HAL
open science

Contribution à la prise en compte de l'interopérabilité pour le déploiement de processus complexes dans une grande entreprise : proposition d'un guide méthodologique outillé pour les processus d'Ingénierie Système

Clémentine Cornu

To cite this version:

Clémentine Cornu. Contribution à la prise en compte de l'interopérabilité pour le déploiement de processus complexes dans une grande entreprise : proposition d'un guide méthodologique outillé pour les processus d'Ingénierie Système. Autre [cs.OH]. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2012. Français. NNT : 2012ENMP0063 . pastel-00817933

HAL Id: pastel-00817933

https://pastel.hal.science/pastel-00817933

Submitted on 25 Apr 2013

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.

ParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

MINES ParisTech

École doctorale n°432 : SMI - Sciences des Métiers de l'Ingénieur

Doctorat ParisTech

T H È S E

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École nationale supérieure des mines de Paris

Spécialité " Informatique temps-réel, robotique et automatique "

présentée et soutenue publiquement par

Clémentine CORNU

Le 21 Décembre 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 outillé pour les processus d'Ingénierie Système

Directeurs de thèse : **François IRIGOIN et Vincent CHAPURLAT**

Jury

M. Bruno VALLESPIR, Professeur, LAPS/GRAI – Université Bordeaux 1	Président
M. Jean-Pierre BOUREY, Professeur, LGI, Ecole Centrale de Lille	Rapporteur
M. Eric BONJOUR, Professeur, ERPI, Université de Lorraine	Rapporteur
M. Vincent CHAPURLAT, Professeur, LGI2P, Ecole des Mines d'Alès	Co-directeur de thèse
M. François IRIGOIN, Professeur, CRI, Mines ParisTech	Co-directeur de thèse
M. Jean-Marc Quiot, Eurocopter	Invité
M. Yannick VIMONT, Ecole des Mines d'Alès	Invité

T H È S E

MINES ParisTech
Centre de Recherche en Informatique
35 rue Saint Honoré, 77305 Fontainebleau Cedex, France

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde reconnaissance à M. Vincent Chapurlat pour m'avoir proposé cette thèse, et m'avoir fait l'honneur de l'encadrer. Je le remercie plus particulièrement pour nos nombreux échanges durant lesquels, non seulement il a accru ma culture scientifique, mais également durant lesquels il a réussi la difficile tâche de faire évoluer mon mode de réflexion, de celui d'un ingénieur à celui d'un chercheur. Je le remercie aussi pour ses conseils avisés, pour sa constante disponibilité, pour son écoute et pour avoir su me donner confiance en mes opinions et me donner le courage de les assumer devant mes pairs. J'espère que de nombreux autres étudiants pourront avoir la chance et le privilège d'apprendre à ses côtés.

Je souhaite ensuite remercier M. François Irigoin, qui m'a fait l'honneur d'accepter d'être mon Co-Directeur de thèse. Je tiens à le remercier pour sa disponibilité, pour ses remarques et conseils qui m'ont notamment permis d'améliorer mes capacités rédactionnelles.

Mes sincères remerciements vont ensuite à M. Jean-Marc Quiot, mon chef de service au sein d'Eurocopter. Tout d'abord, pour m'avoir donné ma chance. Ensuite, pour les connaissances qu'il m'a transmises et qu'il continue de me transmettre : notamment sur la vision et la stratégie d'entreprise mais aussi sur la gestion des hommes et de leurs résistances. Enfin, pour la confiance qu'il m'a accordée à l'occasion des projets d'amélioration que nous avons menés ensemble et pour m'avoir renouvelé sa confiance en me proposant un poste dans son équipe.

Je tiens ensuite à exprimer ma profonde reconnaissance à Messieurs Jean-Pierre Bourey et Éric Bonjour pour avoir accepté d'être rapporteurs de ce manuscrit, et pour leurs conseils et remarques constructives. Je remercie également M. Bruno Vallespir pour m'avoir fait l'immense honneur d'être le président de mon jury de thèse et M. Yannick Vimont pour sa participation à ce dernier.

Tous mes remerciements les plus sincères vont enfin à toutes les personnes qui m'ont permis de mener jusqu'à son terme l'aventure que constitue une thèse. Parmi elles, mes remerciements particuliers vont à :

- Bernard Chiavassa, pour ses remarques très constructives, sa constante disponibilité, et les connaissances qu'il m'a transmises. Je tiens également à le remercier pour m'avoir encouragée à dire ce que je pensais et pour l'avoir pris en considération. Il m'a permis de dépasser mon statut de "thésarde" pour devenir membre de l'entreprise à part entière.
- Louis Fabre, qui m'a encadrée lors de mon arrivée à Eurocopter et m'a guidée lors de mes premiers pas dans l'entreprise.
- Gérard Benassi, pour nos nombreuses discussions, pour ses conseils avertis, pour sa capacité à me rassurer et à me remonter le moral lorsque les difficultés se faisaient trop importantes et que je sombrais. Je le remercie aussi pour le rôle très important qu'il a joué dans mon gain de maturité au cours de ces trois ans.
- Bruno, pour sa compréhension et son soutien. Je le remercie particulièrement pour le cocon qu'il a formé autour de moi dans la dernière ligne droite, me permettant de n'avoir à me préoccuper que de ma thèse et de son aboutissement.

- Mes parents, Joune et Nath, qui m'ont encouragée à faire cette thèse alors que la carrière d'ingénieur semblait bien plus confortable. Je les remercie également pour leur constant soutien, les bouffées d'oxygène qu'ils m'ont permis de prendre. Je tiens également à m'excuser du souci que j'ai pu leur générer.
- Enfin, Vincent, Joëlle, Malou et Robin, pour m'avoir très chaleureusement accueillie chez eux lors de mes séjours nîmois.

Aix-En-Provence, le 30/11/2012

Clémentine

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE 11

CONTEXTE 12
STRUCTURE DU MEMOIRE 14
DESTINATAIRES DE CES TRAVAUX 15

CHAPITRE 1 – CONTEXTE GENERAL DES TRAVAUX ET PROBLEMATIQUE 16

1.1. CONTEXTE 17
1.1.1. Contexte externe 18
1.1.2. Contexte interne 19
1.1.3. Une réponse : déployer de nouveaux processus 20
1.2. PROBLEMATIQUE DU TRAVAIL DE RECHERCHE 20
1.2.1. Besoin : comprendre et améliorer le fonctionnement de l'entreprise hors activité de déploiement 21
1.2.2. Besoin : déployer et maîtriser le déploiement 22
1.3. HYPOTHESES, CONTRIBUTION ATTENDUE ET METHODE DE TRAVAIL 24
1.3.1. Hypothèses pour lever les verrous identifiés 24
1.3.2. Objectif de la Contribution attendue 25
1.3.3. Méthode de travail 25
1.4. CONCLUSION DU CHAPITRE 26

CHAPITRE 2 – DEPLOIEMENT DE PROCESSUS D'INGENIERIE SYSTEME GUIDE PAR L'INTEROPERABILITE : ETAT DE L'ART ET DISCUSSION 27

2.1. INTRODUCTION 28
2.2. DEPLOIEMENT DE PROCESSUS 28
2.2.1. Définition et lien avec la Modélisation d'Entreprise 28
2.2.2. Contributions pour mener un déploiement de processus 34
2.2.3. Déploiement de processus : synthèse 39
2.3. CAS PARTICULIER ET PROBLEMATIQUE DU DEPLOIEMENT DE PROCESSUS D'INGENIERIE SYSTEME 40
2.3.1. Présentation de l'Ingénierie Système 40
2.3.2. Problématique spécifique du déploiement de processus d'Ingénierie Système 44
2.3.3. Evaluations nécessaires au cours du déploiement de processus d'Ingénierie Système 51
2.3.4. Déploiement de processus d'Ingénierie Système : synthèse 54
2.4. CONCLUSION : POSITIONNEMENT DE NOS TRAVAUX 56

CHAPITRE 3 – PROPOSITION D'UN LANGAGE DE MODELISATION POUR LE DEPLOIEMENT DE PROCESSUS 58

3.1. INTRODUCTION 59
3.2. DEMARCHE DE CONCEPTION 59
3.2.1. Langage : de quoi parle-t-on ? 59
3.2.2. Spécification des besoins 61
3.2.3. Définition d'un langage structuré en vues 63
3.3. PRESENTATION DE LA SYNTAXE ET DE LA SEMANTIQUE DU LANGAGE 64
3.3.1. Conventions adoptées 64
3.3.2. Vue "Attentes et Exigences" 66
3.3.3. Vue "Ressource" 69
3.3.4. Vue "Information" 72

3.3.5. Vue "Processus" *77*
3.3.6. Vue "Vérification et validation" *80*
3.3.7. Vue "Evaluation et comparaison" *82*
3.3.8. Synthèse *87*
3.4. SYNTAXE CONCRETE 88
3.4.1. Syntaxe concrète de la vue processus *88*
3.4.2. Syntaxe graphique des autres vues *90*
3.5. CONCLUSION : DISCUSSION ET APPORTS DU LANGAGE 91

CHAPITRE 4 – CONTRIBUTIONS INDUSTRIELLES ET METHODOLOGIQUES PRELIMINAIRES SUPPORTANT LE DEPLOIEMENT 93

4.1. INTRODUCTION 94
4.2. ANALYSE COMPARATIVE DES STANDARDS GENERAUX D'INGENIERIE SYSTEME 94
4.2.1. Introduction *94*
4.2.2. Démarche et Paramètres d'Analyse *95*
4.2.3. Synthese des Resultats *97*
4.2.4. Recommandations *97*
4.2.5. Conclusion *97*
4.3. METHODOLOGIE D'EVALUATION DE LA MATURITE D'UNE ORGANISATION FACE AU DEPLOIEMENT 99
4.3.1. Introduction *99*
4.3.2. Conception de la méthodologie *99*
4.3.3. Eléments constitutifs de la méthodologie *101*
4.3.4. Synthèse *111*
4.4. METHODOLOGIE D'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE 112
4.4.1. Introduction *112*
4.4.2. Conception de la Methodologie *113*
4.4.3. Eléments constitutifs de la méthodologie *119*
4.4.4. Exemple d'application *132*
4.4.5. Synthese *133*
4.5. CONCLUSION DU CHAPITRE 135

CHAPITRE 5 – PROCESSUS DE DEPLOIEMENT PROPOSE 136

5.1. INTRODUCTION 137
5.2. ELABORATION DU PROCESSUS DE DEPLOIEMENT PROPOSE 137
5.1.1 Besoins & contraintes *137*
5.1.2 Démarche de conception *138*
5.3. MODELE DU PROCESSUS DE DEPLOIEMENT 139
5.1.3 Introduction *139*
5.1.4 Activité A1 – Initier *139*
5.1.5 Activité A2 – Capturer *144*
5.1.6 Activité A3 – Concevoir *147*
5.1.7 Activité A4 – Déployer *153*
5.1.8 Activité A5 – Evaluer *154*
5.4. EXEMPLE D'APPLICATION 156
5.1.1 Présentation du cas *156*
5.1.2 Activité A1 – Initier *157*
5.1.3 Activité A2 – Capturer *161*
5.1.4 Activité A3 – Concevoir *166*
5.1.5 Activité A4 & A5 – Déployer & Evaluer *169*
5.5. CONCLUSION DU CHAPITRE 169

CONCLUSION, LIMITES ET PERSPECTIVES **171**

MOTIVATION DE CES TRAVAUX 172
APPORTS 172
PERSPECTIVES 174
Méthodologies d'évaluation *174*
Modélisation *175*
Processus de déploiement *176*
Prise en compte des facteurs humains *176*
Outillage informatique *176*

RÉFÉRENCES **177**

ANNEXES **187**

TABLE DES ANNEXES 188
A. VUE D'ENSEMBLE DE BPMN 2.0 189
B. EXIGENCES D'INTEROPERABILITE 190
B.1. Exigences de compatibilité *190*
B.2. Exigences d'interopération *191*
B.3. Exigences d'autonomie *193*
B.4. Exigences de réversibilité *193*
C. QUESTIONNAIRES 195
C1. Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité intrinsèque d'une ressource humaine potentiellement en partenariat avec une ressource humaine *195*
C.2 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité intrinsèque d'une ressource non humaine potentiellement en partenariat avec une ressource non humaine *196*
C.3 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité intrinsèque d'une ressource humaine potentiellement en partenariat avec une ressource non humaine *197*
C.4 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité intrinsèque d'une ressource non humaine potentiellement en partenariat avec une ressource humaine *198*
C.5 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité intrinsèque d'une ressource humaine effectivement en partenariat avec une ressource humaine *199*
C.6 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité intrinsèque d'une ressource non humaine effectivement en partenariat avec une ressource non humaine *200*
C.7 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité intrinsèque d'une ressource humaine effectivement en partenariat avec une ressource non humaine *201*
C.8 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité intrinsèque d'une ressource non humaine effectivement en partenariat avec une ressource humaine *202*
C.9 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité extrinsèque d'un couple potentiel composé de deux ressources humaines *203*
C.10 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité extrinsèque d'un couple potentiel composé de deux ressources non humaines *204*
C.11 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité extrinsèque d'un couple potentiel composé d'une ressource humaine et d'une ressource non humaine *205*
C.12 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité extrinsèque effective d'un couple composé de deux ressources humaines *206*
C.13 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité extrinsèque d'un couple effectif composé de deux ressources non humaines *207*
C.14 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité extrinsèque d'un couple effectif composé d'une ressource humaine et d'une ressource non-humaine *208*

Table des illustrations

FIGURE 1 : APERÇU DU CONTEXTE DE DEPLOIEMENT 17
FIGURE 2 : BESOINS, DIFFICULTES ET VERROUS ADRESSES PAR CE TRAVAIL 23
FIGURE 3 : APPLICATION DE L'INGENIERIE SYSTEME POUR L'ELABORATION DES LIVRABLES DE THESE 26
FIGURE 4 : SYNTHESE DES ELEMENTS CLEFS CARACTERISANT UN PROCESSUS 29
FIGURE 5 : CONTEXTE ET ACTIVITES D'UN DEPLOIEMENT DE PROCESSUS 31
FIGURE 6 : APPORT DE LA MODELISATION D'ENTREPRISE DANS LE DEPLOIEMENT DE PROCESSUS 33
FIGURE 7 : CYCLE DE GESTION DE PROCESSUS PROPOSE PAR A. SIENOU 34
FIGURE 8 : PROCESSUS DE PRISE EN COMPTE DES RISQUES PROPOSE PAR A. SIENOU 35
FIGURE 9 : CORRESPONDANCE ENTRE LES CYCLES PROPOSES PAR A. SIENOU ET S. ZIGIARIS. 36
FIGURE 10 : DEMARCHE DE TRANSFORMATION DE PROCESSUS PROPOSEE PAR T. HERNAUS 37
FIGURE 11 : LES HUIT ETAPES SUCCESSIVES DE TRANSFORMATION D'UNE ORGANISATION PROPOSEE PAR J.P. KOTTER 38
FIGURE 12 : CONSOLIDATION DES ETAPES POUR DEPLOYER UN PROCESSUS QUELCONQUE 39
FIGURE 13 : CARTOGRAPHIE DES PROCESSUS D'INGENIERIE SYSTEME DE L'ISO 15288:2008 41
FIGURE 14 : ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UNE METHODOLOGIE SELON J.-A. ESTEFAN 42
FIGURE 15 : RELATION ENTRE TYPES DE CONCEPTION ET D'INGENIERIE SYSTEME 43
FIGURE 16 : TYPES D'INGENIERIE SYSTEME ET COMPETENCES ASSOCIEES 44
FIGURE 17 : REFERENTIELS GLOBAUX D'INGENIERIE SYSTEME (NON DECLARES COMME OBSOLETES PAR LEURS ORGANISMES) 45
FIGURE 18 : STRATEGIE DE DEPLOIEMENT ET ACTION DE PROGRESSION PROPOSEE PAR L'AFIS 47
FIGURE 19 : ACTIVITES DE PLANIFICATION DE L'INGENIERIE SYSTEME PROPOSEE PAR L'AFIS 48
FIGURE 20 : DEMARCHE D'AMELIORATION DE PROCESSUS PROPOSEE PAR S. SHEARD 49
FIGURE 21 : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES MODELES DE MATURITE 52
FIGURE 22 : CONSOLIDATION DES ETAPES POUR DEPLOYER UN PROCESSUS D'INGENIERIE SYSTEME 55
FIGURE 23 : COMPOSANTES DU LANGAGE PROPOSE 60
FIGURE 24 : EXEMPLE DE LANGAGE 61
FIGURE 25 : VUES DU LANGAGE PROPOSE, DE L'INGENIERIE SYSTEME ET DE LA MODELISATION D'ENTREPRISE 63
FIGURE 26 : CONSTRUCTION DE LA VUE "DEFINITION" 67
FIGURE 27 : META-MODELE DE LA VUE "DEFINITION" 67
FIGURE 28 : CONSTRUCTION DE LA VUE "RESSOURCE" 69
FIGURE 29 : META-MODELE DE LA VUE "RESSOURCE" 70
FIGURE 30 : CONSTRUCTION DE LA VUE "INFORMATION" 73
FIGURE 31 : META-MODELE DE LA VUE "INFORMATION" 73
FIGURE 32 : COMPOSANTES D'UN MODELE DE PROCESSUS 76
FIGURE 33 : CONSTRUCTION DE LA VUE "PROCESSUS" 78
FIGURE 34 : META-MODELE DE LA VUE "PROCESSUS" 78
FIGURE 35 : CONSTRUCTION DE LA VUE "VERIFICATION ET VALIDATION" 81
FIGURE 36 : META-MODELE DE LA VUE " VERIFICATION ET VALIDATION" 81
FIGURE 37 : CONSTRUCTION DE LA VUE "EVALUATION ET COMPARAISON" 83
FIGURE 38 : META-MODELE DE LA VUE "EVALUATION ET COMPARAISON" 84
FIGURE 39 : COMPOSANTES DES MODELES DE PROCESSUS MODELISABLES AVEC BPMN 2.0 88
FIGURE 40 : EXEMPLE D'INTERFACE DU WORKFLOW IMPLEMENTE 90
FIGURE 41 : DEMARCHE ADOPTEE POUR L'ANALYSE DES STANDARDS D'INGENIERIE SYSTEME 95
FIGURE 42 : COMPOSANTES DE LA METHODOLOGIE D'EVALUATION DE LA MATURITE NECESSAIRE POUR UN DEPLOIEMENT 100
FIGURE 43 : DIMENSIONS DU MODELE DE MATURITE PROPOSE 102

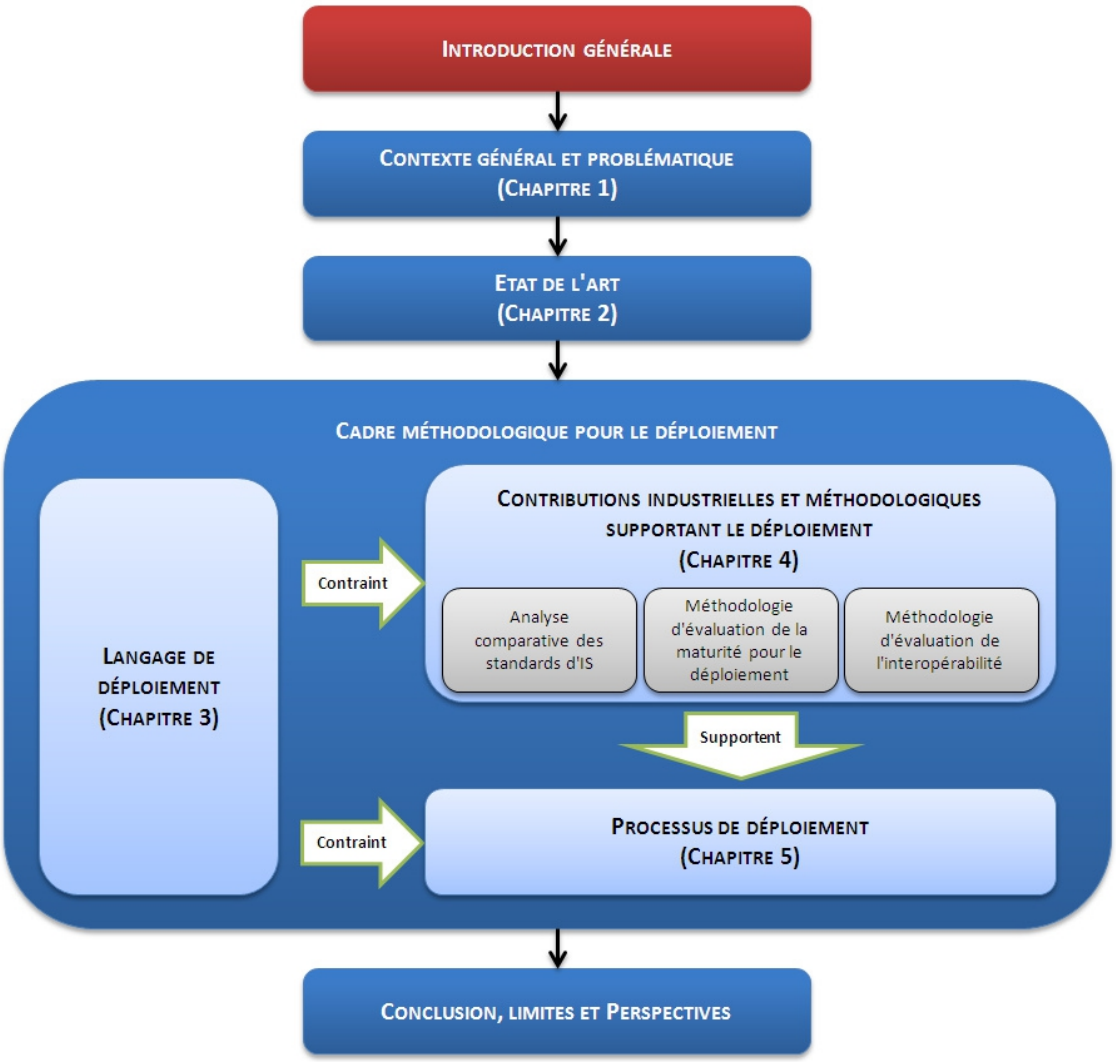
FIGURE 44 : PROCESSUS D'EVALUATION DE LA MATURITE D'UNE UNITE D'ORGANISATION 107
FIGURE 45 : SOUS-PROCESSUS "EVALUER DES CRITERES " 107
FIGURE 46 : SOUS-PROCESSUS "PROPOSER DES AMELIORATIONS" 107
FIGURE 47 : APPLICATION INFORMATIQUE – AFFECTATION D'UN SCORE A UN CRITERE 110
FIGURE 48 : APPLICATION INFORMATIQUE – SYNTHESE GLOBALE DE L'EVALUATION 110
FIGURE 49 : APPLICATION INFORMATIQUE – EXEMPLE DE LA SYNTHESE DE LA DIMENSION "PROCESSUS" 111
FIGURE 50 : TYPOLOGIE DES RESSOURCES (EXTRAIT DU LANGAGE DE DEPLOIEMENT) 113
FIGURE 51 : CIBLES DE L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE 114
FIGURE 52 : MATRICE D'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE 115
FIGURE 53 : POSITIONNEMENT DES MESURES DE LA POTENTIALITE ET DU DEGRE D'INTEROPERABILITE PROPOSES PAR N. DACLIN SUR LA MATRICE D'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE 115
FIGURE 54 : BESOINS EN TERME D'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE AU FUR ET A MESURE DU DEPLOIEMENT 116
FIGURE 55 : LA METHODOLOGIE D'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE PROPOSEE 118
FIGURE 56 : CONCEPTS NECESSAIRES A L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE (EXTRAIT DU LANGAGE DE DEPLOIEMENT) 119
FIGURE 57 : PROCESSUS D'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE 120
FIGURE 58 : SOUS-PROCESSUS "EXECUTER LA PROCEDURE POUR UNE RESSOURCE ATOMIQUE" 120
FIGURE 59 : SOUS-PROCESSUS A.2 "CALCULER UN TERME D'UNE FORMULE ATOMIQUE" 120
FIGURE 60 : SOUS-PROCESSUS "EXECUTER LA PROCEDURE POUR LES UNITES D'ORGANISATION" 121
FIGURE 61 : EXEMPLE – DECOMPOSITION ET PROFONDEUR D'UNE RESSOURCE 122
FIGURE 62 : EXEMPLE – COUPLES DE RESSOURCES 123
FIGURE 63 : EXEMPLE – SCORE D'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE D'UNE UNITE D'ORGANISATION 126
FIGURE 64 : EXEMPLE DE QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE 129
FIGURE 65 : EXEMPLE DE QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE EXTRINSEQUE 131
FIGURE 66 : RAPPEL – CONSOLIDATION DES ETAPES POUR DEPLOYER UN PROCESSUS D'INGENIERIE SYSTEME 138
FIGURE 67 : PROCESSUS DE DEPLOIEMENT PROPOSE 139
FIGURE 68 : ACTIVITE A1 – INITIER 140
FIGURE 69 : SOUS-PROCESSUS SP1.1 – DEFINIR LA VISION 140
FIGURE 70 : SOUS-PROCESSUS SP1.2 – EXPLICITER LES PARTIES PRENANTES DU DEPLOIEMENT 141
FIGURE 71 : SUGGESTION DE COMPOSITION DE L'EQUIPE DE DEPLOIEMENT 142
FIGURE 72 : SOUS-PROCESSUS SP1.3 - EVALUER LA MATURITE DE L'ENTREPRISE POUR LE DEPLOIEMENT 142
FIGURE 73 : SOUS-PROCESSUS SP1.4 - STRUCTURER LE PROJET 143
FIGURE 74 : ACTIVITE A2 – CAPTURER 144
FIGURE 75 : SOUS-PROCESSUS GENERIQUE SP2.G – DEFINIR, METTRE A JOUR, OU CONSERVER LE MODELE IDEAL/AS-IS DU PROCESSUS 145
FIGURE 76 : COMPOSANTES DU MODELE IDEAL 146
FIGURE 77 : COMPOSANTES DU MODELE AS-IS 146
FIGURE 78 : ACTIVITE A3 – CONCEVOIR 147
FIGURE 79 : COMPOSANTES DU MODELE TO-BE D'UN PROCESSUS 148
FIGURE 80 : SOUS-PROCESSUS GENERIQUE SP3.G1 – REALISER LE MODELE TO-BE D'UN PROCESSUS 149
FIGURE 81 : SOUS-PROCESSUS GENERIQUE SP3.G2 - REALISER LE MODELE IMPLEMENTATION D'UN PROCESSUS 150
FIGURE 82 : COMPOSANTES DU MODELE IMPLEMENTATION D'UN PROCESSUS 151
FIGURE 83 : SOUS-PROCESSUS SP3.5 - TERMINER LA PREPARATION DU DEPLOIEMENT EFFECTIF 152
FIGURE 84 : ACTIVITE A4 – DEPLOYER 153
FIGURE 85 : SOUS-PROCESSUS GENERIQUE SP4.G – DEPLOYER UN PROCESSUS 154
FIGURE 86 : ACTIVITE A5 – EVALUER 155
FIGURE 87 : SOUS-PROCESSUS GENERIQUE SP5.G1 – VERIFIER UN PROCESSUS 155
FIGURE 88 : SOUS-PROCESSUS GENERIQUE SP5.G2 – VALIDER UN PROCESSUS 156
FIGURE 89 : EXEMPLE – CARTOGRAPHIE DES PROCESSUS IMPACTES PAR LE DEPLOIEMENT 158
FIGURE 90 : EXEMPLE – SYNTHESE GLOBALE DES RESULTATS DE L'EVALUATION DE LA MATURITE 158
FIGURE 91 : EXEMPLE – SYNTHESE DES RESULTATS POUR LA DIMENSION "PROCESSUS" 159

FIGURE 92 : EXEMPLE – SYNTHESE DES RESULTATS POUR LA DIMENSION "METHODES ET OUTILS" 159
FIGURE 93 : EXEMPLE – SYNTHESE DES RESULTATS POUR LA DIMENSION "HOMMES" 159
FIGURE 94 : EXEMPLE – MODELE IDEAL DU PROCESSUS DE DEFINITION DES EXIGENCES DES PARTIES PRENANTES 161
FIGURE 95 : EXEMPLE – ACTIVITE A1 162
FIGURE 96 : EXEMPLE – MODELE IDEAL – ACTIVITE A2 163
FIGURE 97 : EXEMPLE – MODELE IDEAL – ACTIVITE A3 164
FIGURE 98 : EXEMPLE – MODELE AS-IS – PROCESSUS DE DEFINITION DES EXIGENCES 165
FIGURE 99 : EXEMPLE – MODELE AS-IS – ACTIVITE A1 166
FIGURE 100 : EXEMPLE – MODELE AS-IS – ACTIVITE A2 166
FIGURE 101 : EXEMPLE – MODÈLE TO-BE – ACTIVITÉ A1.1 167
FIGURE 102 : EXEMPLE – MODÈLE TO-BE – ACTIVITÉ A1.2 167
FIGURE 103 : EXEMPLE – MODÈLE TO-BE – ACTIVITÉ A2.4 168
FIGURE 104 : EXEMPLE – MODÈLE TO-BE – ACTIVITÉ A3.1 168
FIGURE 105 : SYNTHESE DES CONTRIBUTIONS DE CES TRAVAUX 174

Table des tableaux

TABLEAU 1 : QUELQUES DEFINITIONS DE L'INGENIERIE SYSTEME 40
TABLEAU 2 : BARRIERES POUR L'AMELIORATION DE PROCESSUS IDENTIFIEES PAR S. SHEARD 50
TABLEAU 3 : TYPES DE MODELES DE PROCESSUS ET LEURS COMPOSANTES 76
TABLEAU 4 : CORRESPONDANCE BPMN 2.0 / LANGAGE PROPOSE 89
TABLEAU 5 : POSITIONNEMENT DU LANGAGE PROPOSE PAR RAPPORT AUX BESOINS FORMULES INITIALEMENT 91
TABLEAU 6 : CRITERES DE COMPARAISON DES REFERENTIELS D'INGENIERIE SYSTEME 96
TABLEAU 7 : SYNTHESE DES FORCES ET FAIBLESSES DES REFERENTIELS D'INGENIERIE SYSTEME 98
TABLEAU 8 : NIVEAUX DU MODELE DE MATURITE 101
TABLEAU 9 : CRITERES D'EVALUATION ET BARRIERES D'INTEROPERABILITE CONCERNEES 103
TABLEAU 10 : MODELE DE MATURITE PROPOSE 106
TABLEAU 11: EXEMPLE – EVALUATION DE LA MATURITE D'UNE UNITE D'ORGANISATION 109
TABLEAU 12 : ANALYSE COMPARATIVE DES TRAVAUX EXISTANTS POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE 117
TABLEAU 13 : QUESTIONNAIRES PROPOSES POUR L'EVALUATION DU SCORE D'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE POTENTIELLE 128
TABLEAU 14 : QUESTIONNAIRES PROPOSES POUR L'EVALUATION DU SCORE D'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE EFFECTIVE 129
TABLEAU 15 : QUESTIONNAIRES PROPOSES POUR L'EVALUATION DU SCORE D'INTEROPERABILITE EXTRINSEQUE POTENTIELLE 130
TABLEAU 16 : QUESTIONNAIRES PROPOSES POUR L'EVALUATION DU SCORE D'INTEROPERABILITE EXTRINSEQUE EFFECTIVE 131
TABLEAU 17 : EXEMPLE – RESULTATS DE L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE POTENTIELLE DES TROIS CANDIDATS 132
TABLEAU 18 : EXEMPLE – RESULTATS DE L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE EXTRINSEQUE POTENTIELLE DES DEUX CANDIDATS RESTANTS 133
TABLEAU 19 : EXEMPLE – RESULTATS DE L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE EFFECTIVE DU CANDIDAT RETENU .. 133

Introduction Générale



Les travaux présentés dans ce mémoire s'inscrivent dans le contexte de l'Ingénierie Système d'Entreprise. Ils ont pour objectif général d'étudier comment mener l'introduction ou la redéfinition dans l'entreprise de processus complexes en prenant en compte l'interopérabilité des hommes, des organisations et des machines qui sont impliquées dans ces processus. Plus particulièrement, ces travaux s'intéressent au déploiement de processus d'Ingénierie Système.

CONTEXTE

Une entreprise est considérée à juste titre comme un système socio technique complexe.

Cela peut s'expliquer notamment par les éléments qui la composent, dont son capital humain fait partie. En effet, organisé en équipes, département ou unités, le personnel de l'entreprise fait sa force, en lui permettant de devenir et de rester performante et réactive. Il lui permet également d'assurer, mais aussi de rassurer ses partenaires sur ses capacités à produire des biens et des services reconnus et, de fait, à se faire une place sur un marché ciblé.

Cependant, ce capital humain est aussi responsable partiellement de ses faiblesses et doit donc être supporté par un ensemble maitrisé d'outils, de méthodes de travail et de technologies qui contribuent activement à la reconnaissance et à la confiance accordée par ses partenaires.

Toutefois, ces capitaux, humains, méthodologiques et techniques, nécessitent d'être organisés et orchestrés pour remplir leur mission. Un ensemble de processus doit alors être mis en œuvre, véritable colonne vertébrale de l'entreprise, permettant de coordonner et rationaliser les efforts de toutes les personnes et organisations qu'ils impactent, pour assurer souplesse et maitrise du fonctionnement, et maximiser la performance globale de l'ensemble au regard des attentes des partenaires de l'entreprise et, en particulier, de ses clients.

Pour répondre aux exigences souvent mouvantes de ces derniers et aux événements d'origine interne ou externe qui jalonnent son existence et conditionnent sa performance, l'entreprise doit être agile et capable de s'adapter rapidement en conséquence. L'entreprise doit pour cela se réorganiser, modifier son fonctionnement, et ajuster ses objectifs. Elle doit aussi être capable d'anticiper ces événements. Certains pourraient paraître prévisibles mais beaucoup sont le résultat de phénomènes émergents et donc nouveaux, liés au contexte économique, social, politique, …

Contexte externe d'une part. L'entreprise se trouve en effet n'être qu'un élément d'un système plus vaste où la concurrence, les clients mais aussi d'autres partenaires se livrent à une incessante surenchère technologique et commerciale entraînant une pression technique, économique, humaine et sociale énorme. Elle doit donc interagir avec le contexte dans lequel elle évolue et être en mesure de le gérer voire de l'anticiper pour ne pas être dans la position délicate de le subir.

Contexte interne d'autre part. Elle est en effet un lieu de pouvoirs, de décisions, d'enjeux locaux ou globaux, d'évaluations de risques et d'opportunités. Un lieu où se côtoient des objectifs non nécessairement cohérents entre eux mais pourtant présents, de rentabilité, commerciaux, humains, technologiques, … sur lesquels se construisent, si l'entreprise y consent et y réussit, la confiance et la reconnaissance évoquées plus haut.

Ainsi, la complexité d'une entreprise s'explique aussi par le fait que ses éléments évoluent et interagissent constamment en réponse et avec son environnement. Néanmoins, leurs relations sont difficiles à décrire, comprendre, contrôler, gérer et anticiper. Dès lors, les mêmes difficultés se traduisent au niveau global de l'entreprise, rendant particulièrement difficile toute démarche d'amélioration la concernant. Pourtant le changement de son fonctionnement peut s'avérer critique pour sa survie ou pour la conservation de sa position dominante sur un marché…

C'est pourquoi, en tant que système complexe, l'entreprise est depuis longtemps un sujet de préoccupations et d'études pour nombre de chercheurs. Ceux-ci appartiennent ou sont spécialisés dans des domaines connexes comme la modélisation d'entreprise, les sciences humaines et sociales, les sciences s'intéressant aux systèmes d'information, les sciences de gestion, … qui fournissent à l'entreprise les moyens (concepts, méthodes, modèles et outils) dont elle a besoin pour réduire et maîtriser cette complexité, en d'autres termes, pour faire ou parfaire son ingénierie.

C'est ce même système qui fait, ici aussi, l'objet des travaux présentés dans ce manuscrit et qui, de fait, tentent d'apporter une contribution nouvelle à la croisée de quelques-uns de ces domaines.

Le besoin est le suivant. L'entreprise doit sans cesse remettre en cause son organisation, son fonctionnement, ses compétences, aptitudes et capacités et ses façons de faire pour rester ou devenir plus performante, et s'inscrire dans une relation de confiance durable avec ses partenaires. Les améliorations ou les changements qui en résultent sont plus ou moins radicaux, plus ou moins rapides et reposent souvent sur la remise en cause de ses processus. Ces derniers sont en effet considérés comme la courroie de transmission idéale entre le fonctionnement attendu (réactivité, flexibilité et adéquation des activités), la capacité au pilotage et à la décision en univers incertain et contraint, et l'implication à bon escient des ressources humaines et techniques.

Le contexte de ces travaux est celui d'Eurocopter, une entreprise de haute technologie, de grande taille, multi culturelle, et internationale, qui occupe une place de leader sur un marché porteur. Pour elle, la nécessité de cette remise en cause n'est pas sans importance ni sans effet à redouter. Les enjeux à la fois méthodologiques, humains, sociaux, techniques et financiers sont évidents.

L'objectif pour cette entreprise est d'introduire une nouvelle façon de concevoir, et pour cela d'arriver à déployer une méthodologie, l'Ingénierie Système, qui promeut à cet effet une série de processus éprouvés.

Ce travail a donc consisté à développer un cadre méthodologique outillé pour permettre à Eurocopter de déployer dans son organisation des processus complexes, non nécessairement adaptés au premier abord, en prenant en compte les attentes et contraintes des ressources humaines et matérielles dont elle dispose ainsi que son histoire et sa culture d'entreprise.

STRUCTURE DU MEMOIRE

Ce mémoire décrit la réponse que nous proposons d'apporter à Eurocopter. Pour cela, il se décline en cinq chapitres.

Tout d'abord, dans le **premier chapitre intitulé "Contexte des travaux et problématique"** nous présentons le contexte particulier de la société Eurocopter qui l'a conduite à vouloir introduire au sein de son organisation de nouveaux processus. Nous décrivons en conséquence les deux besoins qu'elle a formulés, et qui ont motivé ces travaux, à savoir : 1) comprendre et améliorer son fonctionnement hors activité de déploiement et 2) déployer et maîtriser le déploiement. Enfin, nous positionnons un certain nombre d'hypothèses de travail dont celle-ci : l'interopérabilité est une condition de succès de l'introduction ou de la réintroduction de processus.

Ensuite, dans le **second chapitre intitulé "Déploiement de processus d'Ingénierie Système guidé par l'interopérabilité : état de l'Art et discussion**" nous commençons notre analyse par expliciter ce que nous entendons par déploiement de processus, ce qui conduit une entreprise à tenter cette aventure, et les contributions disponibles pour cela. Puis nous exposons les raisons pour lesquelles les processus d'Ingénierie Système représentent une difficulté supplémentaire et en quoi les contributions spécifiques à leur déploiement ne sont pas suffisantes. En effet, nous avons pu observer :

- Qu'il n'existe pas de langage de déploiement clairement défini mêlant tous les domaines : Ingénierie Système, Modélisation d'Entreprise, et déploiement. Ce constat permet d'expliquer les problèmes de compréhension pouvant se rencontrer entre les parties prenantes et constituer ainsi un risque d'échec accru.
- Que les démarches pouvant être utilisées comme guide pour le déploiement de processus d'Ingénierie Système ne permettent pas de répondre aux difficultés pratiques que ce déploiement engendre, notamment celles liées à l'adaptation de standards.
- Qu'il n'existe pas à notre connaissance de travaux dédiés ni à l'évaluation du degré de préparation d'une entreprise pour le déploiement de processus d'Ingénierie Système, ni à l'évaluation de l'interopérabilité des ressources dans le cadre d'un déploiement.
- Que les standards décrivant les bonnes pratiques de l'Ingénierie Système sont nombreux et ont été développés jusqu'à récemment de façon rarement concertée. Par conséquent, il est difficile de sélectionner le ou les référentiels qui seront utilisés dans le cadre du déploiement.

Dès lors, dans le **troisième chapitre intitulé "Proposition d'un langage de modélisation pour le déploiement de processus"**, nous détaillons le langage que nous avons défini pour soutenir l'effort de déploiement et améliorer la collaboration entre ses différentes parties prenantes. Il contraint et supporte l'ensemble des autres contributions de ces travaux.

Puis, dans le **quatrième chapitre intitulé "Contributions industrielles et méthodologiques préliminaires supportant le déploiement"**, nous présentons trois contributions préliminaires supportant le déploiement. Tout d'abord, une analyse comparative des standards de l'Ingénierie Système de façon à définir le ou les standards qui seront utilisés dans le cadre du déploiement en ayant connaissance de leurs complémentarités et de leurs chevauchements. Ensuite, deux méthodologies : une pour l'évaluation de la maturité d'une organisation face à ce déploiement, et

une autre pour l'évaluation de l'interopérabilité des ressources impliquées ou implicables dans les processus à déployer tout au long du déploiement.

Enfin, dans le **cinquième chapitre intitulé "Processus de déploiement proposé"** nous décrivons le processus de déploiement modélisé que nous proposons, orchestrant l'ensemble des contributions précédentes, et l'illustrons par un cas d'application.

DESTINATAIRES DE CES TRAVAUX

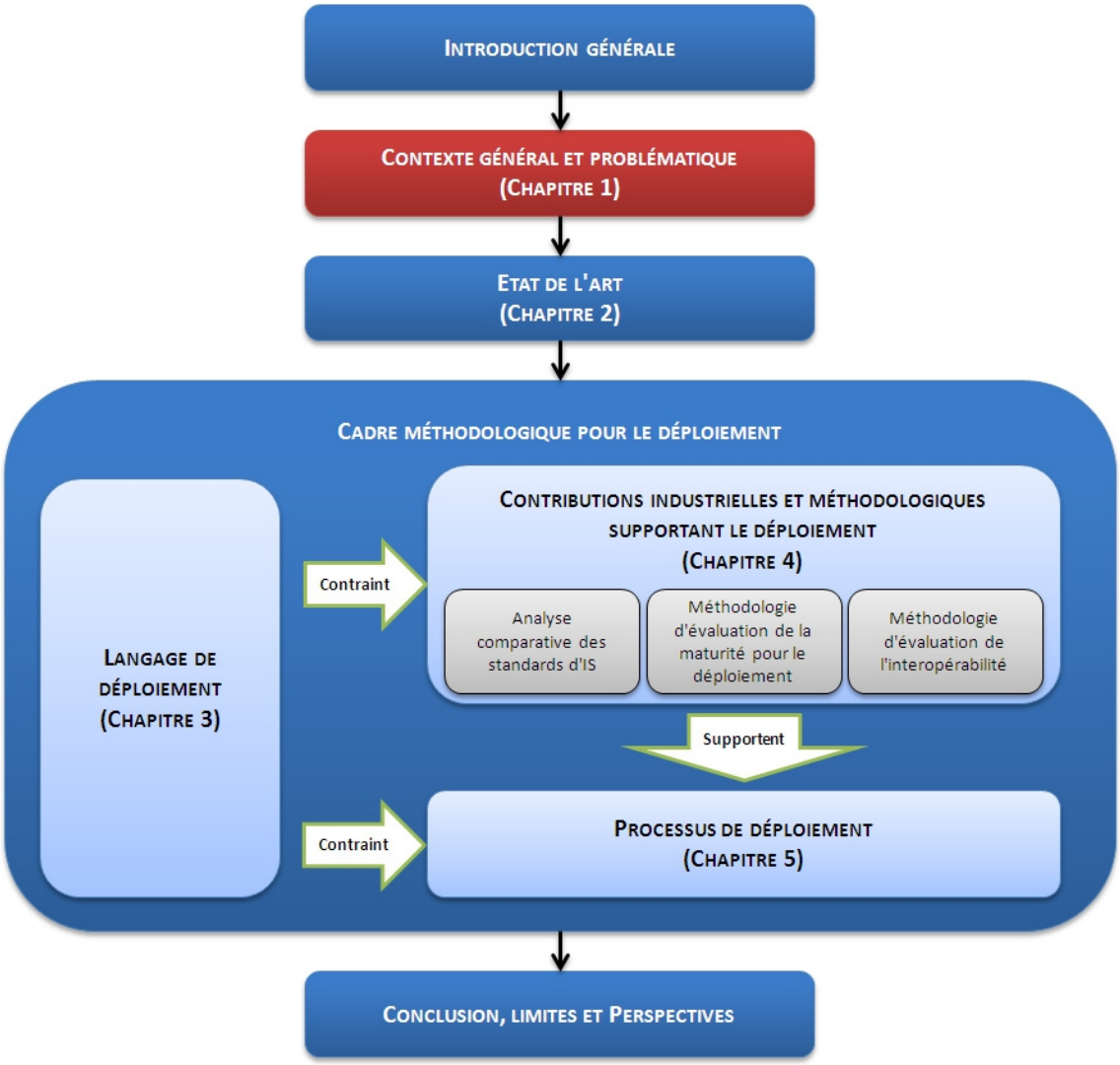
Ainsi ces travaux s'adressent non seulement aux personnes au sein d'Eurocopter en charge :

- De la stratégie de l'entreprise, en responsabilité de mettre en œuvre l'Ingénierie Système dans l'entreprise et, pourquoi pas, de la réclamer chez ses partenaires.
- De la définition, de la gestion et de l'amélioration des processus de l'entreprise.
- De la mise en œuvre des nouveaux processus déployés.
- Du recrutement, de la formation, et de l'allocation des ressources aux processus.
- De la capitalisation des compétences de l'entreprise.

Mais ils peuvent également représenter un intérêt à l'extérieur du cadre de l'entreprise objet de ces travaux pour :

- d'autres entreprises souhaitant mener un déploiement, qu'elles soient du même domaine d'activités ou non.
- des entreprises cherchant à outiller techniquement le déploiement de processus.
- des chercheurs menant des recherches sur le déploiement de processus et sur l'Ingénierie Système, pour disposer de retours d'expérience industriels sur les difficultés rencontrées.

Chapitre 1 – Contexte général des travaux et problématique



1.1. CONTEXTE

Cette thèse a été réalisée pour le compte d'Eurocopter, hélicoptériste numéro un mondial sur les marchés civils et parapublics en concevant et produisant une gamme d'hélicoptères civils et militaires la plus importante au monde. Créé en 1992, ce groupe franco-germano-espagnol est une division d'EADS (European Aeronautic Defence and Space Company), leader mondial dans les domaines de l'aéronautique, de l'espace, de la défense et des services associés. L'activité d'Eurocopter est articulée autour de trois cœurs de métier : la *conception et le développement*, la *production*, et les *supports et services.* Cette thèse porte son attention sur la conception d'hélicoptères et plus spécifiquement sur la conception de systèmes avioniques, c'est-à-dire de systèmes d'un aéronef qui dépendent de l'électronique pour leur fonctionnement mais qui peuvent contenir des éléments électromécaniques [1].

De façon à rester le leader en termes d'innovation, d'architecture, de conception et d'intégration, Eurocopter s'est fixé l'objectif de lancer un nouvel hélicoptère ou une amélioration technologique majeure tous les ans, dans l'optique de réduire les temps de cycle de conception. Pour cela, Eurocopter a la volonté de définir puis de déployer des processus, i.e. des "ensembles d'activités corrélées ou interactives qui transforment des éléments d'entrée en éléments de sortie" [2]. Ceux-ci doivent permettre de structurer, d'améliorer et de piloter toutes les activités d'ingénierie impliquant non seulement l'entreprise mais également ses partenaires. Les travaux de recherche présentés dans ce manuscrit essaient de contribuer à ces étapes de définition et de déploiement de processus. Ce chapitre a pour objectif de présenter le contexte de ces travaux, externe et interne à Eurocopter comme schématisé Figure 1, de mettre en avant les attentes de l'entreprise et de prendre en compte les contraintes particulières de celle-ci, lesquelles sont à l'origine de certains verrous que ces travaux doivent alors étudier et résoudre.

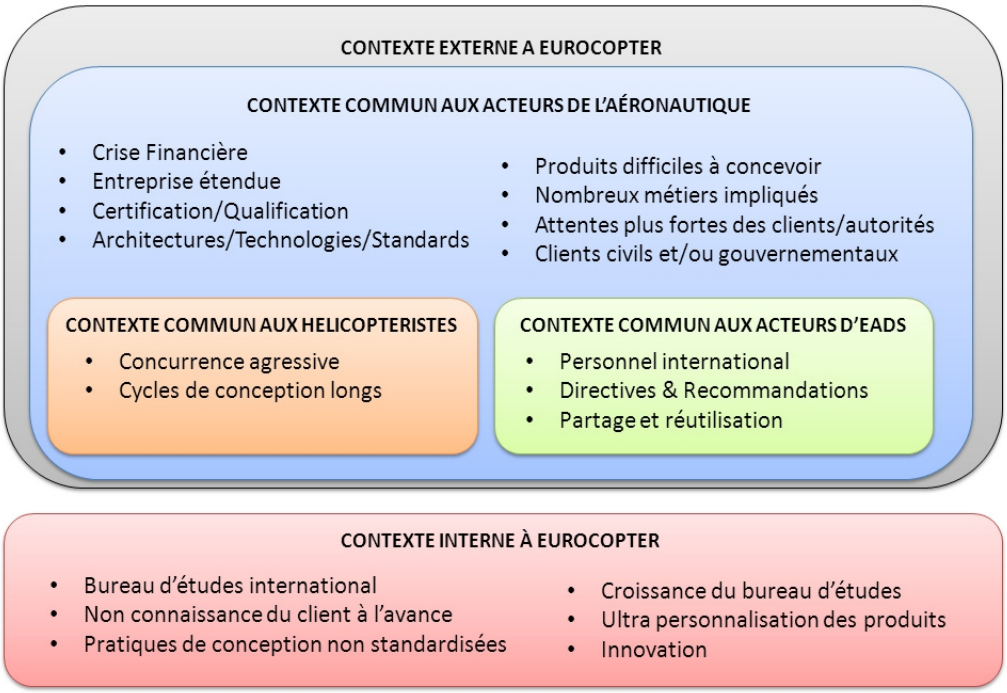


FIGURE 1 : APERÇU DU CONTEXTE DE DEPLOIEMENT

1.1.1. CONTEXTE EXTERNE

Par contexte externe, nous entendons l'environnement de marché dans lequel Eurocopter évolue, environnement commun à l'ensemble des acteurs du **monde de l'aéronautique,** des **hélicoptéristes** et enfin commun aux **acteurs du groupe EADS**.

Concernant le **contexte du monde aéronautique**, il faut d'abord considérer une situation économique difficile en contexte de crise financière. On note entre autres facteurs liés à cette crise, la compétition croissante existant sur ce marché, notamment de la part des pays émergents ayant des capacités de production à moindre coût.

Pour y faire face, les entreprises de ce domaine ont maintenant un besoin vital de concevoir puis de produire des produits innovants leur permettant de se démarquer de la concurrence. Les cycles de conception doivent donc être les plus efficaces et les plus courts possibles de façon à gagner en innovation et rentabilité. Ces entreprises doivent également considérer l'aspect pluridisciplinaire et les nombreux partenariats nécessaires pour concevoir un système avionique. Pour cela, elles doivent créer et gérer des collaborations avec des fournisseurs de biens ou de services, ou avec des acteurs du domaine qui vont interagir avec l'aéronef à concevoir (aéroport, station sol d'hélicoptère, etc.). Il est donc primordial de définir des processus collaboratifs, basés sur des standards éprouvés, compréhensibles rapidement et sans ambiguïté par les partenaires en incluant une définition claire des rôles et responsabilités de chacun.

Il faut ensuite noter que la conception en aéronautique est contrôlée par des autorités de certification comme l'Agence Européenne de Sécurité Aérienne (EASA). En effet, le constructeur aéronautique doit apporter à cette autorité, mais bien évidemment aussi à ses clients, les preuves que les analyses, notamment en termes de sûreté, de sécurité, d'impact environnemental ou autres, ont été menées que ce soit au niveau de l'aéronef à produire, de son système de conception ou encore de son système de production.

Enfin, le domaine de l'aéronautique est un domaine de recherche et d'innovation très actif. Eurocopter doit veiller et tenir compte de l'apparition de nouvelles technologies, architectures de systèmes ou encore de nouveaux standards apparaissant sur le marché.

Concernant le **contexte des hélicoptéristes**, Eurocopter est soumise à des contraintes spécifiques lors du déploiement de nouveaux processus. L'entreprise doit en effet tenir compte des produits et services que sont à même de fournir ses concurrents et veiller à maintenir ses avantages concurrentiels par rapport à eux.

Une autre particularité du métier d'hélicoptériste est la durée des cycles de conception d'un hélicoptère qui est comprise actuellement entre 10 et 30 ans. La longueur de ces cycles est liée à la complexité des hélicoptères à concevoir, au nombre de partenariats qu'ils impliquent, au caractère "Européen " ou non du programme ou encore au fait que l'hélicoptère soit conçu à partir de rien ou dérivé d'un hélicoptère existant. Ainsi, les processus de conception à déployer doivent être mieux structurés et documentés de façon à prouver et expliciter les choix qui ont été retenus et ce, même des années après.

Concernant enfin le **contexte EADS**, la société Eurocopter est liée par à les directives et les recommandations du groupe EADS lors de la définition de ses nouveaux processus. Il s'agit ici de respecter certaines règles portant notamment sur les pratiques de conception et les outils. Par ailleurs, dans le cadre du partage et de la réutilisation des connaissances au sein d'EADS,

Eurocopter a la volonté de définir des solutions les plus adaptables possibles de façon à permettre leur réutilisation au sein d'autres divisions.

1.1.2. CONTEXTE INTERNE

Par contexte interne, nous entendons **l'entreprise Eurocopter elle-même**.

Premièrement, les nouveaux processus doivent tenir compte du fait que la **conception d'un hélicoptère est radicalement différente selon le type de client concerné**. Par exemple, un hélicoptère militaire est conçu en fonction d'un cahier des charges proposé par un client identifié au préalable. À l'inverse, un hélicoptère civil sera par nature un appareil standard devant répondre aux attentes de clients inconnus lorsque la conception est initiée. Dans ce cas, il faut anticiper les besoins de ce type de client potentiel pour susciter des ventes mais aussi être en mesure de personnaliser l'hélicoptère en fonction de besoins exprimés plus ou moins tardivement. Cette personnalisation est fonction, par exemple, des types de mission (transport de passagers, sauvetage, etc.) et de besoins spécifiques d'un client (type particulier d'équipement, design intérieur de la cabine, etc.). Les processus de conception et de production doivent donc être suffisamment flexibles et réactifs pour permettre la mise à disposition d'hélicoptères et des services associés, répondant aux attentes du client. Un des enjeux de l'entreprise est alors d'être en capacité de définir correctement l'attente du client et de valider ses exigences dans un délai relativement court au regard de la durée de conception de l'hélicoptère. Cette durée de conception doit ainsi être elle-même optimisée et organisée grâce à ces processus.

Deuxièmement, les nouveaux processus à déployer doivent **favoriser la collaboration et la communication entre les différents services et corps de métiers** impliqués dans la conception. En effet, pour réduire les délais entre le démarrage du projet et la livraison du premier appareil, plusieurs corps de métiers travaillent en parallèle. Citons, par exemple, le bureau d'études, les départements en charge de la définition des schémas électriques, de la mise en production, etc. Chaque corps de métier possède une expérience et un savoir-faire qui lui sont propres et qu'il ne partage pas nécessairement ou pas avec cohérence avec les autres corps de métier. Il peut donc y avoir de ce fait, des non-dits, des ambiguïtés sémantiques et des oublis liés à des vocabulaires métiers dédiés. Plusieurs éléments de connaissance ne sont ainsi pas partagés voire pas partageables objectivement ou subjectivement par un corps de métier en dépit de leur intérêt pour d'autres acteurs.

Troisièmement, les nouveaux processus doivent tenir compte, entre autres, des **spécificités actuelles et futures du bureau d'études**. En effet, Eurocopter possède un bureau d'études partagé principalement entre trois pays : France, Allemagne et Espagne. Lors de la conception pour un client étranger, il faut donc anticiper les nécessaires échanges avec des acteurs d'autres sites, et avec les donneurs d'ordres pouvant être encore de nationalités différentes. Ces acteurs possèdent des cultures et des méthodes de travail qui s'avèrent parfois très distinctes. De plus, la taille du bureau d'études a fortement augmenté ces dernières années et continue de progresser. Il faut donc que les nouveaux processus soient accompagnés des supports de formation et de communication, permettant leur assimilation rapide par les membres du bureau d'études, qu'ils soient anciens ou nouveaux arrivants.

Quatrièmement, les nouveaux processus doivent prendre en compte les **bonnes pratiques caractérisant le savoir-faire d'Eurocopter**. La difficulté ici réside dans le fait que ce savoir-faire a été développé au sein de projets cloisonnés. Il n'existe pas en pratique une façon unique de concevoir un hélicoptère avec un vocabulaire et une série d'outils, de procédures, de moyens matériels standardisés. Au contraire, il existe au moins autant de méthodes de conception que de programmes relatifs à des produits différents. La définition de nouveaux processus va donc devoir sélectionner les meilleures pratiques et structurer la démarche de travail au sein du bureau d'études.

