurer de l'engagement des hiérarchies. Cet engagement est essentiel pour permettre au projet amont d'évoluer sans soucis de ressources.

De plus, parce que seuls un certain nombre de clients sont engagés dans le cas pilote, deux communications sont prévues au cours des 6 mois du projet. Ces communications ont pour but de présenter et de démontrer des solutions aux besoins des clients. Ces communications sont aussi des outils de démonstration d'une valeur-ajoutée. L'équipe du projet amont joue un rôle d'ambassadeur.

Partie 2 - Phase d'exécution du projet amont : spécification du produit technologique

La définition du besoin, du client, du cas pilote et de ses problématiques techniques et métiers alimentent une proposition technique et financière. La validation de cette proposition déclenche un kick-off meeting de démarrage du projet amont. On se lance dans l'exécution du projet amont, dont le processus est rappelé en Figure 82.

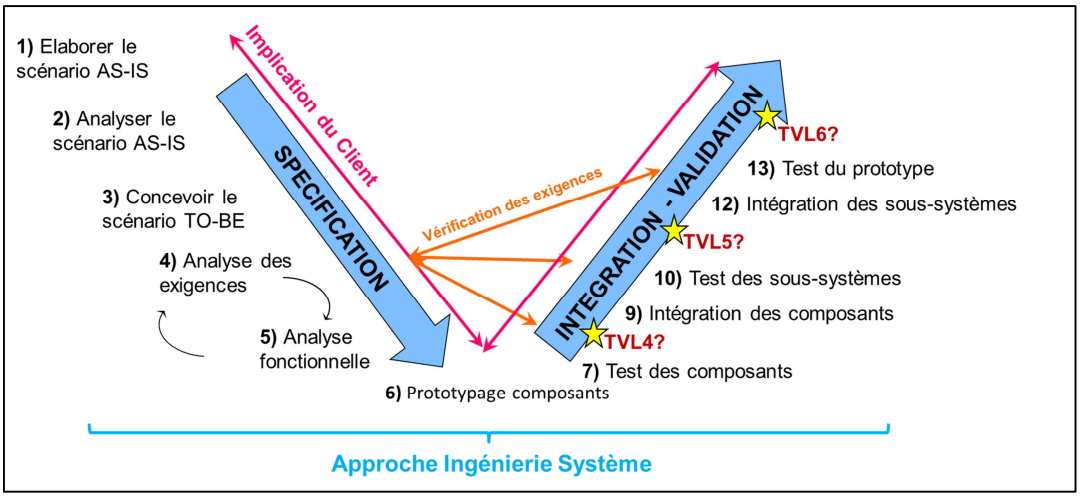


Figure 82 : Processus d'exécution d'un projet amont

2.1- Elaborer le scénario AS-IS (Activité 1)

En situation AS-IS, la méthodologie de conception du déviateur est simple et comprend trois activités :

- Activité a : un design de déviateur est proposé et on vérifie que les fixations du déviateur sont cohérentes par rapport au poids du déviateur
- Activité b : le déviateur est fabriqué et assemblé à l'appareil
- Activité c : des tests physiques sont réalisés sur l'appareil et l'état du déviateur est vérifié par des experts

La méthodologie détaillée aux Chapitres 4 et 5 préconise de caractériser le processus métier existant à l'aide d'une approche SIPOC (Activité 1, Tâche 1.1). Le Tableau 16 présente une approche SIPOC, simplifiée au niveau des acteurs.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Tableau 16 : Détails des concepts du scénario AS-IS étudié

	Déclencheur	Emetteur	Données d'entrée	Activité	Objets supports	Données de sortie	Client
Activité a	Existence de la CAO de la tuyère primaire	Designer	Encombrement moteur, CAO de la tuyère primaire, CAO des fixations sur hélicoptère, stockées dans la DMU hélicoptère	Dessiner un déviateur de jet Par un Designer CAO	Outil CAO DMU	CAO du déviateur de jet Estimation du poids du déviateur Plans d'assemblage	Responsable de la production et Responsable de l'assemblage
Activité b	Réception des plans d'assemblage	Designer	Plans d'assemblage	Fabriquer et Assembler le déviateur de jet	Méthodes d'usinage	Déviateur de jet	Responsable des tests physiques
Activité c	Réception du déviateur de jet	Responsable de l'assemblage	Plans de tests Missions de vols	Tester l'hélicoptère et Analyser les résultats, Equipe experts	Méthodes d'assemblage Méthode de pilotage Capteurs	Résultats des capteurs Analyse des données des capteurs Impact sur le DDJ	Designer

Les données collectées dans le Tableau 16 permettent ensuite de modéliser sous BPMN le scénario AS-IS (Activité 1 Tâche 1.2), en Figure 83. Le modèle représente les trois parties prenantes (Designer CAO, Responsable de production et d'assemblage, responsable des tests) ainsi que l'enchainement des trois activités principales. Suite aux tests physiques, si les résultats ne sont pas concluants, alors un nouveau design de déviateur doit être proposé et étudié.

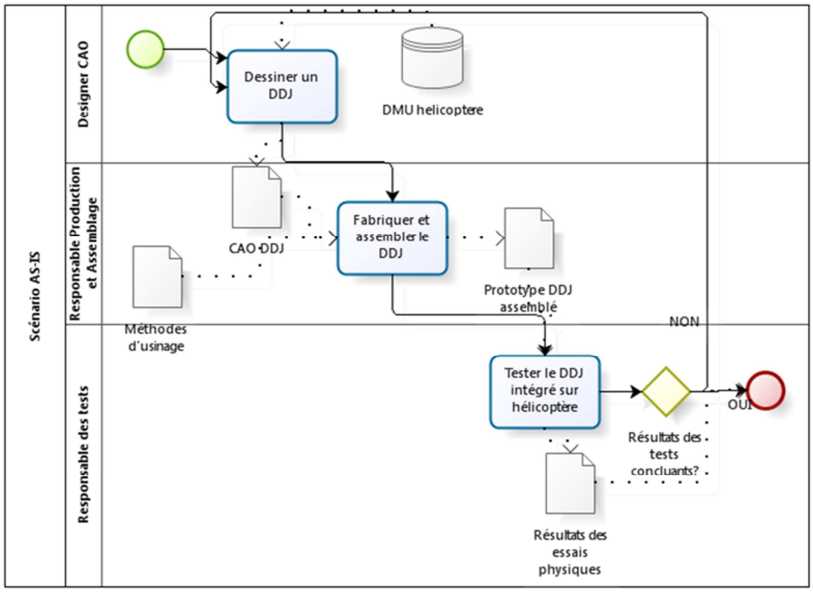


Figure 83 : Modèle du scénario AS-IS

Une étape de validation (Activité 1, Tâche 1.3) est réalisée entre l'ensemble des parties prenantes du projet amont.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

2.2- Analyser le modèle du scénario AS-IS (Activité 2)

Le modèle du scénario AS-IS (bien que simplifié pour des raisons de confidentialité) met en évidence des problèmes (Activité 2, Tâches 2.1).

- Dans l'approche appliquée et illustrée en Figure 83, la validation d'un design (Jalon « Résultats des tests concluants » s'appuie uniquement sur l'analyse des résultats d'essais physiques. Les problèmes de conception sont donc identifiés seulement en fin de développement lors des prototypages. Des coûts supplémentaires de re-conception mais aussi de fabrication et de tests sont ainsi engendrés (Problème 1, Tableau 17).
- Les résultats des essais sont analysés par des experts. La validation du jalon repose sur un jugement subjectif (Problème 2, Tableau 18).
- D'autre part, la géométrie CAO du déviateur de jet se base seulement sur des hypothèses d'encombrement et de poids. Mais qu'en est-il des variations du comportement matériau à hautes températures ? Le déviateur de jet agit comme un pot d'échappement soumis à des contraintes vibratoires importantes. La non-prise en compte de ces phénomènes thermiques et vibratoires engendre une trop grande approximation sur le comportement du déviateur (Problème 3, Tableau 19).
- Lors de l'usinage du déviateur, des soudures et vissages sont réalisés. Ces opérations d'usinage influencent nettement le design du déviateur mais aussi les propriétés du matériau du déviateur (Problème 4).
- Les étapes de fabrication ne sont pas anticipées : les métiers en production n'anticipent pas aujourd'hui les procédés et méthodes de fabrication nécessaires pour fabriquer le déviateur (Problème 5).

Parmi les problèmes identifiés, on se concentre sur la description des problèmes 1, 2 et 3 ; car ils sont liés à notre projet amont et au produit technologique M-BDA (Activité 2, Tâche 2.2).

Tableau 17 : Description du Problème 1

Question	Sujet de la question	Problème 1
Quoi	Problème	les problèmes de design sont identifiés trop tardivement dans le processus de développement de l'hélicoptère
Qui	Personne	L'ensemble de l'approche de conception est concernée chez Airbus Helicopters : la validation repose sur les résultats des tests physiques
	Service, Organisation	
Où	Concept	
Quand	Scenario	
Comment	Circonstances	Le délai entre la proposition de design et la validation de son comportement lors des tests physiques est trop long et trop couteuse
Pourquoi	Apparition du problème	Le comportement de la tuyère pour un design n'est pas anticipé

Tableau 18 : Description du Problème 2

Question	Sujet de la question	Problème 2
Quoi	Problème	La validation d'un design est subjective
Qui	Personne	Ce problème intervient en fin de processus, suite aux résultats des tests physiques. La décision de valider un design est fondée sur un jugement d'experts.
	Service, Organisation	
Où	Concept	
Quand	Scenario	
Comment	Circonstances	
Pourquoi	Apparition du problème	Airbus Helicopters conçoit et fabrique des hélicoptères. Les tuyères et déviateurs ont longtemps été réalisés par les équipementiers. C'est une nouvelle responsabilité

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

		d'Airbus Helicopters.

Tableau 19 : Description du Problème 3

Question	Sujet de la question	Problème 3
Quoi	Problème	Le design du déviateur repose sur des approximations du comportement des matériaux
Qui	Personne	Les designers
	Service, Organisation	
Où	Concept	La phase de design doit être améliorée et doit anticiper la phase de validation.
Quand	Scenario	
Comment	Circonstances	Le comportement dynamique du déviateur n'est pas pris en compte : vibrations, températures, …
Pourquoi	Apparition du problème	Le design d'un déviateur ne prend pas en compte les influences du matériau (vibration, dilatation, usinage, température) qu'il subit au cours de la production et de la mise en service.

Afin de proposer des pistes d'amélioration, des causes aux problèmes sont identifiées à l'aide de l'outil 5Why (Activité 2, Tâche 2.3). Des cartes de causes sont dessinées sous Xmind.

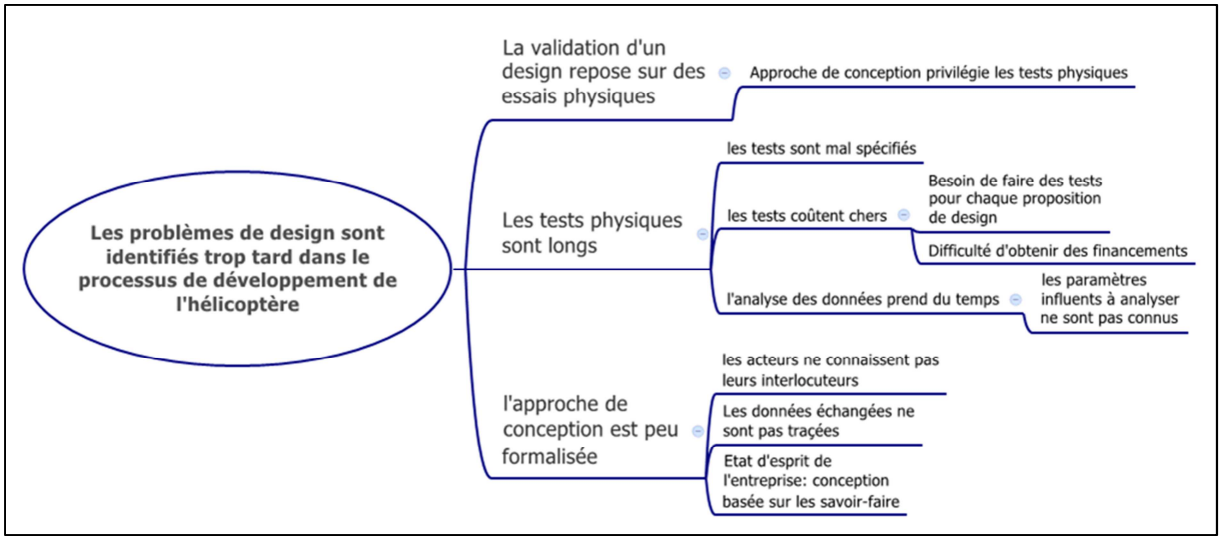


Figure 84: Arbre de causes du Problème 1 « les problèmes de design sont identifiés trop tard »

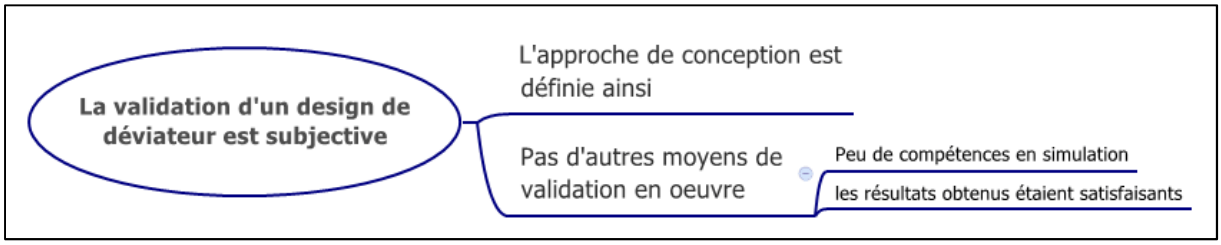


Figure 85 : Arbre de causes du Problème 2

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

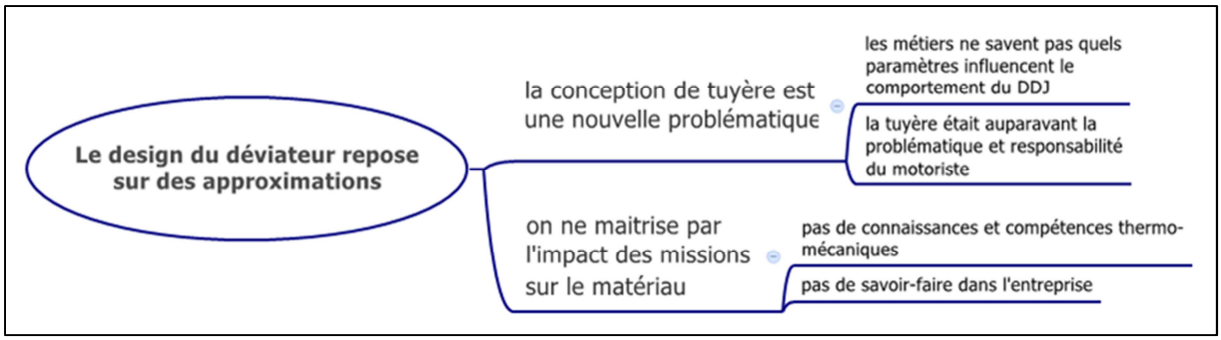


Figure 86 : Arbre de causes du Problème 3

Les problèmes 1, 2 et 3 reposent sur deux causes racines :

- la conception du déviateur est une nouvelle responsabilité d'Airbus Helicopters. Les méthodes de conception et les compétences associées ne sont pas disponibles.
- la validation du design de déviateur repose sur des tests physiques car les méthodes, outils et compétences en simulation sont nouveaux dans l'entreprise

Le projet amont se focalise sur la résolution des problèmes 1, 2 et 3 en étudiant la mise en œuvre d'un processus de simulation en phase de design pour soutenir la conception et anticiper la validation du design. La résolution des problèmes 1, 2 et 3 fait appel au produit technologique M-BDA. De plus, notre projet amont s'inscrit dans une nouvelle approche de conception, construite en parallèle du projet amont.

2.3- Concevoir un scénario TO-BE (Activité 3)

2.3.1- Proposition d'un scénario TO-BE

A partir de discussions, les acteurs de l'équipe projet proposent de résoudre les trois problèmes (Activité 3 Tâche 3.1) en définissant un workflow de calculs pour prédire le comportement aéro-thermo-mécanique d'un déviateur, dès les phases de design (en Figure 87). L'objectif de ce workflow est de mettre en œuvre une collaboration multi-physique et multi-acteurs au sein d'Airbus Helicopters pour améliorer la conception d'un déviateur. Le workflow implique trois familles d'acteurs : un aérodynamicien, un thermicien, un ingénieur structure. La mise en œuvre d'une collaboration multi-physiques et multi-acteurs repose sur des fonctionnalités du M-BDA. Afin d'améliorer le délai de validation d'un design, il est proposé d'automatiser certaines activités du workflow, telles que les mappings de données entre disciplines. Un mapping correspond à une projection, par exemple des flux aérodynamiques sur un maillage thermique. Une autre action d'amélioration est identifiée concernant les géométries CAO : chacune des trois disciplines travaille à partir de maillages, basés sur des géométries de différents niveaux de détail. Les parties prenantes souhaiteraient lier les résultats de calculs aux divers paramètres de nettoyage et de maillage de CAO. De cette façon, les parties prenantes seraient en mesure de tracer les paramètres de nettoyage, de maillage, de mise en données et de calculs pour chaque résultat.

Le scénario TO-BE modélisé est un processus itératif : pour chaque design de déviateur, une étude est réalisée. Le workflow s'initie par la réception d'une géométrie de tuyère et de ses fixations par l'ingénieur structure. **L'ingénieur structure est le client de l'étude**. Les trois acteurs démarrent respectivement le scénario TO-BE par une activité de nettoyage et de maillage de la géométrie qui leur est propre (« simplifier CAO »). L'ingénieur aérodynamique modélise et calcule les champs de vitesses à l'intérieur et autour du déviateur. Les résultats des calculs sont envoyés et exploités par l'ingénieur thermicien (« mapping surfacique ») et par l'ingénieur structure « mapping surfacique »). L'ingénieur thermicien étudie les champs de températures à l'intérieur et au voisinage du déviateur et envoie ses résultats à l'ingénieur structure. A partir d'un maillage, des champs de vitesses (« mapping surfacique ») et de températures (« mapping volumiques »), l'ingénieur structure étudie le comportement aéro-thermo-mécanique du déviateur pour différents points de fonctionnement de

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

l'hélicoptère (« simulation aéro-thermo-mécanique »). A l'aide de cette approche, l'ingénieur structure étudie l'influence d'un design mais aussi d'un matériau sur la durée de vie du déviateur.

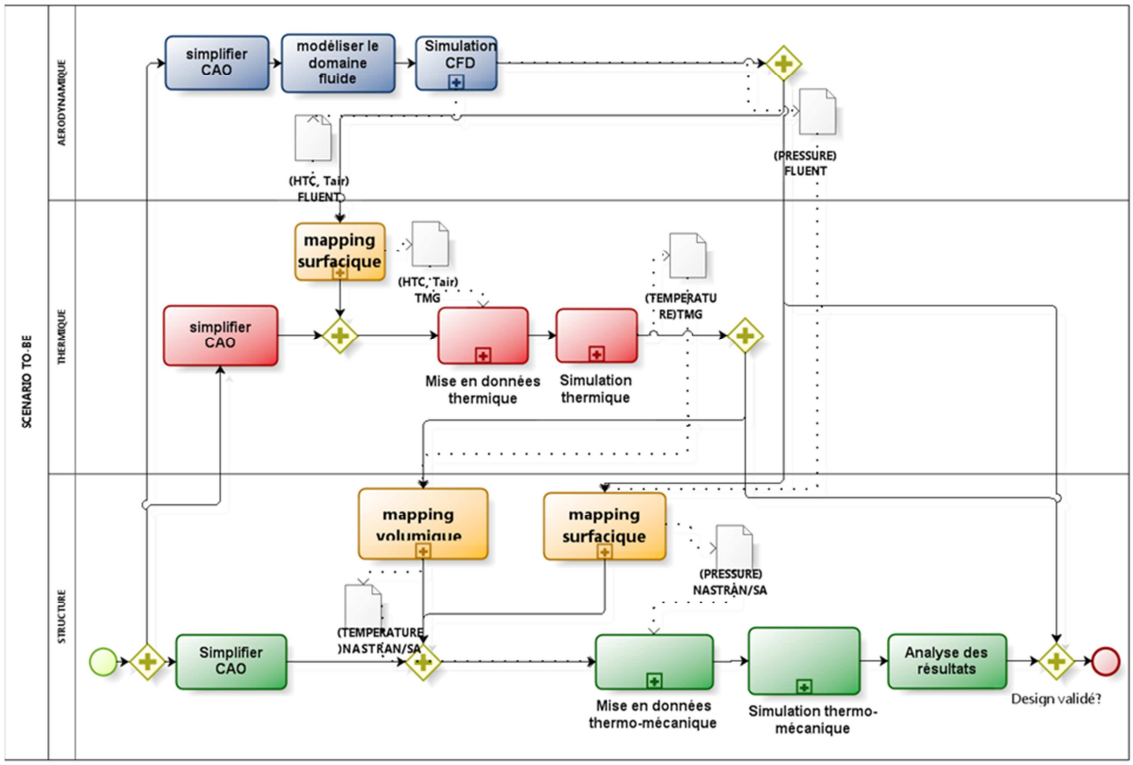


Figure 87 : Modèle BPMN du scénario TO-BE proposé pour le cas pilote du projet amont interne

Le scénario TO-BE (modélisé en Figure 87) est construit et validé par les parties prenantes, à l'aide de leurs pratiques industrielles sur d'autres sujets. Un seul scénario TO-BE est identifié avec de possibles variantes sur le choix des solutions technologiques pour exécuter les activités.

2.3.2- Identification des améliorations apportées

Avant de démarrer les étapes d'analyse des exigences et de spécification, les parties prenantes identifient les gains attendus par le déploiement du scénario TO-BE (Activité 3, Tâche 3.5). Les gains concernent la conception du déviateur grâce à l'utilisation du M-BDA. L'utilisation d'un tel workflow de calculs permet de mieux estimer la durée de vie d'un déviateur en fonction de son design, des matériaux utilisés et des points de vols d'un hélicoptère. Par le déploiement du scénario TO-BE, on souhaite :

- gain A : augmenter la durée de vie du déviateur. Le critère de mesure du gain A est la durée avant apparition de la première fissure, exprimée en heure de vols.
- gain B : réduire les coûts de conception du déviateur en produisant du premier coup le bon design (« first time right »). Le critère de mesure du gain B est le coût de conception exprimé en euros (de la phase de dessin CAO jusqu'à la validation des résultats des tests physiques). La réduction des coûts de conception est en effet due à une réduction des tests physiques et essais en vols : la simulation permet de déterminer les facteurs influents à tester en conditions réelles.

Concernant le gain A, on est en mesure de chiffrer, en situation AS-IS, la durée avant apparition de la première fissure sur le déviateur et la durée avant remplacement de la tuyère (données confidentielles). Par contre, en situation TO-BE, on ne connaitra pas précisément la valeur du critère de mesure du gain A : les analystes prédiront la durée de vie d'un déviateur non en usage.

Concernant le gain B, en situation AS-IS, les coûts de conception d'un déviateur ne sont pas connus faute de référentiels financiers et de traçabilité des données. La valeur du critère de mesure du gain B

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

en situation AS-IS n'est donc pas connue. La situation TO-BE de conception n'est pas encore maitrisée : le scénario TO-BE (Figure 85) présente seulement une étape de la conception : les prédictions aéro-thermo-mécaniques. On ne connait pas encore les ressources nécessaires pour concevoir, produire un prototype et tester le design. Le gain B ne pourra être mesuré. De plus, il est difficile d'estimer la valeur de ce critère de gain en situation TO-BE : grâce aux outils de simulation, les études de conception dureront peut-être aussi longtemps mais étudieront beaucoup plus de design et variantes.

Concernant purement l'utilisation du produit technologique M-BDA (c'est-à-dire peu importe le contexte technique), les parties prenantes identifient la possibilité de réaliser plus d'études, et plus rapidement, grâce à la formalisation du scénario TO-BE et à l'automatisation d'activités de mapping. Les gains concernent :

- gain C : la réduction de la durée des analyses. Pour chaque design de tuyère, les analystes étudient 15 points de fonctionnement d'un hélicoptère. Pour un design de déviateur, 15 calculs sont donc à exécuter. Le critère de mesure du gain C correspond à la durée d'une analyse pour un point de fonctionnement. En situation AS-IS, une analyse dure 1 journée pour les mappings et peu augmenter en fonction de la disponibilité des parties prenantes.
- gain D : la réduction de la charge pour réaliser une analyse, grâce à l'automatisation de certaines activités. Le critère de mesure du gain D est le nombre de personnes nécessaire pour réaliser une analyse par rapport au temps consacré. En situation AS-IS, ce critère représente 3 personnes.
- gain E : la réduction du volume de données stockées, obtenue par une meilleure gestion des données. Ce gain est qualitatif car on n'est pas en mesure d'évaluer ces volumes de données.
- gain F : amélioration de la qualité des données. Le M-BDA limite le travail de données d'une discipline à une autre. Ce gain est également qualitatif.
- gain G : la réduction du temps consacré à rechercher des données, qui dépend de chaque analyste. C'est un gain qualitatif.
- gain H : Réduction de la durée pour exploiter les résultats. Les outils de gestion de données offrent des fonctionnalités de visualisation rapide et de rédaction de rapport automatique. Sans ces outils, la visualisation d'un résultat n'est pas automatique et prend environ 5 minutes, ce qui pour un seul design de déviateur, implique 30 minutes d'attentes pour visualiser les résultats. En situation TO-BE, la visualisation sera automatique.

Le Tableau 20 résume les différents gains identifiés et liés au produit technologique M-BDA. Même si les parties prenantes ont identifiés plusieurs gains quantitatifs, mais faute de données, très peu sont utilisables pour chiffrer les résultats d'exploitation du produit technologique. Cependant, ils seront de très bons arguments qualitatifs pour soutenir le business case.

Tableau 20 : Gains quantitatifs et qualitatifs liés au produit technologique M-BDA

Gain	Type de gain	Critère de mesure	Valeur AS-IS
Gain A : augmentation de la durée de vie du déviateur	Quantitatif mais non quantifiable faute de données	durée avant apparition de la première fissure, exprimée en heure de vols	confidentielle
gain B : réduction des coûts de conception du déviateur	Quantitatif mais non quantifiable faute de données	le coût de conception, exprimé en euros	Valeur non connue
gain C : réduction de la durée des analyses	Quantitatif	durée d'une analyse pour un point de fonctionnement, exprimée en heures	Environ 8 heures par point de fonctionnement, soit 2 semaines de travail pour un seul design

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

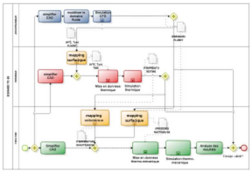
gain D : réduction de la charge pour réaliser une analyse	Quantitatif	le nombre de personnes nécessaire pour réaliser une analyse	3 personnes
gain E : réduction du volume de données stockées	Quantitatif mais non quantifiable faute de données	volume de données	Valeur non connue
gain F : amélioration de la qualité des données	Qualitatif		
gain G : réduction du temps consacré à rechercher des données	Qualitatif		
gain H : réduction de la durée pour exploiter les résultats	Quantitatif	Durée pour visualiser un résultat, en minutes	5 minutes par point de fonctionnement, soit 30 minutes pour un seul design de déviateur

2.4- Analyser les exigences du produit technologique et en définir son architecture fonctionnelle (Activités 4 et 5)

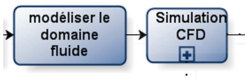
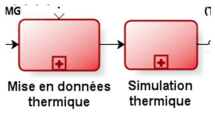
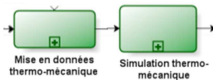
2.4.1- Analyse des exigences

Le scénario TO-BE illustre des exigences des parties prenantes, et des contraintes liées au futur environnement industriel du produit technologique M-BDA. Les parties prenantes ont réalisé une analyse des exigences et formalisé un cahier des exigences. Le Tableau 21 est un extrait du cahier des exigences.