Finalement, Eurocopter cherche à **maintenir son statut d'hélicoptériste leader en termes d'innovation**. Pour cela, de nombreuses recherches sont menées. Il est donc primordial que les processus de conception à définir n'empêchent pas ou ne freinent pas cette capacité à l'innovation et qu'ils prévoient l'incorporation de nouvelles technologies issues des incubateurs de recherche. Par ailleurs, l'innovation ne devant pas se résumer aux seuls hélicoptères, les processus à mettre en place doivent également pouvoir être remis facilement en cause et mis à jour pour intégrer les dernières pratiques de conception.

1.1.3. UNE REPONSE : DEPLOYER DE NOUVEAUX PROCESSUS…

Eurocopter doit donc définir et mettre en place des processus structurant et pilotant la conception et les échanges entre ses parties prenantes en tenant compte de l'ensemble des paramètres définis ci-dessus. Considérant ce contexte et ses résultats aujourd'hui éprouvés [3], il a été décidé de déployer des processus d'Ingénierie Système (IS). Cette dernière peut être définie comme une "*démarche méthodologique générale qui englobe l'ensemble des activités adéquates pour concevoir, faire évoluer et vérifier un système apportant une solution économique et performante aux besoins d'un client tout en satisfaisant l'ensemble des parties prenantes*[1]". Ces processus ont pour but de structurer et organiser la conception et répondre au mieux aux besoins des différentes parties prenantes, c'est-à-dire de "toute personne ou entité concernée de près ou de loin par le système, son utilisation, sa réalisation, sa maintenance ou ses impacts et donc susceptible d'exprimer des exigences (besoins et contraintes)" [4]

1.2. PROBLEMATIQUE DU TRAVAIL DE RECHERCHE

La problématique générale de ce travail peut s'énoncer dans un premier temps comme suit. Il s'agit d'assister et de piloter le déploiement de processus dans une grande entreprise. Les processus sont ceux préconisés par l'Ingénierie Système (IS) et l'entreprise, Eurocopter, est de taille conséquente et possède une culture de plusieurs décennies.

Décider et mettre en œuvre concrètement une stratégie de déploiement dans ce contexte est une tâche longue, fastidieuse, risquée et sensible car le résultat est crucial pour l'entreprise. Le processus à déployer *i.e.* l'objectif même du déploiement, mais aussi la façon de le déployer *i.e.* le projet de déploiement, vont en effet impacter toute l'entreprise au travers :

- De sa structure organisationnelle et décisionnelle,

[1] www.afis.fr

- De ses moyens et ressources matérielles et applicatives,
- De ses acteurs : vision, compréhension, acceptation, motivation quant à la nécessité ou à l'intérêt du travail à réaliser avant, pendant et après le déploiement,
- De ses méthodes de travail : bonnes pratiques, us et coutumes, façons de faire, habitudes…
- De ses collaborations et de son image auprès de ses partenaires.

L'entreprise doit donc s'engager dans un déploiement uniquement dans l'optique de le réussir. Elle doit anticiper certains événements, adapter son organisation, son fonctionnement et son comportement et se piloter[2] pour faire face aux nombreuses difficultés et minimiser les effets de bords souvent inévitables résultant du déploiement. Nous avons mené une analyse des difficultés essentielles du déploiement en s'intéressant aux dimensions :

- Environnement et contexte de déploiement,
- Unités d'Organisation et Acteurs,
- Processus devant être déployés et ceux permettant ce déploiement,
- Outils méthodologiques et techniques disponibles.

Cette analyse met en évidence des besoins[3] encore mal couverts et des verrous[4] scientifiques et techniques, humains, financiers ou encore organisationnels qu'il convient d'étudier et de résoudre. La Figure 2 illustrée page suivante est extraite de cette analyse et synthétise les principales difficultés, besoins et verrous avant, pendant et après le déploiement. Cette figure fait apparaitre deux besoins généraux et met en exergue les verrous auxquels ce travail s'intéresse en les repérant par un signe ☑. Détaillons chacun d'entre eux.

1.2.1. BESOIN : COMPRENDRE ET AMELIORER LE FONCTIONNEMENT DE L'ENTREPRISE HORS ACTIVITE DE DEPLOIEMENT

Ce besoin se décompose ici en besoins de communication inter partenaires, d'amélioration de la prise de décision et de la gestion du facteur humain (relationnel, autorité, délégation, mais aussi niveau de compétence et de maturité dans le domaine de l'IS, résistance au changement et autres freins psychologiques). Ces verrous concernent les domaines des sciences de gestion et des sciences humaines. Ils ne seront pas abordés dans le cadre de ce travail bien que l'on saisisse toute leur importance et leur impact sur la réussite d'un déploiement. Le lecteur est invité à se référer notamment aux travaux de [5] pour plus d'informations sur ce sujet.

Il est relevé cependant deux verrous majeurs qui, peu ou prou, vont impacter ces travaux :

- **Maturité et réelle autonomie incertaine en IS**. En effet, il est apparu au cours de ce travail que les acteurs de l'entreprise ne possèdent pas une vision claire et objective, commune et partagée de l'IS, malgré leurs pratiques et leur implication réelle comme supposée dans une activité d'IS. Il est donc nécessaire de s'assurer que cette vision est conforme aux attentes de l'entreprise.
- **Difficulté à trouver un compromis entre la stratégie de l'entreprise et les besoins pratiques du déploiement.** Ce compromis consiste à savoir en permanence coupler

[2] i.e. se doter des structures décisionnelles et informationnelles

[3] Que faut-il faire pour déployer ?

[4] Pourquoi ces besoins de l'entreprise Eurocopter, et plus généralement de toute organisation souhaitant réussir le déploiement de processus complexes, ne peuvent-ils pas être totalement ou même partiellement résolus du fait de limitations conceptuelles, techniques, humaines ou organisationnelles persistantes ?

étroitement cette stratégie, les indicateurs de pilotage choisis pour s'assurer de son suivi, les acteurs responsables de ce pilotage, l'environnement dans lequel le déploiement doit être mené, les besoins et indicateurs qui sont alors choisis pour le piloter, et en améliorer le résultat au cours du temps.

1.2.2. BESOIN : DEPLOYER ET MAITRISER LE DEPLOIEMENT

Ce besoin concerne les trois phases d'un déploiement : pré-déploiement, per-déploiement et post-déploiement. Nous pensons que, d'un point de vue méthodologique, la difficulté principale pour les entreprises se situe dans la partie pré-déploiement, lors de l'organisation et de la réalisation de l'effort technique de préparation du déploiement. Dans ces travaux nous nous focaliserons donc sur les verrous rencontrés lors de cette phase. Toutefois nous n'aborderons pas les questions concernant l'identification et la sélection des compétences et des bonnes pratiques, l'amélioration d'outils techniques existants, et le problème de la négociation avec les autorités concernées par les changements potentiels occasionnés sur les pratiques de conception. De plus, bien que nous les ayons considérés dans ces travaux, nous n'aborderons pas les verrous inhérents à l'exécution du déploiement ou au contrôle de l'exécution du déploiement.

Intéressons-nous tout d'abord, aux verrous rencontrés lors de la phase de pré-déploiement, c'est-à-dire à ceux liés à l'organisation de l'effort de déploiement parmi lesquels figurent :

- **Absence de démarche de déploiement**. L'entreprise ne dispose généralement pas d'une démarche acceptée et validée, qui soit générique mais néanmoins suffisamment détaillée pour être applicable directement en industrie. Elle perd du temps à définir cette démarche et risque de ne jamais réussir à faire converger l'équipe de déploiement.
- **Compréhension mutuelle des parties prenantes souvent limitée et rendue difficile par les différences culturelles, la langue et la qualité incertaine des informations échangées.** Le règlement de cette difficulté est primordial dans le cadre d'une entreprise multiculturelle et multi-sites.

Intéressons-nous ensuite aux verrous liés à la modélisation que ce soit du processus à déployer ou du processus de déploiement, dont font partie :

- **L'absence d'un synoptique des documents disponibles, pertinents et actualisés régulièrement, accessibles facilement et présentant leurs différences.** Dès lors la sélection de la base de référence pour la définition du processus à déployer s'avère délicate.
- **L'absence de définition non ambigüe, pragmatique et pédagogique des processus devant être déployés.** En effet, les descriptions sont souvent textuelles et au mieux modélisées à l'aide d'un langage de modélisation non standard.
- **L'absence de moyen d'identification et de représentation des parties prenantes.**
- **L'absence d'un langage si possible unique, non ambigu et pragmatique de modélisation à la fois de la cartographie** (des processus en place avant et après le déploiement) **et des processus** (à déployer, déployés effectivement et de déploiement pour assurer la transition des uns aux autres). Ce langage devrait de plus favoriser la mise à jour de ces modèles.
- **L'absence d'une méthode pour identifier les ressources de l'entreprise impliquées ou implicables et pour formaliser leurs rôles et responsabilités.**

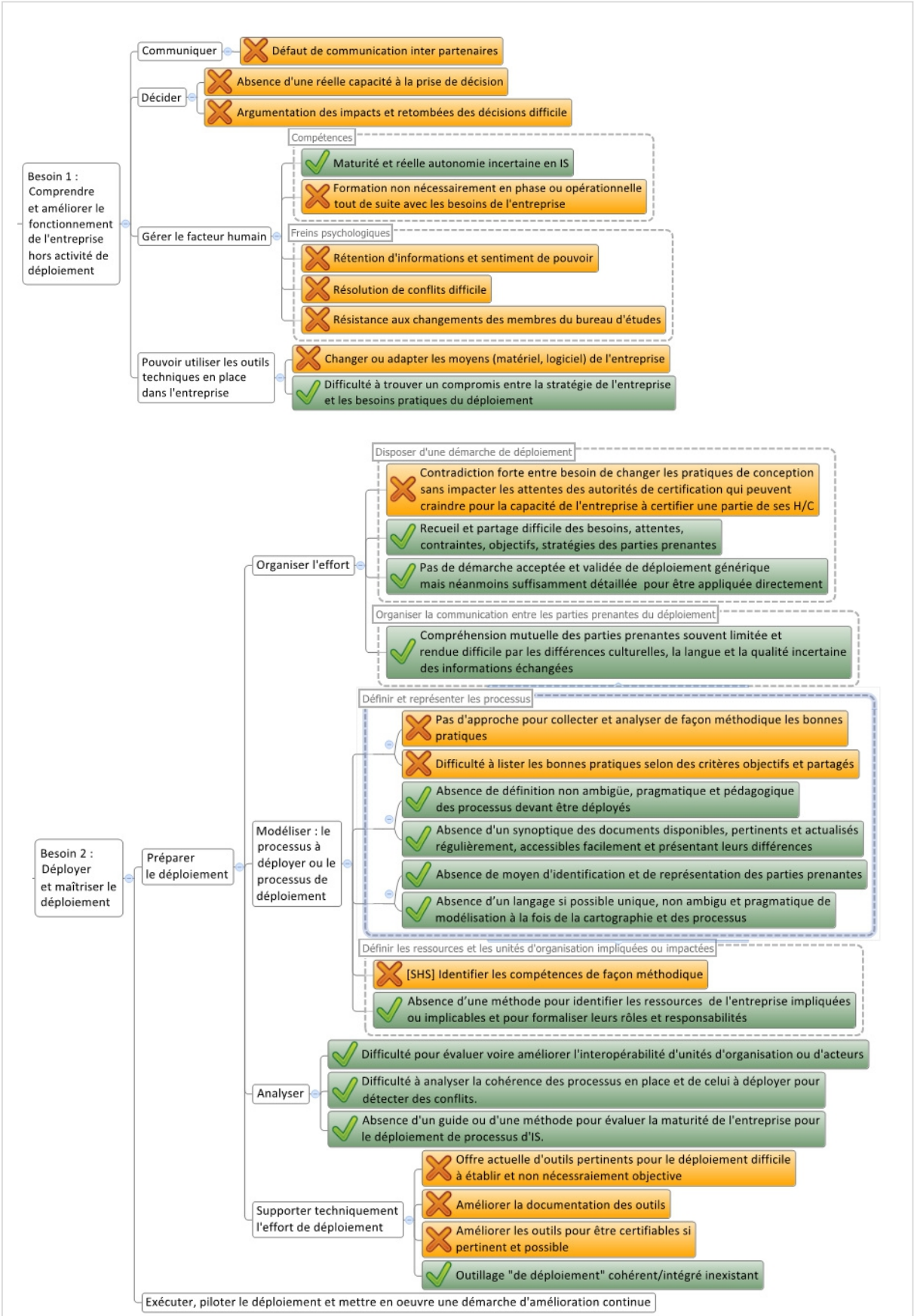


FIGURE 2 : BESOINS, DIFFICULTES ET VERROUS ADRESSES PAR CE TRAVAIL

Concernant l'analyse des modèles réalisés permettant de statuer sur le fonctionnement et l'organisation du bureau d'études, nous nous intéressons également aux verrous suivants :

- **Difficulté pour évaluer voire améliorer l'interopérabilité d'unités d'organisation ou d'acteurs.** Il faut pour cela une approche d'évaluation de l'interopérabilité flexible qui soit pragmatique et qui permette l'évaluation du niveau d'interopérabilité d'unités d'organisation comme de ressources humaines ou matérielles.
- **Difficulté à analyser la cohérence des processus en place et de ceux qui sont à déployer pour détecter des conflits.**
- **Absence d'un guide ou d'une méthode pour évaluer la maturité de l'entreprise pour le déploiement de processus d'IS.**

Enfin, une dernière difficulté réside dans le support technique de l'ensemble de l'effort de déploiement. À notre connaissance, il n'existe en effet pas d'**outillage "de déploiement" cohérent et intégré**.

1.3. HYPOTHESES, CONTRIBUTION ATTENDUE ET METHODE DE TRAVAIL

1.3.1. HYPOTHESES POUR LEVER LES VERROUS IDENTIFIES

Avant de présenter les développements conceptuels, méthodologiques et techniques résultant de ces travaux, il est nécessaire de présenter les hypothèses de travail adoptées et les moyens que nous proposons pour nous assurer ensuite de leur validation. Ces hypothèses sont évidemment liées aux contextes externe et interne d'Eurocopter présentés ci-dessus et au temps nécessairement limité alloué à ce travail de recherche. Elles peuvent être formalisées comme suit :

A. Les livrables de ce travail doivent pouvoir être mis en œuvre à Eurocopter et, plus largement, à EADS. Nous partons de l'hypothèse que, ne sont pertinents pour le déploiement, que les référentiels de bonnes pratiques de l'IS applicables à l'aéronautique, à l'aérospatial ou au transport de façon plus globale.
B. L'interopérabilité étant une notion encore récente et non encore partagée par l'ensemble des communautés scientifiques, nous choisissons comme référence la définition proposée par l'ISO [6] qui la définit comme la "*capacité des entreprises et des entités au sein de ces entreprises à communiquer et interagir efficacement*".
C. Bien que critiques dans un déploiement, nous ne considérons pas les freins liés aux facteurs humains (freins psychologiques, refus du changement, etc.) dans ces travaux. L'ensemble des acteurs de l'entreprise est moteur dans l'effort de déploiement et ne cherche donc pas à le bloquer. Dans le même ordre d'idées, nous supposons également que les efforts de communication, de formation et d'accompagnement sont mis en place et organisés par des personnes compétentes tout au long du déploiement pour limiter l'effet de "résistance au changement".
D. L'entreprise a, par défaut, la volonté d'optimiser son organisation en conservant les ressources dont elle dispose et, dans le cas où elle ne dispose pas des compétences nécessaires, la possibilité d'en embaucher de nouvelles.
E. Tous les membres de l'entreprise impliqués ou implicables parlent Anglais.
F. Le risque d'échec du déploiement est nécessairement accru si 1) l'entreprise ne dispose pas de solutions pragmatiques avant même le commencement effectif du déploiement, 2)

ne définit pas de façon explicite le périmètre de déploiement, ou 3) si le déploiement génère un changement trop important des pratiques et de l'organisation de conception.

G. La maturité de l'entreprise et l'interopérabilité des ressources qui la composent conditionnent la réussite du déploiement de processus d'IS dans l'organisation actuelle. En effet, nous estimons, premièrement, qu'un manque de maturité *i.e.* de connaissances, de compétences et d'organisation dans le but de pratiquer l'IS et qu'un manque d'interopérabilité *i.e.* de capacités à communiquer efficacement et sans pertes, sont des causes, au mieux de ralentissement, au pire d'échec du déploiement. Nous supposons donc qu'évaluer et maximiser ces paramètres de l'entreprise, même de façon non absolue, augmente les chances de réussite du déploiement. Cette démarche préalable permet en outre de faire percevoir l'urgence de la situation par les acteurs concernés Deuxièmement, nous faisons l'hypothèse qu'il ne faut pas prêter attention à une valeur absolue et chiffrée de l'interopérabilité (si tant est qu'elle soit définissable), mais à son évolution dans le temps et à la tendance de cette dernière. Enfin, nous supposons que l'évaluation du niveau d'interopérabilité d'une unité d'organisation est directement liée à celle du niveau d'interopérabilité des ressources (humaines, matérielles et applicatives) qui la composent sans pour autant pouvoir être exprimée par une simple somme.

Ces deux dernières hypothèses seront validées ou infirmées au sein de l'entreprise en fonction des retours d'expérience collectés.

1.3.2. OBJECTIF DE LA CONTRIBUTION ATTENDUE

Au regard des hypothèses formulées, le but de ces travaux de recherche est de fournir un cadre méthodologique (processus, concepts et méthode de travail) et technique (outillage support) pour maîtriser les verrous mis en avant (en termes d'interopérabilité, d'organisation et de technique) empêchant la réussite du déploiement de processus d'Ingénierie Système dans une grande entreprise du milieu aéronautique. **La contribution globale de ces travaux consiste donc à définir un guide méthodologique outillé pour assister le déploiement de processus dans une entreprise. Les divers éléments constituant cette contribution et résultant de ces travaux seront introduits au chapitre suivant.**

1.3.3. METHODE DE TRAVAIL

Pour mener à bien ces travaux, nous avons suivi les principes promulgués par l'IS (cf. Figure 3).

Ainsi, nous avons collecté les problématiques et besoins du déploiement que nous avons traduits en verrous à résoudre, c'est-à-dire ici sous forme d'exigences. Nous en avons déduit les fonctionnalités du guide méthodologique. Un état de l'art (cf. chapitre 3) nous a permis de déterminer si des solutions existaient pour réaliser ces fonctions ou si des nouvelles solutions étaient nécessaires. En cas d'absence ou de pertinence limitée de solutions techniques ou méthodologiques permettant de répondre à nos besoins, nous avons défini des spécifications pour les solutions à développer. Nous avons ensuite élaboré ces solutions (cf. chapitre 4 et 5). Tout au long de ces activités, des opérations de vérification et validation, d'évaluation et d'optimisation, ont été menées.

Les avantages d'avoir utilisé l'IS pour structurer ce travail de recherche sont notamment les suivants :

- Utiliser une démarche structurée et rigoureuse,
- Permettre de satisfaire au mieux les besoins des différentes parties prenantes,
- Pouvoir éprouver une première fois le contenu et la pertinence des standards d'IS et anticiper les difficultés que pourraient rencontrer EC lors de l'application de la démarche
- Et surtout servir de projet pilote pour montrer la pertinence de la démarche aux personnes sceptiques de l'entreprise.

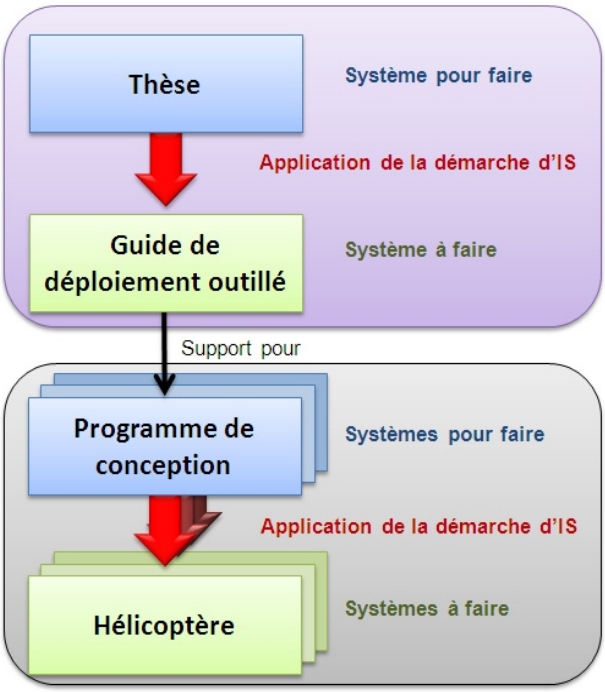
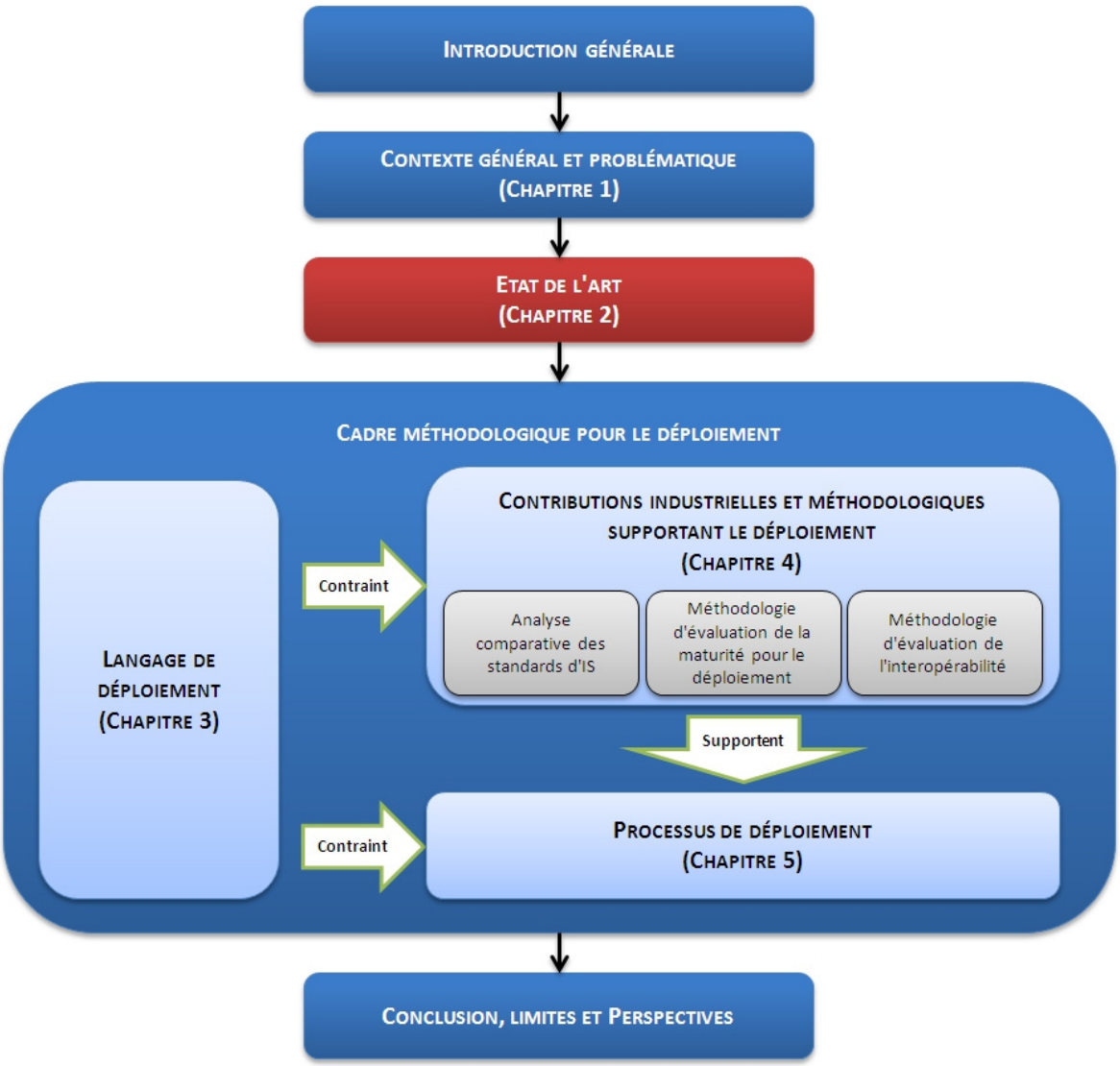


FIGURE 3 : APPLICATION DE L'INGENIERIE SYSTEME POUR L'ELABORATION DES LIVRABLES DE THESE

1.4. CONCLUSION DU CHAPITRE

Ce chapitre nous a permis de présenter le contexte de cette thèse, les difficultés auxquelles est confrontée la société Eurocopter pour mettre en place de nouveaux processus dans son organisation sans remettre en cause la stabilité de celle-ci. Nous avons identifié un certain nombre de besoins industriels et de verrous auxquels il convient de remédier en retenant certaines hypothèses afin de maximiser les chances de succès du déploiement. De façon à y parvenir, nous avons réalisé un état de l'art des domaines scientifiques pertinents pour l'élaboration de ces solutions. Ce dernier fait l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 2 – Déploiement de processus d'Ingénierie Système guidé par l'interopérabilité : état de l'Art et discussion



2.1. INTRODUCTION

L'objet de ce chapitre est de présenter et de discuter un ensemble de contributions scientifiques permettant de répondre à tout ou partie des verrous identifiés dans le chapitre précédent. Pour cela, il introduit et étudie une série de travaux sur le déploiement de processus vu alors de façon générale et issus du domaine de la Modélisation d'Entreprise (ME). Il s'intéresse ensuite plus particulièrement à la problématique du déploiement de processus d'Ingénierie Système (IS) dans une grande entreprise. Finalement, il positionne, en l'argumentant, nos travaux par rapport à l'ensemble de ces contributions.

2.2. DEPLOIEMENT DE PROCESSUS

2.2.1. DEFINITION ET LIEN AVEC LA MODELISATION D'ENTREPRISE

Une entreprise met en œuvre un certain nombre d'activités pour répondre aux attentes de ses partenaires. Cependant, ces activités sont souvent perçues différemment par les membres de l'entreprise, et ne sont pas nécessairement bien définies ou même optimisées. Dans ce contexte, il apparait donc intéressant de formaliser les activités de l'entreprise notamment pour faciliter la communication au sein de l'entreprise, et permettre une analyse et une amélioration de ses performances. Un moyen d'y parvenir est de décrire des "**processus**" que les auteurs de [7] définissent comme une *notation conceptuelle de ce qu'une organisation fait.* Plus simplement, un processus représente un *ensemble d'activités corrélées ou interactives qui transforment des éléments d'entrée en éléments de sortie pour atteindre un objectif particulier* [8], [9].

Un processus peut être considéré deux de façons. D'une part, comme une **boîte noire** définissant ce *qui doit être fait, sans préciser "COMMENT"* il *doit être réalisé.* Ce dernier étant précisé par les méthodes supportant l'exécution du processus [9]. Le **déclenchement** d'un processus est soumis à la présence de **conditions** prédéfinies (événement réalisé, entrées attendues disponibles, etc.). Par conséquent**, se représenter l'entreprise comme un ensemble de processus permet de disposer des premiers éléments pour être en mesure d'assurer une coordination globale de l'organisation, garante de sa bonne réactivité.**

D'autre part, à la façon d'une poupée gigogne que l'on ouvrirait pour en observer et analyser le contenu, un processus peut être considéré comme une **boîte blanche**. Les noms accordés à ses éléments varient mais demeurent identiques par leur nature : des unités décomposables (appelés "sous-processus" ou "activités") comprenant d'autres unités décomposables et/ou des unités de travail élémentaires (appelés "tâches" ou "opérations"). **Cette décomposition facilite de fait l'abstraction et donc la capacité de compréhension et d'analyse des personnes en charge du processus.**

Enfin, les processus sont mis en œuvre et nécessitent des **ressources** (humaines et matérielles) chargées de la transformation des entrées des processus en sorties attendues. L'effectivité et l'efficacité des processus doivent être vérifiées grâce à un **processus de pilotage** s'appuyant notamment sur des **indicateurs**.

La Figure 4 propose une synthèse de l'ensemble de ces notions.

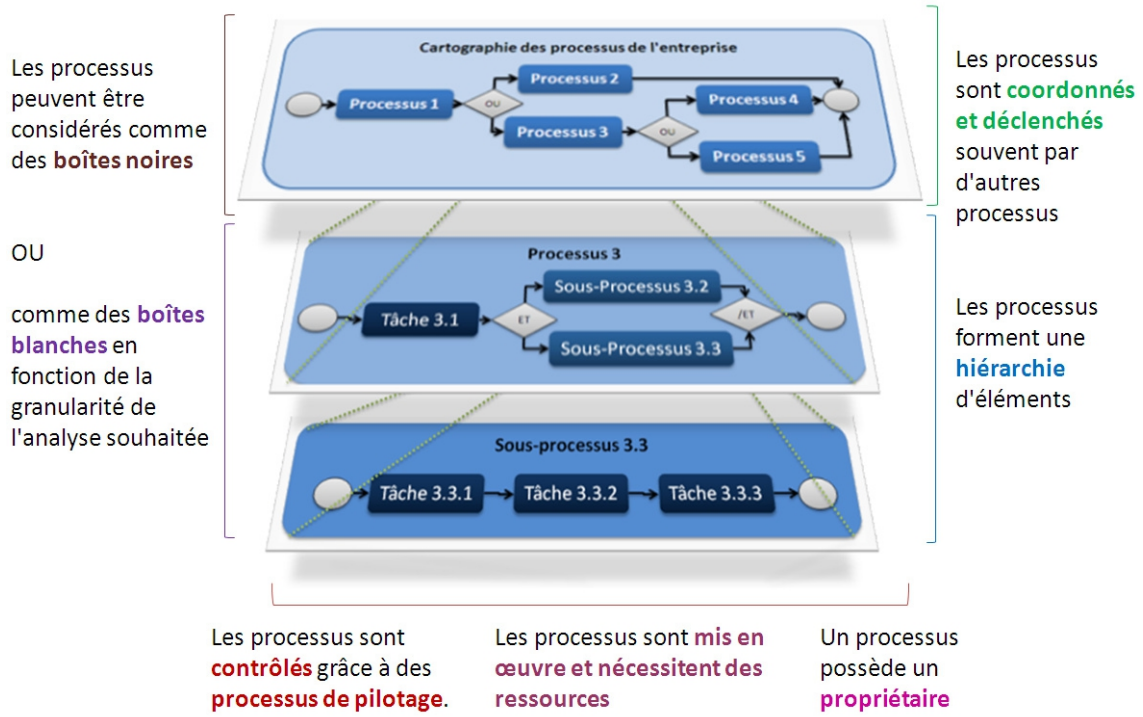


FIGURE 4 : SYNTHESE DES ELEMENTS CLEFS CARACTERISANT UN PROCESSUS

Ainsi, les intérêts de définir de façon explicite les processus d'une entreprise sont nombreux. Par exemple :

- **Permettre un meilleur pilotage de l'entreprise** : 1) en supportant l'identification de façon rapide des personnes et organisations pouvant être impactées par une décision et devant donc être impliquées dans cette dernière, 2) en disposant d'indicateurs de pilotage, et 3) en facilitant la planification des activités et la gestion des ressources.
- **Améliorer la visibilité, la communication et la compréhension du fonctionnement de l'entreprise** ce qui permet : 1) d'être en mesure de s'assurer qu'une décision prise à un niveau local n'impacte pas de façon négative le reste de l'entreprise, 2) de faciliter la coordination entre les différents partenaires de la supply chain et 3) de servir de support aux formations et à l'évaluation des compétences.
- **Améliorer l'implication des personnes concernées par les processus** en leur permettant de se positionner par rapport au fonctionnement global de l'entreprise et/ou en les nommant responsables d'un processus/sous-processus/tâche,
- **Faciliter l'analyse et l'amélioration de l'organisation de l'entreprise** de façon globale ou par processus de façon indépendante, en permettant : 1) d'identifier par exemple les tâches sans valeur ajoutée, et 2) de planifier des changements dans l'entreprise et de les tester virtuellement pour les valider et ainsi les argumenter
- **Mettre en place des applicatifs et procéder ainsi plus facilement à l'automatisation cognitive**[5] de fonctions dans l'entreprise

[5] Par automatisation cognitive (AC) nous entendons aider un acteur ou un collectif d'acteurs humains à mener à bien une tâche dont la valeur ajoutée peut paraitre modeste au regard des difficultés d'exécution ou encore du caractère répétitif de cette tâche et ce, quand faire se peut, sans pertes de performance. Cette AC consiste généralement à

C'est pourquoi, des entreprises convaincues des bienfaits de la modélisation des processus forcent de plus en plus leurs partenaires effectifs ou potentiels à adopter cette pratique. En effet, nombre de contrats sont conditionnés par la preuve de l'application de normes (comme [2]) ou de démarches d'amélioration (comme [10]). Ainsi, le recours à la modélisation de processus devient une condition de reconnaissance du sérieux de l'entreprise et donc une de ses conditions de survie qu'elle doit prendre en compte et anticiper…

Par conséquent, au vue de cette contrainte et des avantages cités précédemment, il est dès lors possible de comprendre pourquoi les entreprises tendent de plus en plus à utiliser des processus pour décrire, gérer et améliorer leur fonctionnement plutôt que de s'appuyer sur les modèles classiques d'organisation hiérarchique, d'organisation fonctionnelle ou de découpage organique (services, équipes, …). Ce mode de management par les processus est communément appelé BPM[6] et peut être défini plus formellement comme *une méthodologie et un paradigme qui considère et interprète un organisation comme un réseau de processus* [11].

La première mise en œuvre du BPM dans l'entreprise nécessite de définir puis d'exécuter une stratégie pour l'introduction des processus. Ces derniers sont alors définis, mis en place, et contrôlés pour s'assurer qu'ils ont été bien adoptés, s'exécutent correctement, et sont bénéfiques à l'entreprise. Cependant, **la cartographie des processus** ainsi que **la définition même des processus ne sont pas immuables et doivent être régulièrement remises en question** (cf. Figure 5)**.** En effet, les flux entre les processus peuvent être optimisés, des processus précédemment définis peuvent ne plus être pertinents au vue du contexte de l'entreprise, d'autres peuvent être standardisés ou encore de nouveaux processus peuvent apparaitre comme nécessaires pour améliorer les performances de l'entreprise. De même, il peut s'avérer essentiel de redéfinir le contenu des processus initialement proposés car ils sont sources de dysfonctionnements dans l'entreprise, ou ne sont plus adaptés au contexte ou aux besoins de l'entreprise, ou encore nécessitent une optimisation.

Intéressons-nous plus particulièrement au cas où des processus doivent être modifiés ou créés. Il est alors nécessaire de cadrer le changement à opérer, de représenter et d'analyser précisément la situation de l'entreprise de façon à pouvoir ensuite (re)concevoir le processus qui a motivé le déploiement ainsi que son processus de pilotage si cela s'avère pertinent[7]. Une stratégie de pilotage du changement est alors définie et mise en œuvre, suite à quoi, il est alors nécessaire de s'assurer que chacun des processus déployé a été adopté, s'exécute selon les prévisions, et est bénéfique à l'entreprise. L'ensemble de ces activités constituent ce que nous appelons désormais un **déploiement de processus**, structuré selon trois phases (cf. Figure 5) :

- **Phase 1** : une phase de "**pré-déploiement**" incluant les activités de cadrage du projet de déploiement, de représentation et d'analyse de l'existant conduisant à la proposition des nouveaux processus à déployer et à la préparation de leur mise en place

automatiser tout ou partie du traitement des données normalement effectué au cours de cette tâche par ces acteurs qui peuvent alors se concentrer sur des tâches à valeur ajoutée reconnue.

[6] Business Process Management

[7] Dans le cadre du déploiement d'un processus de réalisation ou support, un processus de pilotage devrait systématiquement être déployé en même temps que celui-ci. Néanmoins, dans le cadre du déploiement d'un processus de pilotage, il serait superflu de déployer son processus de pilotage et ainsi entamer une boucle sans fin…

- **Phase 2** : une phase de "**per-déploiement**" consistant alors en la mise en place pratique et effective des processus définis
- **Phase 3** : une phase de "**post-déploiement**" incluant des activités d'évaluation de la performance du processus déployé et de sa structure de contrôle et leur éventuelle remise en question.

FIGURE 5 : CONTEXTE ET ACTIVITES D'UN DEPLOIEMENT DE PROCESSUS

Dans le cadre d'un déploiement, deux grandes stratégies peuvent être adoptées pour la conception et la mise en place des processus [12]:

- la "**réingénierie des processus**"[8] qui consiste en un "*changement radical, une situation où l'on fait table rase des processus en place, et où l'on en conçoit de nouveaux*". Cette stratégie est très souvent associée au déploiement simultané d'une solution informatique supportant les nouveaux processus.
- l'"**amélioration des processus**" qui consiste en un "*changement de moins grande envergure, qui consiste à poser un diagnostic sur les processus en place, à en concevoir de nouveaux et à les implanter*".

[8] En Anglais : Business Process Reengineering (BPR)

Ainsi, la "réingénierie de processus", telle que définie ci-dessus, pourrait sembler intéressante pour ajouter de nouveaux processus dans l'entreprise ou pour changer de façon radicale les pratiques de l'entreprise. Néanmoins, il est aujourd'hui prouvé que les résultats promis ne sont que très rarement atteints [7]. Par ailleurs, considérant notre expérience industrielle, nous sommes intimement convaincus qu'un **changement radical**, particulièrement dans une grande entreprise, est le meilleur moyen de faire **rejeter les nouveaux processus** par les membres de la société. **Nous ne pensons donc pas que cette stratégie soit la plus adaptée à une très grande entreprise**.

Tout comme un autre changement en entreprise, le déploiement de processus devrait se faire **progressivement** et non par rupture [13][14]. L'"amélioration de processus" nous semble donc plus adaptée. Néanmoins, dans le cadre d'un déploiement, celle-ci, telle que décrite par [12], nous semble nécessiter quelques précisions et adaptations. Premièrement, même si elle s'avère adaptée dans le cadre de la réparation de processus dysfonctionnels, **elle ne semble pas prendre en compte des modèles de processus définis par des organismes extérieurs à l'entreprise comme des agences de normalisation**. Pourtant, cela s'avère particulièrement pertinent dans le cadre de l'ajout ou de l'optimisation de processus pour prendre en compte les bonnes pratiques développées dans d'autres organisations. De plus, nous pensons que **même si le changement doit être progressif, il n'en demeure pas moins qu'il doit être profond**.

Malheureusement, le choix d'une stratégie de déploiement ne solde pas les problèmes associés au déploiement. D'une part, le diagnostic de la situation courante nécessite de savoir **représenter les processus** et les ressources qu'ils impliquent, de décrire leur état et caractéristiques courantes, et de déterminer, voire de qualifier ou de quantifier, leur état futur souhaité. C'est une activité fastidieuse, souvent perçue comme relativement inutile par les opérationnels impliqués directement dans ces processus à déployer, qui maitrisent ou croient maitriser totalement leur métier. D'autre part, la conception ou l'amélioration de processus nécessitent d'**être en mesure d'analyser ces représentations ou modèles**. Il faut en effet évaluer, comparer des alternatives possibles de façon à proposer des améliorations argumentées du fonctionnement de l'entreprise. Le niveau d'expertise et de connaissance requis à la fois sur l'entreprise et sur son contexte rend cette analyse délicate.

Pour lever ces difficultés, de nombreux travaux ont été menés dans le domaine de la **modélisation d'entreprise (ME)**. Ce domaine peut être défini comme *l'art d'"externaliser" la connaissance de l'entreprise, c'est-à-dire de représenter l'entreprise en termes d'organisation et d'opérations* [15]. Ainsi, la modélisation des processus de l'entreprise telle que nous l'avons décrite précédemment relève du domaine de la ME. De fait, celle-ci s'avère particulièrement pertinente dans le cadre d'un déploiement de par l'ensemble des contributions qu'elle propose permettant et facilitant sa mise en application comme :

- des **cadres** (comme [16], [17], [18], [19])
- des **référentiels** incluant par exemple des cartographies de processus standards (comme [2], [20])
- des **langages** de modélisation (comme [21], [22], [23],[24] [25]).

Notons que le lecteur trouvera dans [15][26] deux rapports très complets des contributions majeures réalisées dans le domaine de la ME.

En fonction de ces contributions, l'entreprise doit être considérée selon quatre vues [16] particulièrement utiles dans le cadre d'un déploiement pour examiner le changement et ses impacts sous tous ses aspects :

- **la vue fonctionnelle** : description de processus, de leurs flux et des mécanismes de prise de décisions
- **la vue informationnelle** : description des objets de l'entreprise et de leurs relations
- **la vue organisationnelle** : description des rôles et responsabilités, et de la structure de l'entreprise
- **la vue des ressources** : description des hommes et des agents techniques ainsi que leurs assignations selon leurs aptitudes.

Cet examen de l'entreprise selon toutes ces vues conduit à la réalisation de nombreux modèles. Certains ont pour but de décrire la situation actuelle de l'entreprise et constituent ce que la ME appelle le **modèle AS-IS**. Ce modèle est crucial dans le diagnostic de ce qui doit être changé. D'autres, sont utilisés pour décrire la structure et l'aspect fonctionnel de la solution à mettre en œuvre, et constituent le **modèle TO-BE**. Enfin, certains modèles décrivent la projection totale ou partielle, immédiate ou progressive, de ce modèle TO-BE sur l'organisation actuelle avec les moyens et ressources actuellement disponibles : c'est le **modèle d'IMPLEMENTATION** [27]**.** Ainsi la Figure 6 positionne la Modélisation d'Entreprise par rapport aux activités de déploiement et apporte plus de précisions sur ces dernières.

Par conséquent, la modélisation d'entreprise apporte un ensemble très riche de concepts pour supporter le déploiement. Elle agit ainsi comme un cadre global à l'effort de déploiement. Néanmoins, comme tout cadre, elle doit être complétée par des démarches de déploiement présentées dans la section suivante.

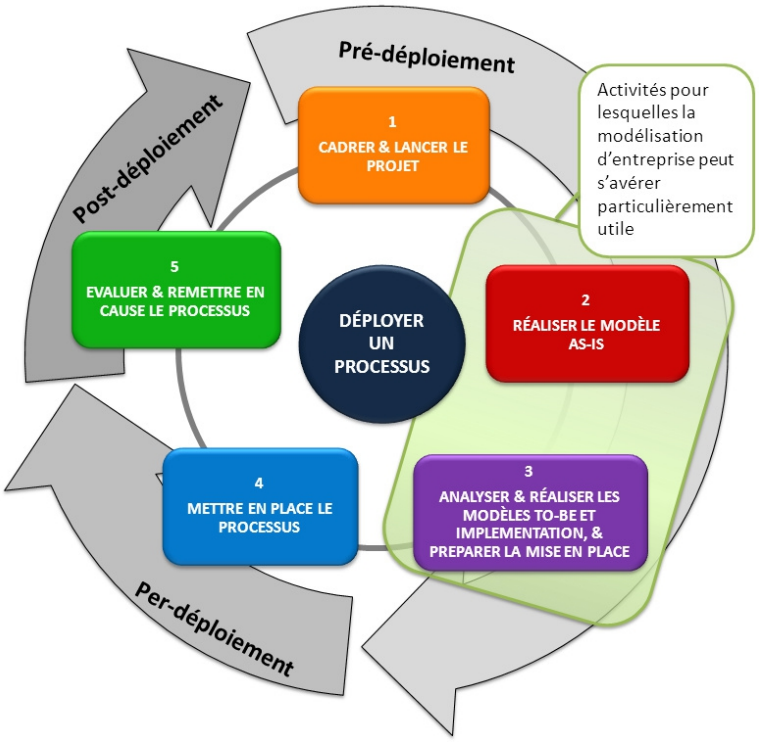


FIGURE 6 : APPORT DE LA MODELISATION D'ENTREPRISE DANS LE DEPLOIEMENT DE PROCESSUS

2.2.2. CONTRIBUTIONS POUR MENER UN DEPLOIEMENT DE PROCESSUS

Deux scénarii de déploiement peuvent être envisagés. L'entreprise peut d'abord choisir de faire appel à un consultant qui possède sa propre démarche légitime et éprouvée. L'inconvénient de ce choix est d'être dépendant de ce spécialiste qui communique rarement le détail de sa méthode. Elle peut ensuite, et c'est le cas d'Eurocopter, prendre en main son déploiement et rechercher pour cela à acquérir une approche opérationnelle. **Face aux besoins présentés en chapitre 1, trois de ces approches ont été identifiées. Elles sont applicables à n'importe quel type de processus, sont facilement accessibles et peuvent être considérées comme rapidement rentables. Il s'agit des travaux de [28], [29]et [30]**.

Tout d'abord, [28] propose un **cycle de gestion de processus** (cf. Figure 7) qui inclut quatre activités applicables dans le cadre du déploiement : "Planifier", "Concevoir", "Déployer" et "Évaluer". En effet, "Piloter" relève de l'exécution du processus et non de son déploiement.

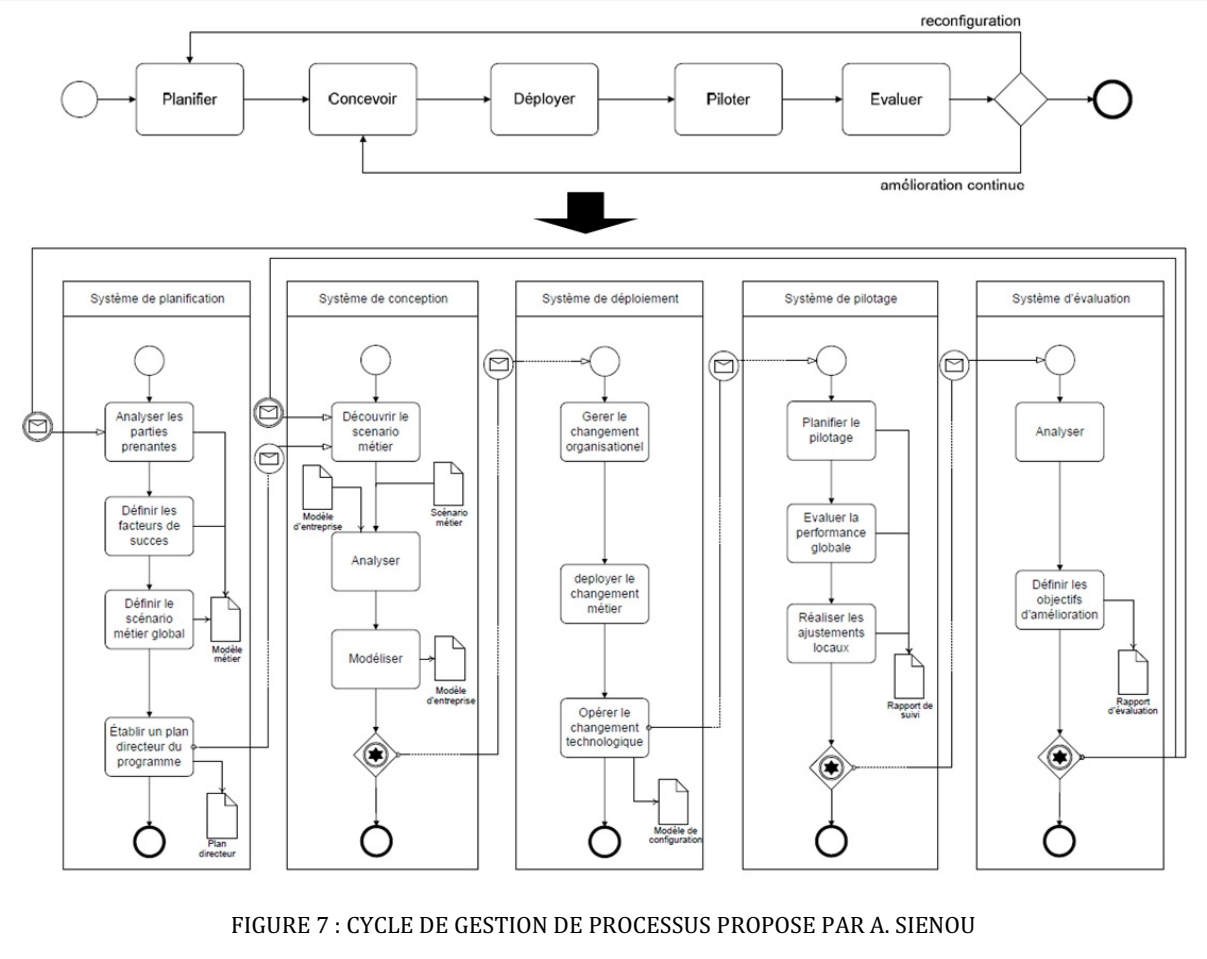


FIGURE 7 : CYCLE DE GESTION DE PROCESSUS PROPOSE PAR A. SIENOU

L'une des forces de ce cycle est qu'il résume divers positionnements à propos de la gestion de processus [31–37]. Ce cycle a été conçu pour traiter l'ensemble des processus de l'entreprise. Néanmoins, en le détournant de son objectif principal et en l'appliquant à un seul processus, il peut s'avérer particulièrement utile pour avoir une vision macroscopique des activités de déploiement.

Par ailleurs, un autre aspect très intéressant de ces travaux est la considération, lors de la conception des processus, des risques qui y sont associés. Pour cela, une **série d'activités**

permettant de prendre en compte les risques lors de la conception de processus est proposée (cf. Figure 8).

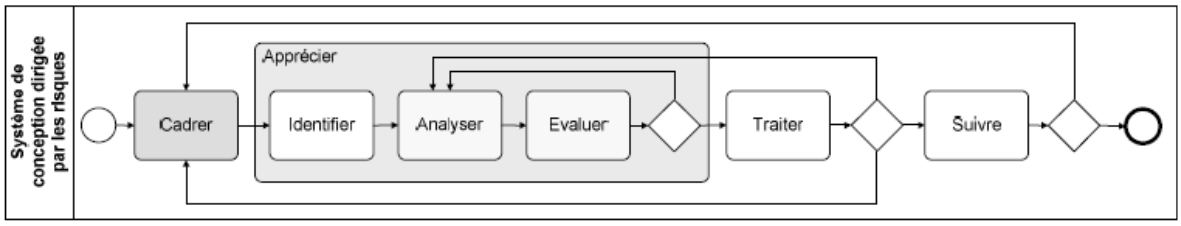


FIGURE 8 : PROCESSUS DE PRISE EN COMPTE DES RISQUES PROPOSE PAR A. SIENOU

Ensuite, [29] propose une série de six étapes dans le cadre de la réingénierie de processus :

- **L'étape de vision** ("*The Envision stage*") : l'entreprise passe en revue la stratégie existante et les processus métiers et, en fonction, propose des améliorations de processus et identifie des opportunités pour le système d'information,
- **L'étape d'initiation** ("*The Initiation stage* ") : les équipes de projet sont affectées, et les objectifs de performance, la planification de projet et les notifications des employés sont fixés.
- **L'étape de diagnostic** ("*The Diagnosis stage*") : la documentation des processus et sous-processus est réalisée et comprend les attributs de processus (activités, ressources, communication, rôles, systèmes d'information et coûts).
- **L'étape de la refonte** ("*The Redesign stage* ") : la conception du nouveau processus est réalisée en imaginant des formes différentes de ce processus, et en ayant recours à des techniques de brainstorming et de créativité.
- **L'étape de la reconstruction** ("*The Reconstruction stage* ") : la mise en place de techniques de management pour assurer une transition douce vers les nouvelles responsabilités et rôles des ressources humaines apportés par le nouveau processus.
- **L'étape d'évaluation** ("*The Evaluation stage*"): le nouveau processus est contrôlé pour déterminer si les objectifs sont atteints et examiner la qualité des programmes.

Bien que ces étapes soient proposées dans le cadre de la réingénierie de processus et teintées d'une couleur informatique, elles sont tout à fait adaptées au déploiement de processus, même de façon progressive. Nous pouvons observer que ces étapes précisent celles proposées par [28] (cf. Figure 9)

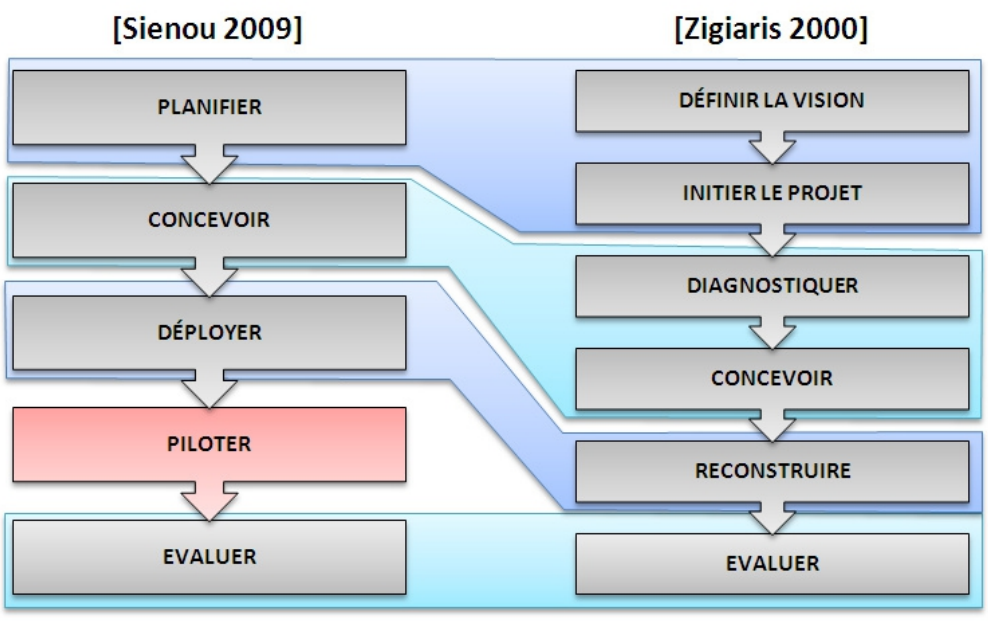


FIGURE 9 : CORRESPONDANCE ENTRE LES CYCLES PROPOSES PAR A. SIENOU ET S. ZIGIARIS.

Enfin, [30] propose également une démarche d'amélioration de processus. Si l'on observe le détail de ses activités présenté dans la Figure 10, nous pouvons remarquer qu'elles ne diffèrent pas réellement des deux démarches présentées précédemment (planifier, concevoir, mettre en place). **Néanmoins, cette démarche a retenu notre attention car elle promeut le développement d'une culture "processus" et qu'elle prend en compte le développement de tout ce qui est nécessaire à la mise en application du processus** (applications informatiques, mais également indicateurs, supports de formations, structure de contrôle du processus, et gestion des compétences). **Toutefois, nous pensons que l'auteur place ces activités tard dans la démarche qu'il propose.** Ne serait-il pas plus judicieux d'initier la conception de tout ce qui supporte le processus juste après sa conception, plutôt qu'à la suite de sa mise en place. En effet, dans le modèle proposé, le processus mis en place risque d'être difficilement applicable car dépourvu de ses systèmes contributeurs…

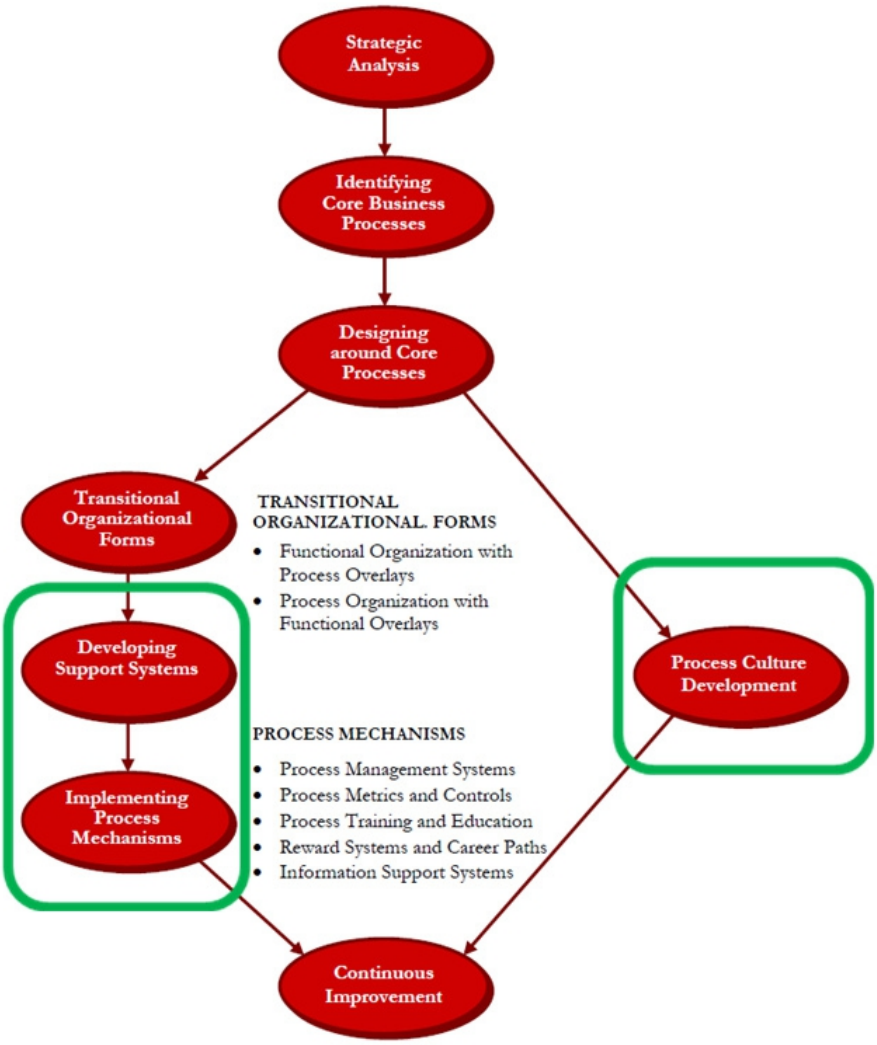


FIGURE 10 : DEMARCHE DE TRANSFORMATION DE PROCESSUS PROPOSEE PAR T. HERNAUS

Ainsi, ces trois approches prises ensemble nous fournissent des éléments pour guider le déploiement à un niveau macroscopique. Cependant, lorsqu'il s'agit de rentrer dans le détail de leur mise en pratique, des questions sans réponse apparaissent comme : *quelles activités doivent être réalisées de façon pratique ? Comment identifier efficacement les ressources de l'entreprise impliquées ou susceptibles de l'être et, sur quels critères les allouer au nouveau processus ? Comment recueillir et partager les besoins, attentes, contraintes, objectifs, et stratégies des parties prenantes ?*

De plus, l'une des plus grandes difficultés lors d'un déploiement reste la **gestion du changement au sein de l'entreprise et sa nécessaire prise en compte des freins humains**. Même si ces travaux ne se focalisent pas sur ces freins, ils doivent néanmoins être pris en compte au mieux pour garantir leur applicabilité en entreprise.