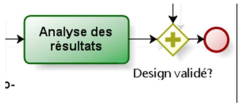
Tableau 21 : Exigences des parties prenantes du cas pilote

Element du scénario TO-BE concerné	ID Exigence métier	Exigence des parties prenantes et Contraintes de l'environnement opérationnel
	B-ID01	Les parties prenantes souhaitent créer une étude
	B-ID02	Les parties prenantes souhaitent créer un workflow de calcul
	B-ID03	Les parties prenantes veulent automatiser un workflow de calcul
	B-ID04	Les parties prenantes souhaitent tracer les échanges de modèles CAO et CAE
	B-ID05	Les parties prenantes souhaitent rechercher, lire, utiliser, archiver, partager des données, modèles, méthodes
	B-ID06	Les parties prenantes souhaitent gérer des workflow de calcul multi-acteurs
	B-ID07	Les parties prenantes souhaitent gérer des workflow de calcul multi-organisation
	B-ID08	Les parties prenantes souhaitent définir un pilote de workflow et des responsables d'activités
	B-ID09	Les parties prenantes doivent pourvoir stocker leurs processus, modèles et résultat dans une zone d'archivage sécurisée (environ 3Go pour une chaine de calcul aéro-thermo mécanique)
	B-ID10	Les parties prenantes ont besoin d'échanger des données, modèles … tout au long du processus.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

	B-ID11	La partie prenante a besoin d'utiliser des modèles CAO (Catia V4 et V5)
	B-ID12	La partie prenante a besoin de récupérer des modèles CAO dans l'outil de gestion CAO d'Airbus Helicopters (VPM)
	B-ID13	La partie prenante a besoin d'outil de simplification géométrique (SpaceClaim, NX, Hypermesh, Patran)
	B-ID14	La partie prenante a besoin d'assembler des modèles CAO
	B-ID15	La partie prenante a besoin de tracer et archiver les paramètres de simplification avec le modèle résultant
	B-ID16	La partie prenante a besoin de connaitre les règles de simplification
  	B-ID17	La partie prenante a besoin d'utiliser des modèles d'éléments finis
	B-ID18	La partie prenante a besoin d'utiliser des outils de maillage (ICEM CFD, TGRID, NX, Hypermesh, Patran)
	B-ID19	La partie prenante a besoin de tracer et d'archiver les paramètres de maillage
	B-ID20	La partie prenante a besoin de tracer les conditions limites du modèle
	B-ID21	La partie prenante a besoin d'utiliser des modèles CFD ; thermiques et structures (Ansys Fluent, Siemens NX-Thermal, MsC Nastran)
	B-ID22	Les parties prenantes doivent récupérer les caractéristiques de vol d'un hélicoptère
	B-ID23	Les parties prenantes ont besoin de lancer des calculs (Ansys Fluent, Siemens NX-Thermal, MsC Nastran)
	B-ID24	La partie prenante a besoin de lier les paramètres de calculs aux résultats
	B-ID25	La partie prenante souhaite pouvoir retrouver un modèle à partir d'un paramètre
	B-ID26	La partie prenante a besoin d'exécuter des calculs sur HPC (serveur de calcul Airbus Helicopters)
	B-ID27	La partie prenante a besoin d'être notifié si la géométrie CAO évolue
	B-ID28	La partie prenante a besoin d'être notifié lorsque les résultats d'un calcul sont disponibles
	B-ID30	L'exécution d'une activité automatisée doit attendre que toutes les données d'entrée soient disponibles
	B-ID31	Les parties prenantes doivent pouvoir réaliser des boucles d'optimisation pour diverses variables de design
	B-ID32	La partie prenante souhaite pouvoir comparer des données calculées avec des données de tests physiques
	B-ID33	La partie prenante a besoin d'accéder aux bases de données matériaux
	B-ID34	La partie prenante veut coupler des calculs thermiques et aérodynamiques (Ansys Fluent/ Siemens NX-Thermal)
	B-ID35	La partie prenante veut coupler des calculs thermiques et structures (Siemens NX-Thermal/MsC Nastran)
	B-ID36	La partie prenante veut coupler des calculs aérodynamiques et structures (Ansys Fluent/MsC Nastran)
	B-ID37	Les parties prenantes veulent une interopérabilité des

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

		données, des formats et des outils entre disciplines
	B-ID38	La partie prenante veut visualiser les résultats
	B-ID39	Les parties prenantes souhaitent émettre des rapports automatiques des résultats et des paramètres associés
	B-ID40	La partie prenante souhaite lier les résultats aux divers paramètres (CAO, aérodynamique, thermique et structure) appliqués.
	B-ID41	Les parties prenantes souhaitent valider la qualité des résultats à chaque étape du workflow

2.4.2- Définition de l'environnement opérationnel du M-BDA

A partir des exigences métiers en Tableau 21 et à partir de l'identification des clients (en Partie 1 du Chapitre), les parties prenantes caractérisent le futur environnement opérationnel du M-BDA.

- gestion d'environ 300 utilisateurs, non en simultanée
- gestion de nombreux formats de données
- échange et archivage d'importants volumes de données (une dizaine de Tera)
- d'importants volumes produits et échangés : un calcul peut produire 250Go
- localisation européenne des utilisateurs (principalement France et Allemagne)

2.4.3- Analyse fonctionnelle du M-BDA

Le projet de recherche CRESCENDO s'est concentré sur la définition du produit technologique M-BDA et sur sa spécification. Dans le cadre du cas pilote, l'architecte informatique et système d'information n'a donc pas à recréer une architecture fonctionnelle : il doit s'assurer que celle développée dans CRESCENDO prend en compte les attentes des clients. Les fonctionnalités du M-BDA attendues sont résumées dans le Tableau 22. Elles ont été construites à partir des exigences métiers en Tableau 21.

Tableau 22 : Fonctions attendues du produit technologique M-BDA

ID - Spec	Fonctions du M-BDA	ID- Exigences associées
Exécution de calculs		
F-ID01	Le système doit permettre de créer une étude	B-ID01
F-ID02	Le système doit permettre de créer des workflow de simulation	B-ID02
F-ID03	Le système doit permettre d'automatiser un workflow	B-ID03, B-ID31
F-ID04	Le système doit offrir un historique des calculs	B-ID15, B-ID40
F-ID05	Le système doit offrir un tableau de bord d'avancement d'un workflow	B-ID30
F-ID06	Le système doit permettre de distribuer des activités et des tâches	B-ID06, B-ID07, B-ID08
F-ID07	Le système doit fournir un rapport automatique des résultats d'activités	B-ID39, B-ID40
F-ID08	Le système doit assurer l'interopérabilité d'outils de différents éditeurs	B-ID21, B-ID23, B-ID34, B-ID35, B-ID36, B-ID37
F-ID09	Le système doit permettre de nettoyer une géométrie	B-ID13
F-ID10	Le système doit permettre d'assembler des modèles CAO	B-ID14
F-ID11	Le système doit permettre de mailler une géométrie CAO	B-ID17, B-ID18
F-ID12	Le système doit permettre d'exécuter un calcul	B-ID21, B-ID23
F-ID13	Le système doit permettre de lancer un calcul sur HPC	B-ID26
F-ID14	Le système doit permettre d'accéder au Simulation Test Center	B-ID32
Entreprise Etendue, Collaboration		

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

F-ID15	Le système doit gérer des droits d'accès	B-ID06, B-ID07, B-ID08, B-ID30, B-ID32, B-ID42
F-ID16	Le système doit gérer la confidentialité des données	B-ID06, B-ID07, B-ID32, B-ID42, B-ID43
F-ID17	Le système doit permettre d'échanger des données	B-ID05, B-ID06, B-ID07, B-ID10, B-ID42
F-ID18	Le système doit permettre de notifier l'avancement de tâches	B-ID27, B-ID28, B-ID30
Gestion des données, des modèles, des métadonnées …		
F-ID19	Le système doit tracer et enregistrer les échanges de données	B-ID15, B-ID24, B-ID40
F-ID20	Le système doit gérer en configuration des documentations	B-ID05, B-ID09, B-ID24, B-ID25, B-ID40
F-ID21	Le système doit permettre de recherche par critères des données	B-ID25
F-ID22	Le système doit capturer des informations sur un modèle	B-ID15, B-ID19, B-ID20, B-ID24, B-ID40
F-ID23	Le système doit permettre d'importer des modèles, données …	B-ID05, B-ID09
F-ID24	Le système doit permettre d'exporter des modèles, données …	B-ID05, B-ID09
F-ID25	Le système doit permettre d'accéder aux environnements de gestion des données CAO	B-ID11, B-ID12
F-ID26	Le système doit permettre d'accéder aux bases de données	B-ID33, B-ID44
F-ID27	Le système doit permettre d'accéder aux outils de maillage	B-ID17, B-ID18
F-ID28	Le système doit permettre d'accéder aux outils de simplification géométrique	B-ID13
F-ID29	Le système doit permettre d'accéder aux outils de calculs	B-ID21
F-ID30	Le système doit permettre de visualiser des résultats expérimentaux	B-ID38
F-ID31	Le système doit permettre d'accéder aux archives de méthodes	B-ID16
F-ID32	Le système doit permettre d'accéder aux bases de spécifications hélicoptères (DOORS)	B-ID22
F-ID33	Le système doit permettre d'accéder à HPC	B-ID26
F-ID34	Le système doit permettre d'accéder au Simulation Test Center	B-ID32
Gestion de la qualité		
F-ID35	Le système doit permettre de valider chaque résultat d'activité du workflow	B-ID41
F-ID36	Le système doit permettre de comparer des données calculées à des données de tests	B-ID32

Dans le cadre du projet amont, les parties prenantes n'ont pas exprimé d'exigences concernant le cycle de vie (développement, support, maintenance) ni les exigences de performances du M-BDA.

On identifie deux niveaux de décomposition fonctionnelle du produit technologique M-BDA :

- un premier niveau de décomposition qui correspond aux familles de fonctions du M-BDA : exécution de calculs, collaboration, gestion des données et gestion de la qualité
- un second niveau qui correspond à l'intégration des familles de fonctions sur une architecture pour créer le M-BDA

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

La méthodologie TVL proposée en Chapitre 4 préconisait :

- à TVL4 on étudie les composants d'un produit technologique dans un environnement industriel opérationnel simplifié.
- à TVL5, on intègre les composants dans des sous-systèmes et on étudie leur maturité dans un environnement plus complexe : l'environnement représentatif du futur environnement opérationnel de l'innovation d'ingénierie
- à TVL6, on étudie la maturité du système complet, c'est à dire le produit technologique à la base de l'innovation d'ingénierie dans un environnement représentatif.

Dans le contexte du projet amont traité, les TVL5 et TVL6 sont donc identiques :

- à TVL4 on étudie les familles de fonction du M-BDA dans un environnement industriel opérationnel simplifié.
- à TVL5/TVL6, on intègre les composants et on étudie la valeur du M-BDA dans un environnement représentatif du futur environnement opérationnel de l'innovation d'ingénierie

.

L'objectif du projet amont est de démarrer l'expression des besoins métiers lors d'une évaluation de TVL4.

Dans cette seconde partie de chapitre, les parties prenantes ont déterminé un scénario TO-BE pour prédire la durée de vie d'un déviateur en s'appuyant sur de la collaboration multidisciplinaire. Le scénario TO-BE spécifie le produit technologique M-BDA. L'objectif du projet amont est de démarrer une évaluation de TVL4 du produit technologique M-BDA.

Partie 3 – Phase d'exécution du projet amont : prototypage et évaluation de la valeur (TVL)

Cette partie se focalise sur l'évaluation du TVL4 du produit technologique M-BDA : prototypage et tests des composants puis évaluation de la valeur.

3.1- Prototypage et test des composants du produit technologique M-BDA (Activité 6 et 7)

3.1.1- Environnement TVL4

L'environnement TVL4 correspond à un environnement simplifié de l'environnement opérationnel (défini précédemment en 2.4.2). On le caractérise par :

- un nombre d'utilisateur restreints mais représentatifs de chacun des métiers : un ingénieur thermique, aérodynamique et structure, soit trois utilisateurs
- une géométrie de déviateur de jet simplifié sur les formes et donc en volume
- les échanges seront réalisés en local : tous les outils de calculs sont installés sur un même PC. Le workflow n'est donc pas distribué. Les trois utilisateurs sont représentés par leurs outils mais pas par des rôles dans le workflow.

De plus, pour simplifier l'environnement, la première étape de scénario TO-BE, le calcul aérodynamique, est déjà réalisée.

3.1.2- Architecture fonctionnelle – Architecture Physique

Avant de réaliser les tests, les parties prenantes choisissent des solutions appropriées pour chaque famille de fonctions du M-BDA. Les solutions sont toutes des outils sur étagères industriels (COTS).

Le Tableau 23 présente les solutions associées à chacune des familles de fonctions du M-BDA.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Tableau 23 : Architecture physique du M-BDA

Familles de fonctions		Solutions
Entreprise étendue, collaboration		Analysis Server (Phoenix Integration)
Gestion des données		Analysis Library (Phoenix Integration)
Exécution de calculs	Gestion de workflow	Model Center (Phoenix Integration)
	Outils de calculs (authoring)	Fluent (Ansys) NX-Thermal (Siemens PLM) Nastran (MsC Software)
Gestion de la qualité		Non traité pendant le projet amont

L'objectif du TVL4 est de vérifier que chaque solution est en mesure de fonctionner correctement dans l'environnement Airbus Helicopters TVL4.

3.1.3- Test des composants dans l'environnement TVL4

Un workflow de calculs (Figure 88) est créé dans Model Center à partir du modèle du scénario TO-BE. Les composants du M-BDA sont testés en local sur une seule unité centrale. On regarde si les composants du M-BDA sont en mesure de s'intégrer dans l'environnement Airbus Helicopters et d'en supporter les contraintes.

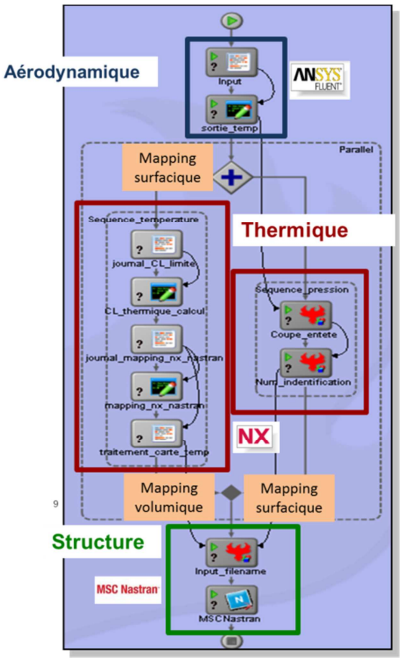


Figure 88 : Workflow de calculs du cas pilote DDJ

3.2- Evaluation du TVL4

3.2.1- Evaluation de la valeur fonctionnelle à TVL4

L'évaluation de la valeur fonctionnelle s'appuie sur trois critères :

- la démonstration de la faisabilité technologique,
- la vérification de la capacité d'intégration

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

- et, l'anticipation de la gestion du cycle de vie du produit technologique et de l'innovation d'ingénierie associée.

Afin d'évaluer ces critères, les parties prenantes doivent :

- définir les contraintes, exigences et spécifications du produit technologique du composant au système global **[Preuve : Cahier des exigences]**
- définir les exigences du cycle de vie du produit technologique **[Preuve : Cahier des exigences]**
- anticiper les problématiques de propriété industrielle **[Preuve : cahier des exigences]**
- définir l'architecture fonctionnelle et physique du produit technologique **[Preuve : Architecture fonctionnelle et cahier des exigences]**
- spécifier l'environnement opérationnel **[Preuve : Cahier des exigences]**
- tester des prototypes de composants dans l'environnement TVL4 du scénario TO-BE **[Preuve : plan de test et résultats de test]**
- validation des exigences par les tests **[Preuve : Validation du cahier des exigences à l'aide des résultats des tests]**

A partir des résultats des tests, les parties prenantes étudient la validation du cahier des exigences (Tableau 24) :

- certaines exigences sont validées par les tests à TVL4
- d'autres exigences n'ont pu être validées dans l'environnement TVL4
    - soit celles-ci sont associées à l'intégration des composants et seront donc étudiées à TVL5 (B-ID04, B-ID06, B-ID08, B-ID10…)
    - soit les tests à TVL4 ne vérifient pas les comportements et performances souhaités. C'est le cas de l'importation et exportation vers de l'archivage par Analysis Server (B-ID05). En effet l'outil réclame de copier les fichiers en local ce qui n'est plus possible pour des fichiers de plus de 2Go. L'éditeur de logiciel conseille alors d'éviter de gérer des fichiers et plutôt des chemins de répertoire. Cette solution dépend alors fortement des lieux de stockage … L'exigence B-ID30 liée à l'automatisation des activités n'est pas validée. Un problème de synchronisation est identifié lors de l'exécution du workflow.

Tableau 24 : Validation des exigences par les tests à TVL4

ID Exigence métier	Exigence des parties prenantes et Contraintes de l'environnement opérationnel	Exigences validées à TVL4 (Oui/Non)	TVL5
B-ID01	Les parties prenantes souhaitent créer une étude	Oui	
B-ID02	Les parties prenantes souhaitent créer un workflow de calcul	Oui	
B-ID03	Les parties prenantes veulent automatiser un workflow de calcul	Oui	
B-ID04	Les parties prenantes souhaitent tracer les échanges de modèles CAO et CAE	A TVL4 : le workflow, ses calculs et mappings, ont été lancés et exécutés par un seul acteur, en local.	
B-ID05	Les parties prenantes souhaitent rechercher, lire, utiliser, archiver, partager des données, modèles, méthodes	Non, les fonctions d'archivage sont utilisées mais le volume des données est un problème pour Analysis Server	
B-ID06	Les parties prenantes souhaitent gérer des workflow	A TVL4 :	

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

	de calcul multi-acteurs	le workflow, ses calculs et mappings, ont été lancés et exécutés par un seul acteur, en local.	
B-ID07	Les parties prenantes souhaitent gérer des workflow de calcul multi-organisation	Non, le périmètre du cas pilote n'intègre pas d'acteurs externes	
B-ID08	Les parties prenantes souhaitent définir un pilote de workflow et des responsables d'activités	A TVL4 : le workflow, ses calculs et mappings, ont été lancés et exécutés par un seul acteur, en local.	
B-ID09	Les parties prenantes doivent pourvoir stocker leurs processus, modèles et résultat dans une zone d'archivage sécurisée (environ 3Go pour une chaine de calcul aéro-thermo mécanique)	Oui	
B-ID10	Les parties prenantes ont besoin d'échanger des données, modèles … tout au long du processus.	A TVL4 : le workflow, ses calculs et mappings, ont été lancés et exécutés par un seul acteur, en local.	
B-ID11	La partie prenante a besoin d'utiliser des modèles CAO (Catia V4 et V5)	Oui	
B-ID12	La partie prenante a besoin de récupérer des modèles CAO dans l'outil de gestion CAO d'Airbus Helicopters (VPM)	A TVL4 : La géométrie CAO est déjà maillée	
B-ID13	La partie prenante a besoin d'outil de simplification géométrique (SpaceClaim, NX, Hypermesh, Patran)	A TVL4 : Le maillage est déjà prêt	
B-ID14	La partie prenante a besoin d'assembler des modèles CAO	Non, le périmètre du cas pilote n'intègre pas d'assemblage de CAO	
B-ID15	La partie prenante a besoin de tracer et archiver les paramètres de simplification avec le modèle résultant	Oui	
B-ID16	La partie prenante a besoin de connaitre les règles de simplification	A TVL4 : La géométrie CAO est déjà maillée	
B-ID17	La partie prenante a besoin d'utiliser des modèles d'éléments finis	Oui	
B-ID18	La partie prenante a besoin d'utiliser des outils de maillage (ICEM CFD, TGRID, NX, Hypermesh, Patran)	A TVL4 : La géométrie CAO est déjà maillée	
B-ID19	La partie prenante a besoin de tracer et d'archiver les paramètres de maillage	Oui	
B-ID20	La partie prenante a besoin de tracer les conditions limites du modèle	Oui	
B-ID21	La partie prenante a besoin d'utiliser des modèles CFD ; thermiques et structures (Ansys Fluent, Siemens NX-Thermal, MsC Nastran)	Oui	
B-ID22	Les parties prenantes doivent récupérer les caractéristiques de vol d'un hélicoptère	Oui	
B-ID23	Les parties prenantes ont besoin de lancer des calculs (Ansys Fluent, Siemens NX-Thermal, MsC Nastran)	Oui	
B-ID24	La partie prenante a besoin de lier les paramètres de	Oui	

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

	calculs aux résultats		
B-ID25	La partie prenante souhaite pouvoir retrouver un modèle à partir d'un paramètre	Oui	
B-ID26	La partie prenante a besoin d'exécuter des calculs sur HPC (serveur de calcul Airbus Helicopters)	Oui	
B-ID27	La partie prenante a besoin d'être notifié si la géométrie CAO évolue	A TVL4 : le workflow, ses calculs et mappings, ont été lancés et exécutés par un seul acteur, en local.	
B-ID28	La partie prenante a besoin d'être notifié lorsque les résultats d'un calcul sont disponibles	A TVL4 : le workflow, ses calculs et mappings, ont été lancés et exécutés par un seul acteur, en local.	
B-ID30	L'exécution d'une activité automatisée doit attendre que toutes les données d'entrée soient disponibles	Non, problème de synchronisation avec NX	
B-ID31	Les parties prenantes doivent pouvoir réaliser des boucles d'optimisation pour diverses variables de design	Oui	
B-ID32	La partie prenante souhaite pouvoir comparer des données calculées avec des données de tests physiques	Non	
B-ID33	La partie prenante a besoin d'accéder aux bases de données matériaux	Non	
B-ID34	La partie prenante veut coupler des calculs thermiques et aérodynamiques (Ansys Fluent/ Siemens NX-Thermal)	Oui	
B-ID35	La partie prenante veut coupler des calculs thermiques et structures (Siemens NX-Thermal/MsC Nastran)	Oui	
B-ID36	La partie prenante veut coupler des calculs aérodynamiques et structures (Ansys Fluent/MsC Nastran)	Oui	
B-ID37	Les parties prenantes veulent une interopérabilité des données, des formats et des outils entre disciplines	Oui	
B-ID38	La partie prenante veut visualiser les résultats	Oui	
B-ID39	Les parties prenantes souhaitent émettre des rapports automatiques des résultats et des paramètres associés	Oui	
B-ID40	La partie prenante souhaite lier les résultats aux divers paramètres (CAO, aérodynamique, thermique et structure) appliqués.	Oui	
B-ID41	Les parties prenantes souhaitent valider la qualité des résultats à chaque étape du workflow	Non	

En fin de projet amont, la valeur fonctionnelle des composants du M-BDA dans un environnement TVL4 d'Airbus Helicopters n'est que partiellement validée. Les parties prenantes doivent :

- étudier les exigences du cycle de vie
- retravailler le workflow et relancer les tests pour valider les exigences bloquantes
- étudier les problématiques de propriété industrielle

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

3.2.2- Evaluation de l'utilité à TVL4

L'évaluation de l'utilité s'appuie sur :

- l'identification du client **[Preuve : Caractérisation du client]**
- la formalisation des besoins du client et les applications industrielles visées **[Preuves : Cahier des exigences et Applications Industrielles]**
- l'anticipation et validation des usages **[Preuve : Validation du cahier des exigences]**

Le client a été identifié dès le début de la démarche amont (voir paragraphe 1.1.2) et ses besoins ont été collectés et formalisés dans le cahier des exigences.
Concernant les usages et applications industrielles, le projet amont s'est concentré sur une chaine de calculs interne à Airbus Helicopters, dans le contexte du cas pilote.

En fin de projet amont, l'utilité des composants du M-BDA dans un environnement TVL4 d'Airbus Helicopters est partiellement validée. Les parties prenantes doivent :

- lister les applications industrielles attendues par l'ensemble des clients
- déterminer les exigences associées aux applications industrielles et les tester

3.2.3- Evaluation de la rentabilité à TVL4

L'évaluation de la rentabilité s'appuie sur l'identification de gains quantitatifs et qualitatifs ainsi que leur évaluation.
Suite à la modélisation d'un scénario TO-BE, des gains quantitatifs et qualitatifs ont été identifiés. Pour les gains quantitatifs, un critère de mesure ainsi que sa valeur en situation AS-IS ont été déterminés. A partir des tests en environnement TVL4, les critères de mesure sont évalués dans le scénario TO-BE (Tableau 25). Concernant l'augmentation de la durée de vie du déviateur (gain A), les parties prenantes déterminent un nombre d'heures de vols avant l'apparition de la première fissure. Cependant la valeur obtenue n'est pas représentative : les prédictions prennent seulement en compte le comportement thermique. Il manque le comportement vibratoire. Concernant la durée des analyses, l'automatisation de certaines activités permet de réduire par deux les ressources humaines (Gain D) et la durée d'une analyse (Gain C).

Tableau 25 : Evaluation des gains dans le scénario TO-BE

Type de gain	Critère de mesure	Valeur AS-IS	Valeur TO-BE
Gain A : augmentation de la durée de vie du déviateur			
Quantitatif mais non quantifiable faute de données	durée avant apparition de la première fissure, exprimée en heure de vols	confidentielle	Le workflow en scénario TO-BE permet d'estimer un nombre d'heures de vols avant fissure mais, faute de données vibratoires, il n'est pas représentatif
Gain B : réduction des coûts de conception du déviateur			
Quantitatif mais non quantifiable faute de données	le coût de conception, exprimé en euros	Valeur non connue	Valeur non connue
Gain C : réduction de la durée des analyses			
Quantitatif	durée d'une analyse pour un point de fonctionnement, exprimée en heures	Environ 8 heures par point de fonctionnement, soit **2 semaines** de travail pour un seul design	Les étapes de mapping et les échanges sont automatisés. Durée = 4 heures soit **4 jours** de travail pour un seul design
Gain D : réduction de la charge pour réaliser une analyse			
Quantitatif	le nombre de personnes nécessaire pour réaliser	**3 personnes**	**1,5 personnes**

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

	une analyse		
Gain E : réduction du volume de données stockées			
Quantitatif mais non quantifiable faute de données	volume de données	Valeur non connue	Valeur non connue
Gain F : amélioration de la qualité des données			
Qualitatif			
Gain G : réduction du temps consacré à rechercher des données			
Qualitatif			
Gain H : réduction de la durée pour exploiter les résultats			
Quantitatif	Durée pour visualiser un résultat, en minutes	5 minutes par point de fonctionnement, **soit 30 minutes pour un seul design de déviateur**	**Automatique**

La formalisation de gains qualitatifs renforce la valeur-ajoutée du produit technologique M-BDA. Cependant, les gains mesurés ne permettent pas d'estimer des recettes d'exploitation. Pour évaluer la rentabilité du produit technologique, d'autres gains quantitatifs, issus d'autres applications industrielles, sont à quantifier.