Il s'avère que les travaux menés dans la gestion du changement sont complémentaires aux démarches et stratégies de déploiement. Ils rendent explicites, les facteurs à prendre en compte et les activités à mener pour obtenir l'adhésion, ou tout du moins le non rejet, des changements apportés par les processus déployés.

Parmi les travaux disponibles dans ce domaine, nous nous appuierons plus particulièrement sur ceux de J.P. Kotter [14] qui propose huit étapes successives à conduire pour garantir la réussite des changements menés (cf. Figure 11). Cette démarche présente l'immense avantage d'être fondée sur des retours d'expérience et d'être formulée avec un vocabulaire accessible en entreprise. De plus, elle encourage la mise en œuvre progressive de changements et informe sur le risque représenté par un saut d'étape. Nous prendrons en compte cette contribution dans nos travaux.

Elle peut être complétée des facteurs complémentaires suivants [4] : "*une forte implication de la hiérarchie, des objectifs de progrès partagés par tous, la mise en place effective des ressources nécessaires ainsi que la formation d'une équipe crédible chargée du projet d'évolution et soutenue par des relais porteurs du changement dans les unités de l'entreprise concernées*".

Stage	Actions Needed	Pitfalls
Establish a sense of urgency	• Examine market and competitive realities for potential crises and untapped opportunities. • Convince at least 75% of your managers that the status quo is more dangerous than the unknown.	• Underestimating the difficulty of driving people from their comfort zones • Becoming paralyzed by risks
Form a powerful guiding coalition	• Assemble a group with shared commitment and enough power to lead the change effort. • Encourage them to work as a team outside the normal hierarchy.	• No prior experience in teamwork at the top • Relegating team leadership to an HR, quality, or strategic-planning executive rather than a senior line manager
Create a vision	• Create a vision to direct the change effort. • Develop strategies for realizing that vision.	• Presenting a vision that's too complicated or vague to be communicated in five minutes
Communicate the vision	• Use every vehicle possible to communicate the new vision and strategies for achieving it. • Teach new behaviors by the example of the guiding coalition.	• Undercommunicating the vision • Behaving in ways antithetical to the vision
Empower others to act on the vision	• Remove or alter systems or structures undermining the vision. • Encourage risk taking and nontraditional ideas, activities, and actions.	• Failing to remove powerful individuals who resist the change effort
Plan for and create short-term wins	• Define and engineer visible performance improvements. • Recognize and reward employees contributing to those improvements.	• Leaving short-term successes up to chance • Failing to score successes early enough (12-24 months into the change effort)
Consolidate improvements and produce more change	• Use increased credibility from early wins to change systems, structures, and policies undermining the vision. • Hire, promote, and develop employees who can implement the vision. • Reinvigorate the change process with new projects and change agents.	• Declaring victory too soon—with the first performance improvement • Allowing resistors to convince "troops" that the war has been won
Institutionalize new approaches	• Articulate connections between new behaviors and corporate success. • Create leadership development and succession plans consistent with the new approach.	• Not creating new social norms and shared values consistent with changes • Promoting people into leadership positions who don't personify the new approach

FIGURE 11 : LES HUIT ETAPES SUCCESSIVES DE TRANSFORMATION D'UNE ORGANISATION PROPOSEE PAR J.P. KOTTER

2.2.3. DEPLOIEMENT DE PROCESSUS : SYNTHESE

L'évolution du contexte externe et interne de l'entreprise la pousse à remettre en cause son organisation. Plus particulièrement, il peut s'avérer stratégique voire crucial pour sa survie qu'elle modifie ou créé des processus. Elle doit dès lors, disposer de solutions pour les (re)déployer.

Elle peut tout d'abord s'appuyer sur la Modélisation d'Entreprise agissant comme un cadre pour cet effort et fournissant un ensemble très riche de concepts. Celle-ci peut alors être complétée par des démarches de déploiement.

Sur la base de démarches d'amélioration ou à la réingénierie de processus [28–30] et de gestion du changement [14], nous avons consolidé un certain nombre d'activités pertinentes pour mener un déploiement dans de bonnes conditions, tel qu'illustré Figure 12.

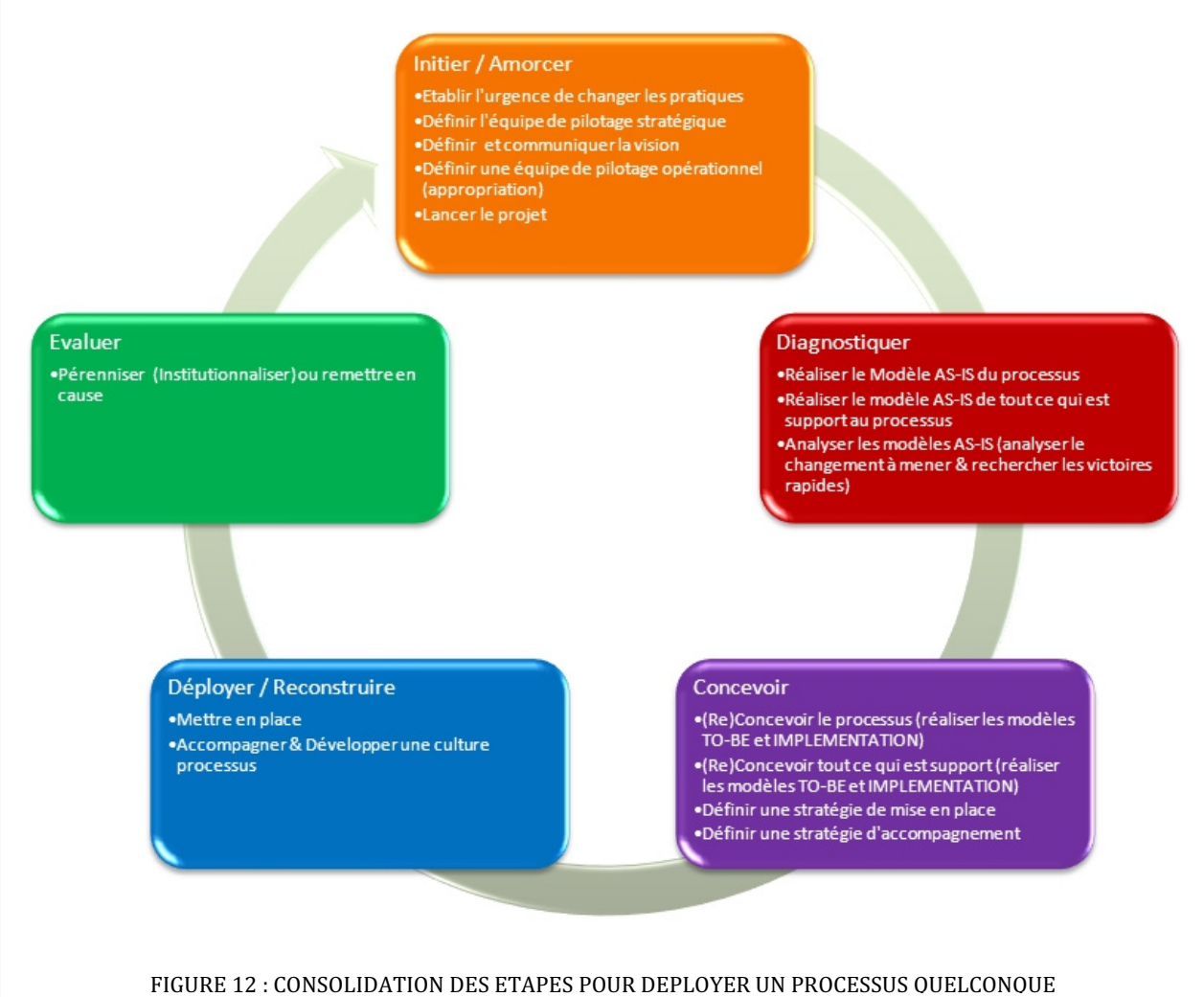


FIGURE 12 : CONSOLIDATION DES ETAPES POUR DEPLOYER UN PROCESSUS QUELCONQUE

Néanmoins, ces activités, et les méthodes et outils pour les mettre en œuvre, restent relativement peu détaillés et donc difficiles à mettre en œuvre dans le contexte présenté au chapitre 2. De plus, **ces solutions ne répondent pas aux attentes du déploiement de processus d'Ingénierie Système dans une grande entreprise comme le montre la section suivante.**

2.3. CAS PARTICULIER ET PROBLEMATIQUE DU DEPLOIEMENT DE PROCESSUS D'INGENIERIE SYSTEME

2.3.1. PRESENTATION DE L'INGENIERIE SYSTEME

L'"Ingénierie Système" (IS)[9] apparait aujourd'hui dans les entreprises comme LE moyen éprouvé de réaliser de la bonne ingénierie [38], [39]. Cependant, ce qui se cache derrière ce terme reste encore aujourd'hui source de discussions tant dans les milieux académiques qu'industriels. Les avis divergent par exemple sur sa nature même (*s'agit-il d'une méthode ou d'une méthodologie ou même d'une approche de conception ?*), son périmètre d'action (*se concentre-t-elle sur la conception d'un système-produit ou sur la gestion de cette conception ou sur les deux ? Intègre-t-elle l'ingénierie des besoins et des exigences ? …*) ou encore sur ce qui caractérise un bon "Ingénieur Système" [40–42]. À ce titre, la littérature scientifique et industrielle regorge de définitions de l'IS (cf. Tableau 1) sans pour autant définir tout à fait ou même s'appuyer sur les mêmes notions.

Quelques définitions de l'Ingénierie Système …
"An iterative and interdisciplinary management and development ***process*** *that defines and transforms requirements into an operational system."* [144]
""System engineering" is taken in a broad sense that includes all ***efforts*** *that apply science and technology ("engineering") to the development of interacting combinations of elements ("systems")."* [39]
Systems Engineering is an engineering ***discipline*** *whose responsibility is creating and executing an interdisciplinary process to ensure that the customer and stakeholder's needs are satisfied in a high quality, trustworthy, cost efficient and schedule compliant manner throughout a system's entire life cycle.* [145]
"A methodical, disciplined ***approach*** *for the design, realization, technical management, operations, and retirement of a system."* [122]
"L'Ingénierie Système (ou ingénierie de systèmes) est une ***démarche*** *méthodologique générale qui englobe l'ensemble des activités adéquates pour concevoir, faire évoluer et vérifier un système apportant une solution économique et performante aux besoins d'un client tout en satisfaisant l'ensemble des parties prenantes." (http://www.afis.fr)*
(1) Any ***application*** *of a combination of traditional engineering and holistic systems thinking, working with domain engineering, human sciences, management and commercial disciplines, to support the engineering of one or more systems of interest to come.* *(2) Interdisciplinary* ***approach*** *governing the total technical and managerial effort required to transform a set of customer needs, expectations, and constraints into a solution and to support that solution throughout its life.* [131]
Systems engineering is the ***art and science*** *of developing an operable system that meets requirements within imposed constraints* [41]

TABLEAU 1 : QUELQUES DEFINITIONS DE L'INGENIERIE SYSTEME

En synthèse, l'IS est ainsi vue tour à tour comme un processus, un effort, une démarche, une science, une méthode, une méthodologie, une discipline, ou encore un art. Ses missions restent de fait difficiles à définir d'autant qu'elle revêt logiquement les dimensions "managériale" et "technique".

[9] *Il est possible de trouver dans la littérature "Ingénierie des systèmes" traduction littérale de "Systems Engineering" ou encore "Ingénierie de systèmes".*

Les différences dans ces définitions peuvent s'expliquer par le fait que l'IS s'est forgée et validée en entreprise[10], et que sa normalisation reste relativement récente. En effet, [43] est à notre connaissance le premier standard à avoir été diffusé largement.

Néanmoins, malgré la variabilité des définitions, nous pouvons entrapercevoir l'essence même de ce qu'est l'IS en examinant les besoins qui ont conduit à son émergence ainsi que les contributions majeures qui l'ont faite évoluer comme [44–57]. **L'IS apparait alors comme un ensemble cohérent de processus, méthodes et outils mis en œuvre par les organisations pour appréhender et gérer la complexité des systèmes à concevoir pendant l'ensemble du cycle de conception.**

En effet, elle inclut tout d'abord un ensemble de **processus** formalisés ayant pour missions de :

- **définir de façon non ambiguë le problème à résoudre par la conception,**
- **gérer l'ensemble du cycle de conception en coordonnant les efforts techniques effectués par les différents métiers**.

Les définitions de ces processus varient en fonction des organismes qui produisent les standards. Dans la suite de ces travaux, nous retenons celles proposées par ISO 15288:2008 [20] (cf. Figure 13 [4]).

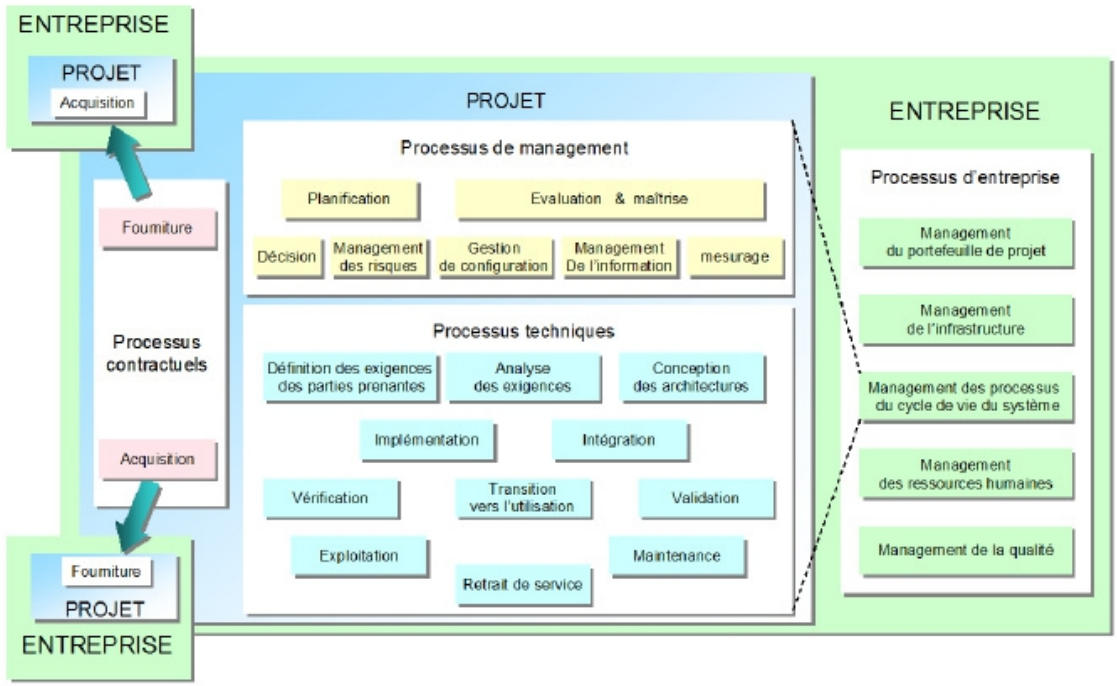


FIGURE 13 : CARTOGRAPHIE DES PROCESSUS D'INGENIERIE SYSTEME DE L'ISO 15288:2008

Nous avons fait ce choix, entre autres, car il s'agit d'un standard reconnu en entreprise et que

[10] Bien que partiellement empirique (identification de bonnes pratiques), il n'en demeure pas moins que l'IS repose sur des concepts scientifiques solides (complexité, système, modèle, etc.) et qu'elle a aujourd'hui atteint une réelle maturité scientifique.

l'INCOSE[11], organisme de référence de l'IS, a modifié les processus définis dans son guide de bonnes pratiques [3] pour les aligner avec ceux de l'ISO 15288:2008.

Ces processus sont supportés par un ensemble de **méthodes**, c'est-à-dire des "*manières d'agir, ensembles de procédures structurées qui s'appuient sur un modèle conceptuel* " [58]. Ces méthodes reposent sur un **vocabulaire** commun incluant des concepts nécessaires à son application comme : *parties prenantes, système à faire, système pour faire, besoin, exigence, fonction, architecture fonctionnelle, composants, architecture organique, vérification,* et *validation*.

Enfin, ces méthodes sont elles-mêmes supportées par un grand nombre **d'outils** qu'ils soient **méthodologiques** (comme, par exemple, des guides pour réaliser une activité d'un processus technique) ou **techniques** (comme les outils assistant la modélisation et la vérification d'exigences, l'allocation de fonctions sur les composants physiques, etc.). Par outil, nous entendons un "*instrument qui, lorsqu'il est appliqué à une méthode particulière, peut améliorer l'efficacité de la tâche, à condition qu'elle soit appliquée correctement et par quelqu'un avec une formation et des compétences adéquates. Le but d'un outil devrait être de faciliter la réalisation des "COMMENT"*". [9]

Dès lors, selon la définition de J.-A. Estefan [9], **nous pouvons en déduire la nature de l'IS : il s'agit d'une méthodologie.**

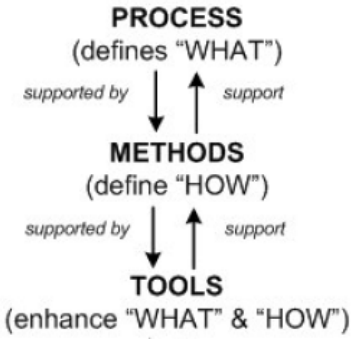


FIGURE 14 : ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UNE METHODOLOGIE SELON J.-A. ESTEFAN

Par conséquent, sur la base de la définition proposée par l'AFIS, nous définissons donc désormais l'IS comme :

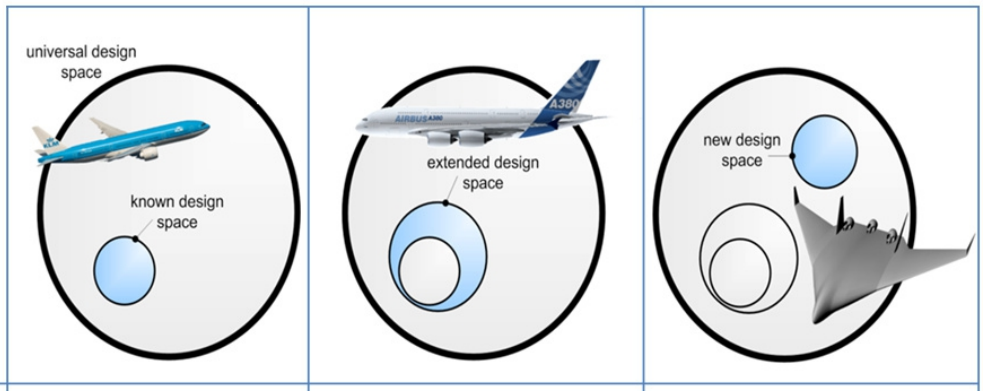
Ingénierie Système (Systems Engineering)

Méthodologie proposant un ensemble de processus, méthodes et outils pour concevoir, faire évoluer et vérifier un système apportant une solution économique et performante aux besoins d'un client tout en satisfaisant l'ensemble des parties prenantes.

[11] *International Council on Systems Engineering*

Cette définition peut être précisée en utilisant les trois types d'IS proposés dans [42], discriminés en fonction des types de conception réalisé nommés par [59] (cf. Figure 15) :

- **"Ingénierie Système de Démarche" / Conception Routinière** : Ingénierie Système concernant la conception de systèmes qui s'inscrivent dans l'espace des solutions précédemment développées. La conception répond donc à des problèmes qui ont déjà été résolus mais dont une application particulière doit être réalisée.
- **"Ingénierie Système de Programme" / Conception Innovante** : Ingénierie Système concernant la conception de systèmes qui étendent l'espace des solutions précédemment développées. La conception répond donc à un problème déjà résolu mais en cherchant à apporter une variation par rapport à un type de service donné. La difficulté réside ici dans l'élaboration d'une solution répondant au mieux aux besoins des parties prenantes tout en fournissant une solution la plus économiquement rentable à développer, produire et utiliser.
- **"Ingénierie Système de Découverte" / Conception Créative** : Ingénierie Système concernant la conception de systèmes qui s'inscrivent dans un espace des solutions totalement nouveau. La conception répond donc à un besoin/problème jamais résolu. Dès lors, la difficulté majeure réside dans l'analyse et la résolution de ce problème très complexe. Les solutions produites sont radicalement innovantes.



Type de conception	Routinière	Innovante	Créative
Type d'Ingénierie Système	Ingénierie Système de Démarche ("Approach")	Ingénierie Système de Programme ("Program SE")	Ingénierie Système de Découverte ("Discovery")

FIGURE 15 : RELATION ENTRE TYPES DE CONCEPTION ET D'INGENIERIE SYSTEME

On peut observer que chacun de ces types d'IS peut être différencié en fonction des compétences qu'il réclame de la part des ingénieurs en charge de la conception (cf. Figure 16). En effet, l'IS nécessite des compétences, capacités et aptitudes variées car ses processus sont susceptibles de s'intéresser tour à tour, soit à la conception du produit ou du service attendu, soit à la conception du projet dans lequel ils sont impliqués et responsables. **Il est donc nécessaire, avant toute action, d'identifier le type d'IS qui doit être déployé.** Par exemple, Eurocopter nécessite de mettre en place une IS à la fois de programme et de découverte. En effet, pour conserver son leadership, Eurocopter doit concevoir des hélicoptères très innovants répondant à des problématiques non encore résolues et des hélicoptères plus "classiques " devant être néanmoins de plus en plus efficients. Ce paramètre devra être pris en compte durant le déploiement des nouveaux processus.

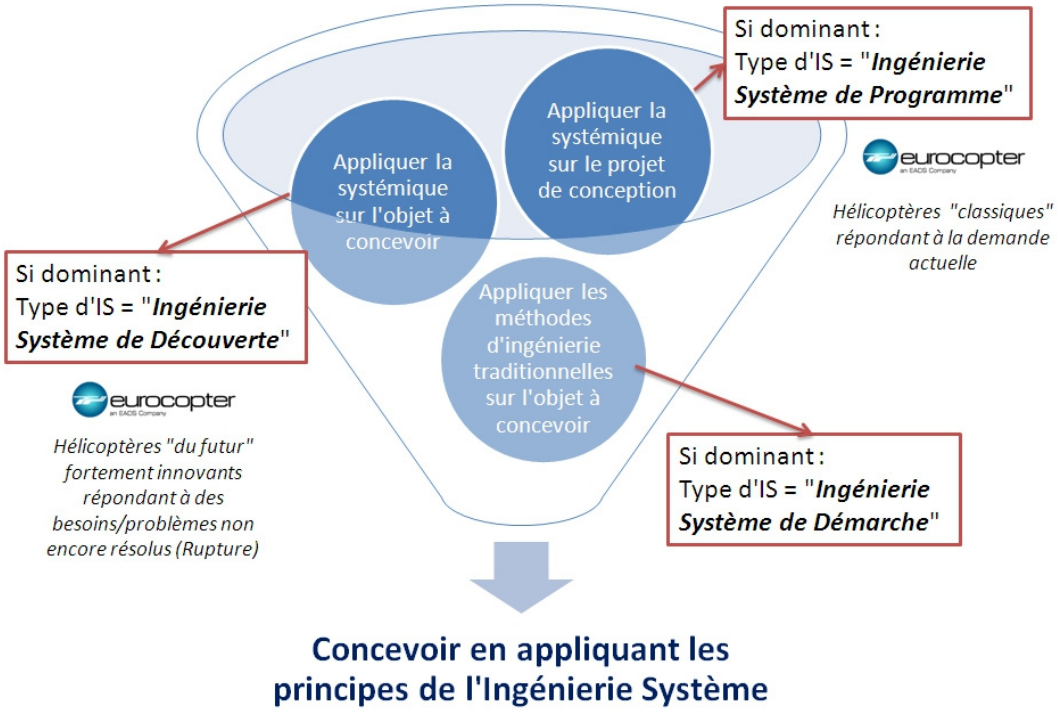


FIGURE 16 : TYPES D'INGENIERIE SYSTEME ET COMPETENCES ASSOCIEES

2.3.2. PROBLEMATIQUE SPECIFIQUE DU DEPLOIEMENT DE PROCESSUS D'INGENIERIE SYSTEME

DIFFICULTES INHERENTES AUX STANDARDS DE L'INGENIERIE SYSTEME

De façon à être en mesure d'appliquer les principes de l'Ingénierie Système (IS) en entreprise, le contenu des processus doit être défini. Cela peut être fait en s'appuyant sur les référentiels d'IS décrivant cette méthodologie. Nous les considérons comme primordiaux pour la promotion de l'IS.

En effet, premièrement, ils permettent d'avoir accès à des **modèles de référence** des processus à déployer. Même si certains sont décrits avec un haut niveau d'abstraction et ne sont pas adaptés tels quels à l'entreprise, ils sont néanmoins suffisants pour percevoir la nature interdisciplinaire de l'IS et peuvent être complétés par des référentiels plus propres au domaine concerné (dans notre cas, l'aéronautique).

Deuxièmement, ils résultent de discussions et de consensus et sont donc souvent l'occasion de collecter les **bonnes pratiques** développées par d'autres industriels plus matures, mais également de faire des liens avec les milieux académiques et de récupérer ainsi des solutions nouvelles. Troisièmement, la conformité à un standard peut être un **avantage concurrentiel** en rassurant les partenaires de l'entreprise.

Enfin, les standards présentent l'avantage de pouvoir être utilisés comme base de référence pour la définition d'un **langage commun** que ce soit à l'intérieur de l'entreprise où à l'extérieur avec des partenaires, ce qui permet d'accroître leurs capacités à être interopérables.

Un grand nombre de référentiels d'IS reconnus sont disponibles. Nous les discriminons selon quatre critères :

- **leur domaine d'application** : sont-ils à destination de toutes les entreprises ou seulement d'un domaine métier particulier ?
- **leur nature** : sont-ils fournis à titre d'information (nous les appelons "descriptifs") ou bien en vue de mener des audits de conformité (nous les appelons "prescriptifs") ?
- **leur périmètre** : concernent-ils un processus en particulier ou l'ensemble des processus de l'IS ?
- **leur obsolescence** : ont-ils subi des mises à jour profondes ou été remplacés ou remis en cause par de nouveaux standards ?

De façon à aider Eurocopter à se repérer dans l'ensemble des référentiels d'IS, la Figure 17 présente une classification de ceux que nous jugeons applicables à une entreprise dans le domaine de l'aéronautique.

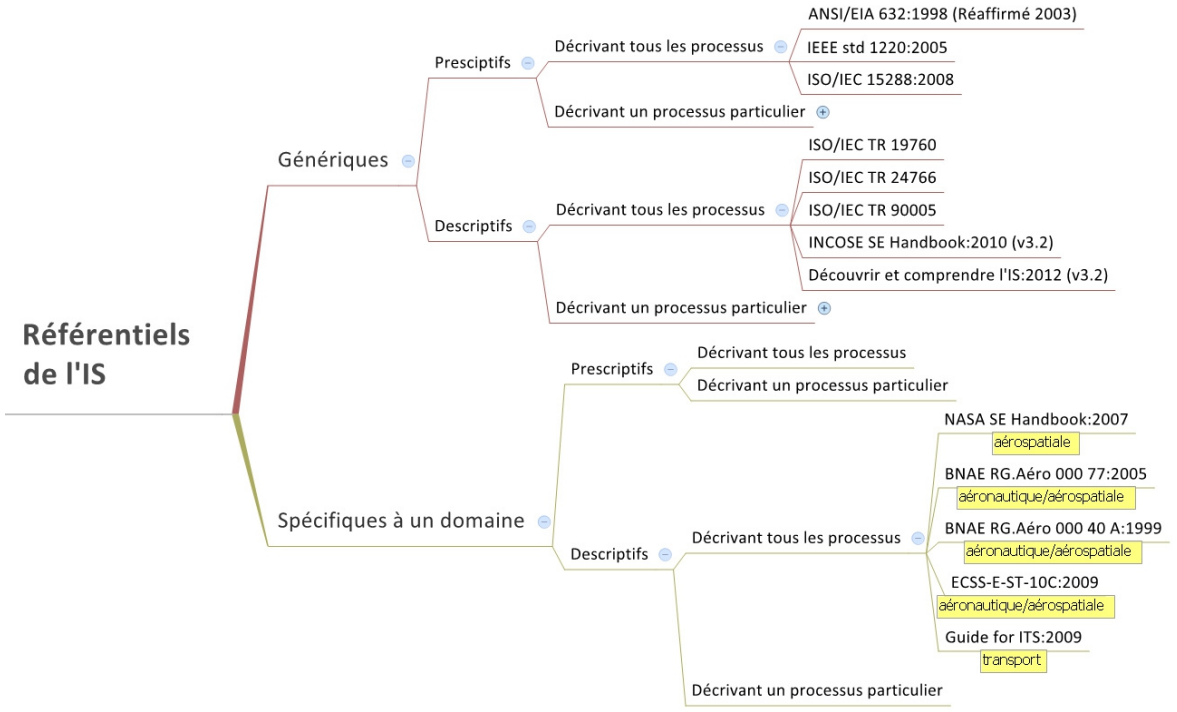


FIGURE 17 : REFERENTIELS GLOBAUX D'INGENIERIE SYSTEME (NON DECLARES COMME OBSOLETES PAR LEURS ORGANISMES)

Cette figure présente tout d'abord des standards qui traitent de l'IS de façon globale et non spécifiques à un domaine d'application : [3], [4], [8], [20], [60–63]. Les standards plus spécifiques au domaine d'activités d'Eurocopter sont alors :

- les standards applicables en aérospatiale : [64–66].
- [67], qui n'est pas un standard directement applicable à l'aéronautique mais au monde du transport, domaine connexe qui regorge de bonnes pratiques applicables.

Enfin, des standards comme [68–70], bien que mentionnés dans la littérature sur l'IS, ne figurent volontairement pas sur cette figure car ils sont déclarés aujourd'hui obsolètes par leurs organismes émetteurs.

Toutefois, bien que l'exhaustivité ait été recherchée, elle ne peut être garantie notamment du fait que le nombre de standards **croit régulièrement** et **sans nécessaire concertation entre les organismes qui les émettent**. Cela engendre donc, d'une part, des incohérences et des chevauchements (notamment sur les appellations et contenus des processus) et, d'autre part, un "flou" sur les documents disponibles et sur leurs liens. Aucun synoptique n'étant disponible à notre connaissance à l'exception de [71] qui se trouve malheureusement considéré comme obsolète aujourd'hui.

Nous percevons ensuite comme autre source de difficulté, la **description faite des processus** rendant difficile leur mise en application. En effet, la formulation adoptée complique souvent la compréhension immédiate, et surtout, les processus sont majoritairement décrits sous forme textuelle. Ainsi ces descriptions ouvrent la porte à de multiples interprétations et complexifient leur automatisation.

Enfin, leurs **niveaux d'abstraction** constituent une troisième source de difficultés. **Ils ne sont en effet pas toujours adaptés à l'entreprise** : ils peuvent être soit trop génériques et donc inapplicables par manque de détails pratiques, soit trop spécifiques à un domaine ne concernant pas directement l'entreprise et donc nécessiter un travail d'analyse pour distinguer ce qui est pertinent pour l'entreprise de ce qui ne l'est pas. Bien que des standards comme [3], [20] fournissent des définitions des processus d'"adaptation"[12] qui visent à aider les entreprises à instancier les processus génériques qu'ils proposent, ils sont eux-aussi d'un très haut niveau d'abstraction ne fournissant pas réellement le guide pratique d'adaptation dont l'entreprise aurait besoin.

Il serait donc pertinent pour Eurocopter de disposer :

1) **De comparaisons des standards, applicables dans son cas particulier, permettant de connaitre leurs différences de contenu, leurs forces et faiblesses, et les opportunités et menaces qu'elles peuvent représenter pour Eurocopter.**
2) **De descriptions des processus à déployer (en commençant par celui de définition des exigences des parties prenantes) qui soient non ambiguës et qui puissent être comprises facilement par leurs utilisateurs.**

DEMARCHES DE DEPLOIEMENT GENERIQUES ET SPECIFIQUES NON TOTALEMENT ADAPTEES

Dans la section 2.2.2, nous avons identifié quatre démarches génériques pertinentes ([14], [28–30]) pour mener un déploiement de processus. Nous avions néanmoins évoqué lors inadéquation. Nous sommes désormais en mesure de préciser cette affirmation : ces démarches ne permettent pas de prendre en compte la nécessaire adaptation, voire modélisation, qui doit

[12] *"tailoring"*

être faite des définitions de processus proposées dans les standards de l'IS. Elles sont donc inapplicables seules en l'état.

Par conséquent, nous avons cherché à identifier les démarches de déploiement spécifiques à l'IS pour voir si elles couvraient ce manque. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux contributions facilement accessibles, et pouvant être considérées comme rapidement rentables. Trois contributions ont répondu à ces critères : [4], [72] et [73].

Tout d'abord, l'Association Française d'Ingénierie Système (AFIS) propose dans [4] la démarche illustrée Figure 18 recommandant la mise en œuvre d'actions de progression successives. Les auteurs préconisent son application tout d'abord sur les processus d'ingénierie des exigences et de gestion de la configuration puisqu'ils sont très structurants et essentiels au bon fonctionnement des autres processus d'IS.

Nous pouvons observer que cette démarche de déploiement fait appel à des **modèles de maturité.** Les auteurs entendent par modèle de maturité "*un ensemble cohérent de bonnes pratiques des processus d'un métier, une échelle de progression dans la maîtrise de ces bonnes pratiques, et un modèle d'évaluation permettant de se positionner sur cette échelle.*"

Ce choix présente l'avantage de disposer d'un moyen d'évaluation de la maturité d'un processus objectif et détaillé qui s'avère très intéressant dans le cas d'une entreprise utilisant déjà un modèle de maturité comme vecteur d'amélioration de son organisation. **Néanmoins, nous trouvons ce choix difficile à mettre en œuvre dans le cas d'une entreprise n'ayant pas des processus formalisés ou non structurés tels que décrits dans les modèles de maturité**.

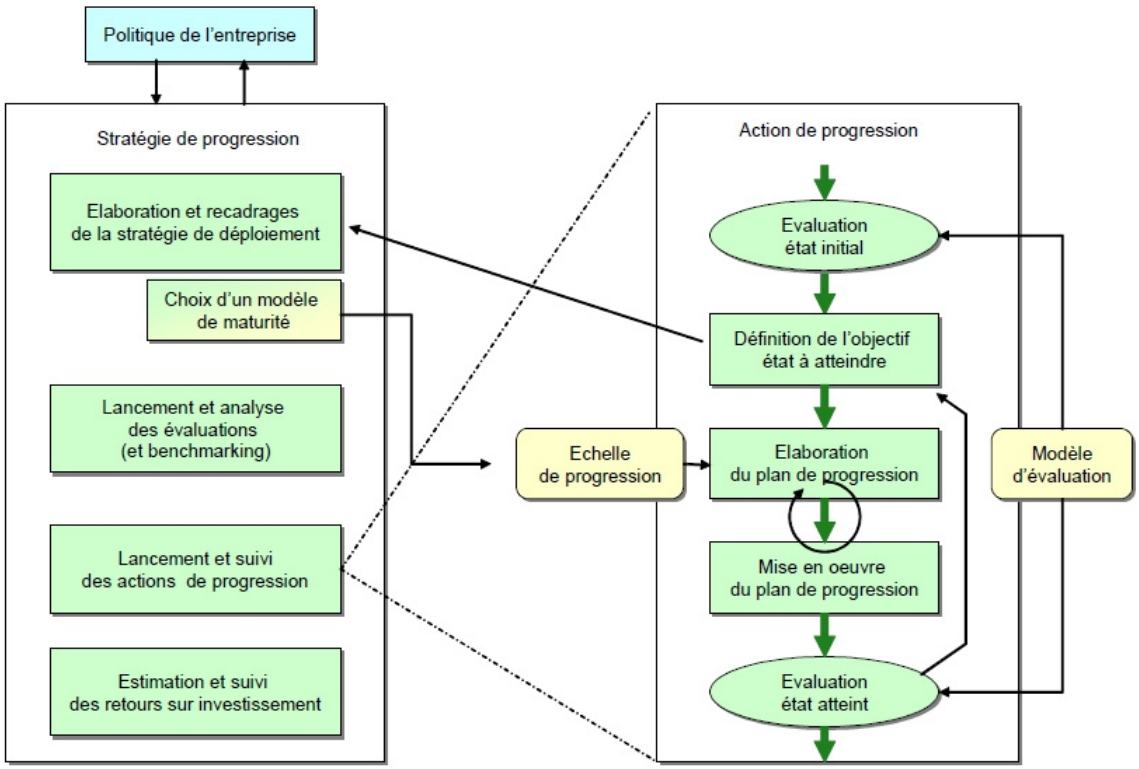


FIGURE 18 : STRATEGIE DE DEPLOIEMENT ET ACTION DE PROGRESSION PROPOSEE PAR L'AFIS

Notons également que [4] fournit une description très utile et détaillée, illustrée Figure 19, de la façon de définir un processus technique. L'aspect "gestion de projet" est bien pris en compte, favorisant ainsi l'applicabilité et la crédibilité de cette démarche en industrie. **Nous regrettons néanmoins l'absence de lien ou de méthode pour la prise en compte de standards lors de la définition des processus à déployer.**

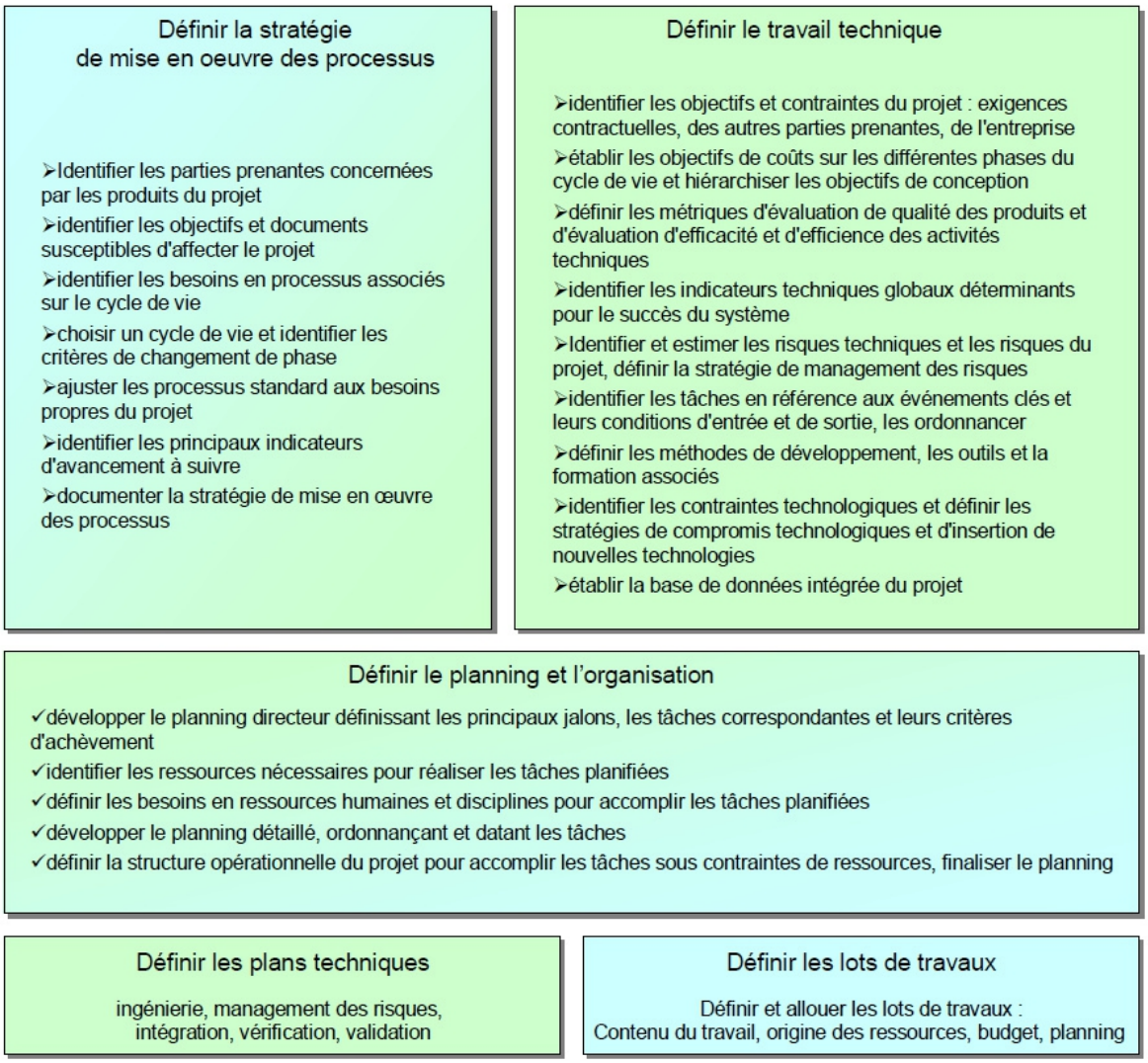


FIGURE 19 : ACTIVITES DE PLANIFICATION DE L'INGENIERIE SYSTEME PROPOSEE PAR L'AFIS

Ensuite, S. Rochet propose, quant à lui, un processus générique de formalisation des recommandations présentes dans les normes d'IS qui mène au développement de modèles formels [72]. En effet, l'auteur préconise tout d'abord de construire un **modèle du standard** et propose pour cela les étapes suivantes : 1) modéliser les processus, 2) modéliser la structure du système, 3) modéliser le cycle de vie du système, et 4) analyser des modèles obtenus. Ensuite, il recommande de développer un **modèle du métier** sans plus de détail et de l'adapter dans un **modèle projet**. Pour cela, la liste des standards applicables doit être établie et leurs impacts sur le modèle de processus générique doivent être explicités.

Ce travail présente l'avantage d'être **basé sur la Modélisation d'Entreprise** et **d'encourager la capitalisation et la réutilisation de modèles**. De plus, comme promu par l'IS, il encourage l'utilisation d'exigences pour définir les attentes du projet avant de définir le modèle de ce dernier. Néanmoins, **l'approche reste textuelle et l'illustration qui en est faite sur un cas industriel ne clarifie pas réellement le détail de son fonctionnement**. En outre, dans ce travail, les **standards sont considérés comme des modèles absolus qui peuvent être appliqués tels quels sans mener un quelconque effort d'adaptation**. Cela va à l'encontre de ce que nous pouvons observer en industrie : il est toujours nécessaire d'instancier un standard de façon à ce qu'il soit utilisable et tienne ainsi compte des spécificités de l'entreprise et de son domaine d'activité. De plus, ce n'est pas parce qu'une pratique est proposée dans un standard pour être appliquée à n'importe quelle entreprise, qu'elle sera nécessairement meilleure qu'une façon de faire développée par l'entreprise elle-même.

Enfin, S. Sheard propose dans [73] une démarche illustrée Figure 20, qui consiste tout d'abord à choisir un modèle de maturité, à s'auto-évaluer grâce à ce dernier, de façon à déterminer à quel niveau des améliorations doivent être opérées. Ensuite l'entreprise doit les mettre en œuvre une fois un financement obtenu.

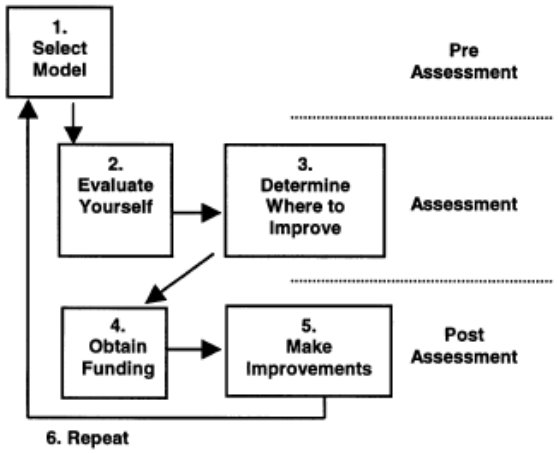


FIGURE 20 : DEMARCHE D'AMELIORATION DE PROCESSUS PROPOSEE PAR S. SHEARD

Nous pouvons observer que cette démarche s'appuie sur les modèles de maturité. Dès lors, nous émettons les mêmes réserves que nous avions émises lors de l'analyse de [4]. De plus, **cette démarche ne permet pas un déploiement de processus selon un modèle proposé par un référentiel d'IS. Enfin, cette démarche n'est pas fournie avec un détail des activités à réaliser dans chacune des phases proposées. Cette démarche ne répond donc pas à nos besoins.** Néanmoins, elle met en avant **six barrières *i.e.* de causes potentielles de problèmes à maitriser lors du déploiement de processus que nous considérons comme particulièrement pertinentes et réellement représentatives de ce que nous observons en entreprise** (cf. Tableau 2). Ces barrières peuvent être utilisées pour informer les managers des erreurs classiques qui ont été identifiées dans d'autres entreprises et ainsi rendre ceux-ci plus sensibles aux barrières existant dans leur propre organisation. Elles peuvent également être utiles aux membres de l'équipe de déploiement pour les sensibiliser aux difficultés qu'ils rencontrent ou pourraient rencontrer.

BARRIERE	DESCRIPTION
Penser "nous sommes différents"	Les membres de l'entreprise pensent que l'IS n'est pas applicable pour eux
Pas de définition de l'IS partagée	Confusion autour des trois types d'IS
Aborder une amélioration de processus comme "Bachotage avant un examen"	L'amélioration de processus est vue comme un exercice pour être bien vu par des tiers. Il s'agit donc de communication et non de travail de fond.
Présumer que la formation est LA solution	La formation est nécessaire mais un changement de mentalité est nécessaire chez les opérationnels et chez les managers tout autant !
Manque de ressources	Ressources non suffisantes pour faire un travail de qualité.
Essayer de tout faire à la fois	Modifier tous les processus en même temps au lieu de se focaliser sur les points les plus problématiques.

TABLEAU 2 : BARRIERES POUR L'AMELIORATION DE PROCESSUS IDENTIFIEES PAR S. SHEARD

Par conséquent, nous avons cherché à identifier des démarches de déploiement spécifiques à l'IS pour combler l'absence de guidage des démarches génériques pour l'instanciation des standards d'IS au contexte de l'entreprise. Cela n'a pas été concluant.

Bien que [4] et [73] nous aient permis de compléter les étapes de déploiement que nous avions déduit des démarches d'amélioration de processus génériques et de gestion du changement (cf. Figure 22), nous sommes toujours confrontés à la difficulté que représente l'adaptation des standards à l'entreprise. De plus, d'autres difficultés d'ordre pratique apparaissent : comment réaliser les activités que nous avons déjà identifiées ? Comment s'enchainent-elles ? Quels en sont les livrables ? Etc.

Il serait donc pertinent pour Eurocopter de disposer d'une démarche de déploiement détaillée, prenant en compte les contributions existantes et permettant d'adapter une ou plusieurs définitions d'un même processus issue(s) de référentiels d'IS au contexte de l'entreprise.

ABSENCE D'UN LANGAGE DE DEPLOIEMENT SPECIFIQUE

Nous avons pu identifier qu'une des difficultés liées au déploiement était une compréhension mutuelle des parties prenantes limitée et rendue difficile par les différences culturelles, la langue et la qualité incertaine des informations échangées.

Il apparait qu'il n'existe pas de langage de déploiement clairement défini mêlant tous les domaines : IS, ME, et déploiement. D'où des problèmes de compréhensions possibles et donc un risque d'échec accru.

Il serait donc pertinent pour Eurocopter de disposer d'un langage de déploiement permettant de manipuler non seulement les termes propres au processus à déployer mais aussi propres au processus de déploiement lui-même i.e. des termes empruntés aux domaines de la ME, de l'IS et plus particulièrement ici de la conception en aéronautique.

Enfin, il parait maintenant clair que le déploiement de processus dans une entreprise nécessite de connaître 1) l'état actuel de tout ou partie de l'entreprise concernée par le déploiement, et 2) de connaître l'évolution de cet état après le déploiement, de manière à juger de son efficacité et des actions nécessaires à l'amélioration du processus déployé. La section suivante présente les besoins que nous estimons légitimes en termes d'évaluation, ainsi que les contributions existantes permettant de mener à bien divers types d'évaluation en entreprise.

2.3.3. EVALUATIONS NECESSAIRES AU COURS DU DEPLOIEMENT DE PROCESSUS D'INGENIERIE SYSTEME

De fait, l'entreprise doit être en mesure d'évaluer un certain nombre de paramètres pour non seulement comprendre la situation et prendre des décisions, mais aussi pour contrôler l'efficacité de la mise en œuvre de ces décisions sur l'évolution attendue de cette situation.

Elle doit en effet être en mesure d'estimer tout d'abord sa maturité. **Maturité pour faire face à un déploiement mais également maturité de ses processus et de leur gestion**. Ensuite, elle doit être en mesure d'évaluer **les compétences des hommes en charge d'appliquer ces processus et la gestion de ces dernières. Enfin, considérant la nature interdisciplinaire de l'IS, nous faisons l'hypothèse qu'un autre paramètre doit être évalué : l'interopérabilité**.

Cette section a pour objet de présenter les différentes contributions disponibles pour mener ces différentes évaluations.

EVALUATION DE LA MATURITE

Un premier paramètre à évaluer est la maturité des processus d'IS éventuellement en place et de ceux déployés après le projet d'amélioration.

La maturité permet de caractériser l'état des performances de l'objet étudié (ici des processus d'IS) par rapport à un état final où ses performances seraient maximales et optimisées. Le chemin vers une maturité maximale est long mais nécessite le passage par les mêmes étapes quelle que soit l'organisation considérée [4]. Dès lors, des modèles de maturité ont été créés, caractérisant les "états de maturité" par des "niveaux de maturité", généralement au nombre de cinq. Le principe de base d'un modèle de maturité est de fournir un modèle à deux dimensions : l'une incluant les niveaux de maturité et l'autre les facteurs d'évaluation. De façon à connaitre le niveau de maturité dans lequel se trouve l'entreprise, des descriptions caractérisant le comportement type d'une entreprise à un niveau de maturité donné sont fournis pour chaque critère. Les modèles de maturité sont sources de bénéfices mais présentent également un certain nombre de limitations. La Figure 21 propose une synthèse de leurs avantages et inconvénients majeurs reprenant notamment les positions de [74–77].

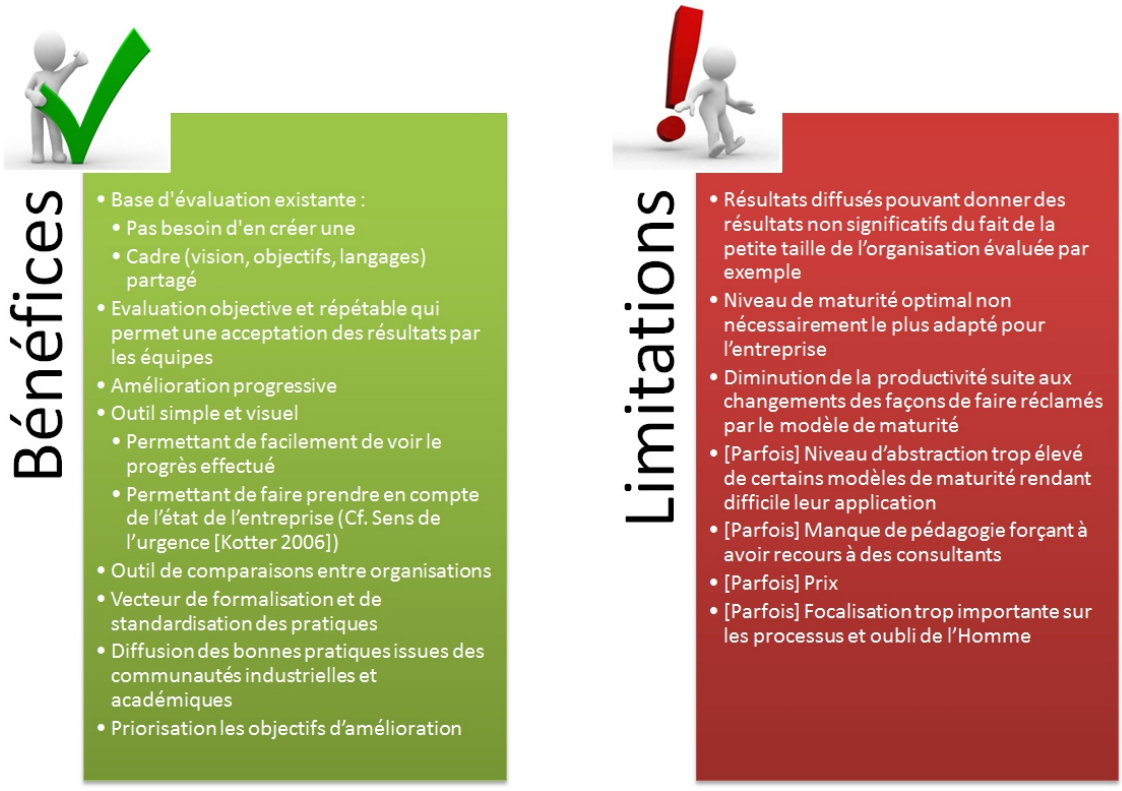


FIGURE 21 : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES MODELES DE MATURITE

Inclut les positions de [74–77]

Ainsi, si une entreprise cherche à évaluer les performances des processus d'IS éventuellement en place et de ceux déployés après le projet d'amélioration, plusieurs modèles de maturité peuvent être utilisés dont :

- le System Engineering Capability Maturity Model (EIA 731.1) [78]
- le CMMi pour le développement [10]
- le Systems Security Engineering Capability Maturity Model [79]
- le Modèle de maturité des processus d'affaire [80]

Il peut ainsi apparaitre intéressant d'utiliser des modèles de maturité pour **l'évaluation du degré de préparation d'une entreprise pour le déploiement de processus d'Ingénierie Système**. Malheureusement, ils ne sont pas adaptés pour cela : ils se focalisent seulement sur les aspects techniques des processus d'IS, et non par exemple sur la présence d'une équipe en charge de l'amélioration de processus, sur la mentalité du personnel concernant l'IS, etc. Nous avons également recherché si d'autres types de solutions avaient été développés pour répondre à ce besoin, mais sans succès. Seuls des facteurs de succès comme ceux proposés par [14], [81] sont proposés.

Il serait donc pertinent pour Eurocopter de disposer d'une solution pour évaluer la maturité d'une entreprise pour le déploiement de processus d'Ingénierie Système.

EVALUATION DES COMPETENCES ET DE LEUR GESTION

Un deuxième paramètre à évaluer se trouve être les **compétences des hommes en charge d'appliquer les processus d'IS et la façon de les gérer**. Bien que les sciences humaines et sociales ne soient pas visées par ces travaux, nous abordons rapidement les contributions que nous avons inventoriées pour aider Eurocopter à gérer ce paramètre critique du déploiement.

Nous en distinguons trois types, en fonction de ce qu'elles cherchent à caractériser, à savoir :

- les rôles des ingénieurs systèmes : [82], [83],
- les compétences qu'ils devraient avoir : [84–92] ainsi que les travaux menés par le comité technique "Formation et Compétences" de l'AFIS[13] pour définir des profils de compétences[14]
- la façon de les développer ces dernières [84], [92–95].

EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE

Un déploiement implique de nombreuses parties prenantes et ressources matérielles, internes ou externes à l'entreprise, qui sont bien évidemment appelées à interagir et à être donc impliquées dans des travaux communs, des échanges, du partage, de la communication *i.e.* dans des activités de collaborations. Par conséquent, pour réussir son déploiement, une entreprise doit non seulement organiser son effort mais également maîtriser la complexité des interactions nécessaires entre les personnes, les organisations et les ressources matérielles impliquées durant toutes les phases du déploiement.

Dans ces travaux, nous faisons l'hypothèse que le risque d'échec du déploiement est lié à deux facteurs majeurs :

- Le manque, au sein de l'entreprise, des compétences nécessaires à l'exécution du processus à déployer (par exemple en IS).
- Le manque d'anticipation, durant la phase de pré-déploiement, des difficultés de collaboration qui peuvent arriver dans les deux phases suivantes.

Intéressons-nous plus particulièrement à ce second facteur. Pour parvenir à le surmonter, nous proposons d'évaluer, tout au long de l'effort de déploiement, la caractéristique d'interopérabilité des entités (hommes, unités d'organisation, ressources matérielles) qui ont un rôle durant le déploiement.

Néanmoins, avant d'être en mesure de mener cette évaluation, il est nécessaire de définir tout d'abord précisément son objet, c'est-à-dire de **caractériser ce que nous entendons par interopérabilité**. Parmi l'ensemble des travaux qui ont été menés pour y parvenir comme [96], [97], nous retenons la définition proposée par [6] à savoir la "*capacité des entreprises et des entités qu'elles contiennent à communiquer et interagir de façon effective*". L'interopérabilité constitue ainsi un facteur clef pour des partenariats réussis intra et inter-entreprises et pour des niveaux de satisfaction élevés. Il est donc primordial pour les entreprise d'être en mesure de la

[13] Association française d'Ingénierie Système

[14] Nous ne sommes pas en mesure de fournir une référence pour ces travaux actuellement en cours : ils sont publics mais à diffusion restreinte.

gérer, c'est-à-dire de détecter des problèmes la concernant, d'analyser leur causes, de les surmonter et des mettre en œuvre des actions d'amélioration.

Malheureusement, **atteindre et maintenir un haut niveau d'interopérabilité n'est pas une activité triviale**. D'une part, le **nombre** et la **variété des obstacles qui peuvent nuire à l'interopérabilité** sont importants. Pour cela, [97] propose une catégorisation de ces obstacles en "barrières à l'interopérabilité" définies par [6] comme :

- *Barrières Conceptuelles* : incompatibilités dans l'expression, la définition, et la compréhension des objets[15] échangés,
- *Barrières Organisationnelles* : incompatibilités dans les structures des organisations, dans les techniques de management et les polices mises en œuvre dans les entreprises tentant d'inter opérer,
- *Barrières Technologiques :* incompatibilités *technologiques* qui affectent négativement les capacités des entités à échanger.

D'autre part, il est difficile d'évaluer l'interopérabilité de l'entreprise puisque cela nécessite de **disposer de solutions d'évaluation adaptées à ses besoins tout au long de l'effort de déploiement.** Nous avons donc essayé de trouver trace de travaux traitant de la prise en compte de l'interopérabilité dans le cadre d'un déploiement mais sans résultat. Nous avons alors voulu identifier les contributions permettant d'évaluer l'interopérabilité de façon générale:

- Modèles de maturités : [74], [75], [96], [98–107].
- Autre type de solution qualitative ou quantitative : [108–113].

Néanmoins, comment savoir si ces contributions sont adaptées pour un déploiement ?

Il serait donc pertinent pour Eurocopter de :

- **Caractériser les besoins pour l'évaluation de l'interopérabilité dans un contexte de déploiement (cibles, exigences, ...),**
- **Positionner les contributions existantes par rapport à ses attentes et trouver des solutions pour les discriminer,**
- **Identifier une ou plusieurs contributions qui répondent à ces besoins et le cas échéant, développer une méthodologie d'évaluation.**

2.3.4. DEPLOIEMENT DE PROCESSUS D'INGENIERIE SYSTEME : SYNTHESE

Ainsi, l'analyse des travaux plus spécifiques à l'IS que nous avons menée dans cette section nous a permis de préciser les activités que nous avions identifiées précédemment (cf. Figure 12) tel qu'illustré Figure 22.

[15] Traduction de "*item*" dans la définition originale

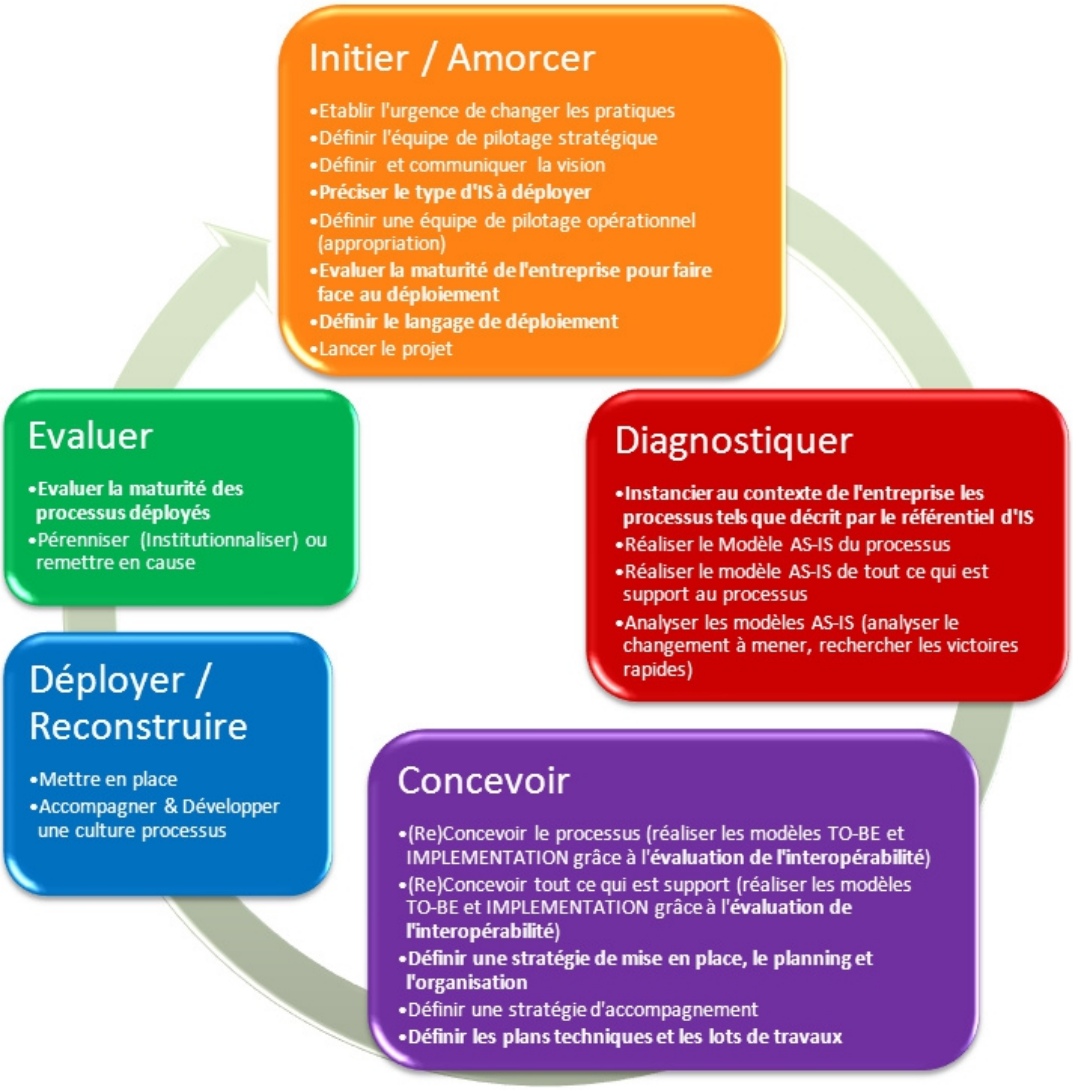


FIGURE 22 : CONSOLIDATION DES ETAPES POUR DEPLOYER UN PROCESSUS D'INGENIERIE SYSTEME

Néanmoins, cette analyse a également permis de mettre en exergue les difficultés rendant particulièrement difficile le déploiement de processus d'IS.

Premièrement, nous avons pu établir que le **contenu même de ces processus** s'avère problématique du fait du grand nombre de référentiels pouvant être utilisés et de leurs incohérences.

Deuxièmement, il s'avère particulièrement **difficile d'adapter une définition de processus à l'entreprise**. D'une part, parce que la modélisation d'entreprise ne répond pas complètement à ce besoin. Et d'autre part, parce que nous n'avons pas identifié de démarche suffisamment détaillée, facilement accessible et rapidement rentable, qui nous permette de guider ce déploiement. Nous n'avons d'ailleurs pas non plus trouvé trace d'outillage cohérent et intégré créé pour supporter une démarche de déploiement.

Troisièmement, le déploiement de processus s'avère également difficile du fait de **l'absence d'un langage de déploiement unifié**, harmonisant tous les concepts nécessaires pour ce dernier, définis par l'IS, la modélisation d'entreprise, et la gestion du changement.

Quatrièmement, nous n'avons pas été en mesure de trouver une solution disponible permettant d'**évaluer le degré de préparation de l'entreprise pour le déploiement.** Pourtant cela éviterait de lancer des projets de déploiement alors que l'entreprise ne répond pas à des pré-conditions nécessaires restant à définir.

Enfin, nous faisons l'hypothèse que l'interopérabilité devrait être prise en compte dans le déploiement compte-tenu de la nature interdisciplinaire de l'IS. **Bien que nous ayons identifié des travaux sur l'évaluation de l'interopérabilité, ils ne sont pas spécifiques au déploiement**. Dès lors, il s'avère nécessaire de caractériser les besoins en termes d'évaluation et de déterminer si des contributions existantes peuvent répondre à ces besoins ou si une nouvelle solution doit être développée.

2.4. CONCLUSION : POSITIONNEMENT DE NOS TRAVAUX

L'objet de ce chapitre est de fournir une synthèse des travaux scientifiques pertinents pour faire face aux verrous que nous avons identifiés, bloquant le déploiement de processus d'Ingénierie Système. **Il présente donc tout d'abord ce que nous entendons par déploiement de processus de façon globale, et présente les contributions que nous avons identifiées comme pertinentes pour y parvenir.**

Ensuite, ce chapitre s'intéresse plus particulièrement au déploiement de processus d'Ingénierie Système et propose donc tout d'abord une **présentation de cette méthodologie et de ses standards.** Il établit que la sélection de ces derniers, pour servir de base à un déploiement, n'est aisée. En effet, leur nombre important et leurs incohérences constituent une première difficulté. Ainsi, **pour faciliter le travail de sélection des standards, ces travaux se sont intéressés à fournir une analyse comparative permettant de connaitre rapidement leur contenu, leurs forces et leurs faiblesses (cf. chapitre 5).**

Il s'avère également que l'adaptation de ces standards n'est pas non plus une activité triviale. D'une part, parce que la description des processus est très souvent faite sous forme textuelle ce qui ouvre la porte à de multiples interprétations. D'autre part, parce que les démarches de déploiement de processus existantes sont rares et, soit ne fournissent pas assez de détails, soit ne prennent pas en compte à la fois les référentiels d'Ingénierie Système et les pratiques en place dans l'entreprise. **C'est pourquoi ces travaux se sont intéressés à développer un processus de déploiement, basé sur les modèles et supporté par un outillage interopérable permettant de faciliter l'automatisation cognitive (cf. chapitre 5).**

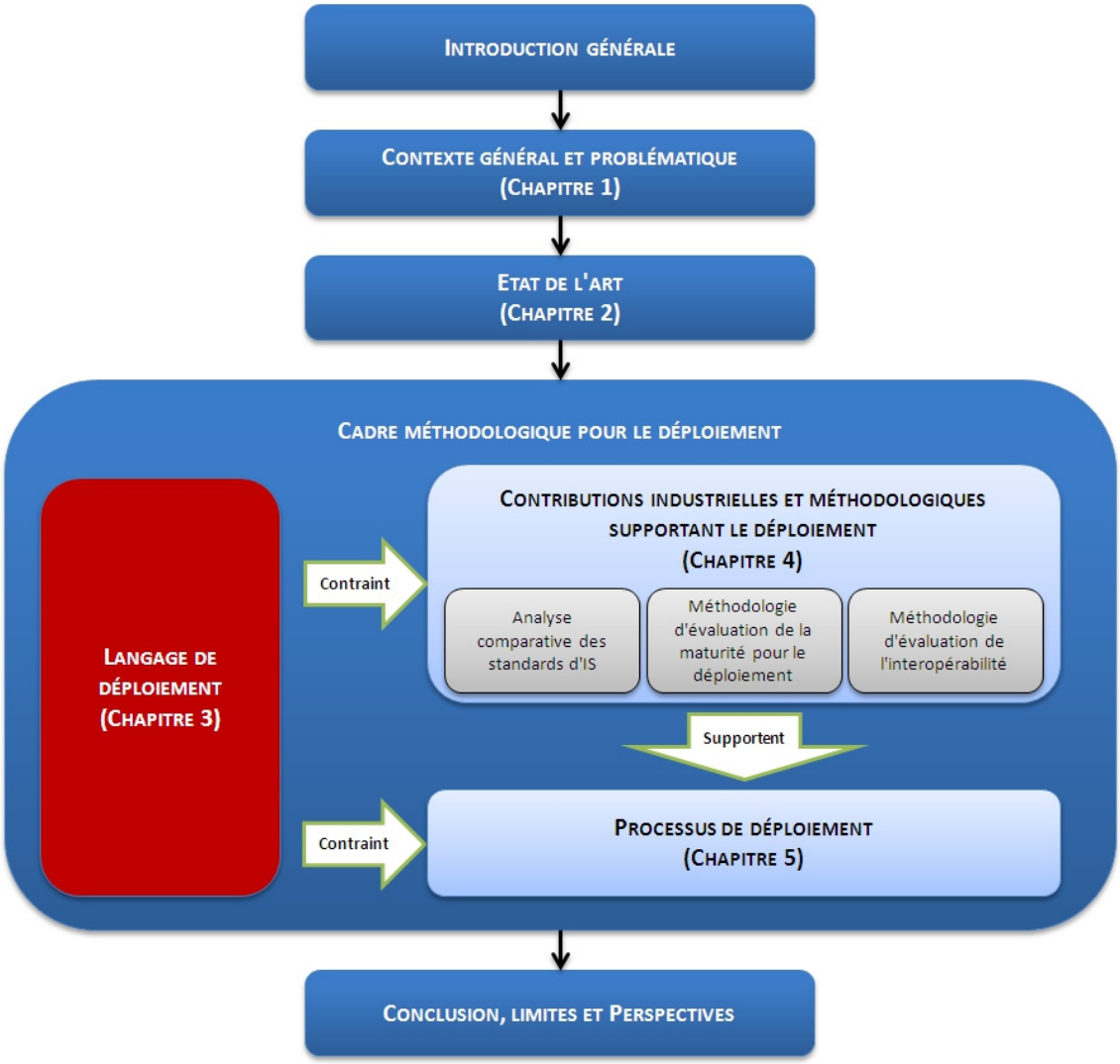
Par ailleurs, ce chapitre s'intéresse également aux différentes évaluations nécessaires pour mener un déploiement. Il identifie donc les nombreux travaux permettant l'évaluation des compétences nécessaires pour exécuter des processus d'Ingénierie Système ainsi que de nombreux modèles de maturité pour évaluer les performances de ces derniers. **Néanmoins, nous n'avons pas été en mesure de trouver une contribution fournissant une solution pour évaluer le degré de préparation de l'entreprise pour ce déploiement. Ces travaux proposent en ce sens un modèle de maturité proposé dans le chapitre 4.**

Ensuite, ce chapitre identifie les travaux menés pour évaluer l'interopérabilité. En effet, nous sommes intimement convaincus que cette dernière est un facteur clef pour couronner de succès un déploiement. Nous avons identifié le besoin de caractériser cette évaluation et les besoins

industriels qui lui sont associés. **Le chapitre 4 présente l'analyse que nous avons menée pour cela et qui nous a conduits à proposer une nouvelle méthodologie d'évaluation de l'interopérabilité applicable tout au long du déploiement et sur tout d'entité, détaillée dans le même chapitre.**

Enfin, ce chapitre a mis en exergue le manque que représente l'absence d'un langage de déploiement permettant de favoriser la compréhension et de supporter les activités de déploiement. **Le chapitre suivant présente donc le détail du langage que nous proposons, unifiant entre autres les concepts provenant de l'Ingénierie Système, de la Modélisation d'Entreprise.**

Chapitre 3 – Proposition d'un langage de modélisation pour le déploiement de processus



3.1. INTRODUCTION

Nous faisons l'hypothèse, dans l'ensemble de ces travaux, que l'interopérabilité est essentielle pour réussir le déploiement de processus d'Ingénierie Système et ce aussi bien en pré, per ou post déploiement. Pour cela, nous proposons de définir un langage commun pour améliorer l'interopérabilité des parties prenantes du déploiement.

Ce langage doit supporter et favoriser la communication des acteurs impliqués dans les activités du déploiement au cours de chacune de ses phases. Pour cela, il doit **définir et permettre de partager** l'ensemble des concepts nécessaires au déploiement tout en **levant les éventuels conflits sémantiques** existants. Par conflits sémantiques, nous entendons ici des ambiguïtés de sens, d'homonymie ou d'antonymie entre des concepts provenant de différents domaines dont la Modélisation d'Entreprise et l'Ingénierie Système font partie.

Par effet direct, ce langage permet ensuite de guider, voire de **contraindre, certaines activités de modélisation** nécessaires pour mener à bien et documenter le déploiement. Il a ainsi pour vocation de permettre de distinguer les modèles produits de simples dessins [114].

De plus, ce langage, tout comme les modèles construits dans le cadre du déploiement, constitue une **contribution au "langage partagé" de l'entreprise** [115], élément primordial pour décrire mais aussi améliorer l'architecture d'entreprise puisque permettant la discussion, la description, et la gestion de l'entreprise.

L'objet de ce chapitre est d'exposer le langage de modélisation que nous proposons d'employer pour supporter l'effort de déploiement. Pour cela, la démarche de conception adoptée est tout d'abord présentée. Puis, le détail de la syntaxe abstraite et de la sémantique est dévoilé. Enfin, avant de conclure sur les apports et limites de ce langage, la syntaxe concrète est introduite. La mise en application du langage sera illustrée dans le chapitre suivant.

3.2. DEMARCHE DE CONCEPTION

3.2.1. LANGAGE : DE QUOI PARLE-T-ON ?

La définition de ce langage doit comprendre plusieurs éléments (Figure 23). Tout d'abord, une **syntaxe abstraite**. Elle exprime, de manière structurelle, l'ensemble de ses concepts et leurs relations [116] pertinents et nécessaires au déploiement (*processus à déployer, processus de déploiement, acteurs, parties prenantes, etc.*). Elle peut être définie à l'aide d'un méta-modèle. L'OMG [117] définit un méta-modèle comme un *modèle qui modélise la modélisation elle-même*. Plus simplement, [118] le définit comme un *modèle qui fournit la base pour construire un autre modèle*.

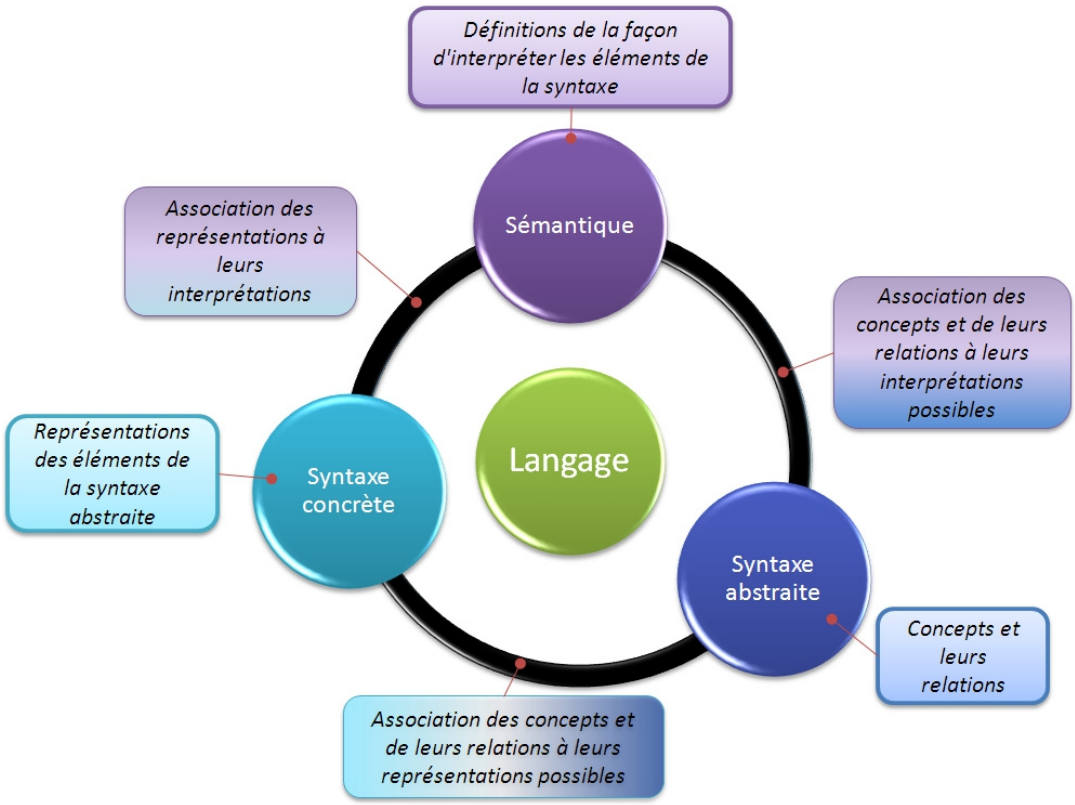


FIGURE 23 : COMPOSANTES DU LANGAGE PROPOSE

Ensuite, à chacun des éléments de la syntaxe abstraite doit être **associée** une **sémantique**. Celle-ci définit comment ces éléments doivent être interprétés par l'homme et/ou par les machines [119]. Cette sémantique peut être implicite grâce à l'emploi de noms de concepts et de relations sans ambiguïté possible. Elle peut aussi être explicite *i.e.* définie à l'aide de langages naturels ou informatiques. Dans le cadre de ces travaux, nous avons choisi de définir explicitement la sémantique en langage naturel en employant des termes métier connus du milieu industriel cible. En effet, l'intérêt premier de ce langage est de favoriser la compréhension des hommes. Il n'est donc pas nécessaire d'automatiser le traitement et l'interprétation de la totalité de ce langage par une machine.

Puis, afin d'aider à la formalisation i.e. à la modélisation des éléments pertinents et nécessaires au déploiement, il est nécessaire de définir une **syntaxe concrète**. Elle définit des formalismes (graphiques et/ou textuels) pour manipuler et instancier les éléments de la syntaxe abstraite [116]. Un lien **d'association** existe donc entre la syntaxe abstraite et la syntaxe concrète.

De la même façon que pour la syntaxe abstraite, une **sémantique** doit être associée également à la **syntaxe concrète**. Cela consiste à **associer** une signification aux formalismes adoptés pour représenter la syntaxe concrète. Les sémantiques des syntaxes abstraites et concrètes sont le plus souvent identiques mais ce n'est pas une obligation [116].

Un exemple simpliste de langage est proposé Figure 24. Dans le cas présenté ici, la sémantique des syntaxes abstraites et concrètes sont identiques.

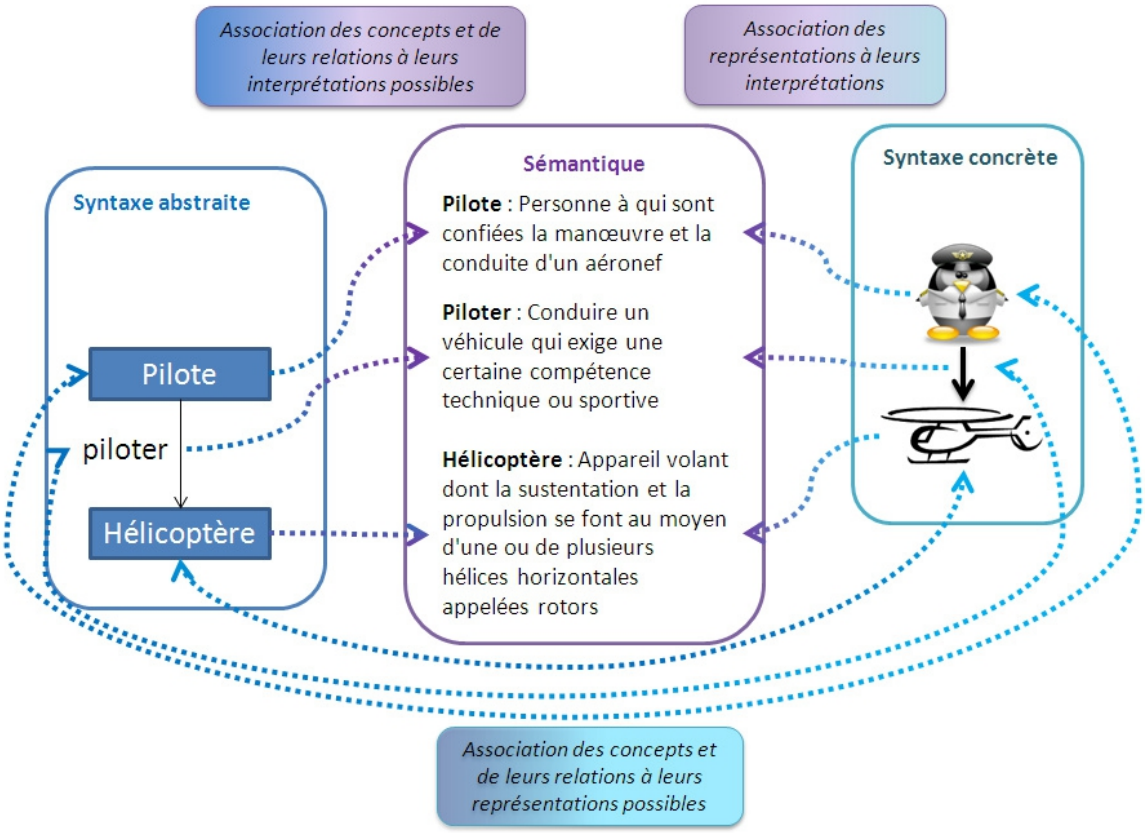


FIGURE 24 : EXEMPLE DE LANGAGE

3.2.2. SPECIFICATION DES BESOINS

Avant de commencer à concevoir le langage, il est nécessaire de définir précisément les besoins qui lui sont associés. De façon à y parvenir, nous appliquons les premières activités de l'Ingénierie Système (IS) qui permettent d'identifier les parties prenantes du langage et d'expliciter les besoins qu'elles peuvent avoir par rapport au langage à développer. L'intérêt de recourir à l'IS est d'avoir une démarche rigoureuse et de réduire le risque d'oubli de parties prenantes et donc de besoins.

Identifions tout d'abord les **parties prenantes** du langage :

- Toutes les personnes impliquées directement dans la préparation et la réalisation de l'effort de déploiement, c'est-à-dire l'équipe de déploiement qui va avoir à utiliser le langage tout au long du déploiement.
- Toutes les personnes impactées par le déploiement, qui auront un lien direct ou indirect avec les processus déployés, et qui vont devoir comprendre le langage utilisé notamment pour la définition des processus. Il n'est pas possible d'en établir une liste détaillée sans connaître le ou les processus à déployer. Nous pouvons néanmoins définir des grandes classes de parties prenantes : opérationnels des processus concernés, qu'ils soient internes ou externes à l'entreprise, membres des équipes de pilotages, des processus supports de l'entreprise, clients et fournisseurs des processus déployés, etc.

- Les communautés scientifiques et industrielles de la Modélisation d'Entreprise et de l'Ingénierie Système qui formalisent et proposent des concepts dans leurs domaines respectifs. Il serait maladroit de définir un langage sans en tenir compte. Ces communautés sont donc sources d'exigences et de contraintes.

Caractérisons à présent le **contexte d'utilisation du langage**. Sa finalité est de maximiser les chances de succès du déploiement en réalisant les deux missions principales que nous avions identifiées précédemment, à savoir :

1. Définir les concepts nécessaires au déploiement pour permettre leur partage.
2. Contraindre la réalisation des modèles nécessaires pour mener à bien et documenter le déploiement.

Sur la base de ces éléments, un ensemble de besoins et contraintes a été identifié :

- Le langage comprend et assure la cohérence de représentation de tous les concepts nécessaires pour la définition, la mise en œuvre, la vérification, la validation, l'évaluation et l'optimisation du projet de déploiement, du processus qui a motivé le déploiement et éventuellement de son processus de pilotage si celui-ci doit être déployé.
- Le langage respecte, ou tout au moins est en accord avec les concepts définis dans les domaines de la Modélisation d'Entreprise (ME) et de l'Ingénierie Système (IS). Pour cela, il met en évidence les liens qu'ils entretiennent de façon à les utiliser sans ambiguïté et de façon complémentaire. En particulier, dans le cadre de l'IS, le langage doit tenir compte des nombreux efforts menés pour formaliser les concepts nécessaires et leurs relations, pour concevoir un produit ou pour gérer l'organisation en charge de le concevoir[16]. La volonté d'encourager l'utilisation d'un langage unique ou, tout du moins unifiant, permettant ainsi d'améliorer la communication entre toutes les entités impliquées dans des activités d'IS doit être respectée.
- Le langage est défini **de façon non ambigüe mais aussi de façon suffisamment pédagogique** pour être compréhensible (dans l'idéal sans formation) par ses utilisateurs quelle que soit leur **culture**.
- Le langage intègre, en le précisant, le **langage implicite** actuellement utilisé dans l'entreprise encore relativement peu formalisé, pour identifier et désamorcer les possibles sources de conflits sémantiques entre acteurs internes.
- Le langage est supporté par des syntaxes abstraite et concrète formalisables au moyen d'un **format informatique autorisant et facilitant** le développement d'un atelier de modélisation.
- Le langage est défini dans un format facilitant sa migration potentielle en cas d'obsolescence et pour permettre sa réutilisation dans le cadre d'autres applications de l'entreprise.
- Le langage peut être **enrichi et/ou adapté** par la suite au fil de son application dans l'entreprise ou même dans d'autres entreprises.

[16] Notions de "système à faire" et "système pour faire" [4].

3.2.3. DEFINITION D'UN LANGAGE STRUCTURE EN VUES

Pour nous guider dans la définition de la syntaxe abstraite et de la sémantique, nous avons analysé les vues usuellement adoptées par l'IS et de la ME. Par vue, nous entendons *"une représentation d'un système ou d'un sous-système complet depuis la perspective d'un point de vue donné"* [120]. Nous avons également étudié les concepts que les vues de l'IS et de la ME manipulent de façon à déterminer les concepts qui étaient pertinents pour le déploiement, et gérer les problèmes de conflits et de doublons de concepts. Pour la ME, nous nous sommes appuyés principalement sur [16] et pour l'IS, sur [4] et [3].

Ce travail nous a conduits à fusionner les vues "types" des deux domaines pour constituer les vues du langage proposé. Ces vues ont ensuite été enrichies par les concepts nécessaires pour mener de manière efficiente le déploiement comme l'interopérabilité ou la maturité (cf. Figure 25).

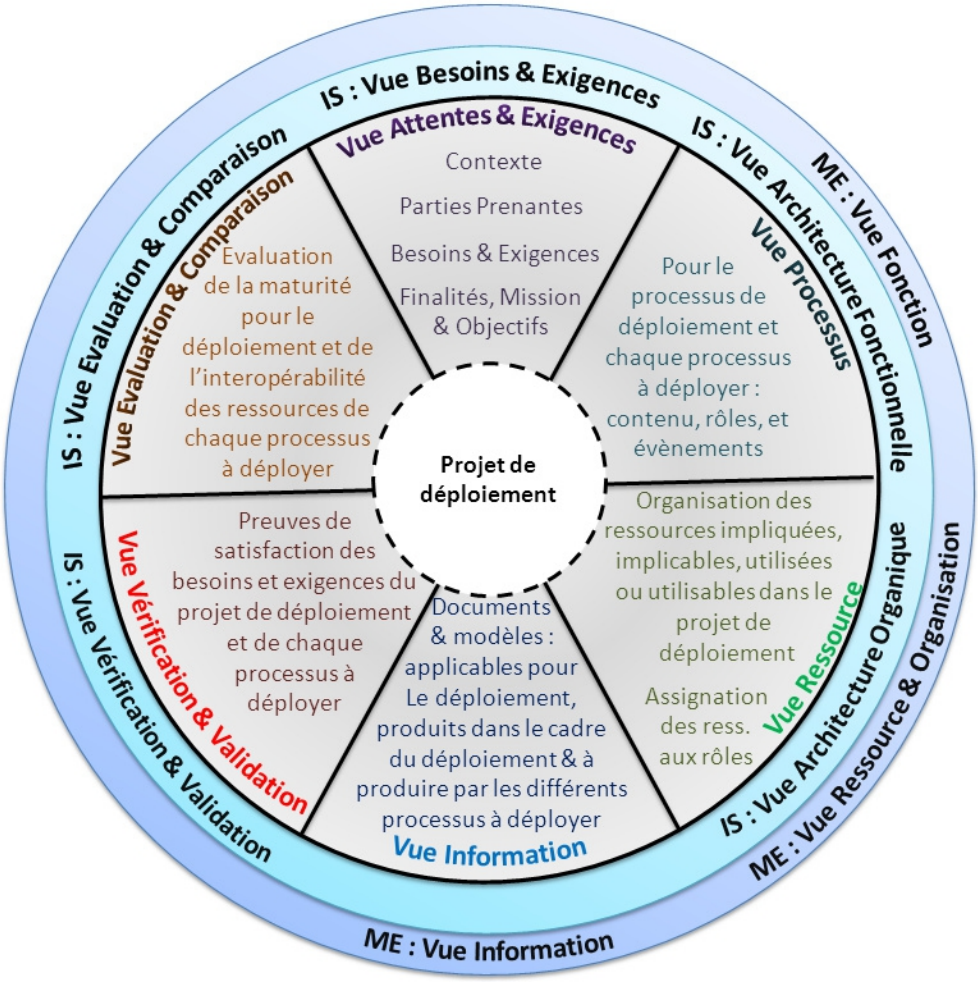


FIGURE 25 : VUES DU LANGAGE PROPOSE, DE L'INGENIERIE SYSTEME ET DE LA MODELISATION D'ENTREPRISE

Le langage ainsi proposé est construit autour des six vues suivantes :

- La **vue Attentes et Exigences**. Elle fournit l'ensemble des concepts nécessaires pour caractériser précisément le projet de déploiement ainsi que le ou les processus à déployer,
- La **vue Processus**. Elle propose l'ensemble des concepts requis pour la description fonctionnelle i.e. la modélisation proprement dite des processus (processus de déploiement et processus à déployer) et de leurs interfaces,
- La **vue Ressource**. Elle intègre l'ensemble des concepts nécessaires pour définir la structure organisationnelle de l'entreprise et du projet de déploiement ainsi que l'assignation des ressources aux rôles définis dans la vue Processus,
- La **vue Information**. Elle englobe les concepts pour décrire les documents et modèles : applicables pour le déploiement, produits dans le cadre du déploiement mais aussi à produire par les différents processus à déployer,
- La **vue Vérification et Validation**. Elle comprend l'ensemble des concepts nécessaires pour évaluer et prouver que le déploiement a été correctement mené et qu'il répond bien aux exigences de ses parties prenantes,
- La **vue Évaluation et Comparaison**. Elle fournit enfin l'ensemble des concepts pour justifier que les décisions prises lors du déploiement sont justifiées et vont dans le sens d'une optimisation des processus déployés.

Le détail des concepts appartenant à chacune de ces vues et des relations qu'ils entretiennent de manière intra ou inter vues est proposé dans la section suivante.

3.3. PRESENTATION DE LA SYNTAXE ET DE LA SEMANTIQUE DU LANGAGE

3.3.1. CONVENTIONS ADOPTEES

CONVENTIONS ADOPTEES POUR LA DEFINITION DE LA SYNTAXE ABSTRAITE

Pour décrire la syntaxe concrète du langage, nous définissons un méta-modèle. Ce dernier est conforme au méta modèle Ecore[17]. Les conventions d'écriture suivantes ont été retenues :

- Une classe (EClass) représente un concept. Lorsqu'elle est en italique (abstract class), elle permet d'améliorer la structuration du méta-modèle en utilisant les principes d'héritage entre concepts voisins. Elle correspond donc à un niveau d'abstraction nécessaire mais ne correspond pas nécessairement à un concept précis du domaine du déploiement ou de l'Ingénierie Système. Le nom d'une classe débute par une majuscule et ne comprend pas d'espace.
- Il n'est pas permis de représenter de classe de relation avec le formalisme Ecore ce qui peut induire certaines lourdeurs dans le méta-modèle. L'usage du méta-modèle UML[18], certes plus complet mais plus complexe à mettre en œuvre que le méta modèle Ecore dans un objectif de

[17] Le méta-modèle Ecore est accessible à l'adresse http://download.eclipse.org/modeling/emf/emf/javadoc/2.4.3/org/eclipse/emf/ecore/package-summary.html#package_description

[18] Unified Modeling Language

démonstration, est une des perspectives d'amélioration du travail. Une relation de composition est repérée avec une flèche bleue terminée par un losange plein. Le nom d'une relation entre deux classes ne possède ni espace, ni caractère accentué, ni caractère de ponctuation. Toute relation est dotée d'une cardinalité.

- Le nom d'un attribut ne possède ni caractère blanc, ni caractère accentué, ni caractère de ponctuation. Tout attribut est typé. Une énumération (ENum) permet de préciser l'ensemble de valeurs que peut prendre un attribut donné et représente donc le type de cet attribut. Toutes les énumérations commencent par le préfixe "type".

Enfin, le méta-modèle est écrit en Anglais de façon à respecter la contrainte d'Eurocopter qui est de rédiger l'ensemble de ses documents dans cette langue. Cependant, l'ensemble des classes, attributs et définitions du méta-modèle sont disponibles en Français et en Anglais.

CONVENTIONS ADOPTEES POUR LA DEFINITION DE LA SEMATIQUE

Pour chacune des vues, les éléments la composant sont présentés comme suit. Tout d'abord, nous présentons les éléments de l'Ingénierie Système (IS) ou de la Modélisation d'Entreprise (ME) sur lesquels nous nous sommes appuyés pour définir la vue. Puis nous présentons le méta-modèle de la vue concernée. Ensuite nous explicitons certaines de ses classes qui n'ont pas de réalité pratique pour le déploiement mais qui ont été ajoutées soit pour des raisons techniques (pour tester le méta-modèle) soit pour en réduire la complexité. Puis, nous donnons l'ensemble des définitions des éléments de la vue, et éventuellement quelques éléments complémentaires pour les expliciter, et nous terminons enfin avec la clarification de certains attributs et de leurs ensembles de définitions.

Chaque fois qu'une définition est présentée, le format adopté est le suivant :

TermeFigurantDansLeMetaModèleEnAnglais [Type Ecore] : Traduction du terme en Français
Définition [Source]

Les éléments du langage peuvent être manipulés dans plusieurs vues. Nous les avons néanmoins associées à une vue principale et avons choisi de les définir seulement dans cette vue précise et non lors de leur première apparition.

Chaque élément du langage défini et représenté dans le méta-modèle est indiqué par une astérisque. De plus, certains concepts ne sont pas représentés dans le méta-modèle mais sont néanmoins nécessaires pour la compréhension des définitions proposées. Ce sont :

System [Non représenté] : Système
Ensemble organisé d'entités** qui, dans un environnement, et doté de finalités*, exerce des activités* et voit sa structure interne évoluer au fil du temps, sans qu'il perde pourtant son identité unique (Adapté de [LeMoigne 1994]).

Entity [Non représenté] : Entité
Ce qui peut être considéré individuellement.

Interoperation [Non représenté] : Interopération
Interaction pendant laquelle les deux entités* interagissantes échangent et partagent des flux* de manière à les utiliser de façon autonome.

Opération [Non représenté] : Opération
Synonyme de Tâche*.

Ces termes sont identifiables dans les définitions par la présence de "**" à chaque fois qu'ils sont mentionnés.

Enfin, figure dans toutes les vues du méta-modèle proposé la classe "Modeler". Celle-ci est définie comme :

> **Modeler [EClass] : Modeleur**
> Classe permettant d'accéder à tous les éléments qui doivent pouvoir être instanciés par le modeleur soit par un lien d'héritage, soit par un lien de contenance.

3.3.2. VUE "ATTENTES ET EXIGENCES"

LIEN AVEC L'INGENIERIE SYSTEME ET LA MODELISATION D'ENTREPRISE

La **vue Attentes et Exigences** fournit l'ensemble des concepts nécessaires pour caractériser précisément le projet de déploiement ainsi que le ou les processus à déployer. Pour la concevoir, nous nous sommes appuyés sur la Vue "Besoins et Exigences" proposée par l'Ingénierie Système, dont une synthèse est proposée Figure 26. Cette vue est cruciale pour l'IS, puisqu'elle permet de lancer un projet de conception en faisant l'effort d'identifier l'ensemble des parties prenantes de façon à collecter leurs besoins réels et non ceux que le maitre d'œuvre présuppose.

Nous avons donc conservé les notions de parties prenantes, besoins, et exigences. Nous avons également retenu les notions de finalités, missions, objectifs, que nous appliquons au projet de déploiement bien-sûr, mais également à chacun des processus à concevoir.

Enfin, le principe d'établir un contexte fonctionnel et des scenarii est conservé pour les processus à déployer mais prendront la forme de modèles. Ils seront donc abordés dans la vue Information. De même, la notion de contexte organique, sera abordée dans la vue Ressource.

SYNTAXE ABSTRAITE

Les concepts figurant dans cette vue et les relations qu'ils peuvent avoir entre eux sont présentés dans le méta-modèle représenté Figure 27.

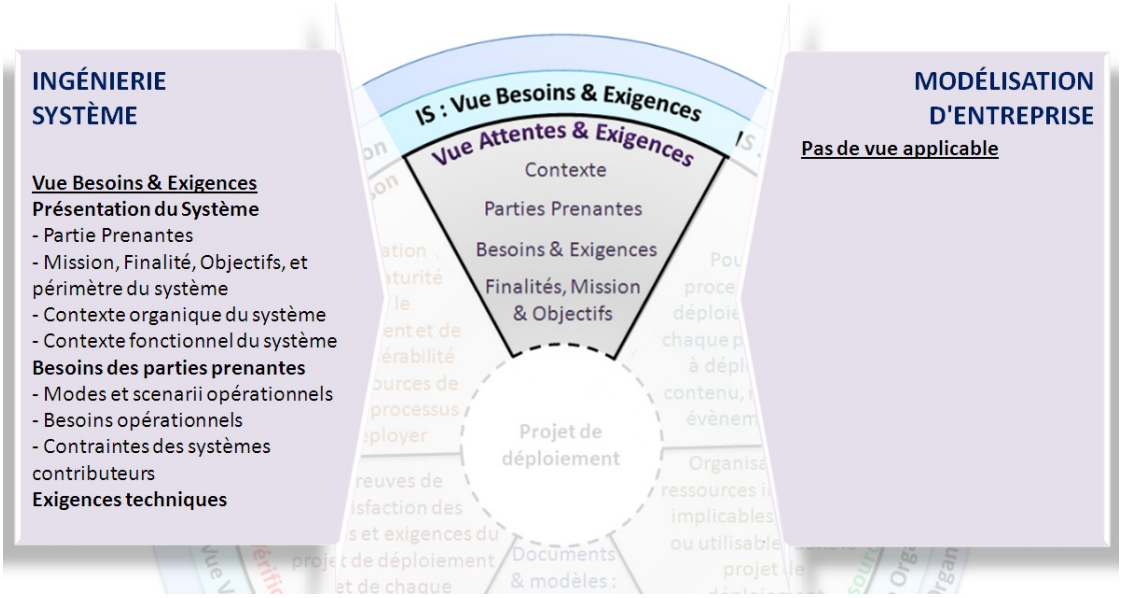


FIGURE 26 : CONSTRUCTION DE LA VUE "DEFINITION"

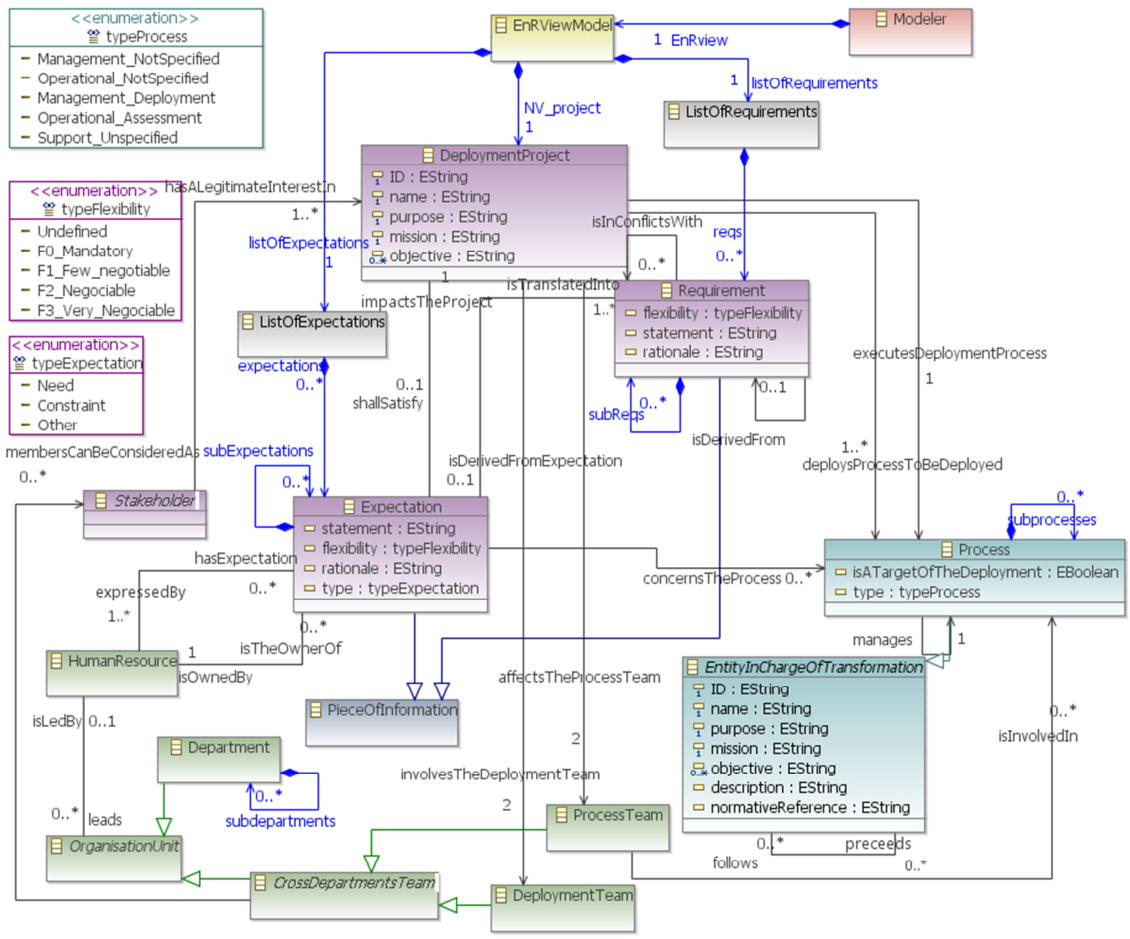


FIGURE 27 : META-MODELE DE LA VUE "DEFINITION"

SEMANTIQUE

Éléments ajoutés pour raisons techniques

Parmi les classes représentées, figurent des classes qui n'ont pas de réalité pour le déploiement mais qui ont été ajoutées pour raisons techniques, pour structurer le modeleur que nous avons développé pour vérifier et valider le méta-modèle. La vue Définition en compte trois :

- EnRViewModel [EClass] : Modèle de la vue Attentes et Exigences
- ListOfRequirements [EClass] : Liste des exigences
- ListOfExpectations [EClass] : Liste des attentes

Éléments ayant une réalité pratique pour le déploiement

DeploymentProject [EClass] : Projet de déploiement

Effort temporaire entrepris pour créer ou redéfinir un processus* de l'entreprise et éventuellement son processus* de pilotage, les mettre en place (opérationnalisation) dans l'entreprise* et s'assurer de l'effectivité et de l'efficacité de cette opérationnalisation (Adapté de [121]).

Stakeholder [EClass] : Partie prenante

Toute ressource humaine* ou entité** concernée de près ou de loin par le système**, son utilisation, sa réalisation, sa maintenance ou ses impacts et donc susceptible d'exprimer des exigences* (Adapté de [4]).

Expectation [EClass] : Attente

Information* décrivant ce qui est attendu par une partie prenante* concernant le système à faire. Cela inclut par exemple les besoins*, les impératifs, les désirs, les capacités, les contraintes et les interfaces* externes (Adapté de [122]).

Requirement [EClass] : Exigence

Énoncé qui spécifie une aptitude, une caractéristique ou une limitation d'un système**, d'un produit ou d'un processus*, pour contribuer, dans des conditions d'environnement données, à la satisfaction d'un but donné [4].

Précisions de certains attributs de classe

typeFlexibility (Expectation) [EEnum] : type de flexibilité

Valeurs possibles de l'attribut : "Undefined" (Indéfinie), "F0_Mandatory" (F0 : Obligatoire), "F1_Few_negotiable" (F1 : peu négociable), "F2_Negociable" (F2 : négociable) et "F3_Very_Negociable" (F3 : Très négociable).

typeExpectation [EEnum] : type d'Attente

Valeurs possibles de l'attribut : "Need"*; "Constraint" (Contrainte); "Other"(Other).

Need [EEnum (eLiterals)] : Besoin

Nécessité ou désir exprimé par un utilisateur (EN 1325-1), ou par toute partie prenante* intéressée par l'utilisation et l'exploitation du système** [4].

3.3.3. VUE "RESSOURCE"

LIEN AVEC L'INGENIERIE SYSTEME ET LA MODELISATION D'ENTREPRISE

Dans le cadre d'un projet de déploiement, les entités en charge de piloter et exécuter l'effort sont des personnes, des agents et composants technologiques et des unités d'organisation. Ils forment les ressources[19] du projet de déploiement, et sont le centre d'attention de cette vue. Dans le cadre de la Modélisation d'Entreprise, ces entités sont décrites dans deux vues : "Ressource" et "Organisation". Nous les avons donc naturellement fusionnées pour constituer notre vue "Ressource" (cf. Figure 28).

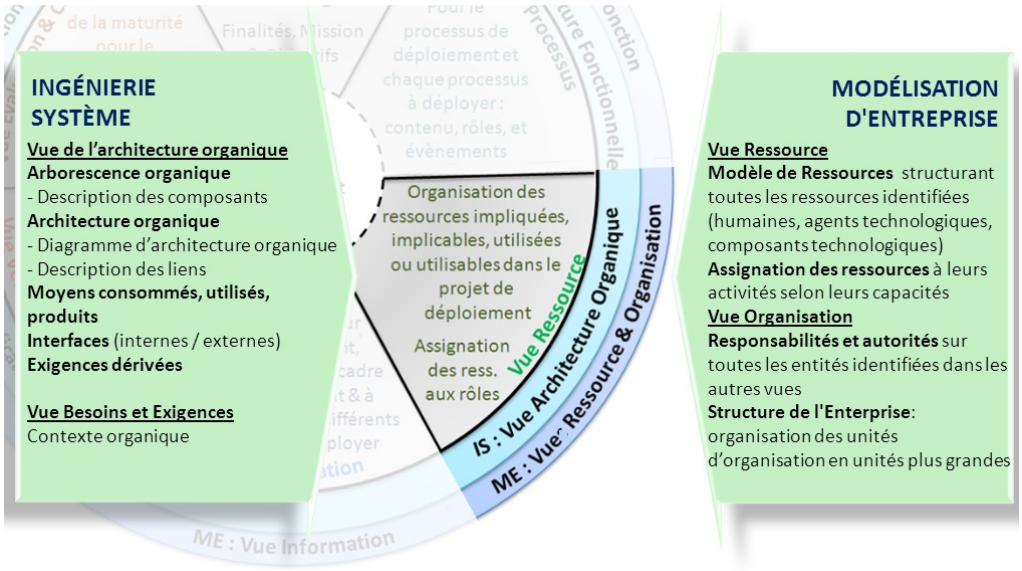


FIGURE 28 : CONSTRUCTION DE LA VUE "RESSOURCE"

À la façon de l'Ingénierie Système, cette vue décrit l'arborescence et l'architecture (hiérarchique et structurelle) des ressources :

- implicables dans le projet de déploiement et dans les processus à déployer (contexte organique),
- qui seront choisies pour participer dans le processus de déploiement et dans ceux à déployer.

Cette vue inclut également l'assignation des ressources, selon leurs capacités, aux rôles[20] nécessaires pour exécuter le processus de déploiement, et les processus à déployer.

Notons qu'à la différence de l'IS, la notion d'exigence dérivée n'appartient pas à la vue "Ressource" que nous proposons mais à la vue "Attentes et Exigences".

[19] Nous définissons ce terme dans cette section.

[20] La notion de rôle est définie dans la présentation de la vue Processus.

SYNTAXE ABSTRAITE

Le méta-modèle de la vue Ressource est proposé Figure 29. Les éléments appartenant à cette vue sont repérés grâce à la couleur verte.

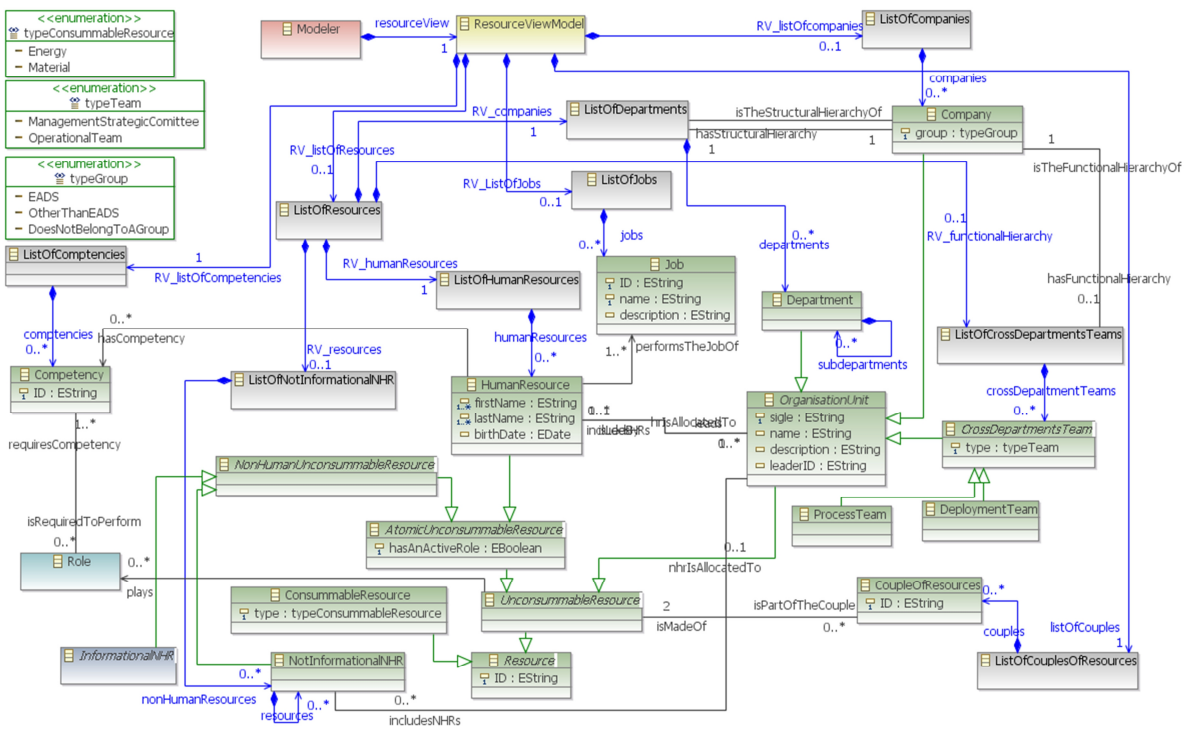


FIGURE 29 : META-MODELE DE LA VUE "RESSOURCE"

SEMANTIQUE

Éléments ajoutés pour raisons techniques ou pour réduire la complexité du méta-modèle

Dans ce méta-modèle, les classes suivantes n'ont pas de réalité mais ont été ajoutées pour structurer le modeleur :

- ListOfCompanies [EClass] : Liste des entreprises
- ListOfComptencies [EClass] : Liste des compétences
- ListOfCouplesOfResources [EClass] : Liste des couples de ressources
- ListOfCrossDepartmentsTeams [EClass] : Liste des équipes transversales
- ListOfDepartments [EClass] : Liste des services
- ListOfHumanResources [EClass] : Liste des ressources humaines
- ListOfJobs [EClass] : Liste des postes
- ListOfResources [EClass] : Liste des ressources
- ResourceViewModel [EClass] : Modèle de la vue Ressource

Ensuite, les classes suivantes ont été ajoutées pour simplifier le méta-modèle de la vue :

AtomicUnconsummableResource [EClass] : Ressource non consommable atomique
Ressource* ne contenant pas de ressource* ayant ou pouvant avoir un rôle* actif dans un processus* (par opposition aux unités d'organisation*).