3.2.4- Evaluation de la valeur stratégique à TVL4

L'évaluation de la valeur stratégique s'appuie sur trois critères :

- l'engagement des hiérarchies au cours du projet amont **[Preuve : Engagement des hiérarchies au kick off meeting]**
- l'analyse des risques et opportunités de la future innovation d'ingénierie **[Preuve : Analyse d'une matrice SWOT]**
- l'adéquation avec la vision stratégique d'Airbus Helicopters **[Preuve : Cohérence de la roadmap d'innovation d'ingénierie avec les axes stratégiques]**

L'analyse des risques et opportunités s'appuie sur une matrice SWOT (en Figure 89) qui présente les forces et faiblesses de la future innovation d'ingénierie en interne Airbus Helicopters, associées aux opportunités et menaces liées à l'entreprise, au marché … Cette matrice n'a pas été réalisée au cours du projet amont. Elle est proposée à titre d'exemple.

La gestion des données et processus de simulation et la recherche d'une interopérabilité des outils est un besoin identifié chez Airbus Helicopters que le M-BDA résout. Ce besoin est d'autant plus important que la simulation croit. Cependant, un travail important de communication est à réaliser en interne d'Airbus Helicopters pour prouver les bienfaits d'une telle innovation d'ingénierie et en justifier son investissement. Les projets amont doivent aussi permettre d'anticiper les incertitudes et risques surtout organisationnel : déployer un M-BDA est aussi complexe qu'un déploiement de PLM.

Le projet amont a été lancé à l'initiative du responsable M&T Predictives, en vue de produire des preuves de la valeur du produit technologique M-BDA. Les quelques preuves produites (valeur fonctionnelle, utilité, rentabilité et valeur stratégique) ont été présentées aux différentes hiérarchies pour les motiver et valider leur engagement.

Concernant la stratégie, le produit technologique, par ses gains, contribue à améliorer la compétitivité d'Airbus Helicopters : plus d'analyses peuvent être réalisées en phase de pre-design. De cette façon, les prototypes prennent en compte des comportements dynamiques de l'hélicoptère.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

	STRENGHS	WEAKNESSES
INTERNE	1) **Besoin important de collaboration multi physiques, multidisciplinaires et multipartenaires** tout en assurant la traçabilité des échanges, la sécurité des accès et la gestion de la propriété industrielle 2) Exigence de la certification hélicoptère: recherche la **traçabilité et liens entre les données ,** leur résultats, les paramètres de calculs mais aussi les workflows, les études, des connaissances et informations. 3) Le M-BDA assure une **interopérabilité** des outils: les analystes pourraient réaliser plus d'études **4) Gain d'indépendance vis-à-vis des éditeurs de logiciels**	1) Le standard du M-BDA est complexe et non déposé 2) Le M-BDA nécessite de nouveaux rôles: architectes, gestionnaires … **3) Paradoxe du M-BDA:** Le M-BDA permet de se détacher des éditeurs de logiciels grâce à une interopérabilité des solutions, mais si les éditeurs de logiciels n'adoptent pas le nouveau standard, alors le concept de M-BDA n'est pas viable. 4) Le déploiement du M-BDA en interne Airbus Helicopters représente un **fort investissement**, similaire au PLM, ainsi que du support
	OPPORTUNITES	**THREATS**
EXTERNE	1) **Le projet de recherche TOICA** est une opportunité pour améliorer la maturité du M-BDA et illustrer de nouvelles applications 1) **Besoin croissant chez Airbus Helicopters de gérer la simulation** et de développer des processus et méthodes standardisées 1) Les activités de modélisation et simulation augmentent en raison des challenges d'Airbus Helicopters: - Réduire l'empreinte environnementale des hélicoptères - Améliorer la satisfaction client	1) **Gérer la résistance au changement** dû aux nouveaux rôles et méthodes de travail impliqués par le M-BDA 2) **La différence entre M-BDA et SLM n'est pas claire**

Figure 89 : Matrice SWOT du produit technologique M-BDA

3.3- Actions futures pour valider TVL4 et avancer vers TVL5-6

L'évaluation des indicateurs de valeur ne permet pas de valider un TVL4 pour les composants du produit technologique M-BDA. Des actions correctives sont à réaliser :

- l'analyse des exigences doit être approfondie avec les exigences de cycle de vie, la définition des performances attendues
- les parties prenantes doivent déterminer les applications industrielles souhaitées et définir deux ou trois cas pilotes supplémentaires pour représenter ces applications
- l'étude du produit technologique M-BDA dans plusieurs cas pilote, en parallèle, enrichira non seulement les exigences mais aussi l'utilité et la rentabilité du produit technologique

Le projet amont, présenté dans ce chapitre, est un « ambassadeur » : il a permis de produire des connaissances et des preuves de la valeur du produit technologique M-BDA. Ces preuves sont présentées, communiquées pour convaincre les hiérarchies de la nécessité et de l'urgence de gérer les processus et données de simulation.

Une fois ces actions correctives mises en œuvre et le TVL4 validé, les parties prenantes se concentreront sur le jalon suivant : l'étude du produit technologique à TVL5-6. Le workflow de calculs devra être exécuté en distribué sur différents postes de travail.

Conclusion Chapitre 6 : Evaluer la valeur en phase amont

La méthodologie de pilotage, décrite dans les Chapitre 4 et 5, a été appliquée sur un cas industriel, dont l'objectif était d'étudier le TVL4 du produit technologique M-BDA. La méthodologie permet, à l'aide des scénarios d'usage, de proposer des pistes d'améliorations et de générer des preuves de la valeur. En effet, la définition d'un scénario TO-BE aide les parties prenantes à imaginer et exprimer leurs besoins. De plus, le scénario TO-BE offre un environnement de test. Même si le TVL4 n'est pas validé pour le produit technologique M-BDA, l'approche produit des preuves utiles. Par exemple, le workflow de calculs a été présenté et a permis d'illustrer des fonctionnalités recherchées par d'autres

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

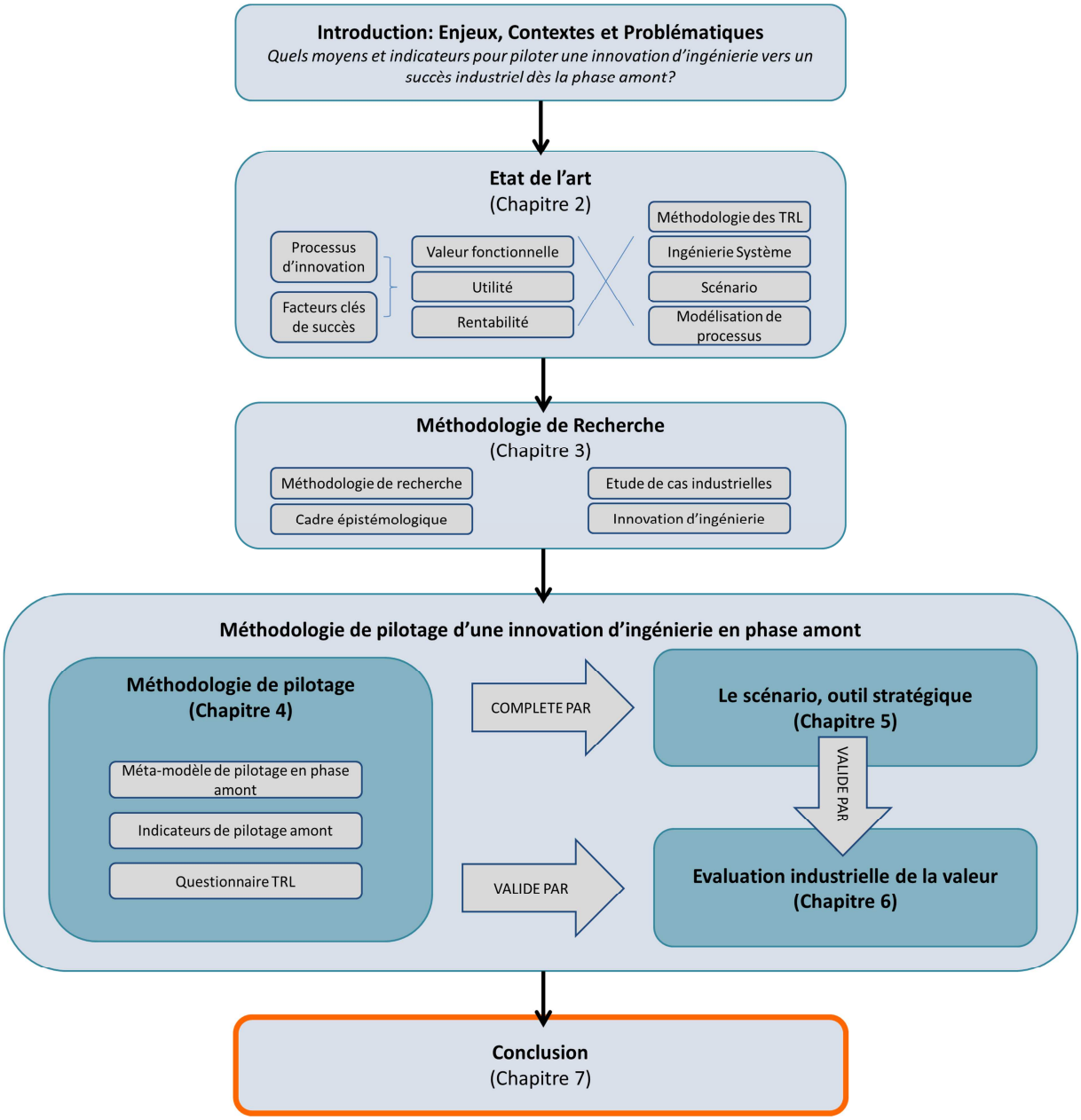
utilisateurs. Le workflow de calculs met aussi en évidence les impacts organisationnels : création de rôles, responsable de workflow, rôle d'administrateur …

L'étude d'un cas industriel montre que la méthodologie de pilotage est un bon guide et qu'elle peut et doit être adaptée à chaque étude. De plus, elle peut être appliquée tout ou partie selon l'objectif. On peut tout à fait appliquer seulement la phase de spécification pour aider des parties prenantes à formaliser des besoins. La logique d'évaluation de la rentabilité a été appliquée sur des projets de développement pour construire et vérifier des business cases. La méthodologie est une aide à la décision : en un projet de 6 mois, des preuves sont générées et un bref aperçu du potentiel du produit technologique M-BDA se dessine.

Concernant la gestion des processus et données de simulation, il est nécessaire de construire les études en phase amont autour de deux ou trois cas pilotes. L'intérêt est de définir des cas pilotes qui couvrent l'ensemble des besoins des clients. De plus, de nouvelles architectures physiques sont à étudiées.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Conclusion, apports et perspectives



© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Rappel des objectifs de la recherche

L'innovation apparaît comme un axe incontournable de progrès pour l'industrie du XXIème siècle confrontée à des enjeux économiques, écologiques et sociétaux inconnus jusqu'alors. Une entreprise innovante se distingue essentiellement par des produits qui apportent des innovations tantôt incrémentales, tantôt radicales. Par exemple, les récents premiers essais du Volocopter mettent en évidence des innovations radicales dans le domaine des aéronefs à décollage et atterrissage verticaux. Cet appareil, à voilures tournantes, est à propulsion totalement électrique (E-volo 2013). Tout aussi innovant, mais toutefois moins spectaculaire, le NH90 Caiman d'Airbus Helicopters propose une série d'innovations, dont les premières commandes de vol électrique sur un appareil produit en série. Airbus Helicopters souhaite ainsi améliorer sa compétitivité en répondant plus vite et mieux aux besoins des clients. L'innovation centrée sur le produit, hélicoptère dans cette thèse, n'est plus suffisante. Les industriels souhaitent optimiser leurs processus, méthodes et outils de conception, c'est-à-dire développer des **innovations d'ingénierie**.

Cette problématique n'est pas propre à l'aéronautique : dans l'automobile, le cycle moyen de développement de nouveaux produits est passé, en 15 ans, de 48 mois à 28 mois, avec des gains en qualité et en performances énergétiques. Néanmoins, ces progrès dans les innovations d'ingénierie sont largement méconnus. Certaines erreurs très médiatisées, imputables aux outils de développement ou à leurs usages, militent pour une meilleure organisation des processus d'innovation d'ingénierie, afin de qualifier les améliorations de façon fiable. Par exemple :

- la perte de la sonde martienne Mars Climate Orbiter le 23 septembre 1999 a mis en évidence un manque de formalisation dans les processus de transfert de données entre des partenaires du projet.

> *« Les ingénieurs de Lockheed Martin Astronautics (Denver dans le Colorado), la firme qui a conçu et fabriqué la sonde martienne, avaient apparemment gardé la mauvaise habitude de travailler avec les unités du système Anglo-Saxons. De leur côté, les ingénieurs du Jet Propulsion Laboratory (Pasadena en Californie) travaillaient depuis des années dans le système métrique, reconnu au niveau international comme étant le système de référence. Il semble que lors du transfert des données entre le centre de Lockheed et celui du JPL, personne ne se soit rendu compte qu'il fallait convertir les données ! »* (Mars 1999)

- Le programme AIRBUS A380 a subi des retards importants imputables aux outils de l'ingénierie, aux méthodologies de travail et aux différences culturelles, occasionnant des pertes financières sévères.

> *« Illustration de la difficulté d'harmoniser méthodes de travail et outils de conception numérique. Plus de 100 000 liaisons, 530 km de câbles, 800 harnais : en matière de conception, un Airbus A 380 est un casse-tête électrique. Avec de plus 70 000 solutions techniques à gérer, selon les combinaisons d'équipements standards et optionnels, ce casse-tête a mal tourné pour Airbus quand il a dévoilé que ses soucis d'installation électrique conduisaient à de nouveaux retards. Dans les faits, les logiciels de conception, de gestion et les méthodes de travail varient encore d'un pays à l'autre. Ainsi, la schématique électrique est-elle réalisée en France sur SEE Electrical Expert de l'éditeur français IGE+XAO, mais les Allemands travaillent avec Catia V4 et certains en seraient encore à Cadam 2D pour les plans de production. Difficile, dans ces conditions, d'assurer une associativité 2D/3D, d'où sans doute les quelques déboires avec les harnais. »* (Préveraud 2007)

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Cette thèse est née du constat qu'un grand industriel, développant des produits dont la fiabilité est le premier critère de performance, ne pouvait se permettre de déployer des outils d'ingénierie innovants sans qu'ils aient, auparavant, subi un processus maîtrisé. L'objectif est de prouver, avant déploiement, leur rentabilité dans l'organisation, mais surtout leur absence de « bogues » susceptibles de se propager dans les développements de programme. L'innovation d'ingénierie améliore et optimise le processus de développement d'un hélicoptère, en réduisant les cycles de développement d'un hélicoptère et leurs coûts. Nous avons pu appuyer nos premières investigations sur de futures innovations d'ingénierie qui étaient en étude dans le cadre de projet de recherche et technologie (R&T) comme CRESCENDO. S'est alors posée la question du pilotage des projets en vue d'assurer l'exploitation des résultats issus de ces projets amont. Notre problématique de recherche fut alors énoncée comme suit : **quels moyens et indicateurs sont essentiels pour piloter, dès la phase amont, une innovation d'ingénierie vers un succès industriel**. Notre objectif n'était pas pour autant « d'inventer » une approche méthodologique de pilotage d'innovations d'ingénierie. En effet, Airbus Helicopters possède en interne des processus, méthodes et outils de pilotage de projets de recherche et technologies (R&T), dédiés aux innovations de produits hélicoptères. Le but de la recherche fut alors d'étudier si les pratiques industrielles en place permettaient de piloter une innovation d'ingénierie en phase amont ? Quelles adaptations pouvaient être nécessaires ? De plus, on a cherché à évaluer la valeur d'une innovation d'ingénierie en phase amont, c'est-à-dire, interroger et évaluer la faisabilité technologique, l'utilité, la rentabilité et la valeur stratégique d'une innovation d'ingénierie.

Les apports du travail de recherche

Plusieurs contributions ont été formulées et formalisées, en collaboration avec les chercheurs et les praticiens, pour lever les verrous identifiés.

La première de ces contributions concerne un état de l'art sur le concept d'innovation, son processus et ses facteurs clés de succès (Figures 15 à 17, Chapitre 2). Il permet à Airbus Helicopters de mettre en lumière l'étendue du concept, de la recherche à la commercialisation et maintenance. Il permet aussi de mettre en lumière la notion de phase amont, peu connue dans les pratiques industrielles.

Une seconde contribution est un modèle de pilotage d'innovation de produit hélicoptère en phase amont (Figure 39, Chapitre 4). Ce modèle offre à Airbus Helicopters une image de ses pratiques. Il s'appuie sur une typologie des parties prenantes (Tableau 9, Chapitre 4), une typologie des projets amont et sur une description des processus à exécuter en phase amont (Figures 79 et 80, Chapitre 4). Ce modèle global de pilotage offre des pistes d'amélioration, et permet à la communauté scientifique de connaître certaines pratiques industrielles ainsi que leurs problèmes et besoins. Pour les innovations incrémentales de produit, le problème d'Airbus Helicopters n'est pas la génération d'idées mais plutôt la structure des études de faisabilité et l'évaluation et exploitation des résultats.

Une troisième contribution concerne le concept d'innovation d'ingénierie (Chapitres 3 et 4). Ce concept est à l'ingénierie ce que l'innovation de procédés est à la production. L'identification de cet axe d'innovation montre à la communauté scientifique un changement dans les approches industrielles : l'innovation de produit n'est plus suffisante. On souhaite améliorer les méthodes de travail : les formaliser, les optimiser et les rendre répétables.

A partir du diagnostic des pratiques industrielles pour une innovation de produit, une contribution cœur est formalisée, incluant plusieurs résultats :

- un processus de pilotage, formalisé sous BPMN (Figures 42, 43 et 58, Chapitre 4). Ces processus décrivent les activités et les jalons qui structurent les études de faisabilité en phase amont.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

- une typologie des projets amont et une typologie des parties prenantes (Tableau 10, Chapitre 4),
- une méthodologie d'élaboration de scénarios qui offre un moyen, en phase amont, d'illustrer, d'exprimer et de formaliser des besoins et exigences. Cette méthodologie s'appuie sur :
    - de la modélisation de scénarios AS-IS et TO-BE, sous BPMN (Figure 67, Chapitre 5)
    - une approche SIPOC (Tableau 13, Chapitre 5)
    - une approche de résolution de problèmes (Problem solving, root cause analysis)
- et une méthodologie d'évaluation de la valeur qui permet de piloter une innovation d'ingénierie en phase amont. Elle s'appuie sur une adaptation de la méthodologie des TRL en TVL (Technology Value Level), avec :
    - une échelle de TVL (Figure 61, Chapitre 4), issue de la méthodologie des TRL mais adaptée aux innovations d'ingénierie
    - des indicateurs de pilotage, que sont la valeur fonctionnelle, l'utilité, la rentabilité et la valeur fonctionnelle d'une innovation d'ingénierie (Tableaux 11 et 12, Chapitre 4)
    - un questionnaire d'évaluation des TVL, confidentiel.

Le travail de recherche a également permis de développer des résultats concernant la gestion des processus et des données de simulation. Le Chapitre 6 initie l'expression de besoins concernant ce nouveau système d'information. Le projet de recherche CRESCENDO, mais aussi le cas pilote sur le déviateur, montrent bien les besoins des utilisateurs et leurs motivations à améliorer leurs pratiques. De plus, ces projets sont d'excellents outils de communication pour démontrer les futurs apports attendus. Le Chapitre 6 alimente, en interne chez Airbus Helicopters, un plan de déploiement du système de gestion des données et processus de simulation.

Concernant l'applicabilité de la méthodologie, quelques recommandations sont formalisées. Tout d'abord, la méthodologie est un guide dont l'applicabilité dépend du contexte : les parties prenantes doivent donc l'adapter à leurs études car elle a été conçue de manière générique. Par ailleurs, l'applicabilité de la méthodologie repose sur des compétences et des rôles à ne pas négliger :

- le rôle du responsable du produit technologique : il est le pilote des activités. Ne pas attribuer ce rôle affectera directement le succès des études en phase amont
- les compétences de modélisation sous BPMN, nécessaires pour élaborer les scénarios d'usage
- les compétences en analyse fonctionnelle et la participation d'un architecte informatique et système d'information sont essentielles. Le responsable du produit technologique ne peut définir une architecture fonctionnelle et ne connait pas toujours les règles et procédures internes concernant les systèmes d'information.

La méthodologie de pilotage offre également un moyen de communication. Les études amont et les équipes projets sont des ambassadeurs : ce sont des outils de démonstration qui illustrent à petite échelle une valeur-ajoutée.

Perspectives

On identifie trois familles de perspectives :

- les perspectives associées à l'approfondissement de certains points dans le cadre des contributions
- les perspectives associées à l'activation des nouveaux savoirs
- et, enfin les perspectives associées à l'innovation d'ingénierie dans l'écosystème de l'entreprise

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Concernant la première famille de perspectives, les travaux de consolidation concernent :

- la gestion et sélection de multiples scénarios TO-BE incrémentaux
- l'évaluation des indicateurs de valeur sur les trois niveaux de TVL (TVL4 à 6)
- la spécification d'un produit technologique par une analyse fonctionnelle du scénario TO-BE
- la mesure de performances des nouveaux scénarios TO-BE. En effet, ils représentent un enjeu en termes de capitalisation des connaissances. Leurs performances doivent donc être confrontées aux prévisions qui ont été établies pour l'aide à la décision de poursuite des scénarios d'innovation.
- l'adaptation de la méthodologie (tout ou partie) pour une innovation de rupture.

Toujours concernant la première famille de perspectives, la méthodologie construite s'inspire des méthodes mises en place pour la gestion de l'innovation de produit ainsi que des approches de lean engineering. Cette méthodologie, testée avec succès sur quelques « produits technologiques », permet d'évaluer la performance technique dans l'environnement cible, ainsi que les paramètres économiques et stratégiques qui permettent une prise de décision de type Go/No go. Une perspective consisterait à proposer l'extension de cette méthodologie pour gérer des portefeuilles d'innovation d'ingénierie. De plus, dans le cadre d'une gestion de portefeuilles d'innovations d'ingénierie, une échelle de score pourra être définie pour chaque indicateur, critère et sous-critère. De cette façon, les parties prenantes seront en mesure de comparer des produits technologiques et de prioriser des investissements en fonction de leur valeur. L'implémentation et le test du modèle UML proposé sont donc également des perspectives à moyen terme.

Concernant l'activation des savoirs :

- au sein d'Airbus Helicopters, la méthodologie globale a été adaptée et transformée en un guideline pour aider les parties prenantes à l'appliquer. De premiers retours d'expériences sont attendus suite à l'activation de la méthodologie dans le cadre du projet de recherche TOICA (Etude de cas n°3-Chapitre 3). Une perspectiv e consiste à affiner et adapter la méthodologie suite aux retours d'expériences.
- cette thèse s'est attachée à proposer, organiser, modéliser un processus d'accompagnement des innovations d'ingénierie chez Airbus Helicopters. Cette proposition revêt un caractère générique et sa validation dans d'autres secteurs industriels constitue une perspective.

Enfin, on peut s'attendre dans l'aéronautique à un accroissement du nombre d'innovations mises sur le marché, ce qui questionne les innovations d'ingénierie : comment les besoins d'innovation sur les produits se traduisent-ils par des besoins, de nature différente, pour les innovations d'ingénierie? Ainsi, le journal du fiabiliste (CAB Innovaiton 2014) affirmait début 2014 :

« Après une duplication à l'extrême des concepts éculés développés dans les années 50, l'aéronautique civile va devoir enfin innover. En dépit de l'effort méritoire des motoristes durant toutes ces années, les contraintes énergétiques et environnementales imposent dorénavant de repenser complètement l'avion de demain, tant sur sa forme aérodynamique (aile volante, rhomboédrique, configuration canard, etc.) que ses moyens propulsifs et énergétiques (hybridation électrique et thermique, etc.). »,

Pour rebondir sur la dépendance aux outils de l'ingénierie :

« L'utilisation d'outils d'optimisation globale en conception devient alors incontournable ….. De même l'exploitation intelligente du retour d'expérience et l'utilisation d'outils de simulation comportementale seront indispensables pour garantir que la fiabilité opérationnelle de l'avion futur sera bien au rendez-vous, et cela au meilleur coût. »

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Bibliographie

AFNOR, 2002. AC X50-178: Management de la qualité, Management des processus, Bonnes pratiques et retours d'expériences.

AFNOR, 1996. NF X50-150-1: Partie 1_Vocabulaire du management de la valeur, de l'analyse de la valeur et de l'analyse fonctionnelle. , pp.1–25.

AFNOR, 2007. Rapport d'études: Innovation, recherche et normalisation: comment favoriser les interactions?

Aidi, M., 2007. Vers la planification des buts de simulation en conception dans une démarche d'ingénierie système, Thèse de Doctorat en Mécanique, Université de Sfax.

Akrich, M., Callon, M. & Latour, B., 1988. L'art de l'intéressement et l'art de choisir les bons porte-parole. *Gérer et comprendre, Annales des Mines*, 12, pp.4–17 et 14–29.

Amesse, F. & Cohendet, P., 2001. Technology transfer revisited from the perspective of the knowledge-based economy. *Research Policy*, 30(9), pp.1459–1478.

Anton, A., McCracken, W.M. & Potts, C., 1994. Goal Decomposition and Scenario Analysis in Business Process Reengineering. In *6th Conference on Advanced Information Systems engineering*. Utrecht, The Netherlands, pp. 94–104.

Audibert, L., 2009. *UML 2 de l'apprentissage à la pratique – Présentation des diagrammes UML – Langage de contraintes OCL– Introduction aux patrons de conception – Mise en œuvre d'UML* 1ère ed. Ellipse, ed.,

Avenier, M.-J., 2009. Franchir un fossé réputé infranchissable: construire des savoirs scientifiques pertinents pour la pratique. *Revue Management et Avenir*, (30), pp.188–206.

Avenier, M.-J., 2008. Une démarche méthodologique pour l'enrichissement réciproque entre théories et pratiques de gestion. *Cahier de recherche n°2008-15* .

Avenier, M.-J. & Catherine, T., 2011. Mixer quali et quanti pour quoi faire? Méthodologie sans épistémologie n'est que ruine de la réflexion! In *AIMS: Journée de l'atelier méthodologie de recherche*. Caen, pp. 1–26.

Berrah, L. & Clivillé, V., 2007. Towards an aggregation performance measurement system model in a supply chain context. *Computers in Industry*, 58(7), pp.709–719.

Bitton, M., 1990. Ecograi "Méthode de conception et d'implantation de systèmes de mesure de performances pour organisations industrielles", Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux I.

Boly, V., 2004. *Ingénierie de l'Innovation: Organisation et Méthodologies des entreprises innovantes* Hermes Sci., Paris: Lavoisier.

Brechet, J., 2005. Le projet en tant que figure de l'anticipation: de la théorie à la méthodologie empirique. In *AIMS*.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Broennum, L. & Clausen, C., 2013. Configuring the development space for conceptualization. In *ICED13*. Seoul, Corée du Sud.

Brooks, H., 1966. National Science Policy and Technology Transfer. In *Technology Transfer and Innovation*. pp. 119–167.

CAB Innovaiton, 2014. Le Journal du Fiabiliste. Available at: http://cabinnovation.drupalgardens.com/ingenierie/le-journal-du-fiabiliste [Accessed February 21, 2014].

CECIMA, 2010. Guide de modélisation de processus métier et cartographie des SI: Win'Design.

CRESCENDO Project, 2013. Deliverable D1.4.5: BDA Standards Strategy and Action Plan.