CrossDepartmentsTeam [EClass] : Équipe transversale
Équipe dont les ressources* n'appartiennent pas toutes à un même département* mais à plusieurs d'entre eux.

NonHumanUnconsummableResource [EClass] : Ressource non humaine
Ressource non consommable*, qui n'est pas une ressource humaine*.

OrganisationUnit [EClass] : Unité d'organisation
Système** constitué d'un ensemble de ressources* et/ou d'unités d'organisation* (hiérarchiquement considérées comme de moindre importance) en charge de réaliser des missions* communes, sous la responsabilité d'une ressource humaine*, et d'atteindre des objectifs* fixés dans un contexte donné.

Resource [EClass] : Ressource
Entité** utilisée ou consommée durant l'exécution d'un processus* [4].

Éléments ayant une réalité pratique pour le déploiement

Nous pouvons désormais présenter les éléments du langage appartenant à la vue Ressource et ayant une **réalité** pratique pour le déploiement. Nous les définissons comme suit.

Company [EClass] : Entreprise
Unité économique combinant des capitaux et une main-d'œuvre salariée en vue de la production de biens, ou de leur commercialisation [123].

Competency [EClass] : Compétence
Capacité que possède une ressource humaine* de porter un jugement de valeur dans un domaine dont elle a une connaissance* approfondie (Adapté de [123]).

ConsummableResource [EClass] : Ressource consommable
Ressource* potentiellement amenée à être consommée par une "Entité en Charge de Transformation"*. Par "consommée" nous entendons : détruite c'est-à-dire non disponible après, ou altérée, c'est-à-dire restituée dans un état de performances dégradé par rapport à son état initial.

CoupleOfResources [EClass] : Couple de ressources
Ensemble de deux ressources* en interopération* ou qui pourraient l'être.

HumanResource [EClass] : Ressource humaine
Personne physique exerçant ou pouvant exercer un rôle* dans l'exécution du processus*.

Department [EClass] : Service
Type d'unité d'organisation* appartenant à la décomposition organique de l'entreprise*.

DeploymentTeam [EClass] : Équipe de déploiement
Unité d'organisation* en charge de mener et de réaliser le projet de déploiement*.

Job [EClass] : Poste

Fonction précise, emploi professionnel qu'occupe une ressource humaine* dans une entreprise* (adapté de [123]).

ProcessTeam [EClass] : Équipe du processus

Unité d'organisation* impliquée dans l'exécution ou le pilotage du processus* qu'elle concerne.

UnconsummableResource [EClass] : Ressource non consommable

Ressource* potentiellement amenée à être utilisée par une "Entité en Charge de Transformation"*.

Précisions de certains attributs de classe

Enfin, nous définissons certains des attributs des classes CrossDepartmentsTeam* Company* AtomicUnconsummableResource* et ConsummableResource* comme suit :

hasAnActiveRole [EAttribute] : a un rôle actif

Attribut pouvant prendre la valeur "vrai" ou "faux". Lorsqu'il possède la valeur "vrai", la ressource est dit active*. Lorsque la valeur est "faux", la ressource est dite passive*.

typeConsummableResource [EEnum] : Type de ressource consommable

Valeurs possibles de l'attribut : "Energy" (Énergie); "Material" (Matière).

typeGroup [EEnum] : Groupe de l'entreprise

Valeurs possibles de l'attribut : "EADS" (EADS), "OtherThanEADS" (Autre qu'EADS), "DoesNotBelongToAGroup" (N'appartient pas à un groupe).

typeTeam [EEnum] : Type d'équipe

Valeurs possibles de l'attribut : "ManagementStrategicComittee" (Comité de pilotage stratégique : décision et gestion) et "OperationalTeam" (Équipe opérationnelle : exécution).

3.3.4. VUE "INFORMATION"

LIEN AVEC L'INGENIERIE SYSTEME ET LA MODELISATION D'ENTREPRISE

La vue "Information" de la ME encourage à la définition des objets utilisés et produits dans le cadre des opérations de l'entreprise. Nous reprenons cette idée et l'appliquons au projet de déploiement et aux processus à déployer. Par conséquent, nous incluons dans la vue "Information" que nous proposons, les documents et modèles applicables ou produits lors de l'exécution du processus de déploiement ou de ceux à déployer.

De plus, la description des flux de ces documents et modèles et leurs liens avec les processus ne sont pas décrits dans cette vue, mais sont explicités dans la vue "Processus".

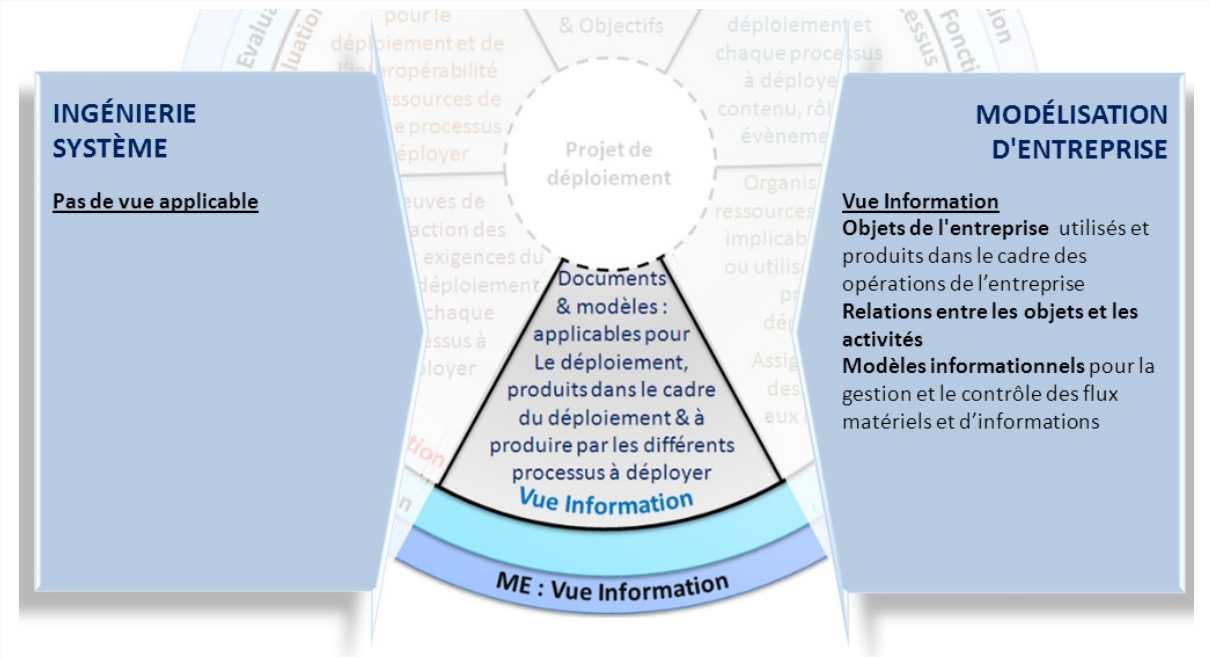


FIGURE 30 : CONSTRUCTION DE LA VUE "INFORMATION"

SYNTAXE ABSTRAITE

Le méta-modèle défini pour cette vue est illustré Figure 31. Les concepts de la vue sont représentés avec une couleur bleue.

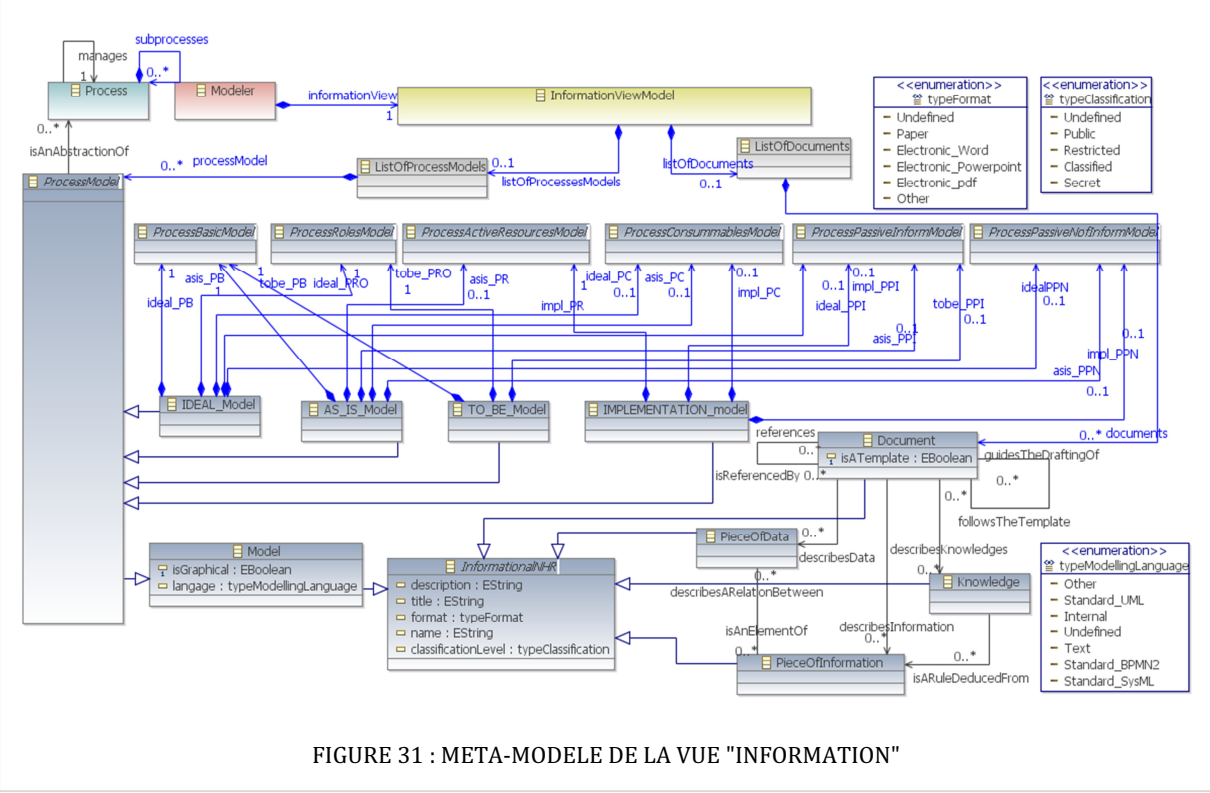


FIGURE 31 : META-MODELE DE LA VUE "INFORMATION"

SEMANTIQUE

Éléments ajoutés pour raisons techniques ou pour réduire la complexité du méta-modèle
Le méta-modèle inclut des classes ajoutées pour raison technique. Ce sont :

- InformationViewModel [EClass] : Modèle de la vue Information
- ListOfDocuments [EClass] : Liste des documents
- ListOfNotInformationalNHR [EClass] : Liste des ressources non informationnelles
- ListOfProcessModels [EClass] : Liste des modèles de processus

Par ailleurs, les éléments suivants n'ont également pas de réalité pratique mais ont été ajoutés pour simplifier le méta-modèle :

InformationalNHR [EClass] : Ressource Non Humaine Informationnelle
Ressource non humaine atomique* ayant pour fonction d'apporter de l'information*.

ProcessModel [EClass] : Modèle de processus
Modèle* d'un processus*.

Éléments ayant une réalité pratique pour le déploiement
Les éléments "réels" appartenant à la vue "Information" sont les suivants :

AS_IS_Model [EClass] : Modèle AS-IS
Le modèle AS-IS décrit l'état actuel du système** vu dans son contexte de fonctionnement. Le modèle AS-IS s'intéresse à représenter le système** à la fois dans sa forme, son rôle et ses performances, l'ensemble devant être pris en compte pour rendre compte de son état actuel (adapté de [27]).

Document [EClass] : Document
Le support et l'ensemble cohérent d'informations*, données* et connaissances* enregistrées sur celui-ci, qui est généralement permanent et peut être lu par une ressource humaine* ou non humaine* (adapté de [121]).

IDEAL_Model [EClass] : Modèle IDEAL
Modèle* décrivant un état idéal du système** réalisé sans tenir compte des contraintes réelles caractérisant ce système**. Les normes et standards sont des sources de ce type de modèle*.

IMPLEMENTATION_model [EClass] : Modèle IMPLEMENTATION
Modèle* décrivant comment agencer, piloter et coordonner les ressources* qui doivent être utilisées pour mettre en œuvre la solution. (adapté de [27]).

Knowledge [EClass] : Connaissance
Agrégation d'informations* connexes, qui forment un ensemble d'attentes* ou de règles, et fournit ainsi une meilleure compréhension de ces informations* [124].

Model [EClass] : Modèle
Un modèle vise à produire une représentation d'un "objet d'étude" dans un contexte déterminé, selon une référence prédéterminée (artefact, paradigme, théorie) [25].

NotInformationalNHR [EClass] : Ressource Non Humaine Non Informationnelle
Ressource non humaine n'ayant pas pour fonction d'apporter de l'information.

PieceOfData [EClass] : Donnée

Différence observable dans un état physique. Elle est acquise à partir de stimuli et d'inspection attentive du monde qui nous entoure [124].

TO_BE_Model [EClass] : Modèle TO-BE

Modèle décrivant la structure, les fonctions et le comportement de la solution à concevoir [27].

PieceOfInformation [EClass] : Information

Résultat de la transformation des données* qui, en fonction du problème concerné, identifie les relations pertinentes entre ces données ou rejette celles qui ne le sont pas (adapté de [124]).

Précisions pour clarifier les définitions précédemment présentées

Il nous apparait comme nécessaire d'apporter des précisions aux définitions que nous avons fournies aux modèles de processus. Nous en identifions quatre types : IDEAL, AS-IS, TO-BE, et IMPLEMENTATION. Pour différencier le contenu de chacun de ces modèles, nous avons défini six sous-modèles permettant de constituer un modèle de processus (cf. Figure 32) :

ProcessBasicModel [EClass] : Modèle de base du processus

Modèle* décrivant ses sous-processus*, ses tâches*, et les événements* nécessaires ou déclenchés par son exécution.

ProcessRolesModel [EClass] : Modèle des rôles du processus

Modèle* étendant le modèle de base* avec les rôles* nécessaires pour l'exécution du processus*.

ProcessActiveResourcesModel [EClass] : Modèle des ressources actives du processus

Modèle* décrivant les rôles* et les ressources humaines* et non humaines* qui y sont allouées.

ProcessConsummablesModel [EClass] : Modèles des ressources consommables du processus

Modèle* étendant le modèle de base* avec les ressources consommables* au cours de l'exécution du processus*.

ProcessPassiveInformModel [EClass] : Modèles des ressources passives informationnelles du processus

Modèle* étendant le modèle de base* avec ressources informationnelles* passives*.

ProcessPassiveNotInformModel [EClass] : Modèles des ressources passives non informationnelles du processus

Modèle* des ressources passives* non informationnelles* étendant le modèle de base* avec ce type de ressources passives*.

Avec :

ActiveResource [Non représenté] : Ressource active

Ressource* qui se charge de tout ou partie de la transformation opérée par l'"entité en charge de transformation"* concernée de façon autonome.

PassiveResource [Non représenté] : Ressource passive

Ressource* qui est utilisée pour tout ou partie de la transformation opérée par l'"entité en charge de transformation"* mais qui n'agit pas de façon autonome.

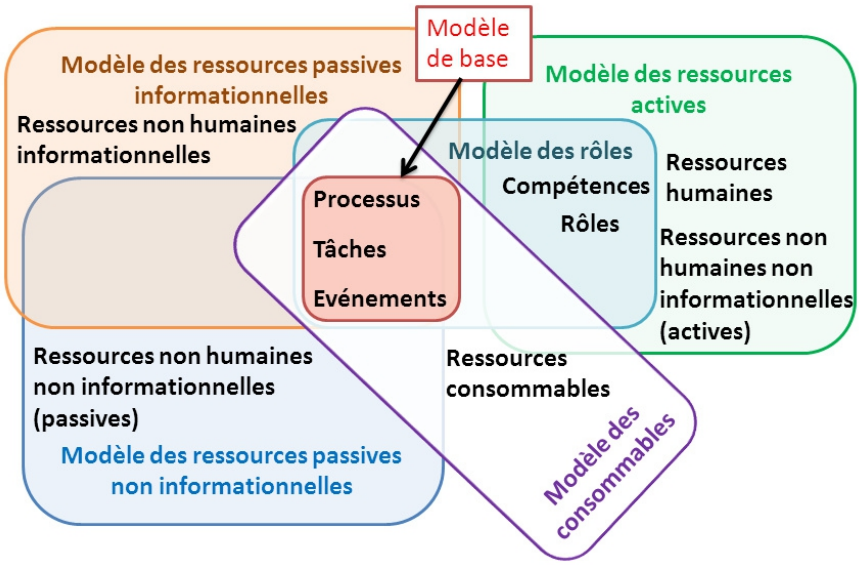


FIGURE 32 : COMPOSANTES D'UN MODELE DE PROCESSUS

Sur la base de ces sous-modèles, nous avons explicité le contenu de chacun des quatre types de modèles de processus (cf. Tableau 3).

	Modèle IDEAL	Modèle AS-IS	Modèle TO-BE	Modèle IMPLEMENTATION
Modèle des rôles	✓	✗ ou ✓	✓	✗
Modèle des ressources actives	✗	✗ ou ✓	✗	✓
Modèle des consommables	✗ ou ✓	✗ ou ✓	✗	✗ ou ✓
Modèle des ressources passives informationnelles	✗ ou ✓	✗ ou ✓	✗ ou ✓	✗ ou ✓
Modèle des ressources passives non informationnelles	✗ ou ✓	✗ ou ✓	✗	✗ ou ✓

TABLEAU 3 : TYPES DE MODELES DE PROCESSUS ET LEURS COMPOSANTES

Une flèche indique que le modèle contient le sous-modèle et une croix le contraire.

Précisions de certains attributs de classe

Enfin, les attributs "classification", "format" et "modellingLanguage" de "InformationalNHR"* sont définis comme :

typeClassification [EEnum] : Type de classification

Valeurs possibles de l'attribut : "Undefined" (Non défini); "Public" (Public); "Restricted" (Restreint) ; "Classified" (Classé défense); "Secret" (Secret défense).

typeFormat [EEnum] : Type de format

Valeurs possibles de l'attribut : "Undefined" (Non défini); "Paper" (Papier) ; "Electronic_Word" (Electronique_Word) ; "Electronic_Powerpoint" (Electronique_Powerpoint); "Electronic_pdf" (Electronique_pdf); "Other" (Autre).

typeModellingLanguage [EEnum] : Type de langage de modélisation

Valeurs possibles de l'attribut : "Undefined" (Non défini); "Standard_UML" (Standard_UML); "Standard_BPMN2" (Standard_BPMN 2.0) ; "Standard_SysML" (Standard_SysML); "Internal" (Standard_Interne); "Text" (Texte) ; "Other" (Autre).

3.3.5. VUE "PROCESSUS"

LIEN AVEC L'INGENIERIE SYSTEME ET LA MODELISATION D'ENTREPRISE

L'Ingénierie Système encourage à considérer le système sous un point de vue purement fonctionnel, c'est-à-dire indépendamment de toute ressource. Cette vision est partagée avec la Modélisation d'Entreprise (ME) qui encourage à la définition de modèles de processus. Pour cela, sont décrits les composants des processus et les événements que ces derniers déclenchent ou génèrent.

L'Ingénierie Système (IS) recommande également la définition d'un contexte fonctionnel au système à concevoir. Dans le cadre de la ME, cette même volonté peut être retrouvée avec la notion de cartographie de processus que nous conservons.

La vue Processus (cf. Figure 33) que nous proposons regroupe l'ensemble des concepts que nous avons identifié comme nécessaire pour la description fonctionnelle *i.e.* la modélisation proprement dite des processus (processus de déploiement et processus à déployer), de leurs interfaces et de leur flux.

SYNTAXE ABSTRAITE

L'ensemble des concepts et des relations de la vue Processus est représenté Figure 34. La couleur associée à la vue est le bleu turquoise.

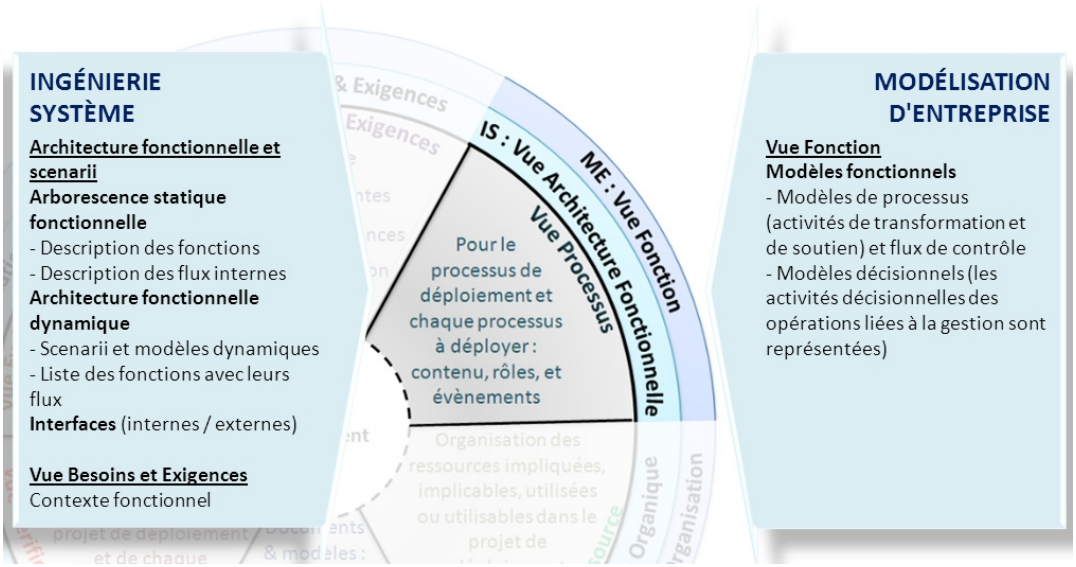


FIGURE 33 : CONSTRUCTION DE LA VUE "PROCESSUS"

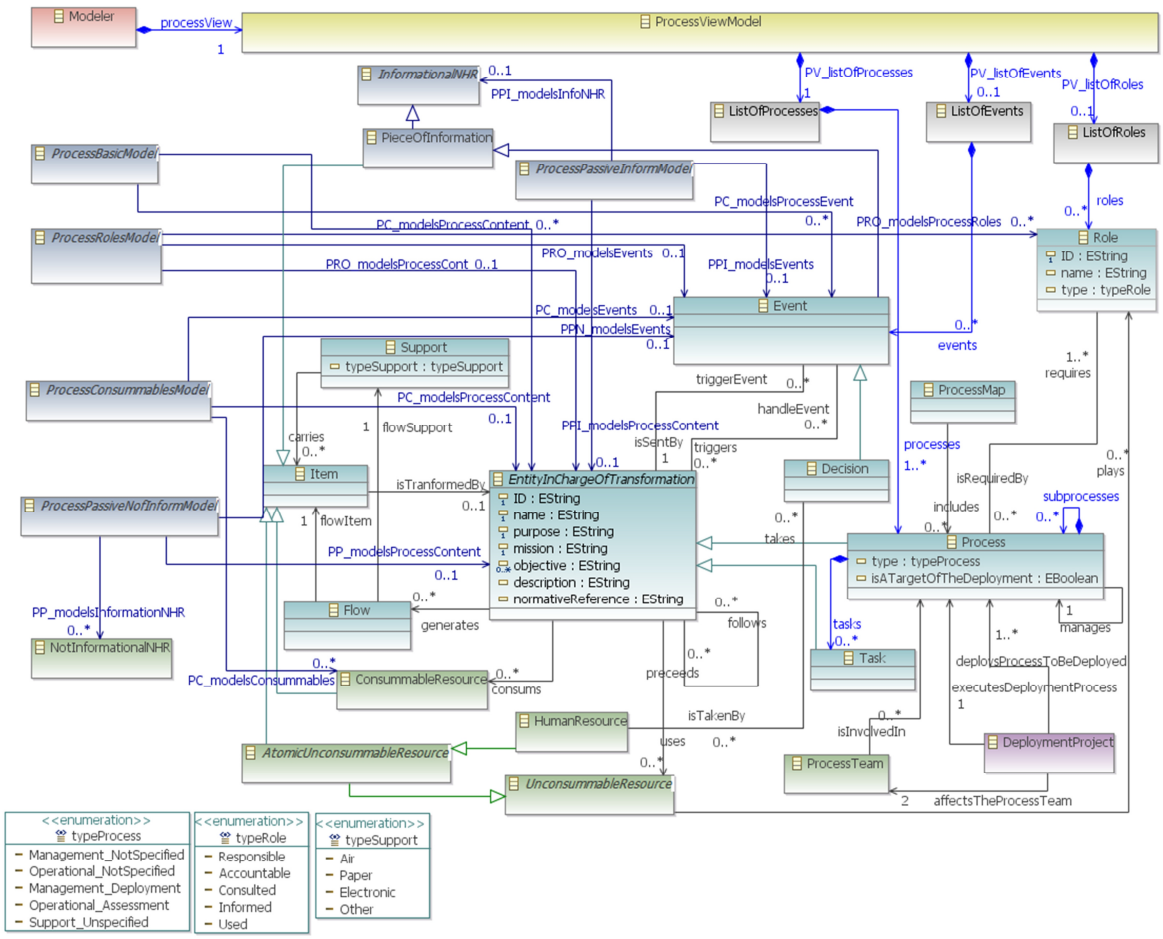


FIGURE 34 : META-MODELE DE LA VUE "PROCESSUS"

SEMANTIQUE

Éléments ajoutés pour raisons techniques ou pour réduire la complexité du méta-modèle
Sur le méta-modèle proposé, deux types de classes n'ont pas de réalité pratique. D'une part, les classes servant pour la structuration du modeleur de test :

- ListOfEvents [EClass] : Liste des événements
- ListOfProcesses [EClass] : Liste des processus
- ListOfRoles [EClass] : Liste des rôles
- ProcessViewModel [EClass] : Modèle de la vue Processus

Et d'autre part, la classe "Entité en Charge de Transformation", qui n'a pour seule vocation que de réduire la complexité du méta-modèle et qui est définie comme :

EntityInChargeOfTransformation [EClass] : Entité en Charge de Transformation
Classe englobant les processus* et les tâches*.

Éléments ayant une réalité pratique pour le déploiement
Les éléments de la vue Processus, manipulables pour réaliser des modèles de processus sont définis tels que :

Event [EClass] : Événement
Information* dont l'interprétation est susceptible de provoquer un changement de comportement du système* [25].

Flow [EClass] : Flux
Couple (Objet de flux*, Support de flux*) (Adapté de [25]).

Item [EClass] : Objet du flux
Élément d'un flux* qui représente ce qui subit l'action d'une "Entité en Charge de Transformation".

Process [EClass] : Processus
Ensemble de tâches* corrélées ou interactives, éventuellement groupées en sous-processus*, qui transforment (progressivement) des éléments d'entrée en éléments de sortie (Adapté de [2]).

ProcessMap [EClass] : Cartographie de processus
Représentation d'un réseau de processus.

Role [EClass] : Rôle
Caractérisation de l'implication attendue ou effective de ressource* dans une "Entité en Charge d'une transformation".

Subprocess [Ereference] : Sous-Processus
Processus* contenu dans un autre processus*.

Support [EClass] : Support du flux
Élément d'un flux* qui représente ce qui véhicule les objets de flux*.

Task [EClass] : Tâche

Action destinée à contribuer à la réalisation d'un ou plusieurs résultats d'un processus*. Une tâche* n'est pas décomposable. Notons que le détail de l'exécution d'une tâche* n'est pas donné dans le processus* mais dans les procédures* qui sont définies pour le supporter (Adapté de [20]).

Précision de certains attributs de classe

Enfin, nous définissons :

Mission (Process) [EAttribute] : Mission

Tache(s)* confiée(s) au système** concerné (Adapté de [125]).

Objective (Process) [EAttribute] : Objectif

Résultats attendus en termes qualitatif et/ou quantitatif dans un délai imparti [125].

Purpose (Process) [EAttribute] : Finalité

Raison d'être du système** concerné. Ce pour quoi il a été créé [125].

typeProcess (Process) [EEnum] : type de processus

Valeurs possibles de l'attribut : "Management_NotSpecified"*, "Operational_NotSpecified"*, "Management_Deployment"*, "Operational_Assessment" (cf. AssementProcess*); "Support_Unspecified"*.

typeSupport [EEnum] : type de support

Valeurs possibles de l'attribut : "Air" (Air); "Paper" (Papier); "Electronic" (Électronique); "Other" (Autre).

typeRole [EEnum] : type de rôle

Valeurs possibles de l'attribut : "Responsible"*; "Accountable"*; "Informed"*; "Consulted"; "Used" (Utilisé).

3.3.6. VUE "VERIFICATION ET VALIDATION"

LIEN AVEC L'INGENIERIE SYSTEME ET LA MODELISATION D'ENTREPRISE

Les notions de vérification et de validation sont des notions problématiques en aéronautique, du fait de définitions contradictoires entre les organismes de l'Ingénierie Système (IS) et ceux de la certification comme le SAE [126]. Nous avons décidé, pour bâtir cette vue, de nous appuyer sur la définition de l'IS, puisque nous pensons que le monde de l'aéronautique finira par s'aligner sur celle-ci, au vu de l'importance reconnue qu'a cette méthodologie de nos jours [3].

Nous définissons dès lors la vérification et la validation (V&V) comme suit [4] :

- Vérification – *Processus de contrôle consistant à vérifier que le produit d'une activité ou d'un processus, est conforme au résultat préétabli (sans erreur de réalisation) : on a bien réalisé le produit en conformité à l'état de l'art, on a bien exécuté l'activité qui n'a pas introduit de défaut.*
- Validation – *Processus de contrôle consistant à vérifier que le produit résultant d'une activité ou d'un processus est conforme au besoin (pour l'usage prévu) : on a réalisé le bon produit, on a exécuté la bonne activité.*

Les concepts habituellement manipulés dans la vue V&V comme : procédure, examen, preuve ou critère, sont repris dans cette vue "Vérification et validation" illustrée Figure 35.

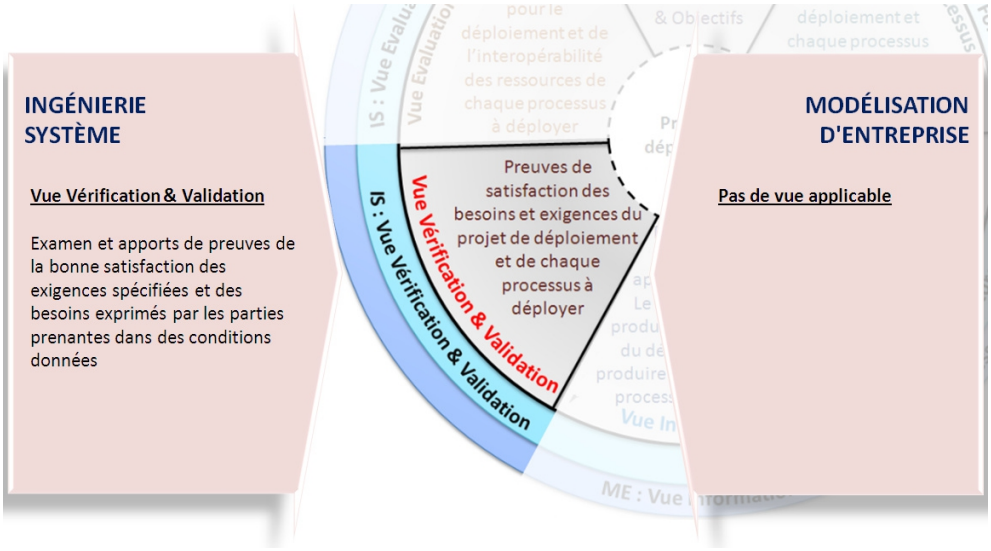


FIGURE 35 : CONSTRUCTION DE LA VUE "VERIFICATION ET VALIDATION"

SYNTAXE ABSTRAITE

Le méta-modèle de la vue "Vérification et Validation" est le suivant :

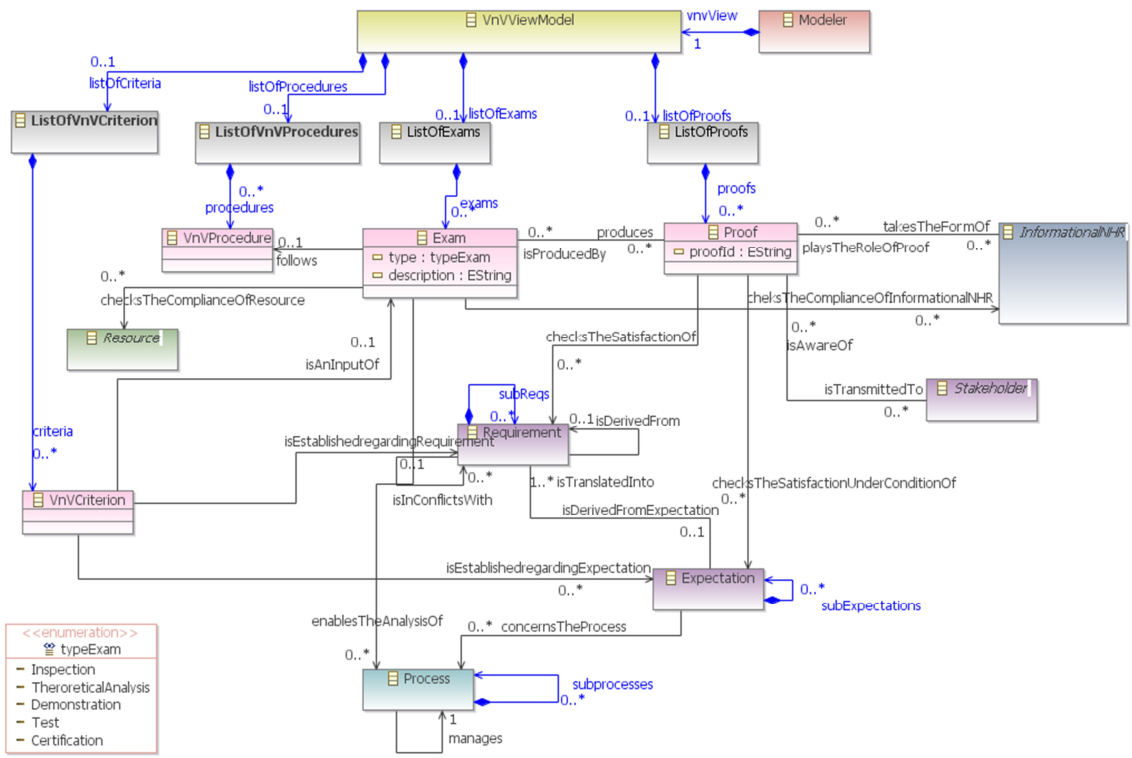


FIGURE 36 : META-MODELE DE LA VUE " VERIFICATION ET VALIDATION"

SEMANTIQUE

Sur le méta-modèle de la vue Vérification et Validation, nous retrouvons trois classes ajoutées pour structurer le modeleur :

- ListOfExams [EClass] : Liste des examens
- ListOfProofs [EClass] : Liste des preuves
- ListOfVnVCriterion [EClass] : Liste des critères de vérification et de validation
- ListOfVnVProcedures [EClass] : Liste des procédures de vérification et de validation
- VnVViewModel [EClass] : Modèle de la vue Vérification et Validation

Ensuite, sont repérées en rose, les classes appartenant à la vue, définies comme :

Exam [EClass] : Examen

Observation détaillée pour apprendre, connaître mieux, vérifier, trouver quelque chose. [123].

Proof [EClass] : Preuve

Fait, témoignage, raisonnement susceptible d'établir de manière irréfutable la vérité ou la réalité de (quelque chose) [123].

VnVCriterion [EClass] : Critère de vérification et de validation

Critère utilisé dans le cadre de l'exécution d'un processus* de vérification ou de validation.

VnVProcedure [EClass] : Procédure de vérification et de validation

Procédure* permettant de supporter un processus* de vérification ou de validation.

Enfin, la classe "Exam" est précisée par son type tel que :

typeExam [EEnum] : Type d'examen

Valeurs possibles de l'attribut : "Inspection" (Inspection); "TheoreticalAnalysis" (Analyse Théorique); "Demonstration" (Démonstration); "Test" (Test); "Certification"(Certification).

3.3.7. VUE "EVALUATION ET COMPARAISON"

LIEN AVEC L'INGENIERIE SYSTEME ET LA MODELISATION D'ENTREPRISE

La **vue "Évaluation et Comparaison"** fournit enfin l'ensemble des concepts pour justifier que les décisions prises lors du déploiement sont justifiées et vont dans le sens d'une optimisation des processus déployés. Cette vue s'appuie très fortement sur l'un des principes clef de l'Ingénierie Système (cf. Figure 37) à savoir que toutes les décisions techniques opérées doivent être documentées et justifiées, notamment pour permettre une meilleure collaboration entre les différents métiers mais également pour faciliter la maintenance du système.

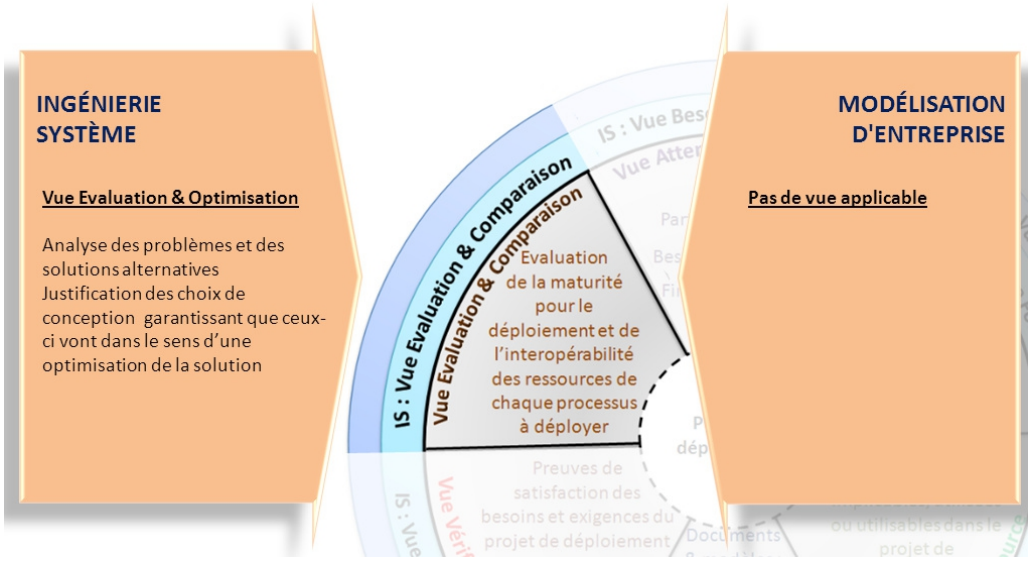


FIGURE 37 : CONSTRUCTION DE LA VUE "EVALUATION ET COMPARAISON"

Nous reprenons donc les concepts clefs que l'IS propose : impact, critère de décision, sélection d'alternative, compromis, conflit, etc. Et nous enrichissons cette vue avec les concepts que nous introduisons pour mener l'évaluation de la maturité et de l'interopérabilité que nous aborderons en détail dans le chapitre suivant.

SYNTAXE ABSTRAITE

Le méta-modèle de la vue **Évaluation et Comparaison** est fourni Figure 38. Les concepts de la vue sont représentés en orange.

SEMANTIQUE

Éléments ajoutés pour raisons techniques ou pour réduire la complexité du méta-modèle

De façon à structurer le modeleur de test, les éléments suivants ont été ajoutés :

- EnCViewModel [EClass] : Modèle de la vue Évaluation et Comparaison
- ListOfAssessmentScores [EClass] : Liste des scores d'évaluation
- ListOfConflicts [EClass] : Liste des conflits
- ListOfInterfaces [EClass] : Liste des interfaces
- ListOfTradeOffs [EClass] : Liste des compromis

Par ailleurs, nous avons complété le méta-modèle avec la classe SetOfAnswers de façon à en réduire la complexité. Elle est définie comme :

SetOfAnswers [EClass] : Ensemble de réponses

Ensemble de réponses* apportées à un questionnaire*.

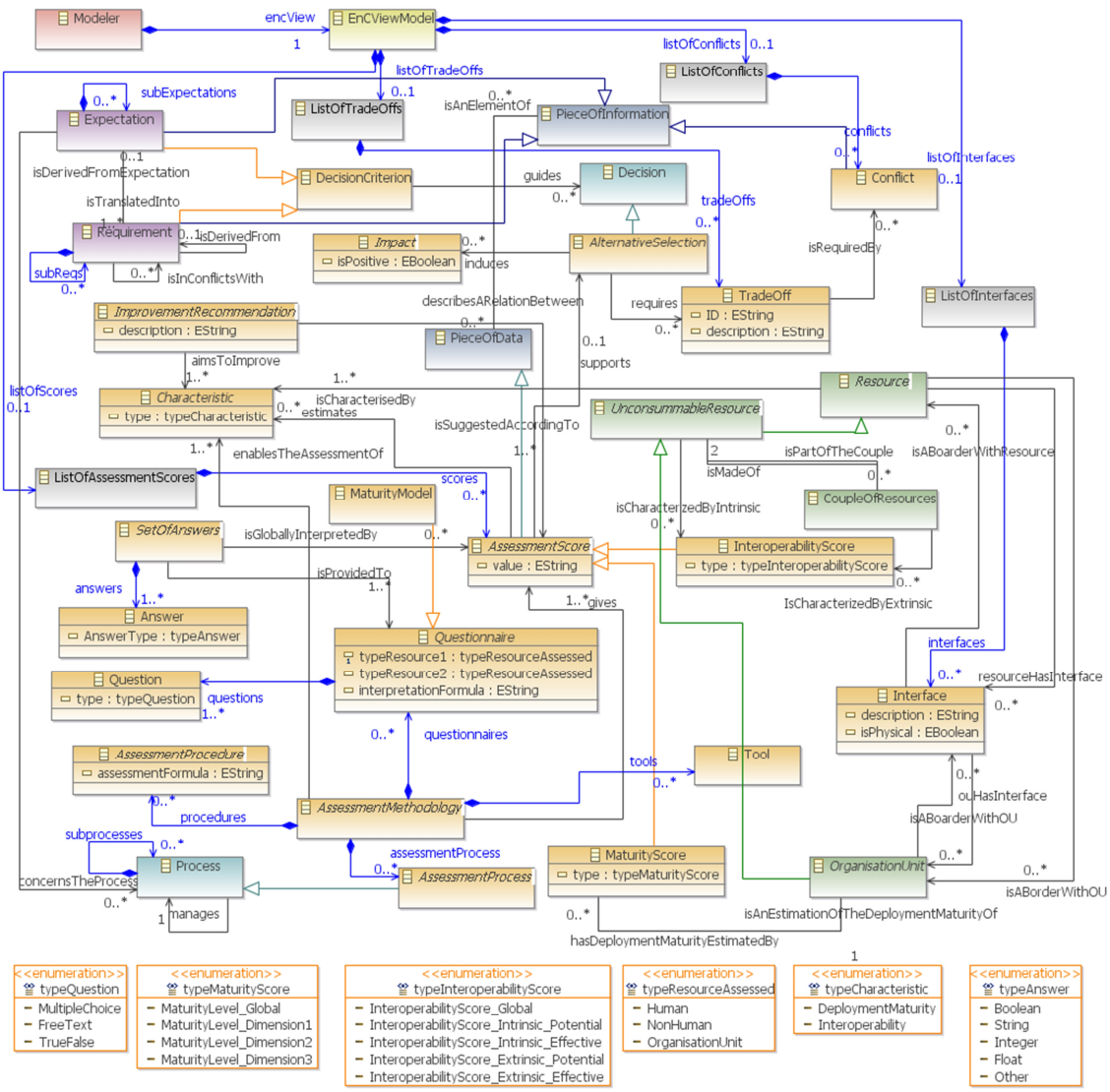


FIGURE 38 : META-MODELE DE LA VUE "EVALUATION ET COMPARAISON"

Éléments ayant une réalité pratique pour le déploiement

Nous pouvons désormais présenter les éléments du langage appartenant à la vue Évaluation et Comparaison et ayant une **réalité** pratique pour le déploiement. Nous les définissons comme suit.

AlternativeSelection [EClass] : Sélection d'une alternative

Activité* consistant à choisir une solution par rapport à un certain nombre d'alternatives.

Answer [EClass] : Réponse

Paroles, écrits, gestes symboliques ou mimiques adressés en retour à ce qui est écrit, dit ou demandé [123].

AssessmentMethodology [EClass] : Méthodologie d'évaluation

Méthodologie* permettant l'évaluation d'une caractéristique*.

AssessmentProcedure [EClass] : Procédure d'évaluation

Procédure* permettant l'évaluation d'une caractéristique*.

AssessmentProcess [EClass] : Processus d'évaluation

Processus* permettant l'évaluation d'une caractéristique*.

AssessmentScore [EClass] : Score d'évaluation

Score* obtenu suite à l'évaluation d'une caractéristique*.

Characteristic [EClass] : Caractéristique

Ce qui constitue le caractère distinctif, le trait dominant de quelque chose, de quelqu'un [127].

Conflict [EClass] : Conflit

Antagonisme entre des forces contraires [128].

Decision [EClass] : Décision

Action de décider ou de se décider ; résultat de cette action. Décider : arrêter ce que l'on veut ou doit faire (Adapté de [128]).

DecisionCriterion [EClass] : Critère de décision

Caractère, principe, élément auquel on se réfère pour prendre une décision* (adaptée de [123]).

DeploymentMaturity (typeCharacteristic) [EEnum (eLiterals)] : Maturité pour le déploiement

Caractéristique* d'une unité d'organisation* décrivant son aptitude à supporter un effort de déploiement de processus*.

Impact [EClass] : Impact

Effet d'une décision* ou d'une activité* [123].

ImprovementRecommendation [EClass] : Recommandation d'amélioration

Action de recommander quelque chose; résultat de cette action. Par recommander nous entendons : conseiller quelque chose à quelqu'un; indiquer à quelqu'un que quelque chose présente de l'intérêt, possède des qualités [27]

Interface [EClass] : Interface

Une frontière à travers laquelle deux systèmes** indépendants se rencontrent, agissent ou communiquent ensemble [http://www.webopedia.com/TERM/I/interface.html].

Interoperability (typeCharacteristic) [EEnum (eLiterals)] : Interopérabilité

Capacité des entreprises* et des entités** au sein de ces entreprises à communiquer et interagir efficacement [6]

InteroperabilityScore [EClass] : Score d'Interopérabilité

Estimation de l'interopérabilité* d'une ressource* ou d'un couple de ressources* réalisée avec la méthodologie d'évaluation de l'interopérabilité*.

InteroperabilityScore_Extrinsic_Effective (typeInteroperabilityScore) [EEnum (eLiterals)] : Score d'Interopérabilité Extrinsèque Effective

Score* estimant les performances réelles du couple de ressources* à interopérer* efficacement ensemble. Lors d'une évaluation, les partenaires se connaissent et interagissent.

InteroperabilityScore_Extrinsic_Potential (typeInteroperabilityScore) [EEnum (eLiterals)] : Score d'Interopérabilité Intrinsèque Potentielle

Score* estimant la capacité future d'une ressource* à interopérer* efficacement avec n'importe quel partenaire. Lors d'une évaluation, le partenaire n'est pas connu.

InteroperabilityScore_Global (typeInteroperabilityScore) [EEnum (eLiterals)] : Score d'Interopérabilité Global

Score* estimant la capacité future du couple de ressources* à interopérer efficacement ensemble. Lors d'une évaluation, les partenaires se connaissent mais le partenariat n'a pas encore commencé.

InteroperabilityScore_Intrinsic_Effective (typeInteroperabilityScore) [EEnum (eLiterals)] : Score d'Interopérabilité Intrinsèque Effective

Score* estimant les performances réelles observées d'une ressource* dans le cadre de ses partenariats actuels et passés. Lors d'une évaluation, bien que son ou ses partenaires soient connus, seules les performances de la ressource* considérée sont évaluées.

InteroperabilityScore_Intrinsic_Potential (typeInteroperabilityScore) [EEnum (eLiterals)] : Interopérabilité Extrinsèque Potentielle

Score* donnant une estimation de l'interopérabilité* globalement.

MaturityModel [EClass] : Modèle de maturité

Un ensemble cohérent de bonnes pratiques des processus* d'un métier, une échelle de progression dans la maîtrise de ces bonnes pratiques, et un modèle* d'évaluation permettant de se positionner sur cette échelle [4].

MaturityScore [EClass] : Niveau de maturité

Score* obtenu suite à l'évaluation de la maturité. Est relatif à une échelle.

Question [EClass] : Question

Demande faite pour obtenir une information*, vérifier des connaissances* [127]

Questionnaire [EClass] : Questionnaire

Série de questions* écrites ou orales auxquelles on est soumis et/ou auxquelles on doit répondre; document* manuscrit ou imprimé sur lequel figure la liste des questions* posées [TLFi 2012].

TradeOff [EClass] : Compromis

Décisions* portant sur des éléments en conflit* (exigences* contradictoires, solutions alternatives) et résultant d'un processus d'analyse système [4].

Tool [EClass] : Outil

Instrument qui, lorsqu'il est appliqué à une méthode* particulière, peut améliorer l'efficacité de la tâche* [9].

Précisions pour clarifier les définitions précédemment présentées

De façon à expliciter les définitions précédentes, nous introduisons :

Activity [Non représenté] : Activité

Qualifie un niveau de décomposition d'un processus* en sous-processus*. Fréquemment, elle caractérise le premier niveau de décomposition.

Method [Non représenté] : Méthode

Manières d'agir, ensembles de procédures* structurées qui s'appuient sur un modèle conceptuel [58]

Methodology [Non représenté] : Méthodologie

Un ensemble de processus*, des méthodes* et des outils* connexes [9].

Interoperability Assessment Methodology [Non représenté] : Méthodologie d'évaluation de l'interopérabilité

Cadre d'évaluation de l'interopérabilité* comprenant un processus d'évaluation*, des méthodes* et des outils* pour l'évaluation.

InteroperabilityBarrier [Non représenté] : Barrière à l'Intéropérabilité
Incompatibilités et inadéquations qui entravent le partage et l'échange d'informations* et d'autres entités**. Trois types d'obstacles doivent être décrits : conceptuels, technologiques et organisationnels [6]

Procedure [Non représenté] : Procédure
Ensemble de consignes à appliquer pour effectuer un travail ou atteindre un objectif* [123].

Précisions de certains attributs de classe
Nous précisons les types suivants :

typeAnswer [EEnum] : type de réponse
Valeurs possibles de l'attribut : "Boolean" (booléen); "String" (chaine de caractères); "Integer" (entier); "Float" (flottant) ; "Other" (autre).

typeCharacteristic [EEnum] : type de caractéristique
Valeurs possibles de l'attribut : "DeploymentMaturity"*; "Interoperability"*.

typeInteroperabilityScore [EEnum] : type de score d'intéropérabilité
Valeurs possibles de l'attribut : "InteroperabilityScore_Extrinsic_Effective"*; "InteroperabilityScore_Extrinsic_Potential"*; "InteroperabilityScore_Global"*; "InteroperabilityScore_Intrinsic_Effective"*; "InteroperabilityScore_Intrinsic_Potential"*.

typeMaturityScore [EEnum] : type de niveau de maturité
Valeurs possibles de l'attribut : "MaturityLevel_Global"; "MaturityLevel_Dimension1"; "MaturityLevel_Dimension2"; "MaturityLevel_Dimension3".

typeQuestion [EEnum] : type de question
Valeurs possibles de l'attribut : "MultipleChoice" (Choix multiples); "FreeText" (Texte libre); "TrueFalse" (Vrai/Faux).

typeResourceAssessed [EEnum] : type de ressource évaluée
Valeurs possibles de l'attribut : "Human"* (humaine); "NonHuman"* (non humaine) ; "OrganisationUnit"* (unité d'organisation).

3.3.8. SYNTHESE

Pour vérifier la syntaxe abstraite proposée, nous l'avons implémentée dans un modeleur réalisé avec Eclipse EMF pour pouvoir la tester sur un cas d'utilisation. Nous avons pu ainsi nous assurer que les relations et leurs cardinalités définies dans le méta-modèle étaient correctes et que le langage était utilisable en l'état. Cette implémentation a permis d'affiner le méta-modèle "théorique" initial pour arriver à celui qui est proposé aujourd'hui dans cette section. Il a notamment été structuré de façon à ce que chaque concept relève d'une seule vue de façon à éviter des conflits ou des chevauchements entre les vues.

Un effort a été réalisé dans ce qui précède pour harmoniser les concepts provenant de l'IS et de la ME. Bien que seules les définitions françaises soient indiquées ici, la sémantique est définie de façon bilingue pour favoriser la compréhension de ses utilisateurs.

L'utilité du langage de modélisation, seulement défini par sa syntaxe abstraite et sa sémantique, reste limitée, sans la possibilité de représenter ses éléments. La section suivante présente donc la syntaxe concrète que nous proposons.

3.4. SYNTAXE CONCRETE

3.4.1. SYNTAXE CONCRETE DE LA VUE PROCESSUS

Pour fournir une syntaxe concrète à la syntaxe abstraite de la vue Processus, notre choix s'est naturellement orienté vers un langage de modélisation de processus. Business Process Model and Notation (BPMN) version 2.0 [21] est une solution intéressante pour modéliser les éléments de la vue Processus[21]. En effet, non seulement il s'agit d'un langage standard utilisé internationalement mais en plus, il présente l'avantage industriel certain de permettre l'exécution de modèles de processus, notamment grâce à l'apport du Business Process Execution Language (BPEL) [129].

Cependant, BPMN 2.0 ne permet pas de représenter l'ensemble des composantes d'un modèle de processus telles que nous les avons définies (Figure 32). Pour la réalisation du modèle de base du processus, du modèle, de ses rôles et de ses ressources informationnelles, les diagrammes de collaboration proposés par BPMN 2.0 sont plutôt bien adaptés et présentent l'avantage d'être facilement compréhensibles, même par des personnes ne connaissant pas le langage. En revanche, pour les autres composantes de modèles, une solution alternative doit être trouvée (cf. Figure 39).

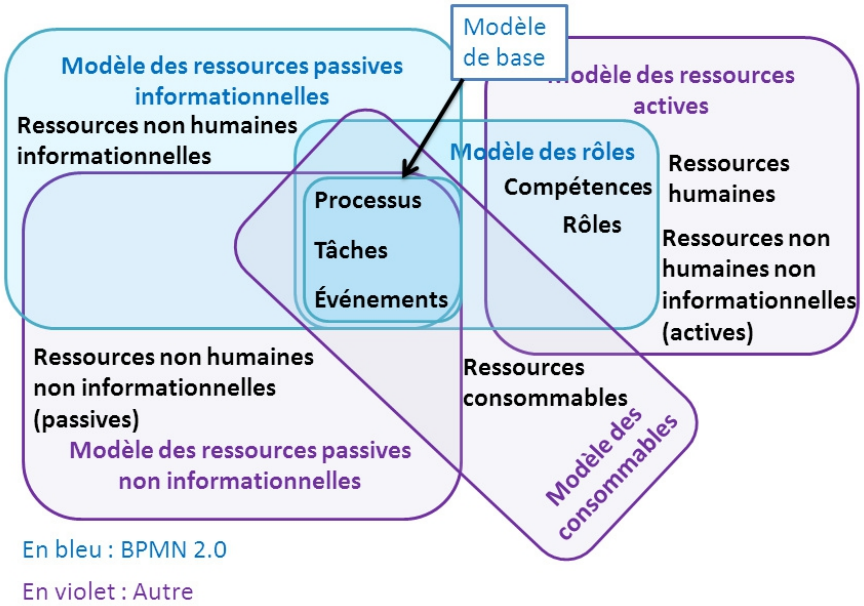


FIGURE 39 : COMPOSANTES DES MODELES DE PROCESSUS MODELISABLES AVEC BPMN 2.0

En effet, du fait qu'il n'a pas été conçu pour construire des modèles conceptuels mais pour la conception de systèmes d'informations, il souffre de quelques limitations sémantiques au regard du méta-modèle que nous avons défini :

- Modèle des rôles
  - Comment distinguer les *"PartnerRoles"* des *"PartnerEntities"* tous deux représentés par des *"Pools"* et des *"Lanes"* ? Ces deux notions sont proposées par

[21] Une synthèse des éléments de BPMN 2.0 est proposée en Annexe A.

BPMN 2.0 pour distinguer les rôles, des ressources. Cependant, le formalisme utilisé est le même.

- Modèle des ressources actives
    - Nous avons convenu qu'une ressource peut en inclure une autre. Cela témoigne de relations de contenance physique ou de hiérarchie lorsque nous parlons d'organisations. BPMN v2.0 permet certes une représentation de ces relations en utilisant des "pools" et des "lanes" imbriqués. L'usage n'est cependant pas pratique, dans le cas qui nous préoccupe. Dès lors, comment représenter les décompositions des processus d'une façon pratique et compréhensible facilement et immédiatement ?
    - Comment expliciter la notion d'allocation d'une ressource à un rôle ?
    - Comment indiquer, dans un diagramme de collaboration, que deux ressources doivent être impliquées pour réaliser un même processus ou une même tâche ? Il est vrai que des diagrammes de chorégraphie pourraient être utilisés mais ils présentent le défaut majeur d'être difficilement compréhensibles par quelqu'un qui ne connaît pas le langage de modélisation. Le risque de rejet de la modélisation est donc majeur dans une entreprise non mature.
- Modèle des consommables
    - Comment représenter les ressources consommables ?
- Modèle des ressources passives
    - Comment représenter les ressources non utilisables qui n'ont pas un rôle actif dans le processus, mais sont néanmoins utilisées ?
- Globalement
    - Comment prendre en compte les concepts et attributs supplémentaires que nous avons définis et non contenus dans BPMN 2.0 ? Par exemple, comment expliciter les rôles RACI des ressources ? les types de ressources ? etc.

Ainsi, nous avons dû avoir recours à deux types de syntaxes concrètes pour la vue Processus : d'une part celle de BPMN 2.0 et, d'autre part, une syntaxe concrète partagée par l'ensemble des autres vues, qui sera présentée dans le paragraphe suivant.

Pour utiliser BPMN 2.0 comme syntaxe concrète pour la réalisation du modèle de base du processus, du modèle de ses rôles et de ses ressources informationnelles, nous définissons des liens entre ses éléments et ceux du méta-modèle (cf. Tableau 4).

Langage de déploiement	BPMN 2.0
Modèle de rôles	Collaboration Diagram
Modèle des ressources passives informationnelles	Collaboration Diagram
Processus	Process, SubProcess, Call Activity
Tâches	Task
Evènements	Event
Rôles	Pool / Lane

TABLEAU 4 : CORRESPONDANCE BPMN 2.0 / LANGAGE PROPOSE

De plus, pour parvenir à lever les difficultés identifiées, nous utilisons les conventions de modélisation :

- Un "pool" ou un "lane" ne sont utilisés que pour représenter des "PartnerRoles"
- Utilisation de "+" pour lier des participants dans un même *pool* ou *lane*.

3.4.2. SYNTAXE GRAPHIQUE DES AUTRES VUES

L'ensemble des concepts présentés dans ce langage sont utilisés au cours de la démarche de déploiement que nous proposons au chapitre suivant. Pour supporter et automatiser cette démarche, un moteur de workflow est utilisé.

Cette solution informatique propose un certain nombre d'interfaces de saisie à l'utilisateur et exécute des actions en fonction des données fournies et de la démarche de déploiement définie et implémentée dans le workflow. La Figure 40 fournit un exemple d'interface.

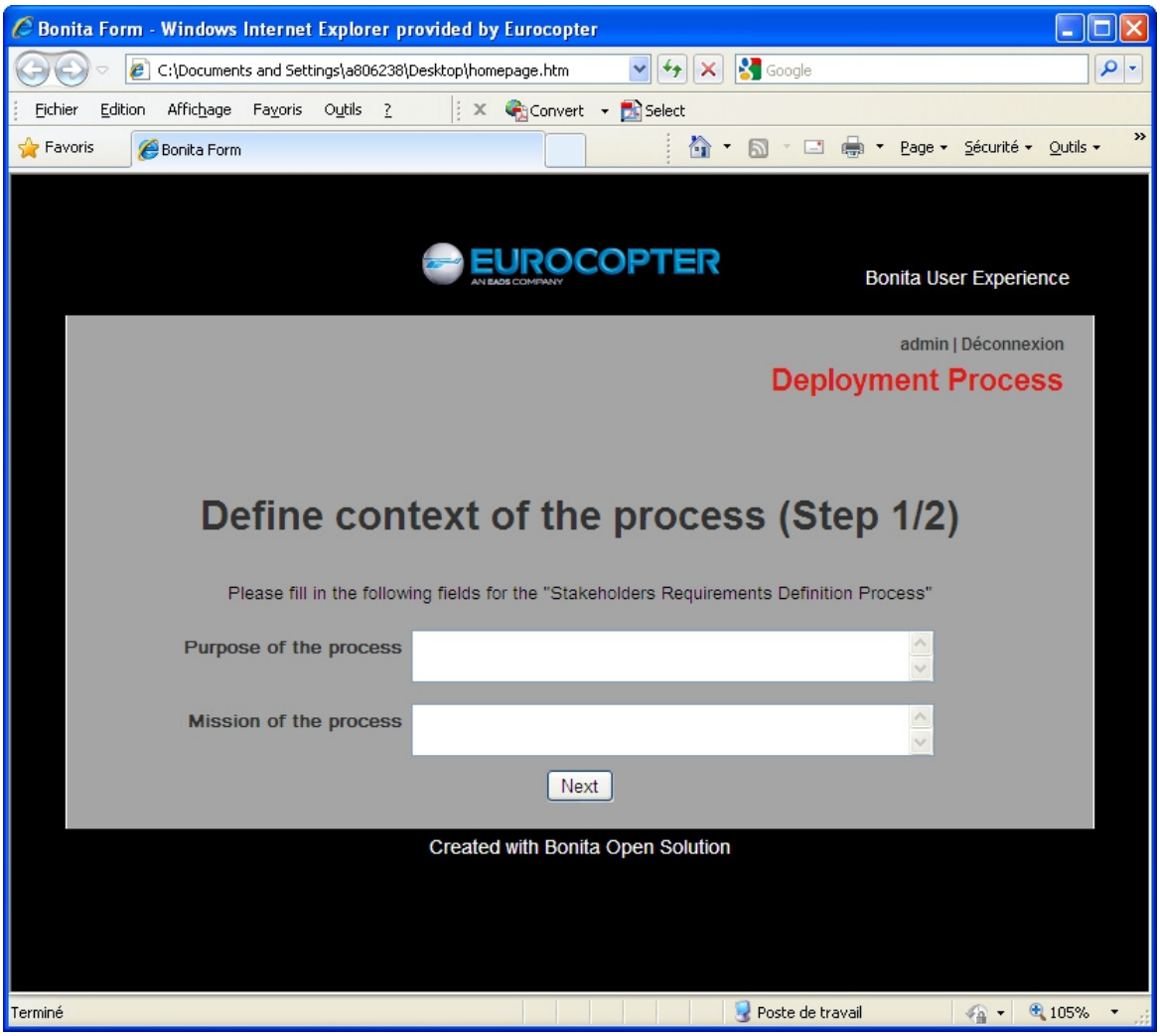


FIGURE 40 : EXEMPLE D'INTERFACE DU WORKFLOW IMPLEMENTE

Par conséquent, la syntaxe concrète du langage, autre que celle pour les modèles de processus, est celle fournie par le moteur de workflow.

3.5. CONCLUSION : DISCUSSION ET APPORTS DU LANGAGE

Ainsi, ce chapitre présente le langage de déploiement permettant de supporter l'effort de déploiement et favoriser la communication entre l'ensemble des parties prenantes. Tel qu'indiqué dans le Tableau 5, ce langage répond à l'ensemble des besoins formulés initialement.

Besoins	Réponses et perspectives
Le langage respecte ou tout au moins est en accord avec les concepts définis dans les domaines de la Modélisation d'Entreprise (ME) et de l'Ingénierie Système (IS). Pour cela, il met en évidence les liens qu'ils entretiennent de façon à les utiliser sans ambiguïté et de façon complémentaire.	Le langage proposé a été construit en s'appuyant sur des vues types de l'IS et de la ME.
Le langage est défini de façon non ambigüe mais aussi de façon suffisamment pédagogique pour être compréhensible (dans l'idéal sans formation) par ses utilisateurs quelles que soient leurs cultures.	La syntaxe abstraite est définie sous la forme d'un méta-modèle en Anglais pour pouvoir être compris par le plus grand nombre. Il est par ailleurs entièrement traduit en Français. La sémantique est décrite en langage naturel en Français et en Anglais pour faciliter l'utilisation du langage. Néanmoins, nous avons conscience que la description formelle de la sémantique permettrait une vérification sémantique des modèles produits. Cela constitue une perspective de nos travaux.
Le langage intègre, en le précisant, le langage implicite actuellement utilisé dans l'entreprise encore relativement peu formalisé, pour identifier et désamorcer les possibles sources de conflits sémantiques entre acteurs internes.	Le langage s'appuie sur des éléments du langage de l'entreprise, notamment en ce qui concerne la structure de l'entreprise (unité d'organisation, département, etc.).
Le langage est supporté par des syntaxes abstraites et concrète formalisables au moyen d'un format informatique autorisant et facilitant le développement d'un atelier de modélisation.	Le langage et sa documentation sont dans des formats électroniques et ont été outillés. Le méta-modèle est au format Ecore (XMI) qui, comme le XML, est un format très interopérable. Il permet la construction de modeleurs EMF ou GMF nativement conformes au méta-modèle et permet ainsi la vérification structurelle des modèles produits. La définition de la sémantique est faite dans le méta-modèle en tant qu'annotation (donc au format XMI) et dans un fichier Microsoft Excel permettant de rechercher plus facilement des informations et de pouvoir avoir des synthèses sur les composantes des différentes vues.
Le langage est défini dans un format facilitant sa migration potentielle en cas d'obsolescence et pour permettre sa réutilisation dans le cadre d'autres applications de l'entreprise.	
Le langage peut être enrichi et/ou adapté par la suite au fil de son application dans l'entreprise ou même dans d'autres entreprises.	Le langage de déploiement proposé est testé sur un cas d'application pour vérifier, autant que faire se peut, que tous les concepts nécessaires sont présents. Néanmoins, des modifications du méta-modèle peuvent être réalisées du moment que celles-ci sont répercutées dans la définition de la sémantique. La syntaxe concrète ne posant pas de réel problème si ce n'est la modification des modeleurs.

TABLEAU 5 : POSITIONNEMENT DU LANGAGE PROPOSE PAR RAPPORT AUX BESOINS FORMULES INITIALEMENT

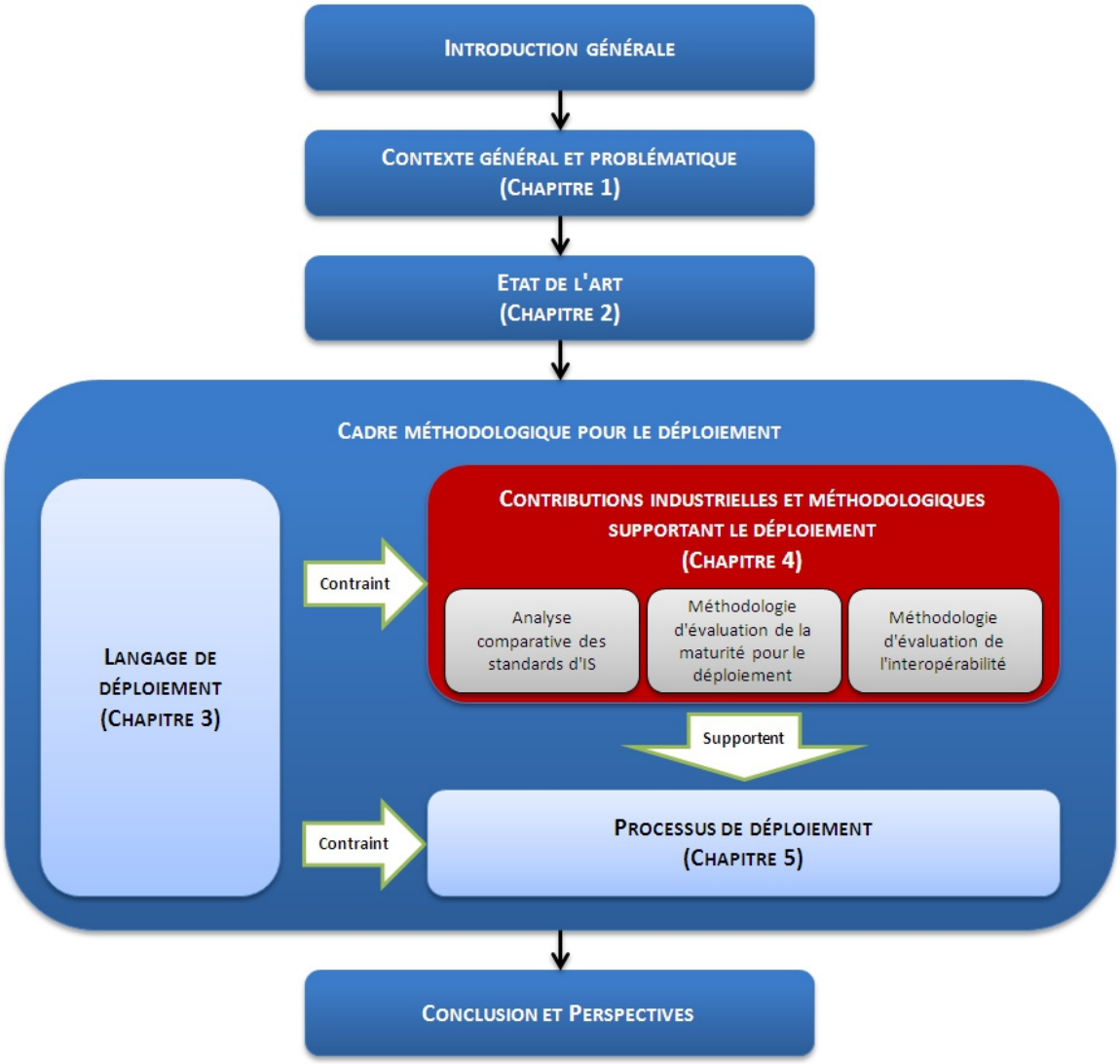
La force de ce langage est tout d'abord de reposer et d'intégrer des concepts de la ME et de l'IS, tout en l'enrichissant avec des concepts provenant d'autres domaines. Ensuite, une autre force que nous voyons, est son caractère bilingue. Nous espérons ainsi pouvoir réduire les problèmes de compréhension, que ce soit au sein de l'équipe de déploiement ou dans le cadre de l'exécution des processus déployés. De plus, le fait de disposer d'un langage formalisé sous la forme d'un méta-modèle offre la possibilité de pouvoir le traduire de façon automatique sous forme d'ontologie. Cela ouvre la perspective de pouvoir réaliser des vérifications sémantiques avancées et de pouvoir détecter les concepts du méta-modèle dans des documents. Enfin, une attention particulière a été apportée de façon à ce que chacune des trois composantes de ce langage (syntaxe abstraite, concrète et sémantique) soit supportée par un outillage informatique favorisant sa mise en œuvre.

Toutefois, bien que le langage proposé réponde aux besoins formulés initialement, nous sommes néanmoins conscients des limitations qu'il présente. Il doit être enrichi à l'aide de contraintes empêchant le modélisateur de commettre des erreurs[22]. De plus, bien que nous ayons délibérément fait le choix de décrire sa sémantique en langage naturel pour favoriser sa compréhension par le plus grand nombre, nous sommes conscients que, de fait, nous nous privons des bénéfices de la vérification formelle. La traduction de la sémantique sous forme formelle est une des perspectives de ces travaux.

Le chapitre suivant décrit des contributions préliminaires nécessaires à l'exécution du processus de déploiement que nous proposons au chapitre 5. Il sera donc l'occasion de montrer la mise en pratique de ce langage et, ainsi, contribuer à sa vérification et à sa validation.

[22] Comme des contraintes OCL.

Chapitre 4 – Contributions industrielles et méthodologiques préliminaires supportant le déploiement



4.1. INTRODUCTION

Nous avons présenté au chapitre précédent le langage permettant de supporter le déploiement de processus, adapté alors au déploiement de processus d'Ingénierie Système (IS) chez Eurocopter. Ce chapitre détaille trois contributions que nous qualifions de préparatoires ou de préliminaires, nécessaires pour mener concrètement ce déploiement en s'appuyant sur ce langage dédié.

En effet, avant même d'expliciter le processus de déploiement présenté et illustré au chapitre suivant, il est nécessaire de pouvoir disposer :

- d'une **analyse comparative des référentiels généraux de l'IS**. Elle a pour vocation d'aider l'entreprise à choisir le ou les processus et la ou les bonnes pratiques à introduire dans son bureau d'études.
- d'une **méthodologie permettant d'évaluer la maturité de l'entreprise pour faire face au déploiement, c'est-à-dire le degré de préparation, de reconnaissance et plus globalement l'aptitude même de l'organisation face aux changements que prône l'IS.** Elle permet donc d'aider à décider du déploiement ou, à l'inverse, de pouvoir argumenter son retardement afin de satisfaire des conditions préalables indispensables.
- d'une **méthodologie d'évaluation de l'interopérabilité des ressources.** Elle s'avère essentielle pour prendre en compte l'interopérabilité lors de l'allocation de ces dernières aux différentes activités qui constituent les processus à déployer.

Le processus de déploiement à proprement parler, consistera donc à organiser puis à orchestrer l'ensemble de ces éléments méthodologiques, en fonction des activités pragmatiques à mener. Il sera présenté au chapitre 5.

4.2. ANALYSE COMPARATIVE DES STANDARDS GENERAUX D'INGENIERIE SYSTEME

4.2.1. INTRODUCTION

Lors de l'état de l'art réalisé au chapitre 2, il est apparu nécessaire pour une entreprise déployant de nouveaux processus d'Ingénierie Système (IS) de disposer d'une étude comparative des référentiels de bonnes pratiques. Il est, en effet, nécessaire de connaître les documents pouvant être utilisés pour le déploiement dans le cas particulier de l'entreprise. Ensuite, de façon à définir celui ou ceux qu'elle utilisera, l'entreprise doit également être en mesure de rapidement appréhender et comprendre leur contenu, leur recouvrement ou leur complémentarité, ainsi que les forces et les faiblesses qui les caractérisent au regard des objectifs et de la stratégie de l'entreprise.

À notre connaissance, il semble qu'aucune étude récente de ce genre n'est disponible. Nous en avons donc réalisé une, présentée dans cette section. Elle concerne les référentiels traitant de l'IS dans sa globalité et applicables dans le monde de l'aéronautique. Nous sommes bien entendu conscients de la possible et rapide obsolescence qui pourrait caractériser d'ici peu les résultats de cette étude. Nous pensons toutefois que ces résultats sont tangibles, évolueront sans doute

peu et peuvent néanmoins être applicables à une autre entreprise même d'un secteur d'activité différent.

4.2.2. DEMARCHE ET PARAMETRES D'ANALYSE

Pour mener cette analyse, nous avons adopté la démarche illustrée Figure 41.

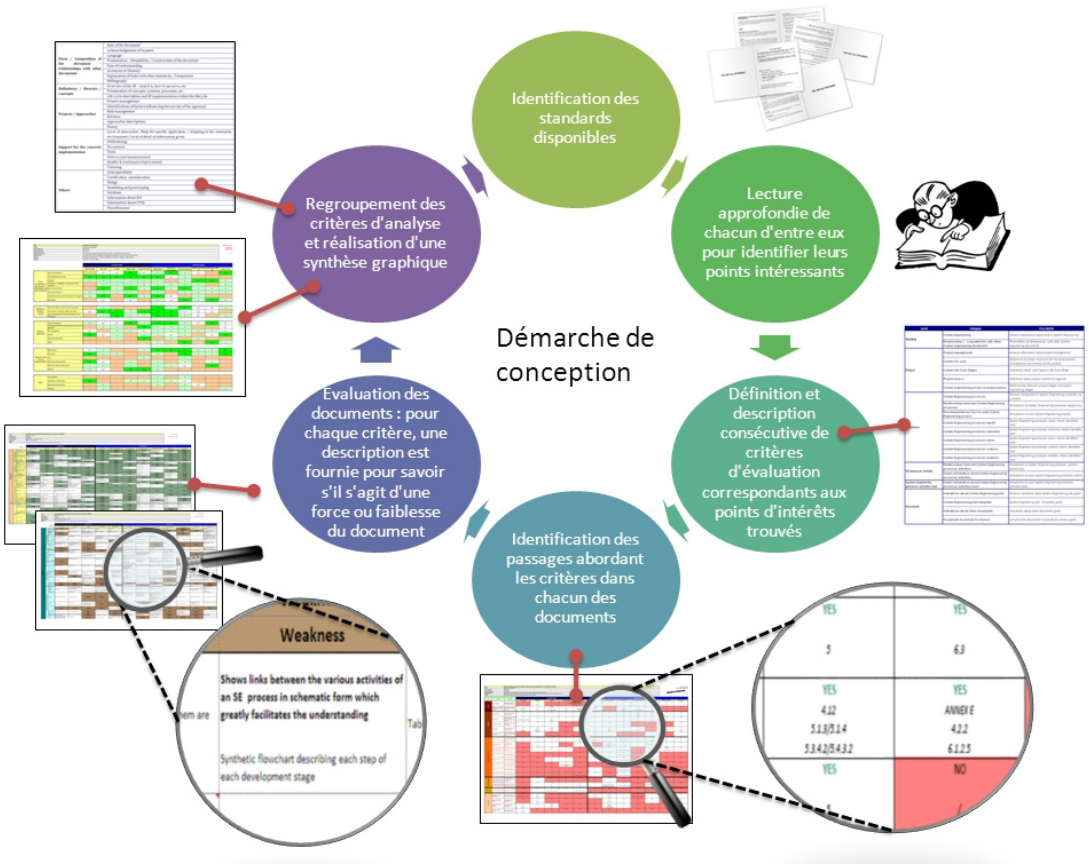


FIGURE 41 : DEMARCHE ADOPTEE POUR L'ANALYSE DES STANDARDS D'INGENIERIE SYSTEME

Nous avons commencé par **identifier les standards disponibles**. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur l'étude de [130], qui fournit une synthèse de documents de référence en IS. Elle s'avère cependant obsolète aujourd'hui, du fait de l'évolution des standards vers de nouvelles versions plus abouties, ou de l'apparition de nouveaux référentiels. Nous avons donc enrichi le jeu de documents étudiés, avec ceux produits depuis cette analyse, ceux disponibles dans le domaine de l'aéronautique et ceux réalisés pour des domaines connexes pertinents comme l'aérospatiale ou le transport. Ceux-ci partagent en effet des problématiques communes à l'aéronautique comme, par exemple, la prise en compte des liens existants entre les activités de certification et les processus d'Ingénierie Système.

Les référentiels retenus pour l'analyse ont donc été les suivants : [3], [4], [8], [20], [60–67], [70], [122]. Nous pouvons noter la présence de [70] qui est aujourd'hui un document déclaré comme obsolète. Bien que dépassé, nous l'avons pris en compte pour son caractère militaire. En effet, Eurocopter gère deux types de projets de conception, civils et militaires. Il nous semblait donc intéressant d'obtenir cet éclairage dans notre analyse, même si les bonnes pratiques qu'il recommande ne sont pas les plus à jour.

Puis, nous avons mené une **lecture approfondie** de chacun de ces documents pour identifier toutes leurs caractéristiques pertinentes pour le déploiement, tant du point de vue organisationnel et structurel de l'entreprise, que du point de vue des concepts et des processus liés à l'approche IS. Cela, nous a permis de définir en conséquence des **critères d'analyses**, complémentaires à ceux proposé par [130]. Pour chaque document, les **passages abordant les différents critères ont été identifiés**, puis l'évaluation a été menée pour déterminer si ceux-ci sont des forces ou des faiblesses du document. Enfin, afin de structurer et de faciliter la lecture des résultats, toutes les **caractéristiques ont été regroupées** pour constituer les critères de choix et de sélection présentés dans le Tableau 6, et une **synthèse des résultats** a été proposée (cf. section suivante).

Form / Composition of the document - relationships with other documents	Date of the document
	Acknowledgement of its peers
	Language
	Presentation /Readability/Construction of the document
	Ease of understanding
	Acronyms & Glossary
	Explanation of links with other standards/Comparison
	Bibliography
Definitions / theories / concepts	Overview of the SE : what it is, how it can serve, etc.
	Presentation of concepts: systems, processes, etc.
	Life cycle description and SE implementation within the lifecycle
Projects / Approaches	Project management
	Identifications of factors influencing the success of the approach
	Risk management
	Reviews
	Approaches descriptions
	Money
Support for the concrete implementation	Level of abstraction/Help for specific application/Adapting to the enterprise environment/Level of detail of information given
	Methodology
	Documents
	Tools
	Metrics (and measurement)
	Quality & continuous improvement
	Tailoring
Others	Interoperability
	Certification consideration
	Design
	Modelling and prototyping
	Database
	Information about RM
	Information about IVVQ
	Miscellaneous

TABLEAU 6 : CRITERES DE COMPARAISON DES REFERENTIELS D'INGENIERIE SYSTEME

Ces critères sont rédigés en Anglais, là encore pour favoriser la réutilisabilité.

4.2.3. SYNTHESE DES RESULTATS

La synthèse des résultats de l'analyse est fournie Tableau 7. Les conventions suivantes ont été adoptées : un "-" signifie que le document étudié présente une faiblesse considérant le critère en question ; un " +/-" que le document étudié ne présente ni force ni faiblesse par rapport à ce critère ; un "+" que le document possède des aspects intéressants considérant le critère étudié, et un "++" que le document apporte réellement des informations sur la caractéristique étudiée.

4.2.4. RECOMMANDATIONS

L'analyse menée indique de fait qu'aucun document ne peut réellement être utilisé seul. Néanmoins, cette étude contribue à aider l'entreprise à contourner cette difficulté, en lui permettant, en fonction de ses besoins et de sa stratégie, de choisir de façon éclairée le référentiel de base qu'elle utilisera dans sa démarche et ceux avec lesquels elle le complètera.

La recommandation que nous faisons à Eurocopter est d'utiliser comme référentiel de base, la norme ISO 15288 :2008 [20] pour plusieurs raisons :

- Elle est produite par un organisme connu. Son contenu peut donc être considéré comme fiable, et son origine peut rassurer les partenaires sur le sérieux de la démarche.
- Il s'agit d'une norme qui peut donc conduire à une certification. Là encore, cela peut contribuer à rassurer les partenaires de l'entreprise et peut aussi permettre de les sélectionner.
- L'INCOSE, organisme de référence en IS, l'a choisi comme référence et a aligné son guide de bonnes pratiques [3] sur ses processus. Cela nous laisse penser que les nouveaux standards à venir suivront cette voix, surtout considérant l'effort d'alignement actuellement en cours [131]. Par conséquent, la mise à jour des processus déployés n'en sera que simplifiée.
- D'autres standards ont été pensés pour la compléter : [3] comme nous venons le voir mais également [62].

Ce référentiel peut également être complété par d'autres standards, spécifiques au processus à déployer, comme par exemple [132] et [133] pour les processus de définition et de gestion des exigences. Dans ce cas, l'entreprise devra mener une analyse complémentaire en fonction du processus concerné.

4.2.5. CONCLUSION

Cette synthèse des forces et faiblesses des référentiels d'IS pouvant être utilisés pour le déploiement est bien une donnée d'entrée nécessaire et pertinente. Il faut cependant se demander, ayant effectivement une liste de référentiels à respecter, quel est l'état actuel d'autonomie, de savoirs et de savoir-faire, voire d'intentions de l'entreprise et de ses parties prenantes, au regard du domaine de l'IS et de ces standards en particulier. La section suivante identifie et fournit un moyen pour évaluer les conditions minimales pour s'assurer du succès d'un déploiement.

TABLEAU 7 : SYNTHESE DES FORCES ET FAIBLESSES DES REFERENTIELS D'INGENIERIE SYSTEME

		Prescriptive models					*Constructive models*					
		MIL-STD-499B	IEEE 1220	EIA 632	ISO/IEC 15288	ISO-IEC TR 19760	INCOSE Sebok	Découvrir et comprendre l'IS	NASA SE Handbook	BNAE RG.Aéro 00077	BNAE RG.Aéro 00040	ECSS-E-ST-10C
Form / Composition of the document - relationships with other documents	Date of the document	-	+/-	+/-	++	+/-	+	++	+	+/-	-	++
	Acknoledgement of its peers	++	++	++	++	++	++	+/-	+	-	-	-
	Language	+	+	+	+	+	+	-	+	++	++	+
	Presentation / Readability / Construction of the document	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
	Ease of understanding	-	++	+	++	+	++	+	++	+	+	+
	Acronyms & Glossary	+	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+
	Explanation of links with other standards / Comparison	+	++	-	++	+	++	+/-	-	+	-	-
	Bibliography	-	+/-	-	+/-	-	+	+/-	++	+	++	+
Definitions / theories / concepts	Overview of the SE : what it is, how it can serve ...	-	+	-	-	-	++	+	++	+/-	+/-	+
	Presentation of concepts: systems, processes, ...	+/-	++	++	+	++	++	++	+/-	+/-	+/-	-
	Life cycle description and SE implementation within the lifecycle	-	+	++	+	+	++	++	+	+/-	-	+
Projects / Approaches	Project management	+	+/-	+/-	++	+	++	++	+	+/-	++	+/-
	Identifications of factors influencing the success of the approach	-	+	+	-	++	+	+	+	-	-	+/-
	Risk management	+/-	-	+	+	+/-	+	+	+	+	+	+/-
	Reviews	++	+/-	+	-	+	+	+/-	+	-	+/-	++
	Approches descriptions	-	-	+	-	++	-	+	-	+	-	-
	Money	-	-	-	-	-	+	-	++	-	++	+
Support for the concrete implementation	Methodology	+/-	+	-	-	+	++	++	++	+	+	++
	Documents	++	+	+	-	-	+	-	++	+	+	++
	Tools	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-
	Metrics (and measurement)	++	+/-	-	+	-	+	-	+	-	+/-	-
	Quality & continous improvement	+	+	-	+	-	+	+	+/-	-	++	-
	Tailoring	+	+/-	-	++	++	+	-	-	-	-	-
Others	Interoperability	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-
	Certification consideration	++	-	-	+	+	+	+	+/-	-	-	-
	Modeling and prototyping	-	+	-	-	-	+	-	+	+/-	-	-
	Database	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+

4.3. METHODOLOGIE D'EVALUATION DE LA MATURITE D'UNE ORGANISATION FACE AU DEPLOIEMENT

4.3.1. INTRODUCTION

Il a été noté plusieurs fois dans les chapitres précédents, qu'une entreprise doit respecter un certain nombre de conditions minimales avant de décider de déployer des processus d'IS. Il peut s'agir de conditions financières, politiques, commerciales ou encore stratégiques qui ne seront pas abordées dans ce qui suit. Ici, seules les conditions qui font qu'une organisation est prête, qu'elle a la possibilité et l'envie, la motivation et un intérêt clair pour la démarche d'IS seront étudiées. En d'autres termes, il faut savoir si cette entreprise est suffisamment mature pour s'impliquer dans ce déploiement. En effet, pourquoi apprendre à dessiner à quelqu'un si il n'en voit pas l'intérêt ni la nécessité, si il n'y est pas préparé et surtout si il ne possède pas un minimum de savoirs et de savoirs faire lui permettant de tirer tout le bénéfice attendu de cet apprentissage ? Cette section présente comment a été conçue et validée la méthodologie d'évaluation de la maturité d'une organisation face à un déploiement.

4.3.2. CONCEPTION DE LA METHODOLOGIE

SPECIFICATION

De façon à respecter les principes de l'IS, nous avons commencé par identifier trois classes de parties prenantes et avons collecté leurs besoins pour une méthode d'évaluation de cette maturité :

- Les **utilisateurs finaux**. La solution proposée va être utilisée principalement par des **managers** et leurs **équipes,** qui ont besoin d'une solution leur permettant d'avoir une vue d'ensemble du degré de préparation pour le déploiement de leurs unités d'organisations. D'un côté, il est intéressant pour les managers d'identifier de façon synthétique les difficultés et leurs localisation. De l'autre, les membres de leurs équipes ont besoin d'avoir des détails sur ces difficultés afin d'être en mesure de les lever avant le déploiement. Enfin, la solution proposée se doit d'être directement et "facilement" applicable par Eurocopter, c'est-à-dire, fournie avec suffisamment de détails et d'explications pédagogiques pour ne pas être rejetée par ces utilisateurs finaux.

- La **direction d'Eurocopter, et plus globalement celle d'EADS**, qui, de par les stratégies qu'elles définissent, imposent des exigences sur la solution à concevoir. En effet, premièrement, elle doit, par exemple, prendre en compte l'Homme et ne pas se focaliser seulement sur les processus comme le font beaucoup de modèles de maturité. Deuxièmement, elle doit pouvoir être réutilisée par d'autres entités d'EADS. Troisièmement, elle doit être flexible pour ne pas empêcher de futures modifications/améliorations par Eurocopter ou une autre des entités d'EADS. Enfin, elle doit pouvoir être comprise par l'ensemble des membres du groupe et doit donc être rédigée en Anglais.

- La **thèse** elle-même et les **hypothèses de travail adoptées dans l'ensemble de ces travaux**. En effet, nous supposons que l'interopérabilité est un facteur clef du déploiement. L'évaluation de la maturité doit donc prendre en compte les difficultés d'interopérabilité comme un indicateur du degré de préparation de l'entreprise. Elle doit ainsi permettre d'identifier clairement les barrières d'interopérabilité concernées. De plus, considérant les travaux de [14],

la méthode d'évaluation doit aussi être en mesure de faire prendre conscience aux membres de l'entreprise de l'urgence d'un changement des pratiques de conception. Elle doit également, à terme, permettre de juger de l'efficacité du déploiement en observant l'évolution de la maturité de l'entreprise pour l'IS, avant et après le déploiement. Enfin, elle doit évidemment reposer et être cohérente avec le langage de déploiement proposé au chapitre précédent.

CONCEPTION

Afin de satisfaire ces besoins encore mal couverts, nous proposons un **modèle de maturité**. Il s'agit d'une matrice comprenant une dimension incluant les critères d'évaluation et une dimension présentant des niveaux de maturité allant du niveau 1 ("Initial") au niveau 5 ("Excellent"), qui est atteint par une organisation maîtrisant les concepts, prête et susceptible de s'engager dans un déploiement. Une de ses missions est de mettre en évidence des critères pour lesquels l'entreprise est en difficulté afin d'y remédier et ainsi passer à un niveau de maturité supérieur.

Cependant, d'aucun pourrait penser que cette solution serait redondante avec le populaire CMMI® [10]. Pour lever cette confusion, notons que le CMMI® cherche à aider les entreprises à évaluer les performances des processus en place et fournit des recommandations pour les améliorer. Le modèle de maturité que nous proposons, quant à lui, évalue la présence, au sein de l'entreprise, des capacités nécessaires pour le déploiement de processus d'IS. Ces deux modèles sont donc complémentaires.

Le développement de ce modèle de maturité s'accompagne nécessairement du développement en parallèle d'un processus et de procédures d'évaluation. De plus, il semble utile d'automatiser, autant que faire se peut, l'ensemble de l'évaluation pour simplifier le travail des personnes en charge de cette dernière. Par conséquent, **il est nécessaire de développer un processus, supporté par des procédures reposant sur un modèle conceptuel et assisté par un outillage. L'ensemble de ces éléments constitue donc la méthodologie[23] qui devra être développée** [9] (cf. Figure 42).

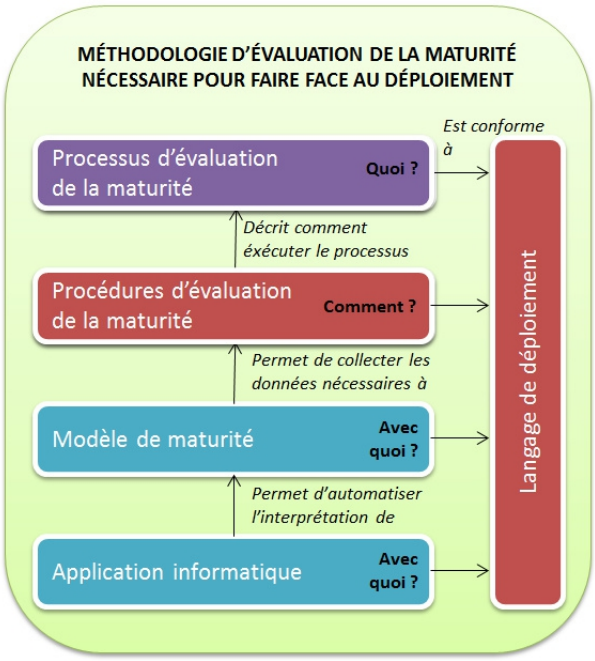


FIGURE 42 : COMPOSANTES DE LA METHODOLOGIE D'EVALUATION DE LA MATURITE NECESSAIRE POUR UN DEPLOIEMENT

[23] Nous rappelons que par méthodologie, nous entendons un ensemble de processus*, de méthodes* et d'outils* connexes

Pour **concevoir** cette méthodologie nous avons étudié :

- des modèles de maturité comme [134] ainsi que des exemples de modèles de maturité existants comme [10], [99], [105].
- les contributions applicables pour le déploiement et disponibles dans le cas de **l'Ingénierie Système** [3], [20], [122] pour savoir ce qui devrait être déployé, les compétences nécessaires [5], [86], [95], les méthodes de déploiement existantes [4], [28], [72], et l'impact du MBSE[24] [9].
- les contributions autour de **l'Ingénierie Système d'Entreprise**[25] [135], [136], de l'architecture d'entreprise [17], [19], [137] et de la modélisation d'entreprise [15]. Elles nous ont permis de collecter les méthodes et outils pertinents pour évaluer et améliorer les performances des entreprises.
- certains travaux sur la **gestion du changement en entreprise** [14], [73] pour faciliter les transformations nécessaires, en prenant, par exemple, mieux en compte les facteurs humains.
- les contributions autour de **l'interopérabilité** [6], [97], [99] pour connaître les problèmes et les moyens d'évaluer l'interopérabilité des entreprises et de leurs entités.

Sur la base de cette analyse bibliographique et suite au constat in situ des difficultés plus ou moins spécifiques ou classiques rencontrées dans notre entreprise, nous avons proposé une première version du modèle de maturité. Cette dernière a été soumise à un groupe d'experts et de managers au sein de l'entreprise pour validation sur un service. Suite aux corrections proposées, une nouvelle version a été proposée et validée. Elle est présentée dans la section suivante.

4.3.3. ELEMENTS CONSTITUTIFS DE LA METHODOLOGIE

MODELE DE MATURITE

Le Tableau 8 fournit les cinq niveaux de maturité proposés, accompagnés d'une phrase décrivant l'état d'esprit du personnel de l'unité d'organisation évaluée. Plus le niveau est élevé, plus facile sera le déploiement car le personnel de l'unité d'organisation évaluée (entreprise, département, etc.) sera plus apte à anticiper et comprendre les transformations nécessaires. Nous pensons que tant qu'un niveau de maturité égal à 3 n'est pas obtenu, l'entreprise ne devrait pas mener un déploiement de processus d'IS car le risque est trop élevé.

Maturity Level	Catch phrase	Max CMMI® level
1 INITIAL	"SE!? What is it?!?"	1
2 LOW	"SE? No use to deploy it, we have always applied its principles"	
3 NEUTRAL	"SE is great but we are not ready for it in our company"	2
4 GOOD	"SE: Why not?"	
5 EXCELLENT	"Let's fully apply SE principles!"	3

TABLEAU 8 : NIVEAUX DU MODELE DE MATURITE

[24] En Anglais : Model Based Systems Engineering
[25] En Anglais : Enterprise Systems Engineering

Ce tableau comprend également une référence aux niveaux CMMI®. Le but de cette dernière colonne, ajoutée suite à la demande interne des managers lors de la validation, est de fournir une idée du niveau CMMI® maximal qui pourrait être obtenu pour un niveau de maturité évalué avec le modèle de maturité proposé. Cette information est intéressante pour une entreprise impliquée dans une démarche d'amélioration utilisant le CMMI® comme l'est Eurocopter.

Ensuite, pour définir et organiser les critères d'évaluation constituant la seconde dimension du modèle de maturité (cf. Tableau 9), nous nous sommes appuyés sur le Cadre d'Ingénierie Système[26] proposé par la Nasa [138], auquel nous avons apporté quelques modifications pour être plus fidèles au vocabulaire utilisé au sein de l'entreprise (cf. Figure 43).

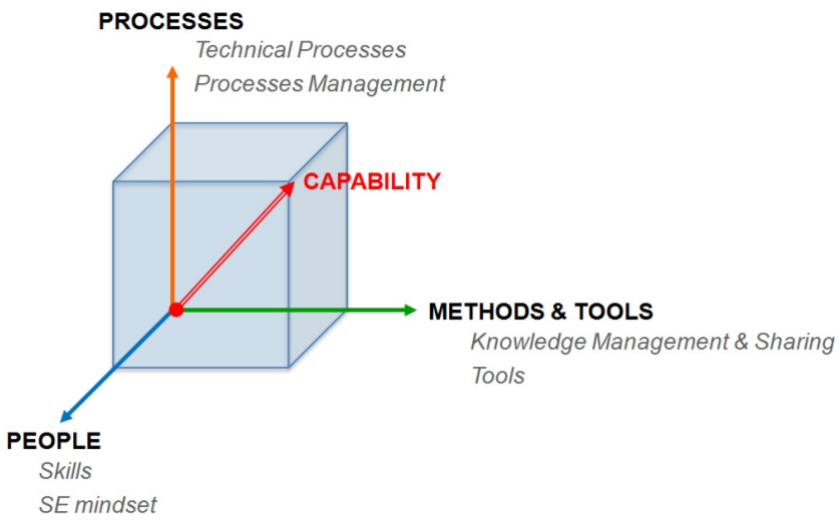


FIGURE 43 : DIMENSIONS DU MODELE DE MATURITE PROPOSE

De plus, afin de considérer l'interopérabilité, le Tableau 9 positionne en face de chaque critère d'évaluation, la ou les barrières d'interopérabilité qu'il concerne. En effet, nous avons identifié que des difficultés d'interopérabilité peuvent être associées à tous les critères d'évaluation du modèle de maturité, pouvant ainsi expliquer potentiellement un mauvais score obtenu à l'évaluation d'un critère. C'est pourquoi, pour aider l'entreprise dans la progression de sa maturité, le Tableau 9 explicite quelles barrières peuvent être à l'origine de la difficulté.

[26] En Anglais : NASA Systems Engineering framework

			Barriers		
PROCESSES	TECHNICAL PROCESSES	ENGINEERING PROCESSES			
		Consistency & standardisation of engineering activities	C	O	T
		Type of design		O	
		TECHNICAL MANAGEMENT PROCESSES			
		Consistency & standardisation of technical management activities	C	O	T
		Definition of interfaces, R&R, constraints of stakeholders all along design technical & management activities	C	O	
	PROCESSES MANAG.	Existence of a team responsible for the design office practices standardization & overall improvement		O	
		Design processes modelling	C	O	
PEOPLE	SKILLS	REQUIRED SKILLS			
		Engineering	C		
		Project management	C		
		Systems Engineering	C		
		Modelling	C		
		MANAGEMENT AND DEVELOPMENT OF SKILLS			
		Training	C	O	
		Validation of skills	C	O	
	SE MINDSET	Establishment of a "sense of urgency"		O	
		Establishment of a "powerful guiding coalition"		O	
		Visions of top management	C	O	
		Arbitration between project short-term vision and SE deployment long term vision		O	
		Involvement of managers in the SE deployment project		O	
METHODS & TOOLS	KNOWLEDGE MANAG. & SHARING	Capacity to exchange & share information within the entity	C	O	T
		Capitalization, formalization and sharing of knowledge about design engineering activities	C	O	
		Capitalization, formalization and sharing of knowledge about design technical management	C	O	
		Sharing of artefacts templates	C	O	
	TOOLS	Design tools standardization			T

TABLEAU 9 : CRITERES D'EVALUATION ET BARRIERES D'INTEROPERABILITE CONCERNEES

Le modèle de maturité final est présenté Tableau 10. Il est rédigé en Anglais pour pouvoir être diffusé et compris dans l'ensemble des entreprises du groupe EADS. De plus, dans les descriptions proposées, le mot "entité" désigne l'unité d'organisation évaluée.

Maturity Level	1 - INITIAL	2 - LOW	3 - NEUTRAL	4 - GOOD	5 - EXCELLENT
PROCESSES					
TECHNICAL PROCESSES					
ENGINEERING PROCESSES					
Consistency & standardisation of engineering activities	Projects specific heterogeneous design activities. No consistency or standardization within the project.	Projects specific heterogeneous design practices. Every project has its own practices independently from the others but within a project activities are standardized but not formalised.	Projects specific heterogeneous design practices. Every project has its own practices independently from the others but within a project activities are standardized and formalised.	Some initiatives to standardize design practices between some projects.	Standard design practices common to all projects.
Type of design	Document-based design managed with difficulties - The entity is not mature enough to apply the principles of MBSE and should focus on SE good practices.	Document-based design globally managed within the entity.	Document-based design managed. Initiatives to test the use of models on projects parts.	Mainly document-based design but some projects have adopted model-based design.	New projects are full model-based design.
TECHNICAL MANAGEMENT PROCESSES					
Consistency & standardisation of technical management activities	Projects specific heterogeneous design practices. Every project has its own practices independently from the others.	Heterogeneous - Project specific - A referential is chosen in order to start to standardise PM practices but is not fully respected.	Heterogeneous - Project specific A referential is chosen in order to start to standardise PM practices and is respected within projects.	Standard - Common basis for all projects A referential is chosen in order to start to standardise PM practices but is not fully respected by all projects.	Standard - Common basis for all projects A referential is chosen in order to standardise PM practices and is respected by all projects.
Definition of interfaces, R&R, & constraints of stakeholders all along design technical & management activities	Implicit or not shared definition of R&R/interfaces within organisational units constituting the entity.	Formal, shared and applied definition of R&R/interfaces within organisational units constituting the entity.	Implicit or not shared definition of R&R/interfaces between organisational units constituting the entity and involved in design activities.	Formal, shared and applied definition of R&R/interfaces between organisational units constituting the entity.	Standard definition of the known mandatory constraints affecting each organisational unit involved in the design so that all are aware and can deal with them.
PROCESSES MANAGEMENT					
Existence of a team responsible for the design office practices standardization & overall improvement	Missing - No team is responsible for standardizing the practices of the various projects within the entity.	Existing but undersized. Improvement solutions delivered but without providing their enablers, so they are not really used.	Existing but lacking the necessary skills. Improvement solutions delivered but without providing their enablers, so they are not really used.	Existing, properly sized and maintained during reorganizations. Improvement solutions delivered but without providing their enablers, so they are not really used.	Existing, fairly sized and maintained during reorganizations. Improvement complete solutions delivered.
Design processes modelling	No formal process. Modelling unused.	Defined processes but with a too high level of abstraction to be usable (Design office level). No standard formalism / semantics.	Processes and activities detailed and highly impacted by a change of organization. No standard formalism / semantics.	Processes and activities detailed and highly impacted by a change of organization. Shared formalism (prefer standard one) and semantics.	Detailed processes and activities designed to be easily adapted according to organisational changes.

Maturity Level	1 - INITIAL	2 - LOW	3 - NEUTRAL	4 - GOOD	5 - EXCELLENT
PEOPLE					
SKILLS					
REQUIRED SKILLS					
Engineering	Engineering is done in an unorganized and spontaneous way.	Engineering is done in an organized way but only with the methods and tools developed within the entity over the years.	Engineering is done in an organized way but latest methods and tools for engineering are not monitored or applied in a global way in the entity.	The entity knows the latest methods and tools for engineering but is not able to apply/use them.	The entity knows the latest methods and tools for engineering and is able to apply/use them.
Project management	Not known.	Generally unknown or misunderstood (and misapplied).	Generally known, but its full application could not be considered in the entity (lack of skills).	Its relevance is accepted and understood locally. It could be applied in a restricted perimeter.	Its relevance is accepted and understood in the whole entity. It could be fully applied in any part of the entity.
Systems Engineering	Not known.	Generally unknown or misunderstood (and misapplied).	Generally known, but its full application could not be considered in the entity (lack of skills).	Its relevance is accepted and understood locally. It could be applied in a restricted perimeter.	Its relevance is accepted and understood in the whole entity. It could be fully applied in any part of the entity.
Modelling	Modelling practices and benefits are not known.	Modelling principles generally unknown or misunderstood (and misapplied).	Modelling is generally known, but its application is not considered in the entity (lack of skills).	Its relevance is accepted and understood locally. It could be applied in a restricted perimeter.	Its relevance is accepted and understood in the whole entity. It could be fully applied in any part of the entity.
MANAGEMENT AND DEVELOPMENT OF SKILLS					
Training	No internal training.	Internal training available at team level but impacted people are not systematically trained.	Internal training available at department level but impacted people are not systematically trained.	Internal training available for the whole entity but concerned impacted are not systematically trained.	Internal training available for the whole entity and all impacted people are trained.
Validation of skills	Roles needed during the deployment and the execution of processes to deploy are not known.	Roles are identified and formalized; but required skills are not identified or formalised.	Roles required for SE application are defined, accepted and shared within the entity. The required skills are clearly identified.	Means for the validations of skills are defined and developed (if necessary).	The skills required for the application of the SE claimed by members of the entity (old or new hires) are evaluated.
SE MINDSET					
Establishment of a "sense of urgency" (see [26])	Not established.	Some warnings are raised about difficulty in design.	Evaluation of status of design activities is done.	Communication about the necessity to deploy SE.	"Sense of urgency" established and shared by all.
Establishment of a "powerful guiding coalition"	Not established.	Local team established but with not enough power to have impact.	Team established with middle managers. The team is more focused on reflexion than real action.	"Powerful guiding coalition" established. The team has enough power to be focused on action.	"Powerful guiding coalition" established and works as a team outside the normal hierarchy.
Visions of top management	Missing or inaccessible.	Clearly defined for product and partnership policies but not shared.	Clearly defined for product and partnership policies and shared.	Clearly defined for design strategy and SE, but not shared.	Clearly defined for design strategy and SE, and shared.
Arbitration between project short-term vision and SE deployment long term vision	No will to even consider to change project practices to introduce SE.	It is not possible to free up time to apply SE principles: the project constraints ("firefighting") prevail over SE deployment.	Beginning of mind changes: the short-term constraints of project management are not incompatible with SE deployment.	Projects managers understand that PM and SE have the same ultimate project goal and while being delivery-oriented, the PM will have to allocate time to the project members to apply SE principles.	Projects managers try to find out how to introduce SE in their projects in a pragmatic way.
Involvement of managers in the SE deployment project	Missing.	Low involvement.	Managers divided on SE: a substantial part is nevertheless convinced.	Most of managers are convinced of the relevancy of SE but a substantial part is also involved in actions of deployment preparation.	Managers are convinced of the relevancy of SE and are involved in actions of deployment preparation.

Maturity Level	1 - INITIAL	2 - LOW	3 - NEUTRAL	4 - GOOD	5 - EXCELLENT
METHODS & TOOLS					
KNOWLEDGE MANAGEMENT AND SHARING					
Capacity to exchange & share information within the entity	Isolated systems (No connection).	Connected systems (Electronic connection) - Separate data & applications.	Basic collaboration - Separate data and applications. Some shared data may exist but	Sophisticated collaboration - Shared data. "Separate" applications.	Advanced collaboration - Interactive manipulation - Shared data and
Capitalization, formalization and sharing of knowledge about design engineering activities	No capitalisation or formalisation of knowledge, know-hows, vocabulary and guidance within the entity.	Some initiatives to capitalize on entity's knowledge, know-hows and vocabulary about design engineering activities, but not disseminated. Guidance is available.	Some initiatives to capitalize on entity's knowledge, know-hows and vocabulary about design engineering activities and disseminated within the entity. However access to information is not known by all.	Entity's knowledge, know-hows and vocabulary about design engineering activities are capitalized and disseminated within the entity. Access to information is known by all involved. Help to find information is also provided.	Technical watch about design engineering activities and SE is done and is accessible for all people involved. It is analysed and influence the current way of designing product if relevant for the entity.
Capitalization, formalization and sharing of knowledge about design technical management	No capitalisation or formalisation of knowledge, know-hows, vocabulary and guidance within the entity.	Some initiatives to capitalize on entity's knowledge, know-hows and vocabulary about design technical management. However, no dissemination effort is performed. Guidance is available.	Some initiatives to capitalize on entity's knowledge, know-hows and vocabulary about design technical management. Dissemination effort is performed within the entity, but access to information is not known by all.	Entity's knowledge, know-hows and vocabulary about design technical management are capitalized and disseminated within the entity. Access to information is known by all. Help to find information is also provided.	Technical watch about design technical management is done and is accessible by all people concerned. It is analysed and influence the current way of designing product, if relevant for the entity.
Sharing of artefacts templates	No sharing.	Templates of artefacts used in some projects are shared on demand.	Templates of artefacts used in some projects are available for all within the entity. However artefacts to use are not standardised within the entity.	High level artefacts are standardised within the entity and their templates are shared within the entity.	Low level artefacts are standardised within the entity and their templates are shared within the entity.
TOOLS					
Design tools standardization	No tool management. "One tool by person" possible.	Standardisation of design tools by team.	Standardisation of design tools within each project but not between projects.	Standardisation of design tools between all projects.	Technical watch about design tools is done and is accessible for all people concerned. It is analysed and influences the selection of design tools used within the entity.

NB: SE = Systems Engineering, MBSE = Model Based Systems Engineering, R&R = Roles and responsibilities, PM = Project management.

TABLEAU 10 : MODELE DE MATURITE PROPOSE

PROCESSUS ET PROCEDURES D'EVALUATION

Pour mener l'évaluation de la maturité d'une unité d'organisation concernée a priori par le déploiement en tant que partie prenante, nous proposons de suivre le processus décrit Figure 44 et détaillé dans les procédures illustrées Figure 45 et Figure 46.

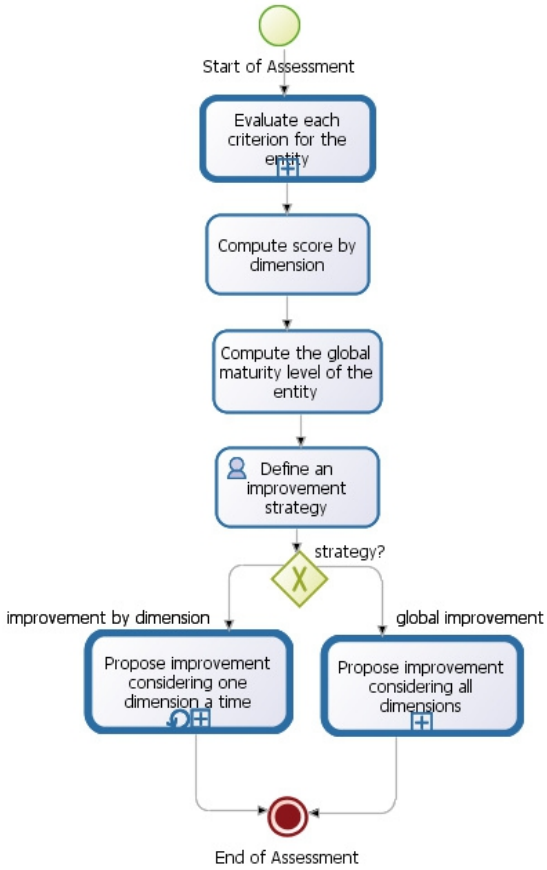


FIGURE 44 : PROCESSUS D'EVALUATION DE LA MATURITE D'UNE UNITE D'ORGANISATION

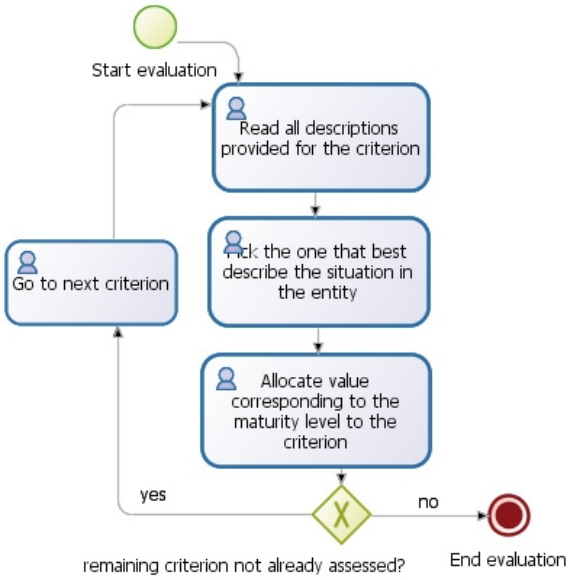


FIGURE 45 : SOUS-PROCESSUS "EVALUER DES CRITERES "

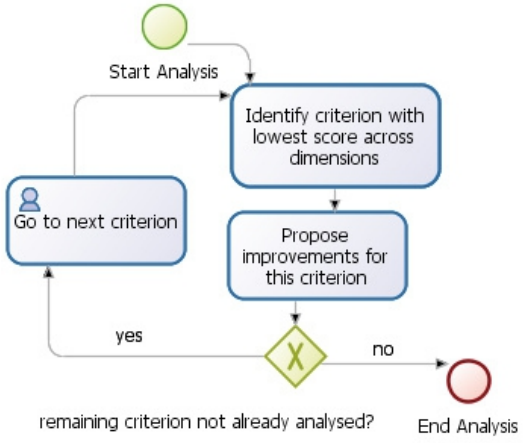


FIGURE 46 : SOUS-PROCESSUS "PROPOSER DES AMELIORATIONS"

Pour calculer le score $S_j\ (UO_a, e_k)$ d'une dimension j (Hommes/Processus/Méthodes & Outils) lors d'une évaluation e_k de l'unité d'organisation UO_a, nous utilisons la formule suivante :

$$S_j\ (UO_a, e_k) = \frac{1}{nc_j} \sum_{i}^{nc_j} s(c_{ji})$$

Avec :

- $nc_j = nombre\ de\ critères\ compris\ dans\ la\ dimension\ j$
- $s(c_{ji}) = score\ fournit\ pour\ le\ critère\ i\ de\ la\ dimension\ j$

Dès lors, le calcul du niveau de maturité $NM(UO_a, e_k)$ de la même unité d'organisation lors de la même évaluation est donné par la formule :

$$NM(UO_a, e_k) = E\left(\frac{\sum_{j=1}^{nd} nc_j . S_j\ (UO_a, e_k)}{\sum_{j=1}^{nd} nc_j}\right)$$

Avec :

- nd : nombre de dimensions du modèle de maturité (dans la version actuelle du modèle de maturité, $nd = 3$)
- $E(x)$: partie entière de x

Exemple

Nous prenons comme exemple l'évaluation réelle d'une unité d'organisation au sein d'Eurocopter. Le modèle de maturité présenté Tableau 10 est utilisé sans modification et les résultats obtenus sont donnés par le Tableau 11.