CRESCENDO Project, 2009. Deliverable D5.1.1: BDA Architecture Framework.

Caelen, J. & Mallein, P., 2002. Vers une méthode intégrative en pré-conception de produits/services multimédias innovants adaptés à l'usage. Available at: http://www.docstoc.com/docs/150968603/AS_pres_pour-le180602 [Accessed February 9, 2014].

Capirossi, J., 2004. L'étude d'opportunité, le business case et les choix d'investissement. , pp.1–3.

Carroll, J. & Rosson, M., 2002. Scenario-Based Design. In *The Human Computer Interaction Handbook: Fundamentals, evolving technologies and emerging applications*. pp. 1–35.

Carroll, John M, 1990. Infinite detail and emulation in an ontologically minimized HCI. In *CHI*. pp. 321–327.

Combemale, B., 2008. *Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) État de l'art*,

Commission Européenne (FP7), CRESCENDO: Collaborative and Robust Engineering using Simulation Capability Enabling Next Design Optimisation. Available at: http://www.crescendo-fp7.eu/.

Commission Européenne (FP7), TOICA: Thermal Overall Integrated Conception of Aircraft. Available at: http://www.toica-fp7.eu/ [Accessed February 9, 2014b].

Cooper, R., 1990. Stage-Gate systems: a new tool for managing new products. *Business Horizons*, (June), pp.44–54.

Cornu, C., 2012. Contribution à la prise en compte de l'interopérabilité pour le déploiement de processus complexes dans une grande entreprise: proposition d'un guide méthodologique outillée pour les processus d'ingénierie système, Thèse de Doctorat, Mines Paris Tech.

Coughlan, P. & Coghlan, D., 2002. Action research for operations management. *International Journal of Operations and Production management*, 22(2), pp.220–248.

Coughlan, P. & Fergus, M.A., 2009. Defining the path to value innovation. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, 16(3), p.234. Available at: http://www.inderscience.com/link.php?id=22434.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Cuisinier, C. et al., 2011. Un nouveau regard sur l'innovation. In *Livre blanc Logica Business Consulting Group & Ecole Centrale de Paris*. Paris.

Curtis, B., Kellner, M.I. & Over, J., 1992. Process modeling. *Communications of the ACM _ Special Issue on analysis and modeling in software development*, 35(9), pp.75–90.

Cyert, R. & March, J., 1970. *Les processus de décision dans l'entreprise traduit de A behavioral theory of the firm* Dunod, ed., Paris.

DGA, 2009. Quelques explications sur l'échelle des TRL. *Technologies Clés*, pp.296–310.

David Le Bezvoët, M., 2013. Proposition d'un système de pilotage du processus d'innovation NSD pour le secteur de la finance, Thèse de Doctorat en génie des systèmes industriels, Université de Lorraine.

Debauche, B. & Mégard, P., 2004. *BPM Business Process Management - Pilotage métier de l'entreprise* Lavoisier., Hermes Science.

Department of Defense, 2001. Systems engineering fundamentals handbook. , (January), pp.1–222.

Department of Defense, 2011. Technology Readiness Assessment (TRA) Guidance. , (May), pp.1–20.

Devalan, P., 2013. Management de projets innovants. *Techniques de l'Ingénieur*, pp.0–21.

Diedrichs, E, Engel, K & Wagner, K, 2006. European innovation management landscape, assessment of current practices in Innovation Management Consulting Approaches and Self-Assessment Tools in Europe to define the requirements for future "best practices", IMP^{3}rove, European Commission Directorate,.

E-volo, 2013. Le Volocopter. Available at: http://www.e-volo.com/.

ECOSIP, 1993. *Pilotages de projets et entreprises, ouvrage collectif sous la direction de V. Giard & C. Midler*, Paris: Economica.

Edvinsson, L., Dvir, R. & Pasher, E., 2004. Innovations: the new unit of analysis in the knowledge era-the quest and context for innovation efficiency and management of IC. *Journal of Intellectual Capital*, 5(1), pp.40–58.

Engel, Kai et al., 2010. *Imp3rove: A European Project with Impact _ 50 Success Stories on Innovation Management, Europe INNOVA Paper n°14* ,

Estefan, J., 2008. Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies, INCOSE MBSE Initiative.

Farel, R., 2013. Action research in practice. In *ICED13*. Seoul, Corée du Sud.

Ferioli, M., 2010. Phases Amont du processus d'innovation: proposition d'une méthode d'aide à l'évaluation d'idées, Thèse de Doctorat en génie des systèmes industriels, Insitut National Polytechnique de Lorraine. , pp.1–192.

Fernandez, A., 1999. *Les nouveaux tableaux de bord pour piloter l'entreprise* Editions d'organisation, ed.,

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Fernez-Walch, S. & Romon, F., 2010. *Le management de l'innovation* Vuibert.,

de Fontaines, I., Lefeuve, D., et al., 2013. Improving digital engineering tools in complex product development by means of an adequate monitoring of research projects. In *PLM13*. Nantes.

de Fontaines, I. et al., 2012. Les exigences fonctionnelles comme pilotes de la conception pour satisfaire des exigences stratégiques. In *13e Colloque National AIP Primeca*. Le Mont Dore, pp. 1–10.

de Fontaines, I., Prudhomme, G., et al., 2013. New key success factors for engineering technology transfer between research and development: technology maturity and proof of usage. In *ICED13*. Seoul, Corée du Sud.

de Fontaines, I., 2013. Usage scenario: key tool for the introduction of innovative business technologies in industrial context. In *6th SIG Design Theory Workshop*. Paris.

Forster, F., 2006. The Idea behind Business Process Improvement: Toward a Business Process Improvement Pattern Framework. *BPTrends*, (1999), pp.1–13.

Franck, C., 2003. Knowledge management for an industrial research center - case study EADS, Thèse de Doctorat en génie industriel, Institut National Polytechnique de Grenoble. , pp.1–232.

Fraslin, M. & Blanco, E., 2013. Characterizing collaboration through online interactions within R&D communities. In *ICED13*.

Garcia, R. & Calantone, R., 2002. A critical look at technological innovation typology and innovativeness terminology: a literature review. *Journal of product innovation management*, 19, pp.110–132.

von Glaserfeld, E., 2001. The radical constructivist view of science. *Foundation of Science, Special issue on impact of radical constructivism on science*, 6(1-3), pp.31–43.

Glennan, 1978. *The Role of Demonstrations in Federal R&D Policy*,

Gonzales Ramirez, N., 2009. Contribution à l'amélioration des processus à travers la mesure de la maturité de projet: application à l'automobile, Thèse de Doctorat en génie industriel, Ecole Centrale Paris.

Griffin, A., 1997. PDMA Research on New Product Development Practices: Updating Trends and Benchmarking Best Practices. *Journal of Product Innovation Management*, 6782(217), pp.429–458.

Gummesson, E., 2000. *Qualitative methods in management research* 2nde éd. Sage, ed., Thousand Oaks.

Hammer, M. & Champy, J., 2003. *Le Reengineering: réinventer l'entreprise pour une amélioration spectaculaire de ses performances* Dunod, ed., Paris.

Hardebolle, C., 2008. Composition de modèles pour la modélisation multi-paradigme du comportement des systèmes, Thèse de Doctorat, Université Paris XI. Available at: http://wwwdi.supelec.fr/hardebolle/Research/PhDThesis.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Harrison, B. & Pratt, M., 1993. A methodology for Reengineering Business. *Planning Review*, 21(2), pp.6–11.

Haskins, C., 2010. *SYSTEMS ENGINEERING HANDBOOK*,

Hooge, S., 2010. Performances de la R&D en rupture et des stratégies d'innovation_Organisation, pilotage et modèle d'adhésion, Thèse de Doctorat en sciences de gestion, Ecole des Mines de Paris ParisTech. , pp.1–480.

Van Horne, C. & Poulin, D., 2007. La création de valeur par l'innovation: du centre d'expertise à l'industrie des produits forestiers. In *XVIème Conférence Internationale de Management Stratégique*. Montreal, Quebec, pp. 1–21.

IEEE 1220, 2005. IEEE Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process. , 2005(September).

ISO, 2013. International Standard ISO/FDIS 16290: Space Systems. Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment _ Final Draft. , 2013.

Improvement Skills Consulting, 2008. Defining a process with SIPOC.

Jarke, M. & Carroll, J M, 1999. Scenario Management: An Interdisciplinary Approach. *Requirements Engineering*, pp.1–31.

Jouët, J., 1993. Pratiques de la communication et figures de la médiation. *Réseaux n°60* .

Julien, P.A., Lamonde, P. & Latouche, D., 1975. La méthode des scénarios – Une réflexion sur la démarche et la théorie de la prospective. *Travaux et Recherche de Prospective-Schéma général d'aménagement de la France*.

Kanis, H., 1999. Design centred research into User Activities. In *Human Factors in Product Design, Current Practice and Future Trends*. W. Green, Patrick W. Jordan CRC Press.

Kerzner, H., 2003. *Advanced Project Management - Best Practices on Implementation* J. W. & Sons, ed.,

Khurana, A. & Rosenthal, S., 1997. Integrating ther Fuzzy Front End of New Product Development. *Sloan management review*, 38, pp.103–120.

Khurana, A. & Rosenthal, S., 1998. Towards Holistic "Front ends" in new product development. *Journal of Product Innovation Management*, 15, pp.57–74.

Kim, J. & Wilemon, D., 2002. Focusing the fuzzy front-end in new product development. *R&D Management*, 32(4), pp.269–279.

Kline, S. & Rosenberg, M., 1986. An overview of innovation. In *The positive sum stratégy*. Washington, pp. 275–305.

Koen, P. et al., 2001. Providing clarity and a common language to the "Fuzzy Front End." *Research Technology Management*, 44(2), pp.46–55.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Kroes, P., 1998. Technological explanation: the relation between structure and function of technological objects. *Philosophy &Technology*, 3(3), pp.18–34.

Langlois, M., 1988. Rareté, utilité et valeur: l'approche économique. In *Pression sur les ressources et raretés*. Montpellier, pp. 69–82.

Ledibois, D., 2001. Management de projet d'innovation: un processus pour réduire les risques. In *AFITEP*. Paris, pp. 61–71.

Lee, J., Lee, D. & Kang, S., 2007. An Overview of the Business Process Maturity Model (BPMM). *Computer Science*, 4537, pp.384–395.

Lenfle, S., 2008. Peut-on gérer l'innovation par projet? In Giard&Midler, ed. *Faire de la recherche en management de projet*. Vuibert, pp. 1–19.

Mackey, R., Some, R. & Aljabri, A., 2003. Readiness levels for spacecraft information technologies. In *IEEE Aerospace Conference Proceedings*. pp. 1–398.

Malleret, V., 2006. *Peut-on gérer le couple coûts-valeur?*,

Mankins, J.C., 1995. Technology readiness level, White Paper, Advanced Concepts Office, Office of Space Access and Technology, NASA.

Mars, 1999. Mars Climate Orbiter: Un petit tour, et puis s'en va ... Available at: http://www.nirgal.net/mco_end.html.

McGrath, M., 1992. *Setting the PACE in Product Development. A guide to product and cycle excellence*,

McManus, H., 2005. Lean Engineering: Doing the Right Thing Right. In *1st International Conference on Innovation and Integration in aerospace sciences*. pp. 1–10.

Mcmanus, H.L., 2005. *Product Development Value Stream Mapping (PDVSM) Manual*,

Middel, R. et al., 2006. Action research in collaborative improvement. *International Journal of Technology Management*, 33(1), pp.67–91. Available at: http://www.inderscience.com/link.php?id=8192.

Millier, P., 2005. Modèle synthétique des conditions de succès d'un projet d'innovation (Working Paper). *Cahier de Recherche*, 10.

Mitchell, J.A., 2007. *Measuring the Maturity of a Technology: Guidance on Assigning a TRL*,

Le Moigne, 2002. *Le Constructivisme* Tomes1–2nd ed., Paris: L'Harmattan.

Le Moigne, 1995. *Les épistémologies constructivistes* 1ère ed. Que Sais-je, ed., Paris: PUF.

Muthu, S., Whitman, L. & Cheraghi, S.H., 1999. Business process reengineering: a consolidated methodology. In *4th annual International Conference on Industrial Engineering Theory, Applications and Practice*. San Antonio,Texas.

Neill & Laplante, 2003. The state of the practice. *IEEE Software*.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

OCDE, 2002. *Manuel de Frascati* OCDE, ed.,

OCDE, 2005. *Manuel d'Oslo: Principes directeurs pour le recueil et l'interprétation des données et de l'innovation* OCDE., Paris.

OMG, 2008. Rapport: Business Process Maturity Model (BPMM). , (June).

Object Management Group, 2011. *Business Process Model and Notation (BPMN)*,

Peraya, D. & Jaccaz, B., 2004. Chapitre: Analyser, soutenir, et piloter l'innovation: un modèle «ASPI». In *TICE 2004. Les TICE ou Technologies de l'Information et de la Connaissance dans l'Enseignement Supérieur et dans l'Industrie*. Université de technologie de Compiègne, pp. 283–289.

Pillet, M., 2003. *Six Sigma: comment l'appliquer* 2ème ed. Editions d'Organisation, ed., Eyrolles.

Préveraud, J.-F., 2007. A380, quand la CAO s'emmêle. *Usine Nouvelle*. Available at: http://www.usinenouvelle.com/article/a-380-quand-la-cao-s-emmele.N17079 [Accessed February 21, 2014].

Rogers, E., 1995. *Diffusion of innovations* The Free P., New York.

Rolland, C. et al., 1998. A proposal for a scenario classification framework. *Requirements Engineering*, 3(1), pp.23–47. Available at: http://link.springer.com/10.1007/BF02802919.

Rothwell, R., 1994. Towards the Fifth-generation Innovation Process. *International Marketing Review*, 11(1), pp.7–31.