	Dimension j	Critère c_{ji}	Valeur donnée $s(c_{ji})$
1	Processus	$c_{1,1}$	2
2	Processus	$c_{1,2}$	1
3	Processus	$c_{1,3}$	2
4	Processus	$c_{1,4}$	2
5	Processus	$c_{1,5}$	3
6	Processus	$c_{1,6}$	2
7	Hommes	$c_{2,1}$	3
8	Hommes	$c_{2,2}$	3
9	Hommes	$c_{2,3}$	2
10	Hommes	$c_{2,4}$	1
11	Hommes	$c_{2,5}$	4
12	Hommes	$c_{2,6}$	1
13	Hommes	$c_{2,7}$	2
14	Hommes	$c_{2,8}$	1
15	Hommes	$c_{2,9}$	1
16	Hommes	$c_{2,10}$	2
17	Hommes	$c_{2,11}$	1

18	Méthodes et outils	$c_{3,1}$	3
19	Méthodes et outils	$c_{3,2}$	2
20	Méthodes et outils	$c_{3,3}$	2
21	Méthodes et outils	$c_{3,4}$	2
22	Méthodes et outils	$c_{3,5}$	3

TABLEAU 11: EXEMPLE – EVALUATION DE LA MATURITE D'UNE UNITE D'ORGANISATION

Les scores par dimensions sont alors les suivants :

$$S_1\ (UO_a, e_k) = \frac{2+1+2+2+3+2}{6} = 2$$

$$S_2\ (UO_a, e_k) = \frac{3+3+2+1+4+1+2+1+1+2+1}{11} = \frac{21}{11} \approx 1{,}91$$

$$S_3\ (UO_a, e_k) = \frac{3+2+2+2+3}{5} = \frac{12}{5} = 2{,}4$$

Dès lors le niveau de maturité global de l'unité d'organisation est :

$$NM(UO_a, e_k) = E\left(\frac{1}{22}(12+21+12)\right) = 2$$

Par conséquent, l'unité d'organisation évaluée possède un niveau de maturité de 2 ce qui indique que la plupart des membres de l'unité d'organisation ne considère par l'IS comme pertinente pour l'entreprise. Comme le niveau de maturité est inférieur à 3, nous déconseillons le déploiement immédiat de processus d'IS dans cette unité d'organisation. De sérieuses améliorations doivent être mises en œuvre avant de lancer ce type de projet.

IMPLEMENTATION

De façon à automatiser en partie l'utilisation du modèle de maturité, une application informatique simplifie et assiste l'effort d'évaluation. Tout d'abord, l'auditeur évalue chacun des critères d'évaluation, tel qu'illustré sur la Figure 47. Ensuite, l'application fournit le résultat de l'évaluation par dimension de façon globale (cf. Figure 48) et détaillée (cf. Figure 49).

eurocopter
an EADS Company

A maturity model to assess the readiness of an entity for Systems Engineering

Entity assessed: Department X

Date: 15/12/2011

Maturity Level	1 - INITIAL	2 - LOW	3 - NEUTRAL	4 - GOOD	5 - EXCELLENT
Catch phrase	"SE!? What is it?!?"	"SE!? No use to deploy it, we have always applied its principles"	"SE is great but we are not ready for it in our company"	"SE: Why not?"	"Let's fully apply SE principles!"
Max CMMI® level	1		2		3

PROCESSES						SCORE
TECHNICAL PROCESSES						
ENGINEERING PROCESSES						
Consistency & standardisation of engineering activities	Projects specific heterogeneous design activities. No consistency or standardization within the project.	Projects specific heterogeneous design practices. Every project has its own practices independently from the others but within a project activities are standard but not formalised.	Projects specific heterogeneous design practices. Every project has its own practices independently from the others but within a project activities are standard and formalised.	Some initiatives to standardize design practices between some projects.	Standard design practices common to all projects.	2
Type of design — *Document-based or model-based design*	Document-based design managed with difficulties - The entity is not mature enough to apply the principles of MBSE and should focus on SE good practices.	Document-based design globally managed within the entity.	Document-based design managed. Initiatives to test the use of models on projects parts.	Mainly document-based design but some projects have adopted model-based design.	New projects are full model-based design	1 / 2 / 3 / 4 / 5
TECHNICAL MANAGEMENT PROCESSES						
	Projects specific heterogeneous design	Heterogeneous - Project specific - A referential is	Heterogeneous - Project specific	Standard - Common basis for all projects	Standard - Common basis for all projects	

FIGURE 47 : APPLICATION INFORMATIQUE – AFFECTATION D'UN SCORE A UN CRITERE

eurocopter
an EADS Company

Synthesis of Assessment results

Entity Assessed: Department X
Date of Assessment: 15/12/2011

Global results

Lowest level reached	1
Highest level reached	4
Mean of levels reached	2,05

Overview of the 3 dimensions results

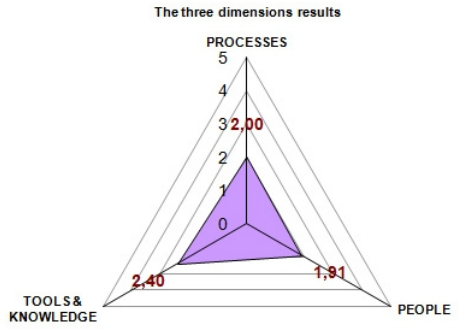


FIGURE 48 : APPLICATION INFORMATIQUE – SYNTHESE GLOBALE DE L'EVALUATION

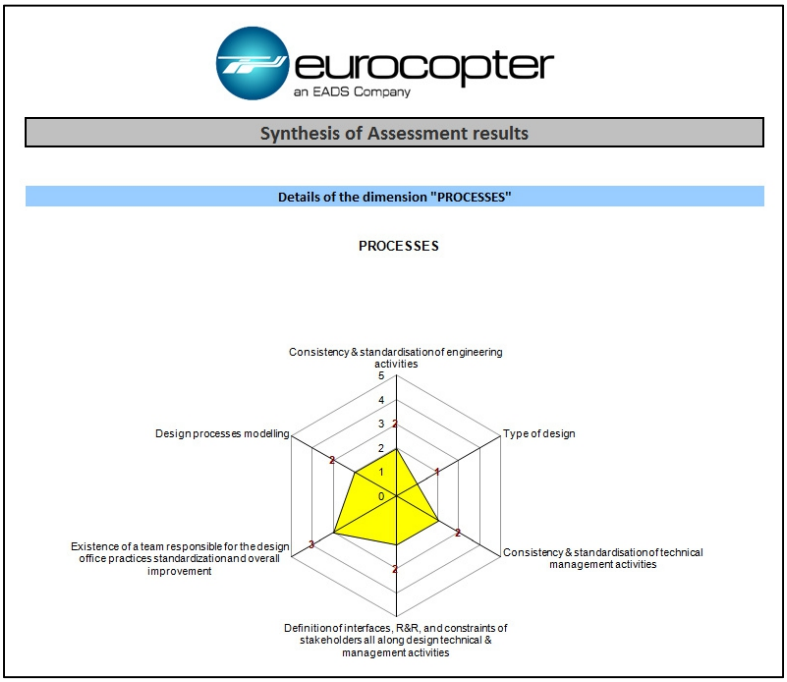


FIGURE 49 : APPLICATION INFORMATIQUE – EXEMPLE DE LA SYNTHESE DE LA DIMENSION "PROCESSUS"

4.3.4. SYNTHESE

Cette section présente la méthodologie permettant d'évaluer si une unité d'organisation dispose de certaines des conditions minimales pour déployer des processus d'IS dans de bonnes conditions.

Du point de vue des **utilisateurs finaux**, la solution proposée devait fournir à la fois une vue d'ensemble des résultats pour les managers, et une vue détaillée, localisant les difficultés, pour les personnes en charge de les résoudre. Les synthèses graphiques proposées par l'application informatique permettent de répondre à ces deux besoins et, de plus, en facilite l'usage.

Ensuite, la **direction d'Eurocopter et plus globalement d'EADS**, requérait que la solution proposée prenne en compte l'Homme. Ce besoin est rempli grâce à sa structuration selon les trois dimensions : Hommes/Processus/Méthodes & Outils. Ensuite, elle souhaitait que la solution puisse être réutilisée par d'autres entités d'EADS. Pour cela, l'ensemble de la méthodologie est rédigée en Anglais et son domaine d'application n'est pas restreint à l'aéronautique. Enfin, la solution proposée se devait d'être ouverte aux modifications. Moyennant une adaptation de l'application informatique si le nombre de critères ou la structure du modèle de maturité devait être opérée, rien ne s'oppose aux modifications.

Enfin, selon les **hypothèses de travail** de cette thèse, la solution devait prendre en compte les difficultés d'interopérabilité et identifier clairement les barrières d'interopérabilité concernées. Ce qu'elle fait. De plus, elle devait permettre de faire prendre conscience aux membres de l'entreprise de l'urgence d'un changement des pratiques de conception. Nous avons constaté lors de la validation en entreprise, que cette évaluation chiffrée permettait cela. De plus, cette méthodologie rend possible la mesure de l'évolution de maturité ce qui était également souhaité.

Enfin, la solution devait reposer et être cohérente avec le langage de déploiement proposé au chapitre précédent : le langage fait partie intégrante de la méthodologie.

La section suivante présente une autre méthodologie nécessaire pour le déploiement : celle pour l'évaluation de l'interopérabilité des ressources.

4.4. METHODOLOGIE D'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE

4.4.1. INTRODUCTION

La mise en place de nouveaux processus dans une entreprise est une décision stratégique qui ne peut échouer au regard des risques que cela lui fait prendre. Dans l'ensemble de ces travaux, **nous faisons l'hypothèse que plus l'interopérabilité des ressources impliquées ou impactées par le déploiement est maximisée, plus les chances de succès du déploiement seront grandes**.

En effet, tout d'abord, une meilleure interopérabilité des ressources impliquées dans l'effort de déploiement permet des collaborations entre elles plus efficientes, donc des délais d'exécution de leurs tâches raccourcis, et donc un délai global de déploiement moins long.

Ensuite, une meilleure interopérabilité des ressources qui vont être choisies pour faire partie des nouveaux processus à déployer, leur permettra d'éprouver moins de difficultés dans l'exécution de leurs nouvelles attributions, ce qui engendre trois bénéfices probables. Premièrement, le risque de rejet et de résistance au changement face au nouveau processus sera diminué. Deuxièmement, la période de transition vers une exécution normale sera raccourcie. Troisièmement, une fois le processus bien en place, le temps d'exécution des ressources sera d'autant plus réduit qu'elles seront interopérables.

Enfin de façon globale, une meilleure interopérabilité des ressources accroîtra la satisfaction du personnel, puisqu'il perdra moins de temps dans des activités sans valeur ajoutée (conversion de formats de fichiers, discussion pour des questions de rôles et responsabilités, etc.). Par conséquent, une meilleure implication du personnel et une meilleure productivité, peuvent être raisonnablement attendues.

Cependant, pour améliorer l'interopérabilité des ressources, il faut être en mesure de l'évaluer et ce, en tenant compte de la dynamique du déploiement puisque elle est supposée devoir s'améliorer au cours de temps. Le chapitre 2 a mis en évidence que, pour y parvenir, il était nécessaire :

- de caractériser les besoins pour l'évaluation de l'interopérabilité dans un contexte de déploiement (cibles, exigences, …),
- de positionner les contributions existantes par rapport à ces attentes et de trouver des solutions pour les discriminer,
- d'identifier une ou plusieurs contributions qui répondent à ces besoins et le cas échéant, développer une méthodologie d'évaluation incluant modèle conceptuel, processus, procédures et outils supports.

Cette section présente le résultat de ces différentes activités.

4.4.2. CONCEPTION DE LA METHODOLOGIE

SPECIFICATION

Toujours en s'inspirant des principes de l'Ingénierie Système, caractérisons tout d'abord le contexte d'utilisation de la méthodologie. Sa finalité est de maximiser les chances de succès du déploiement en réalisant trois missions principales :

1. Évaluer l'interopérabilité des entités impliquées ou impactées par le déploiement
2. Identifier et localiser précisément les lacunes en termes d'interopérabilité
3. Fournir les recommandations pour améliorer les entités évaluées présentant des lacunes

Dès lors, durant l'ensemble du déploiement, les parties prenantes de la méthodologie sont :

- l'équipe de déploiement : comité de pilotage stratégique et équipe opérationnelle
- toutes les entités devant être évaluées ainsi que leurs responsables si elles ne peuvent exprimer leurs besoins et contraintes,
- toutes les entités impactées ou pouvant l'être par les améliorations de processus prévues.

Cependant, quelles sont ces **entités cibles que le système doit permettre d'évaluer et d'améliorer ?** Selon le langage que nous avons proposé au chapitre précédent, nous pouvons en déduire que les entités ciblées sont des "ressources". Cependant, l'ensemble de ces dernières (cf. Figure 50) n'a pas besoin d'être évalué. En effet, seules sont concernées les **unités d'organisation, ressources humaines, et ressources non humaines non informationnelles** (appelées dans la suite plus simplement "**ressources non humaines**").

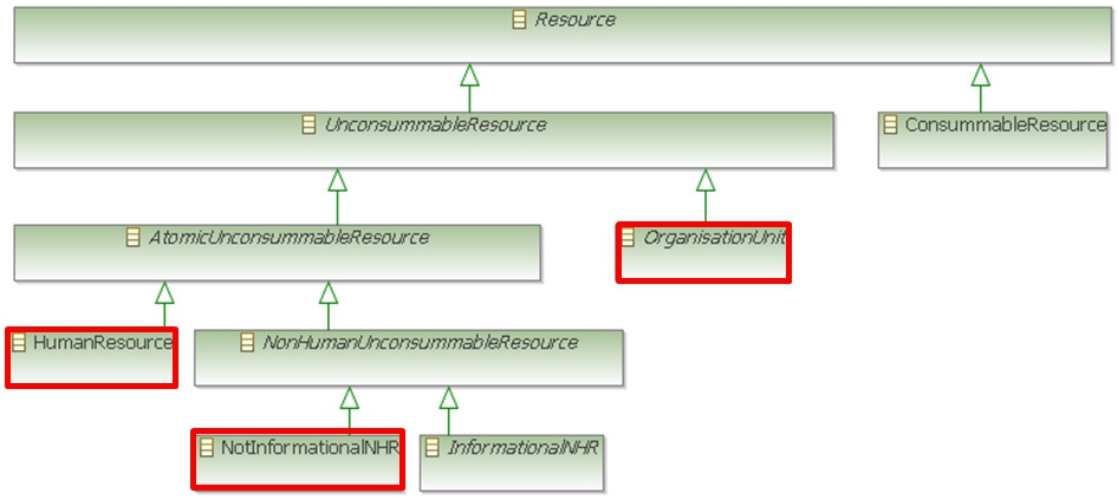


FIGURE 50 : TYPOLOGIE DES RESSOURCES (EXTRAIT DU LANGAGE DE DEPLOIEMENT)

L'interopérabilité de ces ressources est liée à leurs capacités en interopération. Il est donc nécessaire d'être en mesure de caractériser et d'évaluer les *couples* qu'elles peuvent former (cf. Figure 51).

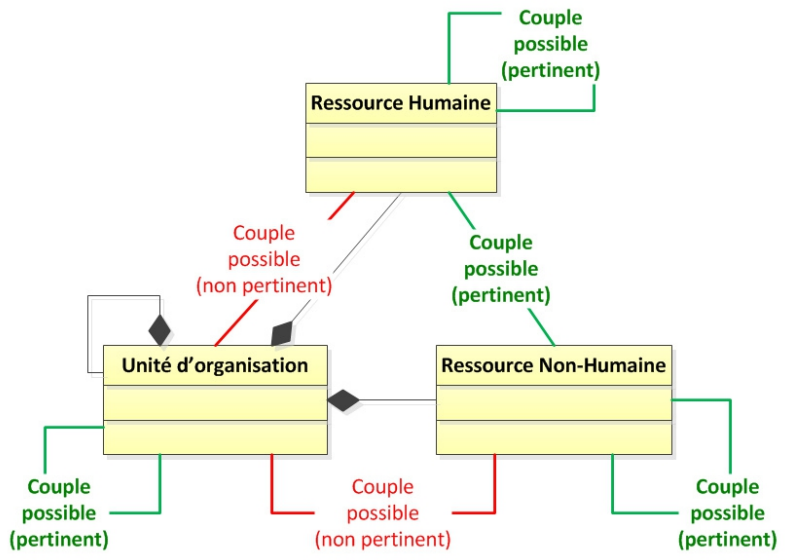


FIGURE 51 : CIBLES DE L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE

Les couples formés entre les **Unités d'Organisation et les Ressources Humaines ou Non-Humaines sont non pertinents pour l'évaluation**. En effet, ils peuvent être réduits à des couples « Ressource Humaine / Ressource Humaine », « Ressource Humaine/ Ressource Non-Humaine », ou encore « Ressource Non-Humaine/ Ressource Non-Humaine » qui eux sont concernés par l'évaluation.

Précisons, l'objet de cette évaluation : **la capacité à être interopérable.** Elle se définit en prenant en compte deux points de vue :

- celui de **l'objet de l'étude** : *est-ce que nous nous intéressons à la caractéristique d'interopérabilité d'un couple de ressources ou bien d'une ressource seule ?* Pour distinguer ces deux cas de figure, nous retenons la terminologie proposée par [103] qui appelle **Interopérabilité Extrinsèque**, l'interopérabilité vue comme une caractéristique entre deux systèmes définis, et **Interopérabilité Intrinsèque** l'interopérabilité vue comme une caractéristique propre d'un seul système.
- celui de **l'état d'avancement de l'interopération** au moment de l'évaluation : *l'évaluation est-elle menée avant même que l'interopération ait commencé (en vue d'une prévision) ou est-elle menée après (en vue d'une justification ou d'une correction) ?* Pour cela, nous appelons **Interopérabilité Effective**, l'interopérabilité constatée durant une collaboration engagée, et **Interopérabilité Potentielle,** l'interopérabilité attendue dans le cadre d'une collaboration qui n'a pas encore commencé.

Ainsi, quatre types d'interopérabilité sont identifiés et définis dans la **Matrice d'Évaluation de l'Interopérabilité** proposée Figure 52. Certains de ces types d'interopérabilité ont été nommés par [103] et peuvent être placés sur la matrice d'évaluation de l'interopérabilité (cf. Figure 53) :

- La *mesure de la potentialité*, c'est-à-dire la mesure de la capacité intrinsèque pour une entreprise à interopérer dans l'éventualité d'un partenariat futur,
- La *mesure du degré d'interopérabilité*, c'est-à-dire de la mesure de la capacité extrinsèque des entreprises à interopérer. Elle inclut une évaluation de la compatibilité des partenaires et des performances de leur partenariat.

		CARACTERISATION EN FONCTION DU NOMBRE DE RESSOURCES CONSIDEREES	
		Interopérabilité INTRINSEQUE *Capacité propre à une ressource à être interopérable*	Interopérabilité EXTRINSEQUE *Capacité propre à un couple de ressources à être interopérable*
CARACTERISATION EN FONCTION DU STATUT DE L'INTEROPERATION	Interopérabilité POTENTIELLE *Capacité attendue à être interopérable lors d'une interopération*	**INTEROPERABILITE INTRINSEQUE POTENTIELLE** Capacité future d'une ressource à interopérer efficacement avec n'importe quelle autre ressource. Lors d'une évaluation, la ressource partenaire n'est pas connue.	**INTEROPERABILITE EXTRINSEQUE POTENTIELLE** Capacité future du couple de ressources à interopérer efficacement ensemble. Lors d'une évaluation, les ressources partenaires se connaissent mais l'interopération n'a pas encore commencé.
	Interopérabilité EFFECTIVE *Capacité réelle observée durant une ou plusieurs interopérations*	**INTEROPERABILITE INTRINSEQUE EFFECTIVE** Performances réelles observées d'une ressource dans le cadre de ses interopérations actuelles et passées. Lors d'une évaluation, bien que sa ou ses ressources partenaires soient connues, seules les performances de la ressource considérée sont évaluées.	**INTEROPERABILITE EXTRINSEQUE EFFECTIVE** Performances réelles du couple de ressources à interopérer efficacement ensemble. Lors d'une évaluation, l'interopération est en cours ou a eu lieu.

FIGURE 52 : MATRICE D'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE

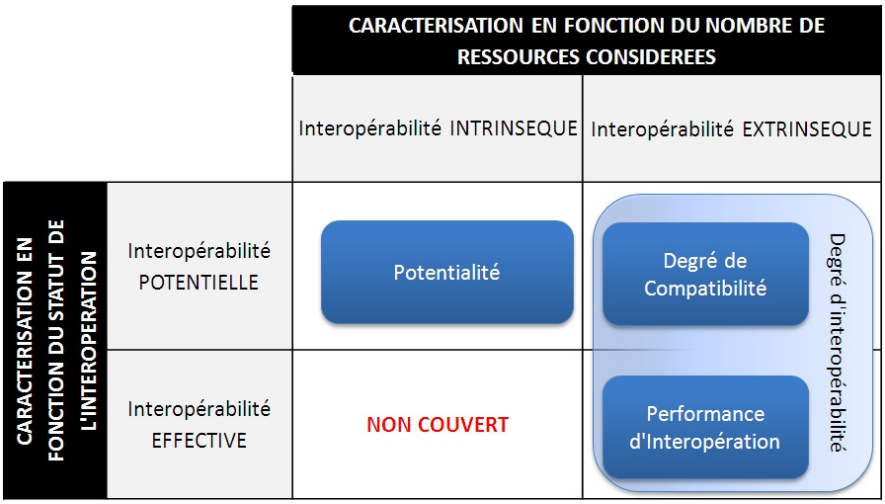


FIGURE 53 : POSITIONNEMENT DES MESURES DE LA POTENTIALITE ET DU DEGRE D'INTEROPERABILITE PROPOSES PAR N. DACLIN SUR LA MATRICE D'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE

Néanmoins, dans la suite de ce manuscrit, nous ne retiendrons pas les appellations proposées par [103], mais celles proposées dans la Matrice d'Évaluation de l'Interopérabilité, car :

- elles ne permettent pas de caractériser l'Interopérabilité Intrinsèque Effective,
- ces types d'interopérabilité ont été définis avec un ensemble d'outils de calcul. Dès lors, si l'entreprise désire utiliser d'autres outils, des confusions peuvent apparaître,
- elles ne permettent pas intuitivement de connaître l'objet de l'évaluation et le moment où l'évaluation a lieu,
- **nous pensons que la Matrice d'Évaluation de l'Interopérabilité peut être utilisée comme un cadre de comparaison des travaux proposés pour l'évaluation de l'interopérabilité.**

De fait, il convient désormais d'identifier quel type d'interopérabilité doit être évalué dans le cadre du déploiement. Pour cela, la Figure 54 identifie l'utilisation de la méthodologie qui est attendue en fonction des phases de déploiement. **L'évaluation des quatre types d'interopérabilité définis dans la Matrice d'Évaluation de l'Interopérabilité est donc nécessaire.**

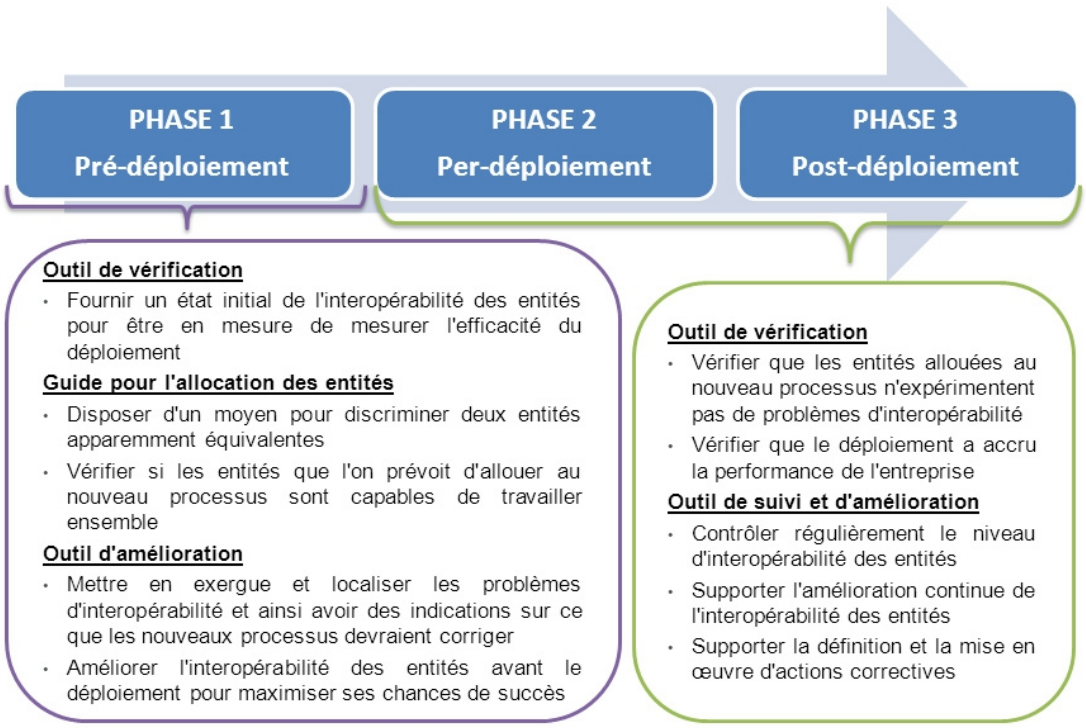


FIGURE 54 : BESOINS EN TERME D'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE AU FUR ET A MESURE DU DEPLOIEMENT

Pour conclure, les contraintes et besoins opérationnels pour l'évaluation et le traitement des résultats sont les suivants. D'une part, pour l'évaluation, la méthodologie doit premièrement prendre en compte une réalité en entreprise : généralement, très peu de temps est alloué à des démarches d'amélioration. Par conséquent, la méthodologie ne doit **pas demander d'efforts de compréhension importants pour être comprise et appliquée**. De cette façon, l'effort de formation et le risque de rejet sont réduits. Deuxièmement, il doit être **fourni avec suffisamment de détails pour être applicable directement en industrie**. Troisièmement, une **solution unique permettant de couvrir les quatre types d'évaluation, les trois types**

d'entités et leurs partenariats est souhaitée puisque la multiplication des outils avec des fonctions similaires n'est absolument pas promue dans l'entreprise. Enfin, une volonté affichée a été identifiée de bénéficier d'une **solution flexible permettant des enrichissements et des personnalisations**. D'autre part, puisqu'une estimation de l'interopérabilité ne serait pas réellement utile sans informations complémentaires, pour l'analyse des résultats, le système proposé se doit **d'indiquer où se trouvent les difficultés et quelles sont les barrières d'interopérabilité auxquelles elles sont liées** de façon à pouvoir mettre en œuvre des actions correctives.

POSITIONNEMENT DES TRAVAUX EXISTANTS

Il existe deux types de contributions pour l'évaluation de l'interopérabilité : les modèles de maturité ([74], [75], [96], [98–107], [139]) et les moyens quantitatifs et qualitatifs autres que des modèles de maturité ([108–113], [140], [141]). Le Tableau 12 est une synthèse de l'analyse de ces contributions au regard des besoins définis plus haut.

Notons que la mesure de potentialité proposée par [112] n'apparaît pas dans ce tableau car aucun moyen réel d'évaluation n'est fourni. Les auteurs recommandent d'utiliser l'EIMM [96] pour réaliser cette mesure. Pour la même raison, la mesure de potentialité proposée par [141] n'est pas indiquée puisqu'elle requiert l'utilisation au choix de [96], [99], [100], [139] puis fournit une traduction du niveau de maturité sur une échelle allant de 0 à 1. De la même façon, la mesure de la compatibilité présente dans [141] n'est pas mentionné puisqu'elle reprend de façon identique celle proposée par [112].

	(Lavean 1980)	(C4ISR 1998)	(Leite 1998)	(Clark and Jones 1999)	(Hamilton, Rosen, and Summers 2002)	(Tolk and Muguira 2003)	(Fraser 2003)	(Stewart et al. 2004)	(IEC 2005)	(ATHENA Project 2005)	(Kingston, Fewell, and Richer 2005)	(NEHTA 2007)	(Ford et al. 2007)	(Daclin 2007) Maturity model for pot. Interop.	(Daclin 2008a) Comp.meas. matrix	(Daclin 2008a) Oper. perf. Ass.	(Santos et al. 2008)	(Sarantis et al. 2008)	(Guédria, Chen, and Naudet 2009)	(Soria et al. 2009)	(Zutshi 2010)	(Elmir and Bounabat 2011) - eval. of oper.	(Yahia 2012)
Modèle de maturité	OUI	OUI	NON	OUI	NON	OUI	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	NON	NON	OUI	OUI	OUI	OUI	NON	NON	NON
Unité d'Organisation	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Resource Humaine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resource Non-Humaine	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Conceptuelle	-	+	++	-	-	++	-	+	-	+	+	++	-	++	++	-	-	++	++	-	++	-	++
Organisationnelle	+	-	-	++	-	-	++	+	-	++	++	++	-	++	++	-	+	++	++	++	++	-	-
Technologique	+	++	++	-	-	+	-	-	++	+	-	++	+	++	++	-	+	++	++	+	++	++	-
Extrinsèque Potentielle	+	+	-	-	-	-	-	++	+	-	-	-	++	++	++	-	-	-	++	-	+	-	++
Extrinsèque Effective	++	++	++	++	-	++	-	++	++	-	-	-	++	+	+	++	-	-	+	-	++	++	++
Intrinsèque Potentielle	-	-	-	-	-	-	+	-	-	++	++	++	-	-	-	-	++	-	-	+	-	-	-
Intrinsèque Effective	-	-	-	-	++	-	++	-	-	++	+	+	-	-	-	-	+	++	-	-	+	-	-
Utilisation combinée	-	2	-	2	-	-	-	-	-	1&2	-	-	-	-	1&2	1	-	2	-	-	-	2	-

TABLEAU 12 : ANALYSE COMPARATIVE DES TRAVAUX EXISTANTS POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE

La première ligne indique leur **type** : modèle de maturité ou autre mode d'évaluation. Ensuite, les trois lignes suivantes indiquent les **types d'entités cibles des contributions :** un "+" signifie que l'entité est évaluable par les contributions et un "-", le contraire. Les trois lignes suivantes indiquent les **barrières de l'interopérabilité** qu'elles permettent de lever. Un "-" signifie que les contributions ne considèrent pas la barrière. Un "+" qu'elles l'abordent superficiellement : quelques éléments sont fournis pour évaluer des problèmes relatifs à la barrière concernée mais avec parcimonie. Et un "++" qu'elles l'abordent en profondeur : les contributions portent une réelle attention aux problèmes relatifs à cette barrière. Enfin, les quatre lignes suivantes font référence aux **types d'évaluation considérés**. Un "++" indique que les contributions ont été conçues pour permettre cette évaluation, un "+" qu'elles n'ont pas été conçues dans ce but mais qu'elles peuvent néanmoins être utilisées pour cela, et un "-" indique qu'elles ne peuvent pas être utilisées à cette fin.

En examinant les résultats de cette analyse, il apparait que les barrières à l'interopérabilité ne sont toutes abordées simultanément que dans [103], [105], [112], [139], [140]**. Ensuite, seul** [111] **permet d'évaluer tous les types d'entités. Enfin, ces contributions couvrent au mieux l'évaluation de deux des quatre types d'évaluations nécessaires pour le déploiement. Cela nous engage à concevoir une méthode différente et adaptée comme suit.**

CONCEPTION

En plus des besoins identifiés précédemment, la conception de la solution doit tenir compte des hypothèses de travail suivantes :

- Hypothèse 1 : la méthode de calcul étant la même pour toutes les ressources, ce n'est pas réellement la valeur effective de l'évaluation qui est pertinente mais plutôt la valeur comparative entre des minimas et maximas atteints et la variation constatée entre début et fin du déploiement.
- Hypothèse 2 : une seule et même équipe est chargée de l'évaluation ce qui permet de garantir que l'évaluation est uniforme et objective.
- Hypothèse 3 : la crédibilité de cette équipe est reconnue et l'implication de la Direction est effective.

Il a ensuite été nécessaire de déterminer le format de la solution à concevoir. Proposer un modèle de maturité ne s'avère pas pertinent ici pour évaluer différents types de ressources ou d'interopérabilité. Nous sommes arrivés à la même conclusion pour les autres types de formats que nous avons rencontrés lors de notre état de l'art. Par conséquent, nous avons décidé de développer une **méthodologie,** c'est-à-dire un ensemble de processus, de méthodes et d'outils connexes [9] (cf. Figure 55), pour évaluer l'interopérabilité des entités impliquées ou impactées par un déploiement. Elle inclut tout d'abord un **processus d'évaluation** décrivant quelles activités doivent être menées. Elle intègre ensuite un ensemble de **méthodes**, c'est-à-dire un ensemble structuré de **procédures** reposant sur un modèle conceptuel. En effet, sur la base du **langage de déploiement**, un ensemble de procédures, expliquant comment évaluer mathématiquement l'interopérabilité d'une ressource ou d'un couple de ressources, en fonction des différents paramètres de l'évaluation, est proposé. Enfin, nous proposons un ensemble **d'outils** pour supporter l'effort d'évaluation. Ils comprennent des **questionnaires** pour collecter les informations nécessaires à l'évaluation de l'interopérabilité et une **application informatique** pour automatiser le calcul des résultats. La section suivante fournit une vue d'ensemble de chacun de ces éléments.

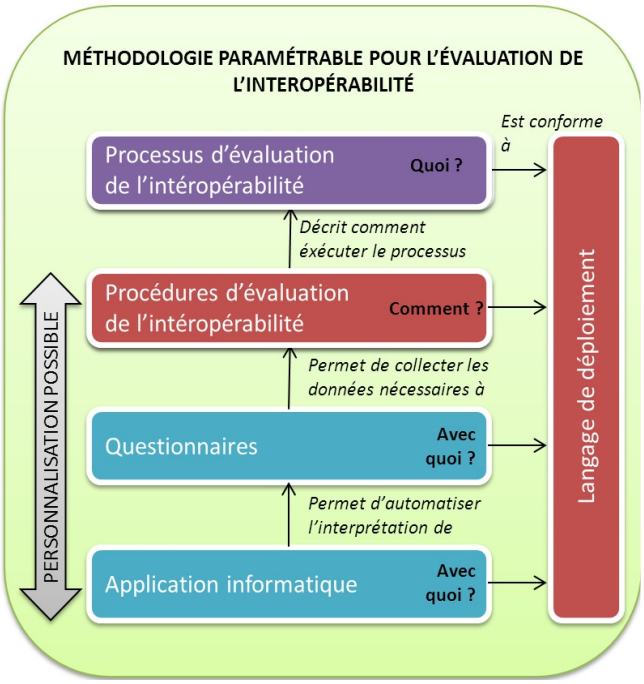


FIGURE 55 : LA METHODOLOGIE D'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE PROPOSEE

4.4.3. ELEMENTS CONSTITUTIFS DE LA METHODOLOGIE

UNE BASE COMMUNE : LE LANGAGE DE DEPLOIEMENT

Le langage de déploiement présenté dans le Chapitre 3 a pour vocation de favoriser l'interopérabilité des personnes impliquées dans le déploiement. Pour cela, il explicite notamment les concepts nécessaires à l'évaluation de l'interopérabilité, que nous rappelons Figure 56, et contraint, de fait, l'interprétation des résultats.

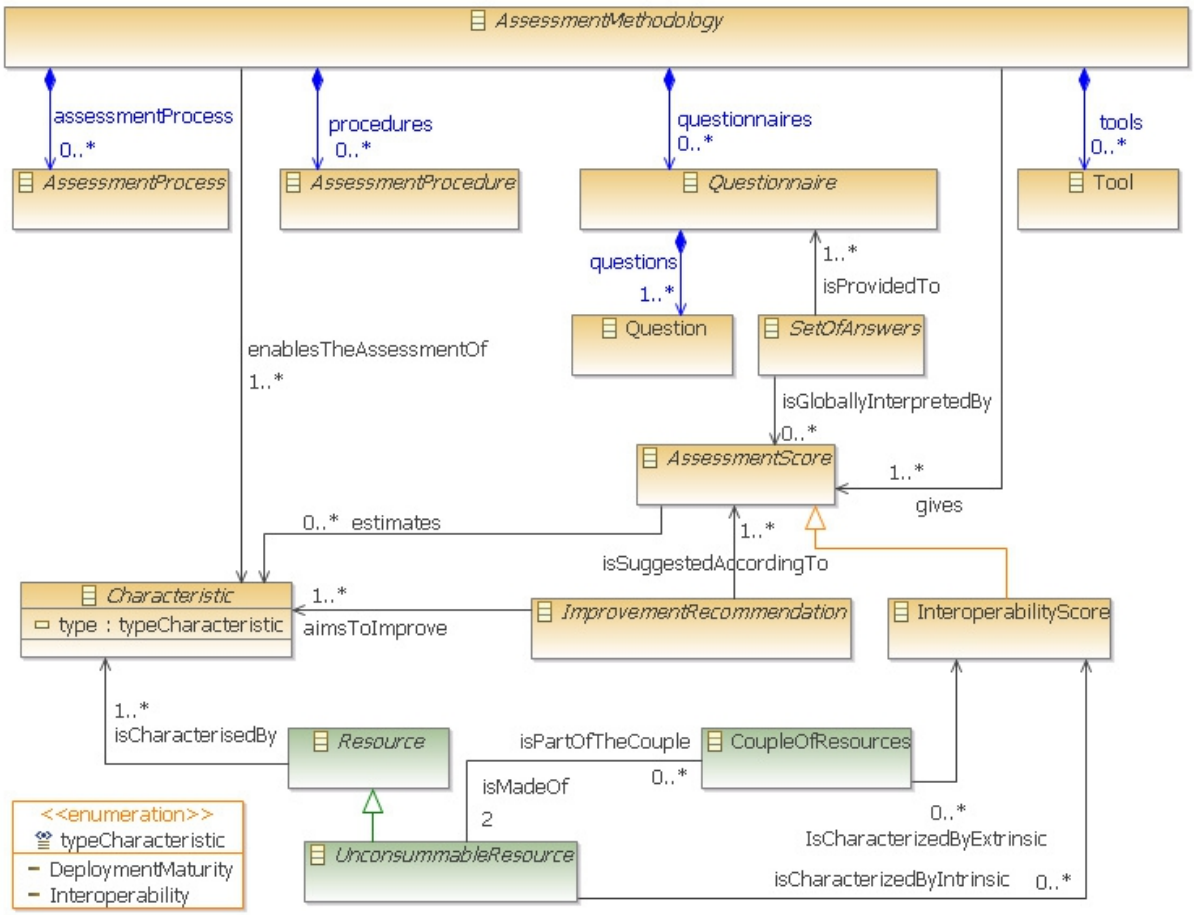


FIGURE 56 : CONCEPTS NECESSAIRES A L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE (EXTRAIT DU LANGAGE DE DEPLOIEMENT)

PROCESSUS ET PROCEDURES D'EVALUATION

Le processus d'évaluation décrit Figure 57, comme tous les processus décrits dans ce manuscrit, est modélisé à l'aide de BPMN 2.0 [21]. Sa première activité consiste à sélectionner le type d'évaluation à réaliser. Cela permet de déterminer le nombre de ressources qui devront être évaluées : respectivement une pour une évaluation de l'Interopérabilité Intrinsèque et deux pour l'évaluation de l'Interopérabilité Extrinsèque. Ensuite, en fonction de leur nature, différentes procédures doivent être exécutées. En effet, nous distinguons le scenario où nous évaluons une unité d'organisation, qui est composée d'autres ressources, et qui par conséquent, peut être décomposée; de celui où nous évaluons une ressource humaine ou non humaine seule et non décomposable, que nous appelons "atomique".

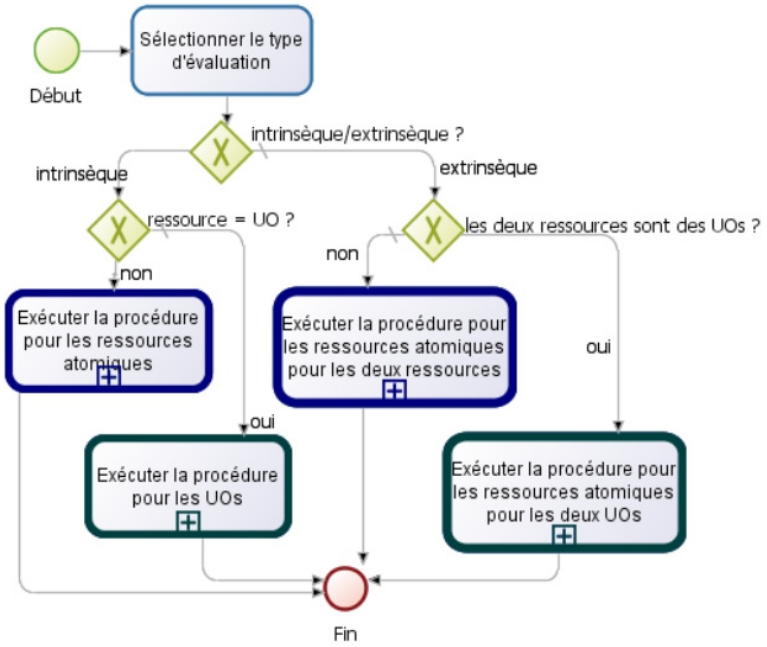


FIGURE 57 : PROCESSUS D'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE

("UO": Unité d'Organisation)

Ces activités reposent sur l'exécution de deux procédures d'évaluation à mettre en œuvre en fonction du type de ressource à évaluer. Comme illustré sur la Figure 58 et la Figure 59, dans le cas de ressources atomiques, l'évaluation peut être faite directement sur la base des résultats des questionnaires.

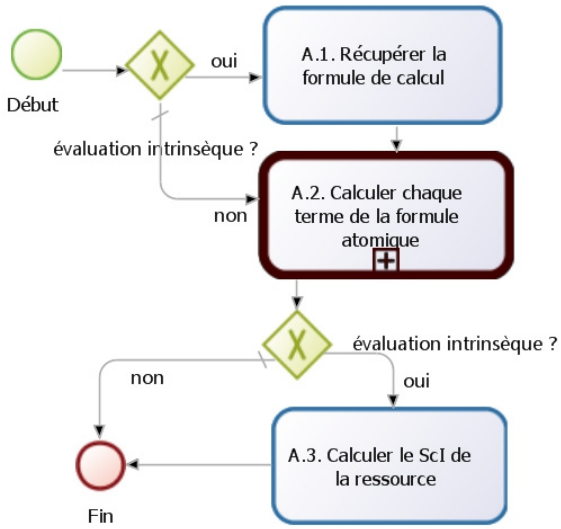


FIGURE 58 : SOUS-PROCESSUS "EXECUTER LA PROCEDURE POUR UNE RESSOURCE ATOMIQUE"
(ScI : Score d'interopérabilité)

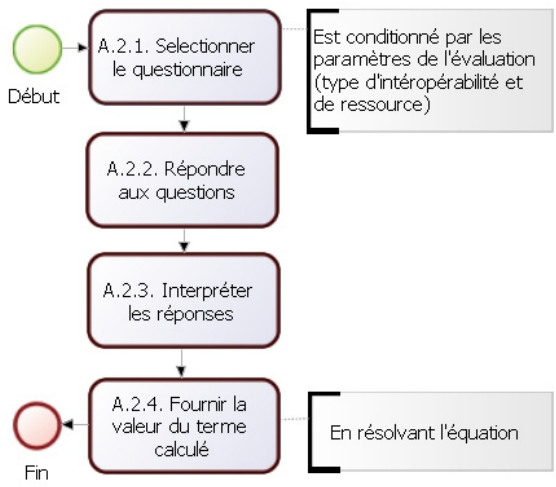


FIGURE 59 : SOUS-PROCESSUS A.2 "CALCULER UN TERME D'UNE FORMULE ATOMIQUE"

En revanche, dans le cadre de l'évaluation d'unités d'organisation, le calcul du Score d'Interopérabilité (ScI) ne peut être fait tant que toutes les ressources qu'elle contient n'ont pas été au préalable évaluées (cf. Figure 60).

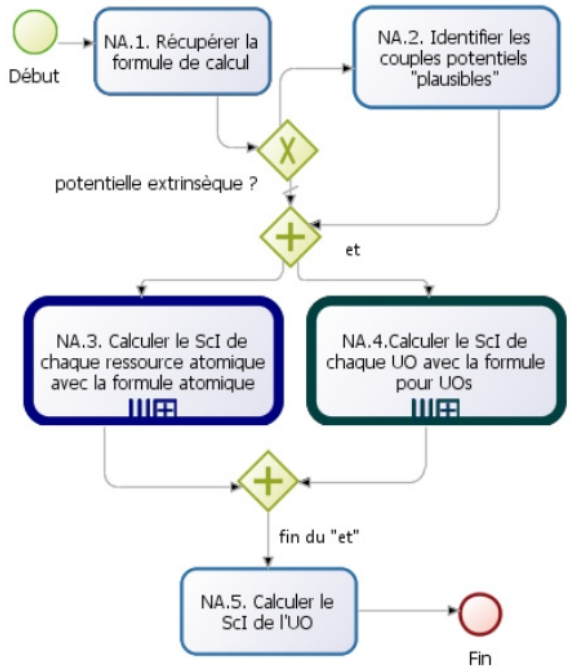


FIGURE 60 : SOUS-PROCESSUS "EXECUTER LA PROCEDURE POUR LES UNITES D'ORGANISATION"

("ScI" : Score d'Interopérabilité et "UO": Unité d'Organisation)

Ces procédures nécessitent un certain nombre de formules mathématiques (cf. activités A.1 et NA.1) vues dans la section suivante pour pouvoir être exécutées.

Formules mathématiques mises en jeu dans les procédures d'évaluation

Conventions de notation

Tout d'abord, nous appelons respectivement RH (RNH) l'ensemble des ressources humaines (non-humaines) internes ou externes à l'entreprise, impliquées ou implicables dans les processus à déployer ou dans leurs processus de déploiement. Par ailleurs, nous appelons $RESS$ l'ensemble de ces **ressources** tel que $RESS = RH \cup RNH$ et $\cap RNH = \emptyset$.

Ces ressources sont allouées à une ou plusieurs **unités d'organisations**. Nous appelons UO l'ensemble de ces unités d'organisations, internes ou externes à l'entreprise, impliquées ou implicables dans les processus à déployer ou dans leurs processus de déploiement. Ces dernières peuvent être décomposées en ressources. Nous notons $Dec_n(UO_k)$ la fonction de **décomposition** d'une unité d'organisation UO_k à un niveau n est notée :

$$\forall\, UO_k, \forall n \in [1; profondeur_k\,],\ Dec_n(UO_k) : UO \rightarrow UO \cup RH \cup RNH$$

Avec $profondeur_k$, le nombre de niveaux de décomposition maximal de UO_k atteint lorsque $\forall z \in n, Dec_k(UO_k) = Dec_{k+z}(UO_k)$. Notons que si $profondeur_k = 1$, la ressource considérée est une ressource atomique et que si $profondeur_k > 1$, la ressource considérée est une unité d'organisation.

Exemple – Décomposition et profondeur d'une ressource

Illustrons la notion de décomposition et de profondeur par un exemple. Prenons deux ressources : le service en charge de l'amélioration des processus et un cabinet de conseil en communication ne comprenant pour l'instant qu'une seule personne : Sophie (cf. Figure 61).

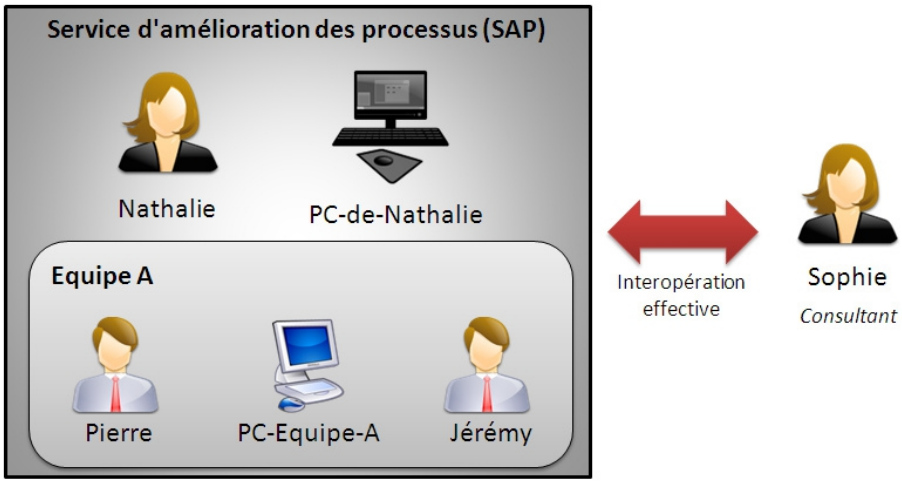


FIGURE 61 : EXEMPLE – DECOMPOSITION ET PROFONDEUR D'UNE RESSOURCE

Alors, nous en déduisons que :

- $Dec_1(SAP) = \{Nathalie;\ PC - de - Nathalie\ ; Equipe\ A\}$
- $Dec_2(SAP) = \{Nathalie;\ PC - de - Nathalie\ ; Pierre,\ PC - Equipe - A; Jérémy\}$
- $Dec_3(SAP) = \{Nathalie;\ PC - de - Nathalie\ ; Pierre,\ PC - Equipe - A; Jérémy\}$
- $profondeur_{SAP} = 2 > 1$ → Unité d'organisation

- $Dec_1(CSAS) = \{Sophie\}$
- $Dec_2(CSAS) = \{Sophie\}$
- $profondeur_{CSAS} = 1$ → Ressource atomique

Chaque ressource est impliquée dans une ou plusieurs interopérations nécessaires au processus à déployer ou à son processus de déploiement. Considérant les différents types d'évaluations nécessaires (cf. Matrice d'évaluation de l'interopérabilité – Figure 52), différents ensembles de **couples de ressources** sont identifiés et appelés comme suit :

- $CI_n^{pot}(R_a)$ (et respectivement $CI_n^{eff}(R_a)$) : l'ensemble des couples de ressources, qui pourraient être formés potentiellement (qui sont effectivement formés) au sein de R_a, entre les ressources identifiées lors de sa décomposition à un niveau n,
- $CE_{na,nb}^{pot}(R_a, R_b)$ (et respectivement $CE_{na,nb}^{eff}(R_a, R_b)$): l'ensemble des couples de ressources qui pourraient être formés potentiellement (qui sont formés) entre les ressources appartenant respectivement à la décomposition de R_a et de R_b à des niveaux na et nb.

Exemple – Couples de ressources

Reprenons l'exemple précédent présentant le service d'amélioration de processus décomposé au niveau 1 avec les interactions illustrées Figure 62.

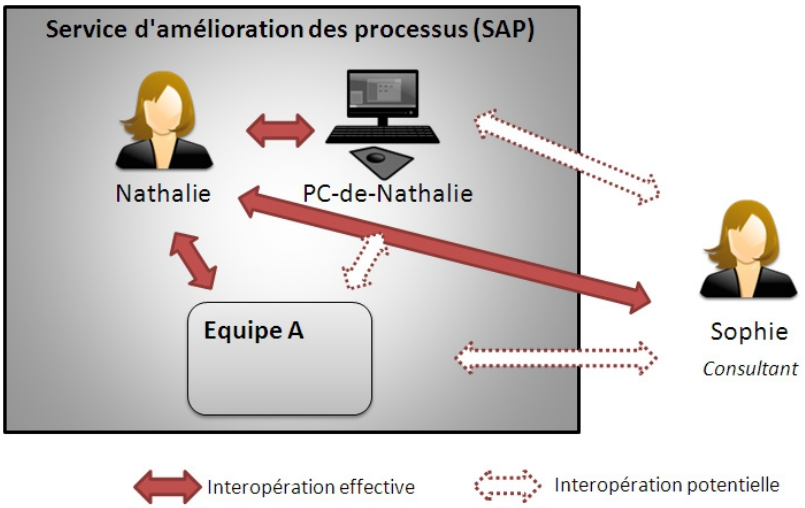


FIGURE 62 : EXEMPLE – COUPLES DE RESSOURCES

Nous obtenons ainsi :

- CI_1^{pot}(SAP) = {(Nathalie, PC-de-Nathalie) ; (Nathalie, Equipe A) ; (Equipe A, PC-de- Nathalie)}
- CI_1^{eff}(SAP) = {(Nathalie, PC-de-Nathalie) ; (Equipe A, PC-de- Nathalie)}
- $CI_1^{pot}(\text{Sophie}) = CI_1^{eff}(\text{Sophie}) = \emptyset$
- $CE_{1,1}^{pot}(\text{SAP}, \text{Sophie})$ = {(Nathalie, Sophie) ; (PC-de- Nathalie, Sophie) ; (Equipe A, Sophie)}
- $CE_{1,1}^{eff}(\text{SAP}, \text{Sophie})$ = {(Nathalie, Sophie)}

De plus, nous appelons $I_{int}(R_a)$ le **Score d'Interopérabilité Intrinsèque de la ressource R_a** défini comme le couple :

$$I_{int}(R_a) = (I_{int}^{pot}(R_a), I_{int}^{eff}(R_a))$$

Avec :

- $I_{int}^{pot}(R_a)$: Score d'Interopérabilité Intrinsèque Potentielle de R_a
- $I_{int}^{eff}(R_a)$: Score d'Interopérabilité Intrinsèque Effective de R_a

Enfin, nous appelons $I_{ext}(R_a, R_b)$ le Score d'Interopérabilité Extrinsèque de R_a et R_b défini comme le couple :

$$I_{ext}(R_a, R_b) = (I_{ext}^{pot}(R_a, R_b), I_{ext}^{eff}(R_a, R_b))$$

Avec :

- $I_{ext}^{pot}(R_a, R_b)$: Score d'Interopérabilité Extrinsèque Potentielle de R_a et R_b
- $I_{ext}^{eff}(R_a, R_b)$: Score d'Interopérabilité Extrinsèque Effective de R_a et R_b

Formules pour l'évaluation d'une ressource atomique (Activité A.1 de la Figure 58)

Commençons par expliciter la méthode de calcul pour le **Score d'Interopérabilité Intrinsèque Potentielle**. Il fournit une indication sur la capacité de la ressource atomique pour collaborer de façon efficiente avec d'autres ressources atomiques qui ne sont pas encore connues. Il est ainsi défini comme :

$$I_{int}^{pot}(r) \quad = \quad \alpha\, I_{int}^{pot}(r)_{hr} + \beta\, I_{int}^{pot}(r)_{nhr} \qquad (1)$$

Avec :

- $I_{int}^{pot}(r)_{rh}$: Score d'Interopérabilité Intrinsèque Potentielle Partiel de la ressource atomique r avec des ressources humaines. Il peut être calculé à l'aide d'un questionnaire (cf. section suivante).
- $I_{int}^{pot}(r)_{rnh}$: Score d'Interopérabilité Intrinsèque Potentielle Partiel de la ressource atomique r avec des ressources non humaines. Il peut être calculé à l'aide d'un questionnaire.
- $\alpha, \beta \in [0;1]^2$: coefficients pondérateurs permettant à l'entreprise de prioriser un type de ressource par rapport à un autre. Ils sont définis tels que $\alpha + \beta = 1$. Par défaut, nous donnons à ces coefficients une valeur de 0,5.