Rumbaugh, J., Jacobson, I. & Booch, G., 1999. *The Unified Modeling Language Reference Manual* ADDISON-WESLEY, ed.,

Sauser, B. et al., 2006. From TRL to SRL: The Concept of Systems Readiness Levels. In *Conference on Systems Engineering research*. Los Angeles, pp. 1–10.

Sauser, B. et al., 2010. Integration maturity metrics: Development of an integration readiness level. *Information Knowledge Systems Management*, 9, pp.17–46.

Schumpeter, J.A., 1942. *Capitaliste, Socialisme et Démocratie* Editions P.,

Shakel, B., 1984. *The concept of usability, in visual display terminals* Bennett an. P. Hall, ed., Englewood cliffs.

Smith, A., 1776. *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, T. Nelson.

Smith, J., 2005. An alternative to Technology Readiness Levels for Non-Development Item (NDI) Software. In *38th Hawaii International Conference on System Sciences*.

Smith, P. & Reinersten, D., 1991. *Developing products in half the time*, New York: Van Nostrand Reinhold.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Sperry, R. & Jetter, A., 2009. Theoretical framework for managing the front end of innovation under uncertainty. In *International Conference on Management of Engineering & Technology*. Portland, pp. 2021–2028.

Sutcliffe, A., 2003. Scenario-based requirements engineering. *Journal of Lightwave Technology*, pp.320–329.

Tan, W., Ramirez-marquez, J. & Sauser, B., 2009. A probabilistic approach to system maturity assessment. *Systems Engineering*, 14(3), pp.279–293.

Tao, L., Probert, D. & Phaal, R., 2009. Towards an integrated framework for managing the process of innovation. *R&D Management*, 40(1), pp.19–30.

Tetlay, A. & John, P., 2009. Determining the Lines of System Maturity, System Readiness and Capability Readiness in the System Development Lifecycle. In *7th Annual Conference on Systems Engineering Research*. Loughborough University.

US Defense Acquisition University, *Manufacturing Readiness Assessments*,

United States General Accounting Office, 1999. BEST PRACTICIES: Better Management of Technology Development Can Improve Weapon System Outcomes. Report th the Chairman and Ranking minority member, subcommittee on Readiness and Management Suppport, Committee on Armed Services, U.S. Senate. , (July).

Valette, T., 2005. Recherche d'un cadre conceptuel d'aide à la conception collective innovante par l'usage, Thèse de Doctorat en génie industriel, ENSAM. , p.58.

Verganti, R., 1997. Leveraging on systemic learning to manage the early phases of product innovation projects. *R&D Management*, 27(4), pp.377–392.

Verworn, B. & Herstatt, C., 2003. A causal model of the impact of the "fuzzy front end" on the success of new product development. In *10th International Product Development Management Conference*. Brussels, Belgique.

Weske, M., 1998. *Business process management*, Available at: http://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=-D5tpT5Xz8oC&oi=fnd&pg=PR4&dq=scenario+and+business+process+reengineering&ots=gOle60_Gj6&sig=8IQxcSnA9l2ba_HXA57p_VkKnHQ#v=onepage&q&f=false.

Wheelwright & Clark, 1992. *Revolutionizing Product Development* Free Press.,

Wirthlin, J.R. & Rebentisch, E., 2003. Idealized Front End Process and Maturity Matrix: A Tool for Self-Assessment of Process Maturity Leading Up to Product Launch Decisions. In *INCOSE 2003*. pp. 385–398.

Yannou, B. et al., 2013. Proofs of utility, innovation, profitability and concept for innovation selection. In *ICED13*. Seoul, Corée du Sud, pp. 1–11.

Yannou, B., 1999. Proposition de deux nouveaux outils d'aide à la décision en analyse de la valeur basés sur une définition opérationnelle de la valeur. *La Valeur*, 81, pp.7–14.

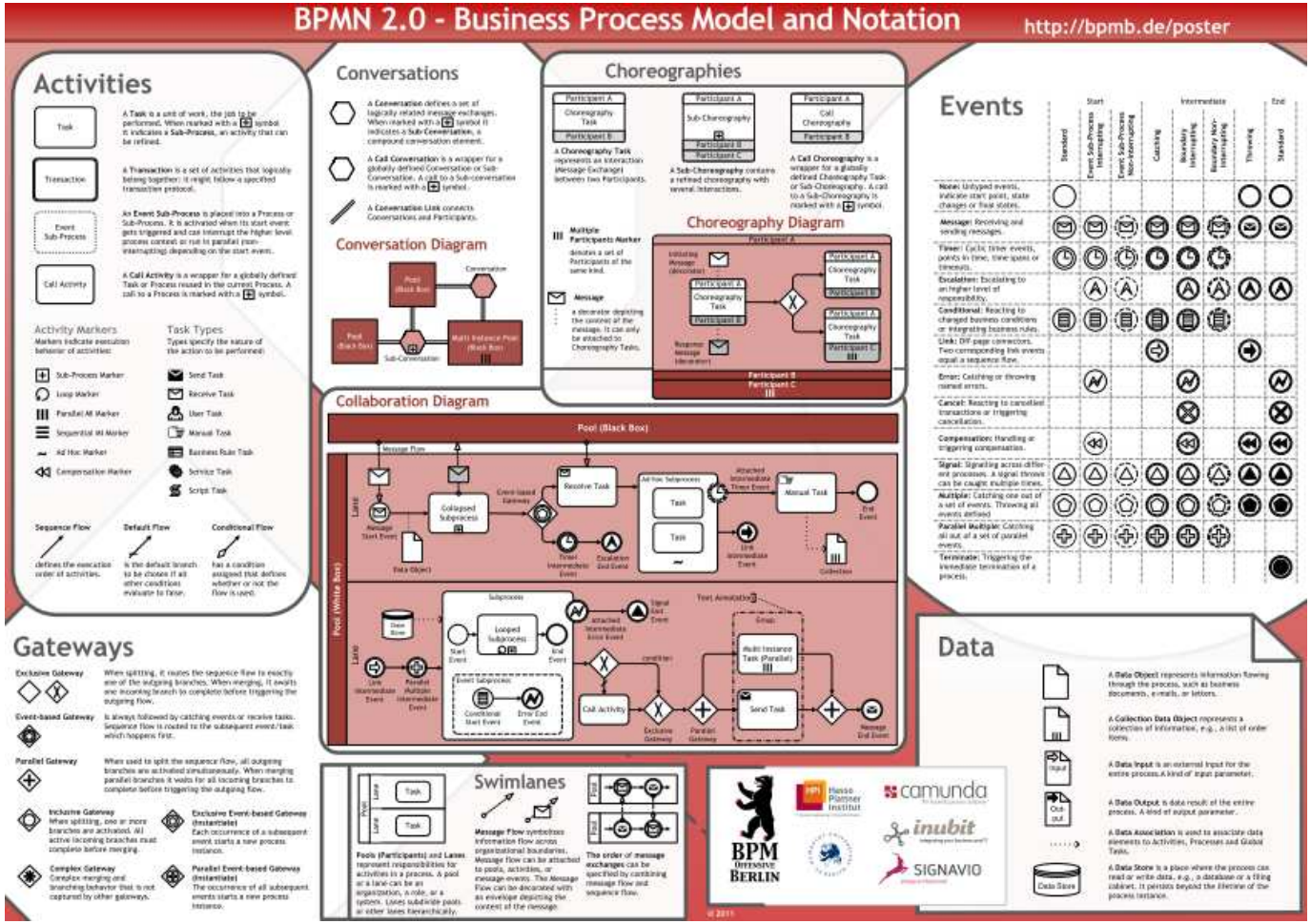
© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Yannou, B., Zimmer, B. & Stal-Le Cardinal, J., 2012. Proposal of a radical innovation project selection model based on proofs of value, innovation, and concept. In *International design conference*. Dubrovnik, Croatia, pp. 141–150.

Zimmer, B., 2012. Structuration d'un cluster d'innovation: Application aux projets d'innovation dans une grappe d'entreprises en gérontechnologie, Thèse de Doctorat en génie industriel, Centrale Paris.

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Annexe 1 : Formalisme de la notation BPMN



© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Annexe 2 : Approche SIPOC Scénario AS-IS, Intégration aérothermique d'un moteur

Problématique technique : prédire le comportement aérothermique du moteur dans son compartiment

	Déclencheur	Emetteur	Données d'entrée	Activité	Objets supports	Données de sortie	Client
Activité a	Réception de la géométrie de peau du moteur =CAO mot	Motoriste	Géométrie de peau (Catia V5) DMU hélicoptère Design d'une ventilation sur le compartiment moteur	intégrer la CAO mot dans la DMU hélicoptère pilotée par un designer	DMU Catia V5	Géométrie globale hélicoptère (Catia V5) = CAO 1	Designer Airbus Helicopters
Activité b	Fin activité a	Designer	CAO 1 Règles métiers thermique et aérodynamique	Simplifier CAO 1 Pilotée par un designer	DMU Catia V5	Géométrie hélicoptère simplifiée = CAO 2	Ingénieur aérodynamique
Activité c	Réception de la CAO 2	Designer	CAO 2 Caractéristiques du moteur pour un point de fonctionnement (puissance, altitude, vitesse …)	Mailler la CAO 2 Pilotée par l'ingénieur aérodynamicien	Outil de maillage (ICED d'Ansys)	Maillage de la CAO 2	Ingénieur thermique et ingénieur aérodynamique
Activité d	Réception du maillage CAO 2	Motoriste	Domaine de vol hélicoptère et points de vols de l'hélicoptère	Déterminer le comportement thermique du moteur Pilotée par l'ingénieur thermique, en collaboration avec le motoriste	Abaques du moteur	Caractéristiques thermiques du moteur	Ingénieur aérodynamique et ingénieur thermique
Activité e	Réception des caractéristiques thermiques du moteur	Ingénieur thermique	Caractéristiques thermiques du moteur Maillage de la CAO 2	Calculer les champs de vitesses proches et dans le compartiment moteur Pilotée par l'ingénieur aérodynamicien	Fluent (Ansys)	Champs de vitesses aux alentours et dans le compartiment moteur	Ingénieur thermique
Activité f	Réception des champs de vitesses	Ingénieur aérodynamique	Champs de vitesses Maillage de la CAO 2	Calculer les champs de température proches et dans le compartiment moteur Pilotée par l'ingénieur thermique	TMG (Ideas)	Champs de températures aux alentours et dans le compartiment moteur	Ingénieur thermique
Activité g	Champs de températures	Ingénieur thermique	Champs de températures Normes certification	Analyser la proposition initiale de ventilation Pilotée par l'ingénieur thermique		Conclusion sur la ventilation : la ventilation au sein du compartiment répond-elle à la certification	Architecte Programme Hélicoptère Designer Ingénieur aérodynamique

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document

Résumé

Améliorer durablement sa compétitivité, quel industriel n'en rêve pas ? L'innovation incrémentale, ou de rupture, est assimilée à un axe stratégique pour gagner de nouvelles parts de marché, ou du moins satisfaire et fidéliser les clients. Plus que tout autre, Airbus Helicopters investit et innove sur ses produits et services. Un nouvel axe se dessine à présent : l'innovation d'ingénierie qui comprend les processus, méthodes et outils de conception et certification d'un produit. L'innovation d'ingénierie s'inscrit dans une approche de « lean engineering ». Investir dans des innovations ne garantit pas pour autant d'impacter la compétitivité. Il faut viser le succès de l'innovation, c'est-à-dire, s'assurer, à chaque phase du processus, que l'innovation répond aux objectifs initiaux, la phase amont initiant le processus d'innovation. Cette thèse s'interroge sur comment structurer et piloter les études de faisabilité d'innovation d'ingénierie incrémentale, en vue d'anticiper un succès dès la phase amont ? A partir d'un diagnostic des pratiques industrielles, une méthodologie de pilotage d'innovation d'ingénierie en phase amont est proposée. Cette méthodologie s'appuie sur une typologie de projets amont, une typologie de parties prenantes, un processus accompagné de méthodes et outils. Le processus de pilotage s'articule avec une approche d'ingénierie système. Une première phase de spécifications s'appuie sur la modélisation de scénarios d'usage, et une seconde phase de vérification et validation est rythmée par une évaluation de la valeur. On propose de piloter une innovation d'ingénierie par l'évaluation de sa valeur fonctionnelle, de son utilité, de sa rentabilité et de sa valeur stratégique. La méthodologie de pilotage est formalisée par un modèle UML, exploitable pour gérer un portefeuille de projets amont.

Mots Clés : Innovation d'ingénierie, Phase amont, Aide à la décision, Pilotage, Indicateur, Valeur, Ingénierie système, Scenario d'usage

Abstract

Any industrial company wants to improve its competitiveness. Incremental or radical innovation is a strategic driver in order to increase market share, or at least satisfy and gain customers' loyalty. Airbus Helicopters dramatically invests and innovates on products and services. However, a new innovation domain has appeared: engineering innovation which gathers processes, methods and tools used by designers and analysts for developing and certifying a helicopter. Engineering innovation is closely related to lean engineering. But investment on innovation is not a total guarantee of success. Industrials have to target innovation success, which means to ensure at each phase of the innovation process, that innovation answer properly initial customer needs. This PhD report studies how to organize and steer feasibility study, from upstream phase, in order to anticipate innovation success? Based on a diagnosis of Airbus Helicopters industrial practices, a steering methodology of engineering innovation during upstream phase is proposed. The methodology is made of upstream projects typology, a stakeholder typology, a steering process and associated methods and tools. Steering process relies on a "system engineering" approach. A first top-down phase specifies engineering innovation thanks to usage scenarios modelling. A bottom-up phase, verify and validate engineering innovation thanks to value assessment (Technology Value Level). An engineering innovation is steered in upstream phase depending on its functional value, its utility, its profitability and its strategic value. Steering methodology is formalized by an UML model, appropriate for managing a portfolio of upstream project.

Keywords: Engineering innovation, Upstream phase, Decision-making support, Steering, Steering Indicator, Value, System Engineering, Scenario

© AIRBUS HELICOPTERS – All rights reserved – Confidential and proprietary document