Ensuite, intéressons-nous au cas du **Score d'Interopérabilité Intrinsèque Effective**. Il fournit une indication sur les performances réelles observées de la ressource atomique dans le cadre de ses interopérations actuelles et passées. Ainsi, la formule (1) n'est pas applicable et doit être modifiée pour tenir compte de ces interopérations. Nous définissons donc respectivement $narh$ ($narnh$) les nombres d'évaluations présentes et passées concernant des interopérations impliquant la ressource évaluée et des ressources humaines (non-humaines). Alors, le Score d'Interopérabilité Intrinsèque Effective est donné par :

$$I_{int}^{eff}(r) \qquad = \qquad \frac{\gamma}{narh}\sum_{i=1}^{narh}\gamma_i\, I_{int}^{eff}(r,r'_i)_{\mathrm{rh}} + \frac{\delta}{narnh}\sum_{j=1}^{narnh}\delta_j\, I_{int}^{eff}\left(r,r''_j\right)_{rnh} \qquad (2)$$

Avec :

- $I_{int}^{eff}(r,r'_i)_{hr}$: Score d'Interopérabilité Intrinsèque Effective Partiel de la ressource atomique r avec un ressource atomique r' telle que $r' \in RH$. Il peut être calculé à l'aide d'un questionnaire.
- $I_{int}^{eff}\left(r,r''_j\right)_{nhr}$: Score d'Interopérabilité Intrinsèque Effective Partiel de la ressource atomique r avec un ressource atomique r'' telle que $r'' \in RNH$. Il peut être calculé à l'aide d'un questionnaire.
- $\gamma, \delta \in [0;1]^2$: Comme pour l'évaluation de l'interopérabilité potentielle, ces deux coefficients pondérateurs permettent de donner la priorité à un type de ressource par rapport à un autre et sont définis tels que $\gamma + \delta = 1$ avec une valeur par défaut de 0,5.
- $\gamma_i, \delta_j \in [0;1]^2$: Coefficients pondérateurs permettant à l'entreprise de donner la priorité à un certaines évaluations par rapport à d'autres. Il peut en effet être utile de diminuer l'importance de certaines évaluations non pertinentes du fait de leur ancienneté par exemple. Ils sont définis de façon à ce que $\frac{\sum \gamma_i}{nahr} = \frac{\sum \delta_j}{nanhr} = 1$.

Enfin, dans le cas des **Scores d'Interopérabilité Extrinsèque Potentielle ou Effective**, qui fournissent respectivement une indication sur la capacité future ou sur les performances réelles observées d'un couple de ressources atomiques à interopérer efficacement ensemble, il n'est pas nécessaire d'avoir recours à une formule particulière puisque ces scores sont donnés directement par l'interprétation de questionnaires.

Formules pour l'évaluation d'une unité d'organisation (Activité NA.1 de la Figure 59)
Intéressons-nous désormais aux formules nécessaires pour évaluer des unités des organisations, c'est-à-dire rappelons-le, des ressources qui contiennent d'autres ressources.

Commençons tout d'abord par le **Score d'Interopérabilité Intrinsèque Potentielle**. Il a pour but de fournir une indication sur la capacité probable d'une unité d'organisation à interopérer avec n'importe quelle ressource, malgré le fait qu'elle ne soit pas connue. Intuitivement, nous pouvons affirmer que, pour une unité d'organisation UO_a, il vaut la somme du Score d'Interopérabilité Intrinsèque Potentielle de chacune des entités de UO_a et de la somme du Score d'Interopérabilité Extrinsèque Effective de chacun des couples formés au sein de UO_a.

Considérons désormais le **Score d'Interopérabilité Intrinsèque Effective**. Il permet de fournir une indication sur la capacité constatée d'une unité d'organisation à interopérer avec des ressources identifiées. Ainsi, pour une unité d'organisation UO_a, il vaut la somme du Score d'Interopérabilité Intrinsèque Effective de chacune des entités de UO_a et de la somme du Score d'Interopérabilité Extrinsèque Effective de chacun des couples formés au sein de UO_a.

Par conséquent, dans les deux cas, la formule suivante peut être utilisée :

$$I_{int}^{x}(UO_a) = \sum_{i=1}^{ne} I_{int}^{x}(p_i) + \sum_{k=1}^{m_{int}^{eff}} I_{ext}^{eff}(c_k) \qquad (3)$$

Avec

- $x = \begin{cases} 'eff' s'il\ s'agit\ de\ l'évaluation\ de\ l'interopérabilité\ effective \\ 'pot'\ s'il\ s'agit\ de\ l'évaluation\ de\ l'interopérabilité\ potentielle \end{cases}$
- $ne = Card\ (Dec_{na}(UO_a))$
- $p_i \in Dec_{na}(OU_a)$
- $c_k \in CI_{na}^{eff}(UO_a)$
- $m_{int}^{eff} = Card(CI_{na}^{eff}(UO_a))$

Exemple – Score d'Interopérabilité Intrinsèque d'une unité d'organisation

Reprenons l'exemple présenté Figure 62, moyennant une légère adaptation comme illustré Figure 63. L'activité de Sophie prospérant, elle embauche Léo et monte une société (Consulting SAS). De plus, elle procède à l'achat d'un serveur. Consulting SAS étant composée de trois ressources, il s'agit d'une unité d'organisation.

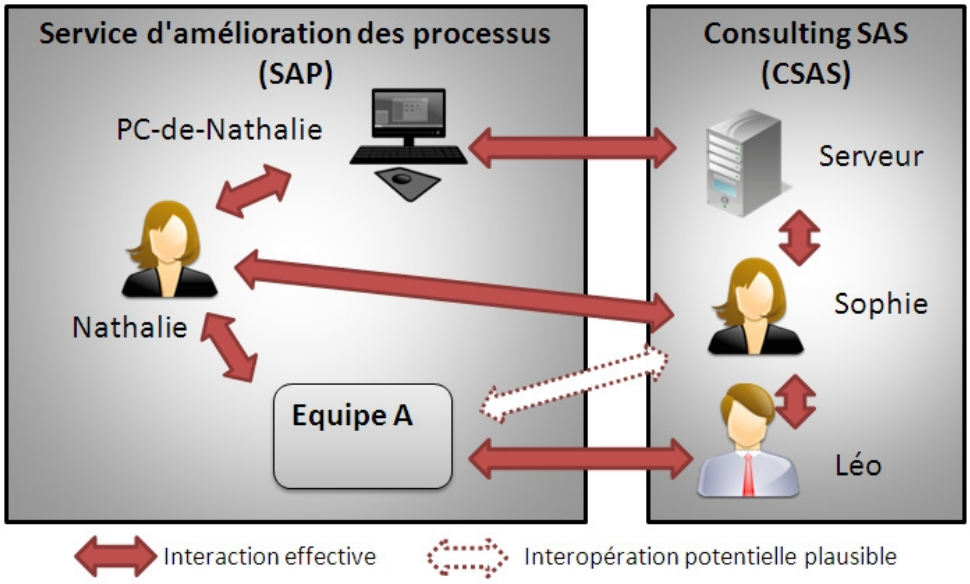


FIGURE 63 : EXEMPLE – SCORE D'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE D'UNE UNITE D'ORGANISATION

Nous appliquons la procédure décrite Figure 60 avec l'équation (3) et obtenons :

- $I_{int}^{pot}(SAP) = [I_{int}^{pot}(Nathalie) + I_{int}^{pot}(PC-de-Nathalie) + I_{int}^{pot}(Equipe\ A)] + [I_{ext}^{eff}(Nathalie, PC-de-Nathalie) + I_{ext}^{eff}(Nathalie, Equipe\ A)]$.
- $I_{int}^{eff}(SAP) = [I_{int}^{eff}(Nathalie) + I_{int}^{eff}(PC-de-Nathalie) + I_{int}^{eff}(Equipe\ A)] + [I_{ext}^{eff}(Nathalie, PC-de-Nathalie) + I_{ext}^{eff}(Nathalie, Equipe\ A)]$.

Dès lors, nous pouvons calculer les différents termes :

- $I_{int}^{pot}(Nathalie)$ et $I_{int}^{pot}(PC-de-Nathalie)$ à l'aide de l'équation 1,
- $I_{int}^{eff}(Nathalie)$ et $I_{int}^{eff}(PC-de-Nathalie)$ à l'aide de l'équation 2,
- $I_{int}^{pot}(Equipe\ A)$ et $I_{int}^{eff}(Equipe\ A)$ à l'aide de l'équation 3,
- $I_{ext}^{eff}(Nathalie, PC-de-Nathalie)$ à directement l'aide d'un questionnaire,
- $I_{ext}^{eff}(Nathalie, Equipe\ A)]$ à l'aide de l'équation 5 présentées ci-après.

Abordons à présent la méthode de calcul des Scores d'Interopérabilité Extrinsèque Potentielle et Effective. Nous rappelons qu'ils fournissent respectivement une indication sur la capacité future ou sur les performances réelles observées d'un couple de ressources à interopérer efficacement ensemble.

Intuitivement le **Score d'Interopérabilité Extrinsèque Potentielle** de deux unités d'organisation UO_a et UO_b peut être défini comme la somme des Scores d'Interopérabilité Extrinsèque Potentielle de chaque couple susceptible d'être nécessaire et formé par des ressources appartenant l'une à UO_a et l'autre à UO_b. En effet, ne sont concernés par l'évaluation que les couples qui ont une probabilité d'exister et non ceux dont nous savons qu'ils ne seront jamais concrétisés et que nous appelons non plausibles.

De façon plus formelle, le Score d'Interopérabilité Extrinsèque Potentielle est défini comme :

$$I_{ext}^{pot}(UO_a, UO_b) = \sum_{k=1}^{m_{ext}^{pot}} I_{ext}^{pot}(c_k)$$

$$I_{ext}^{pot}(UO_a, UO_b) = \sum_{i=1}^{na}\sum_{j=1}^{nb} I_{ext}^{pot}(pa_i, pb_j) \quad (4)$$

Avec :

- $c_k \in CE_{na,nb}^{pot}(OU_a, OU_b)$ tel que c_k est un couple plausible et $c_k = (pa_i, pb_j)$ avec $pa_i \in Dec(OU_a)$ et $pb_j \in Dec(OU_b)$
- $m_{ext}^{pot} = Card(CE_{na,nb}^{pot}(OU_a, UO_b))$
- $na = Card\ (Dec(OU_a))$ et $nb = Card\ (Dec(OU_b))$

À présent, le **Score d'Interopérabilité Extrinsèque Effective** de deux unités d'organisation UO_a et UO_b peut être défini comme la somme des Scores d'Interopérabilité Extrinsèque Effective de chaque couple formé par des ressources appartenant l'une à UO_a et l'autre à UO_b. De façon plus formelle, le Score d'Interopérabilité Extrinsèque est défini comme :

$$I_{ext}^{eff}(UO_a, UO_b) = \sum_{k=1}^{m_{ext}^{eff}} I_{ext}^{x}(c_k)$$

$$I_{ext}^{eff}(UO_a, UO_b) = \sum_{i=1}^{na}\sum_{j=1}^{nb} I_{ext}^{eff}(pa_i, pb_j) \quad (5)$$

Avec :

- $c_k \in CE_{na,nb}^{eff}(OU_a, OU_b)$ tel $c_k = (pa_i, pb_j)$ avec $pa_i \in Dec(OU_a)$ et $pb_j \in Dec(OU_b)$
- $m_{ext}^{eff} = Card(CE_{na,nb}^{eff}(OU_a, UO_b))$
- $na = Card\ (Dec(OU_a))$ et $nb = Card\ (Dec(OU_b))$

Exemple – Score d'Interopérabilité Extrinsèque d'une unité d'organisation

Reprenons l'exemple proposé Figure 63 et calculons désormais les **Scores d'Interopérabilité Extrinsèque Potentielle** et **Effective** de ces deux unités d'organisation non atomiques.

- $I_{ext}^{pot}(\text{SAP}, \text{SAS}) = I_{ext}^{pot}(\text{PC} - \text{de} - \text{Nathalie}, \text{Serveur}) + I_{ext}^{pot}(\text{Nathalie}, \text{Sophie})$ + $I_{ext}^{pot}(\text{Equipe A}, \text{Sophie})$ + $I_{ext}^{pot}(\text{Equipe A}, \text{Léo})$

- $I_{ext}^{eff}(\text{SAP}, \text{SAS}) = I_{ext}^{eff}(\text{PC} - \text{de} - \text{Nathalie}, \text{Serveur}) + I_{ext}^{eff}(\text{Nathalie}, \text{Sophie})$ + $I_{ext}^{eff}(\text{Equipe A}, \text{Léo})$

Ici encore, chacun des termes permettant le calcul des scores peut être obtenu en appliquant les procédures et leurs équations présentées précédemment, ou des questionnaires. **Nous détaillons ces derniers dans la section suivante.**

QUESTIONNAIRES

La méthodologie d'évaluation proposée comprend un ensemble de questionnaires accompagnés de leurs méthodes d'interprétation. Ce choix peut paraître surprenant, surtout qu'aucune des approches d'évaluation de l'interopérabilité que nous avons identifiées n'en utilise pour recueillir les informations qu'elles nécessitent. Pourtant, par rapport à des modèles de maturité qui sont bien plus populaires, ces questionnaires ont l'avantage de permettre différents types d'évaluation et de paraître moins complexes aux utilisateurs finaux du fait de leur familiarité. En outre, il est possible via un questionnaire de définir des groupes de questions correspondant aux "zones d'amélioration"[27], de la même façon qu'avec un modèle de maturité. Ainsi, les questionnaires permettent, à l'identique, de faciliter l'analyse des résultats et de supporter la prise de décision.

Pour concevoir la série de questions constituant les questionnaires de cette méthodologie, les exigences que doit satisfaire une ressource ou un couple de ressources interopérables ont été identifiées (cf. Annexe B). Pour cela, la classification GRADEI proposée par [142] a été utilisée pour structurer l'élicitation des exigences. Celle-ci décompose les exigences d'interopérabilité en exigences de compatibilité, d'interopération, d'autonomie, et de réversibilité. Pour déterminer ces exigences, nous avons soigneusement analysé les contributions existantes pour identifier les critères d'évaluation proposés et les intégrer. Ils ont ensuite été complétés avec les exigences traduisant les difficultés que nous observons quotidiennement en industrie.

L'ensemble des questionnaires proposés, distincts de par le type d'évaluation à réaliser et du type de ressources concernées, est fourni en Annexe C. Ces questionnaires identifient clairement les barrières d'interopérabilité que les questions concernent, et sont accompagnés de recommandations pour améliorer les performances de la ressource, si cette dernière n'a pas répondu de façon satisfaisante à la question.

Deux types de questionnaires peuvent être identifiés. Tout d'abord, ceux permettant l'**évaluation du Score d'Interopérabilité Intrinsèque,** qui ont la forme de celui présenté Figure 64 (implémenté dans l'application informatique). Pour toute question, une réponse doit être donnée (c'est-à-dire qu'un "Non " n'arrête pas l'évaluation) et le total des "Oui " fournit le score. Le jeu de questions composant le questionnaire dépend de la nature humaine ou non de la ressource évaluée et éventuellement de celle avec qui elle collabore. Le Tableau 13 (respectivement Tableau 14) indique les questionnaires à utiliser, en fonction du type de ces ressources, dans le cadre de l'évaluation du Score d'Interopérabilité Intrinsèque Potentielle (respectivement Effective).

Indice calculé	Type de r	Type de r'	Questionnaire type
$I_{int}^{pot}(r)_{rh}$	$\in RH$	$\in RH$	*Cf. Annexe C.1*
$I_{int}^{pot}(r)_{rh}$	$\in RNH$	$\in RH$	*Cf. Annexe C.4*
$I_{int}^{pot}(r)_{nrh}$	$\in RH$	$\in RNH$	*Cf. Annexe C.3*
$I_{int}^{pot}(r)_{nrh}$	$\in RNH$	$\in RNH$	*Cf. Annexe C.2*

TABLEAU 13 : QUESTIONNAIRES PROPOSES POUR L'EVALUATION DU SCORE D'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE POTENTIELLE

[27] "improvement areas"

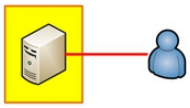
Indice calculé	Type de r	Type de r'	Questionnaire type
$I_{int}^{eff}(r,r'_i)_{rh}$	$\in RH$	$\in RH$	*Cf. Annexe C.5*
$I_{int}^{eff}(r,r'_i)_{rh}$	$\in RNH$	$\in RH$	*Cf. Annexe C.8*
$I_{int}^{eff}(r,r''_j)_{nrh}$	$\in RH$	$\in RNH$	*Cf. Annexe C.7*
$I_{int}^{eff}(r,r''_j)_{nrh}$	$\in RNH$	$\in RNH$	*Cf. Annexe C.6*

TABLEAU 14 : QUESTIONNAIRES PROPOSES POUR L'EVALUATION DU SCORE D'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE EFFECTIVE

eurocopter
an EADS Company

Intrinsic Effective Interoperability Assessment of a Non-human resource in Collaboration with a Non-human resource

Software test bench simulation computer



Brenda Johnson

	#	Question	Answer	Recommendation	Interoperability barrier concerned
Ability to exchange information	1	Does/Did the NHR offer means to physically interact with the HR partner?	Yes	If possible physically modify the non-human resource.	Technical
	2	Does/Did all written indications about/present on the NHR are written in a language understandable by the HR?	Yes	Either provide translations of indications in languages usable by the (potential) user or improve language skills of the (potential) user.	Conceptual
	3	Does the NHR provide data in a language understandable by the HR?	No	To support interaction, favour the use of a standard language	Conceptual
	4	If legitimate, does/did the system allow access to the HR?	No	Define class of systems and define for them rights according to company's security policies (and partner's one if applicable).	Conceptual
Ability to understand and to use the information exchanged	5	Does/Did the NHR provide data in formats understandable and usable by the HR?	No	Establish it or collect it from the supplier of the system.	Conceptual and Technical
	6	Is/Was a formalisation of the data model available for the NHR?	Yes	Establish it or collect it from the supplier of the system.	Conceptual
	7	Does/did the NHR have a data dictionary available for the NHR?	No	Establish it or collect it from the supplier of the system.	Conceptual
	8	Is/Was the NH is provided with a documentation understandable by the HS describing how it works?	Yes	Establish it or collect it from the supplier of the system.	Conceptual

Intrinsic Potential Interoperability Score	4 /8

FIGURE 64 : EXEMPLE DE QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE

Huit questionnaires sont ainsi proposés et validés pour l'évaluation de l'Interopérabilité Intrinsèque. Leur forme identique permet d'utiliser la même méthode d'interprétation même si les jeux de questions diffèrent. Cette dernière est nécessaire lors de l'exécution des activités A.2.2 et A.2.3 décrite Figure 59 pour fournir une valeur à la réponse donnée à chaque question et en déduire le score d'interopérabilité évalué par le questionnaire. Pour cela, la formule suivante est proposée :

$$I_{int}^{x}(\mathrm{r})_y = \frac{\sum_{i=1}^{nq(Q_k)} rep(q_i)}{nq(Q_k)}$$

Avec:

- x = 'pot' of 'eff' and y = 'rh' or 'rnh',
- $rep(q_i)$: interprétation de la question q_i qui retourne 1 si la réponse est celle attendue et 0 si non,
- $nq(Q_k)$: nombre de questions du questionnaire Q_k.

Exemple – Interprétation d'un questionnaire évaluant le Score d'Interopérabilité Intrinsèque

Prenons l'exemple de l'évaluation de **l'Interopérabilité Intrinsèque Effective** d'un calculateur compris dans un banc de simulation logicielle, c'est-à-dire une ressource non-humaine, qui doit être utilisé par Brenda Johnson, c'est-à-dire une ressource humaine. Comme les deux ressources sont atomiques, un questionnaire peut être utilisé pour le calcul du Score d'Interopérabilité du calculateur.

Nous nous servons de la Figure 64 pour simuler l'exécution des Activités A.2.1 et A.2.2. L'interprétation de chacune des réponses telle que requise par l'activité 2.2.3. donne les résultats suivants : $rep(q_1) = 1$; $rep(q_2) = 1$; $rep(q_3) = 1$; $rep(q_4) = 0$; $rep(q_5) = 0$; $rep(q_6) = 1$; $rep(q_7) = 0$; $rep(q_8) = 1$; $rep(q_9) = 0$; $rep\ (q_{10}) = 0$.

D'après ces réponses, nous en déduisons lors de l'exécution de l'activité A.2.4. que :

$$I_{int}^{eff}(calculateur, Brenda\ Johnson)_{\mathrm{rh}} = \frac{(1+1+1+0+0+1+0+1+0+0)}{10} = 0{,}5.$$

Par conséquent, il apparaît que ce calculateur présente des difficultés lors de collaborations avec Brenda Johnson, puisque son score est de 50 %, ce qui est loin du score maximal de 100 %. Par conséquent, les sujets abordés lors des 4, 5, 7, 9, 10 devraient être regardés de plus près par l'équipe de déploiement pour identifier des pistes d'amélioration pour cette ressource.

Le deuxième type de questionnaires correspond à ceux permettant l'**évaluation du Score d'Interopérabilité Extrinsèque**. Ils partagent la forme de celui présenté Figure 65. La personne en charge de l'évaluation commence par poser la première question, récupère la réponse et suit les instructions données. Tant qu'elle est invitée à aller à la question suivante, elle le fait. Cependant, dès qu'elle est invitée à arrêter l'évaluation, toute réponse donnée par la suite ne sera pas prise en compte.

Pour évaluer le Score d'Interopérabilité Extrinsèque de deux ressources, un jeu de questions est proposé en fonction du type d'interopérabilité (Potentielle/Effective) évaluée. Le Tableau 15 indique le questionnaire à appliquer en fonction des conditions d'évaluation.

Indice calculé	Type ressource r_a	Type ressource r_b	*Questionnaire type*
$I_{ext}^{pot}(r_a, r_b)$	$\in RH$	$\in RH$	*Cf. Annexe C.9*
$I_{ext}^{pot}(r_a, r_b)$	$\in RNH$	$\in RH$	*Cf. Annexe C.11*
$I_{ext}^{pot}(r_a, r_b)$	$\in RH$	$\in RNH$	*Cf. Annexe C.11*
$I_{ext}^{pot}(r_a, r_b)$	$\in RNH$	$\in RNH$	*Cf. Annexe C.10*

TABLEAU 15 : QUESTIONNAIRES PROPOSES POUR L'EVALUATION DU SCORE D'INTEROPERABILITE EXTRINSEQUE POTENTIELLE

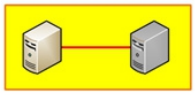
Indice calculé	Type ressource r_a	Type ressource r_b	*Questionnaire type*
$I_{ext}^{eff}(r_a, r_b)$	$\in RH$	$\in RH$	*Cf. Annexe C.12*
$I_{ext}^{eff}(r_a, r_b)$	$\in RNH$	$\in RH$	*Cf. Annexe C.14*
$I_{ext}^{eff}(r_a, r_b)$	$\in RH$	$\in RNH$	*Cf. Annexe C.14*
$I_{ext}^{eff}(r_a, r_b)$	$\in RNH$	$\in RNH$	*Cf. Annexe C.13*

TABLEAU 16 : QUESTIONNAIRES PROPOSES POUR L'EVALUATION DU SCORE D'INTEROPERABILITE EXTRINSEQUE EFFECTIVE

eurocopter
an EADS Company

Extrinsic Effective Interoperability Assessment of a couple of Human resources

Monitor simulating helmet symbology



Software test bench simulation

	#	Question	Answer	Recommendation	Interoperability barrier concerned	Instruction
Ability to exchange information	1	Do/Did they have difficulties to physically find a way to connect each other?	No	Find somebody to establish communication.	Technical	Go to next question
	2	Do/Did they need a human being to establish and keep a connection active?	No	Improve skills in a shared language or employ a translator.	Technical	Go to next question
	3	Do/Did they have difficulties to exchange information due to protocols or architecture problems?	No	In case of physical distance, IT alignement must be done. The more the ICTs are flexible and easy to use, the easier is the communication.	Conceptual and Technical	Go to next question
	4	Do/Did they have rights conflicts (access control etc.)?	No	A collaboration cannot be a success if the two partners have not the right to do it. Please ensure that both partners have to right to exchange information, especially concerning confidential data. The required administrative requests must be done.	Conceptual	Go to next question
Ability to understand and to use the information exchanged	5	Do/Did they have inconsistent data formats?	No	A common format for the data to exchange and produce must be defined. A change in this format can be realized if the two partners are agree and if it does not interfere in the both parnters way of working.	Conceptual and Technical	Go to next question
	6	Do/Did they have conflicts in their data models?	Yes	A common detailed glossary must be established. To simplify the work, it can be defined on the basis of a standard.	Conceptual	End of assessment
	7	Do some piece of data not have the same meaning/interpretation for both resources?	No	Cultural incompatibilities are the most difficult to remove. To do it the understanding of the other culture is mandatory. For this,talking and trining are required to understand the both partners positions. Cultural incompatibilities can occure if the two partners come from distinct contries or if they come from different business areas.	Conceptual	End of assessment

Intrinsic Potential Interoperability Score	5 /7

FIGURE 65 : EXEMPLE DE QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE EXTRINSEQUE

L'interprétation de ces questionnaires requiert alors la formule suivante :

$$I_{ext}^{x}(r_a, r_b) = \frac{u_{nq(Q_k)-1}}{nq(Q_k)}$$

Avec :

- x = 'pot' of 'eff'
- la suite (u_n) définie telle que $\begin{cases} u_0 = 1 \\ u_{n+1} = u_n + \prod_{i=1}^{n+1} rep(q_i) \end{cases}$

Exemple – Interprétation d'un questionnaire évaluant le Score d'Interopérabilité Extrinsèque

Illustrons la mise en œuvre de questionnaires dans le cadre de l'évaluation du **Score d'Interopérabilité Extrinsèque Effective entre ressources non humaines** : un écran permettant de simuler les symboles d'un casque de pilote et l'ordinateur de simulation du banc logiciel.

Nous nous servons de la Figure 65 pour simuler l'exécution des Activités A.2.1 et A.2.2. L'interprétation individuelle des réponses donne alors : $rep(q_1) = 1; rep(q_2) = 1; rep(q_3) = 1; rep(q_4) = 1; rep(q_5) = 1; rep(q_6) = 0; rep(q_7) = 0$.

Dès lors, l'application de la formule donne :

$$I_{ext}^{eff}(écran, ordinateur) = (1+1+1.1+1.1.1+1.1.1.1+1.1.1.1.1 +1.1.1.1.1.0) / 7 = 5/7$$

Par conséquent, le Score d'Interopérabilité Extrinsèque Effective entre ces deux ressources au moment de l'évaluation était de 71%. Considérant les réponses données, le sujet abordé par la question 6 qui a généré la sortie du questionnaire doit être examiné de plus près par l'équipe de déploiement, pour améliorer la collaboration entre ces deux ressources.

La force de la méthodologie d'évaluation proposée est son pragmatisme au regard des attentes et des pratiques des managers. Elle nécessite au final peu d'efforts de formation, grâce à l'application informatique, et reste flexible puisque l'entreprise peut changer le nombre et l'intitulé des questions.

4.4.4. EXEMPLE D'APPLICATION

L'exemple proposé dans la suite de cette section, permet d'illustrer l'applicabilité, la pertinence et l'impact de la méthodologie sur un processus de déploiement. L'entreprise veut ici déployer un processus de définition des architectures organiques, tel que décrit par l'Ingénierie Système. La définition du nouveau processus fait apparaître le manque d'une personne jouant le rôle d'Architecte Système (System Designer). La décision est donc prise de nommer un employé à ce poste.

Trois candidats sont alors envisagés : un architecte véhicule ("*vehicle designer*" abrégé VD), un architecte avionique ("*avionics designer*", abrégé AD) et un architecte système électrique ("*electrical system designer*", abrégé ED). Tous trois, du fait de leurs qualités et compétences propres, semblent adaptés pour le poste. Néanmoins, seul un candidat peut être choisi. Pour cela, leurs **Scores d'Interopérabilité Intrinsèque Potentielle** respectifs sont fournis Tableau 17.

	VD	AD	ED
$I_{int}^{pot}(r)_{hr}$	30%	35%	15%
$I_{int}^{pot}(r)_{nhr}$	90%	85%	20%
α	0,8	0,8	0,8
β	0,2	0,2	0,2
$I_{int}^{pot}(r)$	**42%**	**45%**	**16%**

TABLEAU 17 : EXEMPLE – RESULTATS DE L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE POTENTIELLE DES TROIS CANDIDATS

Les scores partiels figurant sur les deux premières lignes sont obtenus grâce à des questionnaires. Les deux lignes suivantes correspondent aux coefficients pondérateurs de l'Équation (1). Dans ce cas précis, ils ont clairement été définis de façon à privilégier l'interopérabilité

entre les hommes. Enfin, la dernière ligne donne les Scores d'Interopérabilité Intrinsèque Potentielle. Ainsi, à la vue des résultats, aucun candidat ne se démarque notablement des autres. Néanmoins, l'Architecte Système Électrique (ED) semble être bien moins interopérable que les autres. Cet architecte est donc écarté pour le poste d'Architecte Système. Cependant, l'entreprise peut profiter de cette évaluation pour améliorer ses performances en interopérabilité et ainsi pouvoir l'impliquer dans des déploiements futurs.

Les deux candidats restants sont ensuite évalués par rapport aux interopérations qu'ils pourraient réaliser en tant qu'Architecte Système : avec les responsables d'exigences, de fonctions, de l'IVVQ[28], etc. Pour cela, l'interopérabilité de chaque couple formé par le candidat et ces partenaires est évaluée (**Score d'Interopérabilité Extrinsèque Potentiel**) grâce aux questionnaires proposés. Puisqu'aucune interopération n'est considérée comme plus importante que les autres, une simple moyenne des scores obtenus par chaque candidat est réalisée pour sélectionner celui qui semble le plus adapté (cf. Tableau 18).

	VD	AD
$I_{ext}^{pot}(r',r_1)_{hr}$	15%	65%
$I_{ext}^{pot}(r',r_2)_{hr}$	25%	50%
$I_{ext}^{pot}(r,r_3)_{nhr}$	40%	25%
Average	27%	47%

TABLEAU 18 : EXEMPLE – RESULTATS DE L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE EXTRINSEQUE POTENTIELLE DES DEUX CANDIDATS RESTANTS

L'Architecte Avionique (AD) est alors choisi puisqu'il semble le plus adapté pour ce rôle eu égard à son interopérabilité. Dès lors, son **Score d'Interopérabilité Intrinsèque Effective** est calculé pour connaître de façon plus précise les points qui lui posent problème actuellement et pouvoir ainsi les corriger. Ce score est évalué de façon périodique pour contrôler les progrès effectués et pour atteindre le niveau d'interopérabilité attendu par l'entreprise avant de déployer (cf. Tableau 19).

	AD		
	t	$t+\delta t$	$t+2\delta t$
$I_{int}^{eff}(r',r_4)_{hr}$	40%	45%	45%
$I_{int}^{eff}(r',r_5)_{hr}$	65%	75%	75%
$I_{int}^{eff}(r',r_6)_{nhr}$	10%	10%	15%
$I_{int}^{eff}(r,r_7)_{nhr}$	30%	30%	40%
γ	0,8	0,8	0,8
δ	0,2	0,2	0,2
$\gamma_1=\gamma_2=\delta_1=\delta_2$	1	1	1
$I_{int}^{eff}(r)$	46%	52%	57%

TABLEAU 19 : EXEMPLE – RESULTATS DE L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE EFFECTIVE DU CANDIDAT RETENU

Finalement, une fois le déploiement effectué, son **Score d'Interopérabilité Extrinsèque Effectif** peut être calculé pour vérifier que l'Architecte Système choisi est effectivement interopérable dans le cadre des interopérations exigées par son poste, et identifier si des améliorations peuvent encore s'avérer bénéfiques.

4.4.5. SYNTHESE

L'ensemble de nos travaux reposent sur l'hypothèse que l'interopérabilité est un facteur clef pour le déploiement. Pour cela, il est nécessaire d'être en mesure de l'évaluer et ce, en tenant compte de la dynamique du déploiement puisque elle est supposée devoir s'améliorer au cours de temps.

[28] Intégration, Vérification, Validation, Qualification

Cependant, pour améliorer l'interopérabilité des ressources, il faut être en mesure de l'évaluer. Dans ce but, cette section propose tout d'abord une Matrice d'Évaluation de l'Interopérabilité, décrivant les types d'évaluations qui peuvent être menées. Puis, elle propose une Méthodologie d'Évaluation de l'Interopérabilité applicable à des unités d'organisation, comme à des ressources atomiques, qu'elles soient humaines ou non. Elle permet une évaluation avant ou après le commencement d'une interopération, que la ou les ressources partenaires soient déjà connues ou non.

Elle a été conçue par et pour des industriels. Elle se veut donc pragmatique et rapidement applicable en entreprise sans demander un effort de formation important, particulièrement grâce à l'application informatique qui la supporte. En outre, elle est ouverte aux modifications et enrichissements. Des questionnaires types ont été proposés avec leurs méthodes d'interprétation. Comme cela, les entreprises peuvent, soit utiliser les questionnaires tels quels, soit en définir de nouveaux en fonction de leurs besoins spécifiques.

À moyen terme, dans un contexte de déploiement, cette méthodologie est utilisable pour la prévention, la détection et la correction de problèmes d'interopérabilité, puisqu'elle permet :

- de détecter et localiser les difficultés liées à un manque d'interopérabilité et ainsi être en mesure de les corriger,
- de disposer d'un critère objectif pour sélectionner et allouer les nouvelles ressources à impliquer dans les processus à déployer, tout en obtenant la confiance que les ressources sélectionnées seront les plus à même de mener les interopérations nécessaires aux nouveaux processus,
- d'avoir un critère objectif de mesure et de suivi de l'évolution de l'interopérabilité de n'importe quelle ressource.

À plus long terme, l'entreprise peut utiliser cette méthodologie comme base pour améliorer l'interopérabilité des ressources qui la composent, même hors de tout contexte de déploiement. Cela permettrait, en réduisant les difficultés de collaboration, d'augmenter la réactivité globale de l'entreprise et de réduire le temps nécessaire à la livraison du produit.

Enfin, cette méthodologie peut être le moyen pour l'entreprise d'optimiser la supply chain dont elle fait partie. Nous sommes en effet convaincus que, dans un futur proche, l'interopérabilité sera un facteur réel de choix de partenaires industriels. En effet, de plus en plus de grandes entreprises exigent par exemple de leurs fournisseurs des compatibilités en termes de logiciels ou même des niveaux CMMI® minimaux. Cela n'a pas d'autre objectif que de prévenir les risques de défaillances de leurs collaborations, dus à des manques d'interopérabilité. Dès lors, la méthodologie personnalisable proposée peut être une solution supplémentaire pour définir les exigences associées aux partenariats, permettant la sélection des acteurs de la supply chain sur des critères objectifs, définis par l'entreprise et considérant toutes les barrières d'interopérabilité et tous les types d'évaluation définis dans la Matrice d'Évaluation de l'Interopérabilité.

4.5. CONCLUSION DU CHAPITRE

Ce chapitre présente trois contributions proposées pour supporter le processus de déploiement détaillé dans le chapitre suivant.

Tout d'abord, il fournit une analyse comparative des standards d'Ingénierie Système (IS). Elle permet à l'entreprise, en fonction de ses besoins et de sa stratégie, de choisir de façon éclairée le standard de base qu'elle utilisera dans sa démarche ainsi que ceux qui le compléteront si nécessaire. Cette étude était nécessaire au déploiement des processus au sein d'Eurocopter, et permet de fournir un état des lieux récent du contenu des standards d'IS.

Ensuite il propose deux méthodologies, c'est-à-dire rappelons le, un ensemble de processus, méthodes et outils, pour :

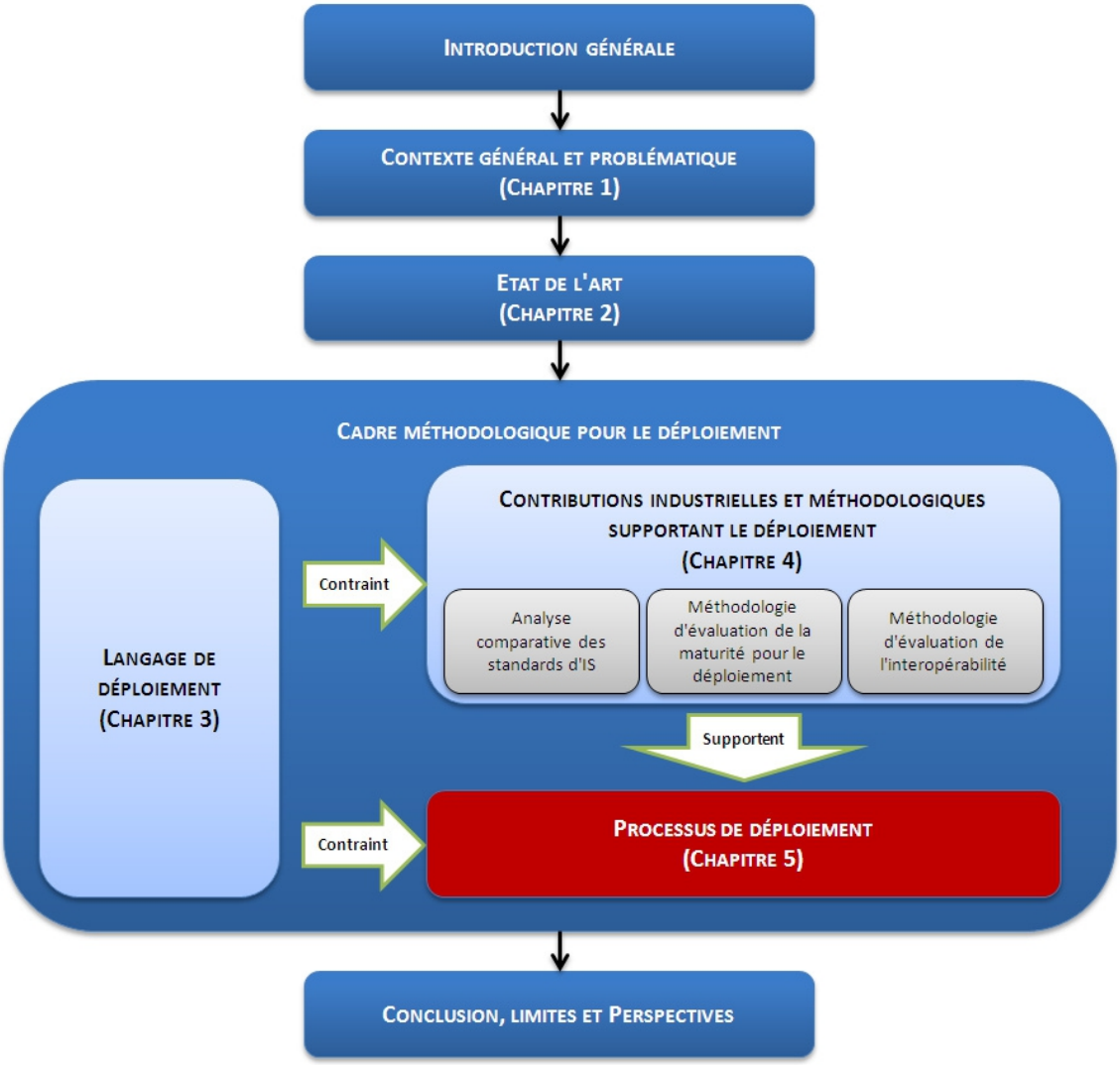
- évaluer la maturité d'une unité d'organisation pour faire face au déploiement de processus d'IS, avant même que toute action de déploiement ait été menée. Son originalité est de prendre en compte, dans l'estimation de la maturité, l'interopérabilité de l'unité d'organisation évaluée de façon à augmenter les chances de succès des nécessaires transformations associées au déploiement de l'IS.
- évaluer l'interopérabilité. Considérant les trois types de barrières de l'interopérabilité, elle permet d'évaluer les entités (ressources humaines, non humaines et unités d'organisations) impliquées ou implicables dans les processus à déployer tout au long de l'effort de déploiement.

Ces deux méthodologies, reposent sur le langage de déploiement présenté au chapitre 3, et incluent des processus d'évaluation modélisés en BPMN 2.0, un ensemble de procédures accompagnées de leurs formalisations mathématiques, et un ensemble d'outils méthodologiques (modèle de maturité / questionnaires) et informatiques (applications support).

La force de ces trois contributions réside dans le fait d'avoir été conçues par et pour des industriels. Elles se veulent donc pragmatiques, facilement et directement applicables en entreprise et ouvertes aux modifications et enrichissements. Ainsi, elles tendent à supporter et promouvoir l'IS au sein de grandes entreprises, tout en considérant l'interopérabilité et les principes d'Ingénierie Système d'Entreprise.

Le chapitre suivant présente la démarche de déploiement dans laquelle s'inscrivent ces contributions.

Chapitre 5 – Processus de déploiement proposé



5.1. INTRODUCTION

La difficulté majeure rencontrée par les entreprises voulant mener un déploiement de nouveaux processus de façon autonome est l'absence d'une démarche de déploiement qui lui soit adaptée et qui soit suffisamment détaillée, voire même outillée, conceptuellement et concrètement. Se produit dès lors le syndrome de la "feuille blanche" : une fois formée, l'équipe de déploiement ne sait pas nécessairement par où commencer, les objectifs ou les méthodes à adopter ne sont pas clairement définis, etc. Cela a pour conséquence, au mieux de retarder le projet, au pire de fournir des résultats inadéquats pour l'entreprise.

Ce chapitre présente le processus de déploiement que nous proposons. Le but est ici de fournir une base de travail et de raisonnement à l'équipe de déploiement, pour qu'elle puisse se l'approprier et l'appliquer, en la critiquant et en l'adaptant chaque fois que nécessaire. Pour cela, les besoins identifiés sont explicités, puis le processus de déploiement est ensuite décrit et illustré.

5.2. ELABORATION DU PROCESSUS DE DEPLOIEMENT PROPOSE

5.1.1 BESOINS & CONTRAINTES

La finalité du processus proposé est de contribuer au succès du déploiement. Sa mission est de décrire puis d'accompagner la mise en œuvre des activités à mener. Ses parties prenantes sont les suivantes :

- ses concepteurs,
- les personnes en charge de son adaptation : l'équipe de déploiement et, éventuellement, les membres d'autres entreprises apportant leur expertise,
- les utilisateurs, c'est-à-dire l'équipe de déploiement,
- la direction de l'entreprise et de son groupe.

Elles attendent du processus de déploiement proposé les services suivants :

- fournir, avec un niveau de détail suffisant pour leur application, l'ensemble des activités nécessaires pour le déploiement,
- permettre d'adapter les référentiels d'IS au contexte de l'entreprise,
- orchestrer les différents outils méthodologiques et techniques définis précédemment.

De plus, elles imposent la prise en compte des contraintes suivantes :

- considérer les contributions existantes et pertinentes dans le domaine du déploiement de processus d'IS.
- fournir un processus de déploiement facilement automatisable.
- pouvoir être réutilisable dans d'autres entreprises du groupe EADS et permettre la compréhension dans l'ensemble des sites d'Eurocopter et pour cela adopter là encore l'Anglais.
- être cohérent avec le langage de déploiement défini au chapitre 3.
- être décrit sous une forme réduisant la possibilité de divergence d'interprétation
- pouvoir être remis en cause (modification/extension)

5.1.2 DEMARCHE DE CONCEPTION

Les travaux existants applicables pour un déploiement de processus et plus particulièrement pour le déploiement de processus d'IS, ont été identifiés et analysés au chapitre 2, et ont permis de déterminer un ensemble d'activités rappelé Figure 66. Celui-ci a servi de base de travail pour la définition du processus de déploiement proposé illustré Figure 67.

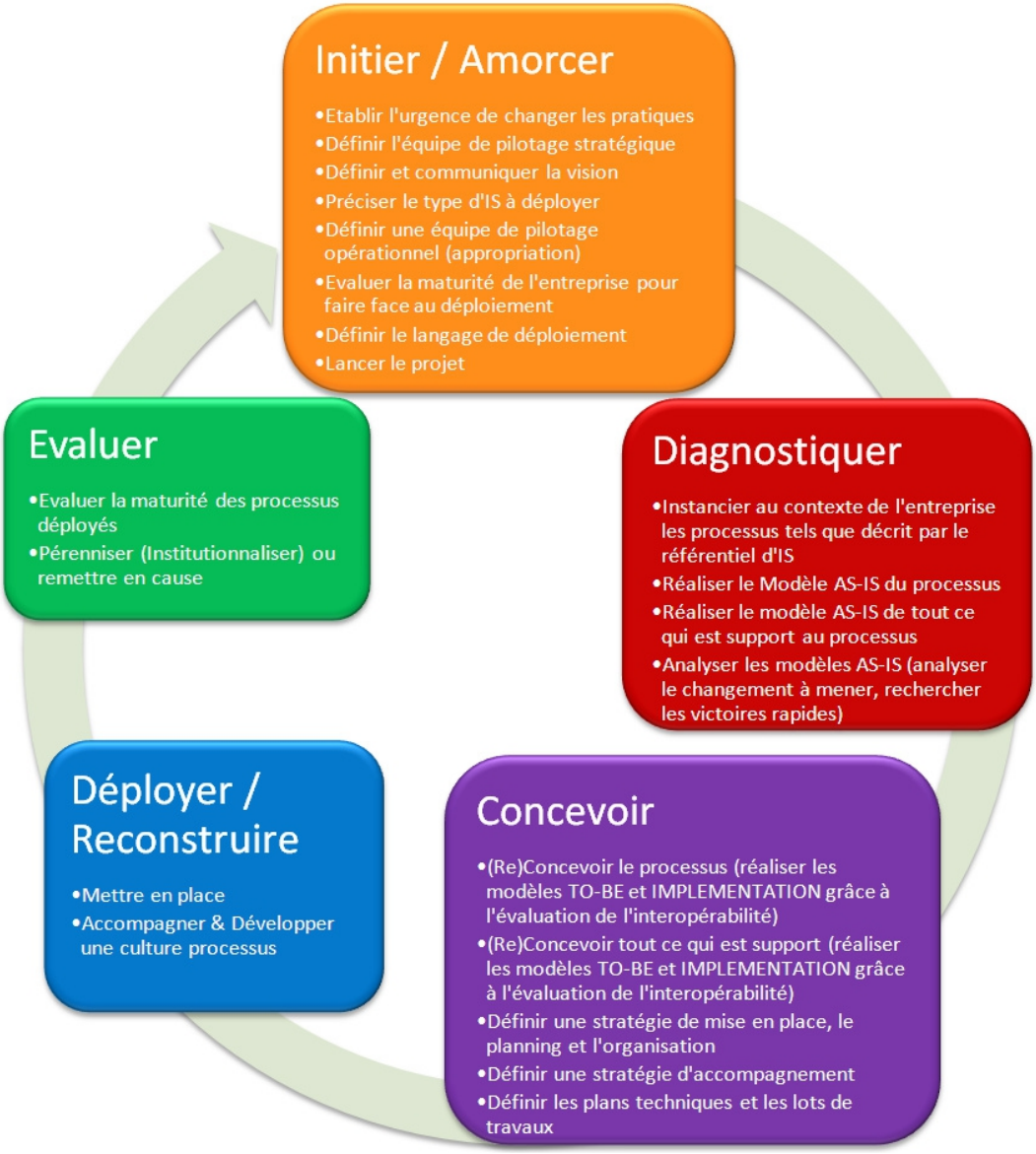


FIGURE 66 : RAPPEL – CONSOLIDATION DES ETAPES POUR DEPLOYER UN PROCESSUS D'INGENIERIE SYSTEME

5.3. MODELE DU PROCESSUS DE DEPLOIEMENT

5.1.3 INTRODUCTION

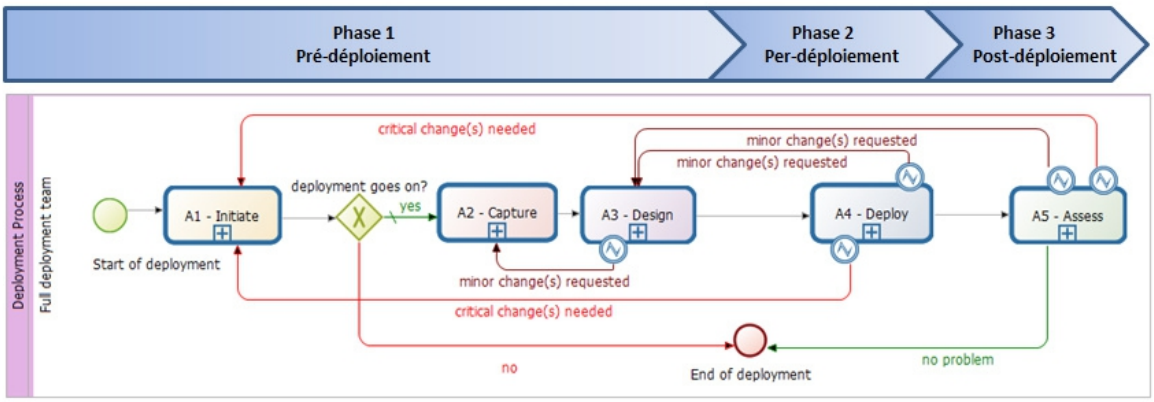


FIGURE 67 : PROCESSUS DE DEPLOIEMENT PROPOSE

Le processus de déploiement proposé, entièrement modélisé en BPMN 2.0, est illustré Figure 67 et est composé comme suit :

- l'activité **"Initier"** commence par définir le projet de déploiement et se charge de mener l'étude préalable, statuant sur la pertinence ou non du lancement effectif du projet.
- Si la décision de mener le déploiement est prise, l'activité **"Capturer"** se charge d'instancier, au contexte de l'entreprise, les définitions des processus à déployer, fournies par d'autres organismes et explicite la façon dont l'entreprise mène actuellement les activités concernées par le déploiement.
- L'activité **"Concevoir"** se charge alors de définir l'ensemble des processus à déployer et de tout ce qui leur est support.
- Ces processus sont ensuite mis en place concrètement au cours de l'activité **"Déployer"**. Celle-ci se charge aussi d'assurer un accompagnement aux personnes impactées par le déploiement et d'encourager le développement d'une "culture processus" et de la "pensée système".
- Enfin, l'activité **"Évaluer"** consiste à statuer sur la réussite du déploiement et en fonction, à remettre en cause ou à pérenniser les nouveaux processus déployés.

Ces activités exercent des contrôles entre elles et peuvent déclencher la réexécution d'une activité précédente, si une défaillance est constatée. Chacune d'entre elles est présentée dans les paragraphes suivants.

5.1.4 ACTIVITE A1 – INITIER

L'objet de cette activité, illustrée Figure 68, est de définir sans ambiguïté les tenants et aboutissants du projet de déploiement et de s'assurer que l'unité d'organisation dans lequel se déroule le déploiement est suffisamment mature pour le supporter. Pour cela, elle met en œuvre cinq sous-processus/tâches détaillés dans ce qui suit :

- SP1.1 – Définir la vision
- SP1.2 – Expliciter les parties prenantes du déploiement
- SP1.3 – Évaluer la maturité de l'entreprise pour le déploiement
- SP1.4 – Structurer le projet de déploiement
- T1.5 – Officialiser le lancement du projet

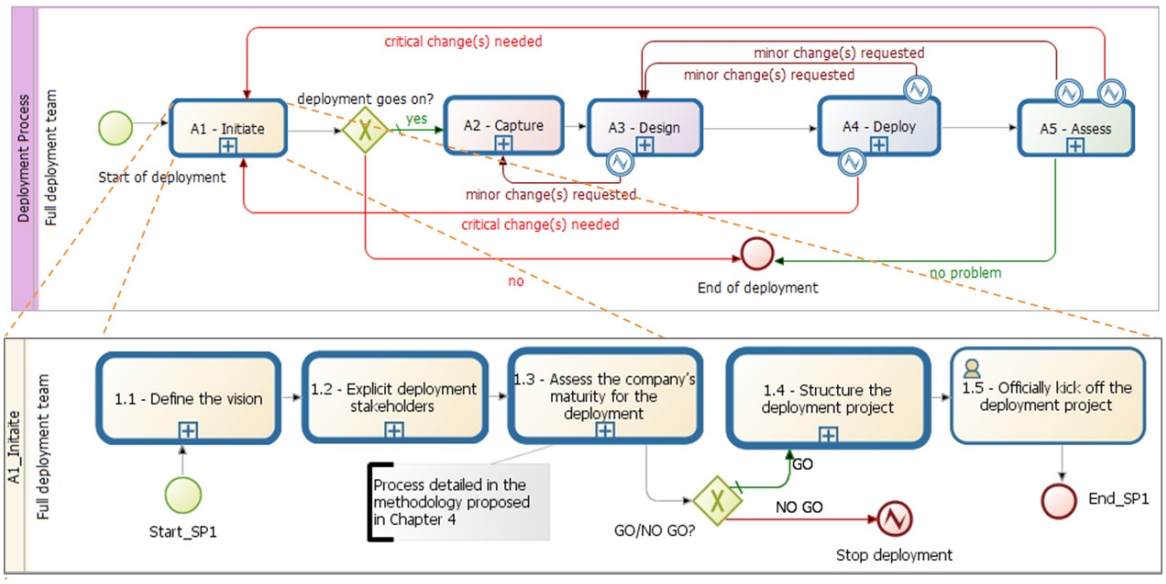


FIGURE 68 : ACTIVITE A1 – INITIER

SOUS-PROCESSUS SP 1.1 – DEFINIR LA VISION

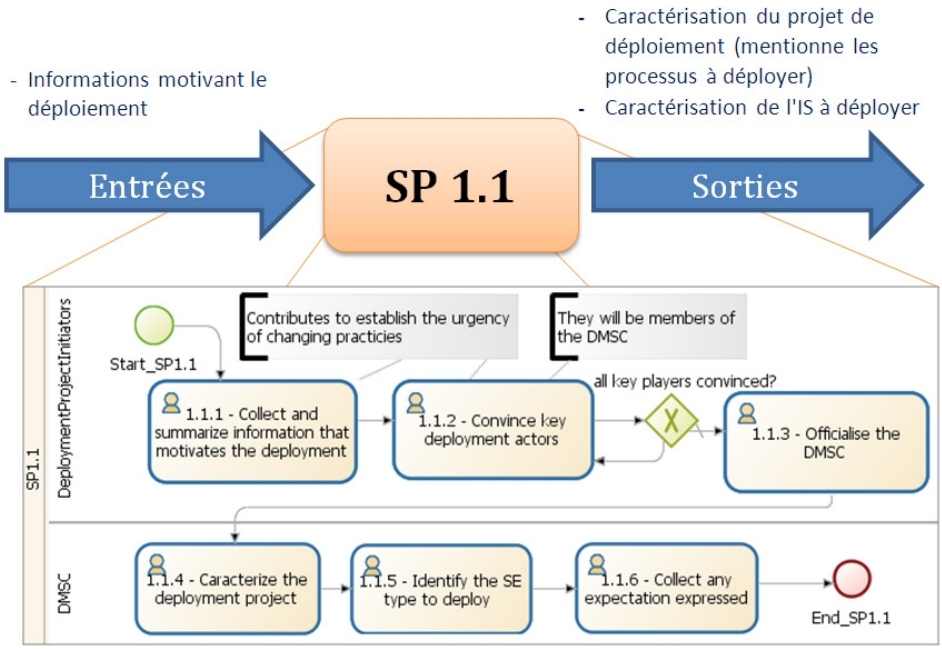


FIGURE 69 : SOUS-PROCESSUS SP1.1 – DEFINIR LA VISION

DMSC : Deployment management strategic committee – Comité de pilotage stratégique du déploiement. SE : Systems Engineering – Ingénierie Système

Lors de l'exécution de ce sous-processus, illustré Figure 69, les personnes à l'origine de l'initiative de déploiement, que nous appelons "initiateurs", se chargent de collecter et de mettre en forme toutes les informations qui justifient ce déploiement, de façon à pouvoir ensuite convaincre l'ensemble des acteurs-clefs du déploiement (dont les managers de plus haut niveau hiérarchique) de l'urgence de changer les pratiques de conception actuelles. L'implication de ce niveau de hiérarchie est critique, car ce seront ces managers qui se chargeront, par la suite, de convaincre, persuader ou imposer le changement à toute personne de leurs équipes devant être impliquée.

Dès que l'ensemble de ces acteurs clef est moteur pour le changement à opérer, la direction de l'entreprise officialise leur formation en tant que comité de pilotage stratégique du déploiement. Ce comité de pilotage caractérise alors le projet de déploiement, c'est-à-dire définit sa finalité, ses missions, ses objectifs, et son périmètre. Puis ils identifient le type d'Ingénierie Système (IS) à déployer [42], [59] en fonction du type de conception souhaitée, de façon à partager une définition commune de ce qu'ils entendent par IS, comme encouragé par [73].

SOUS-PROCESSUS SP 1.2 – EXPLICITER LES PARTIES PRENANTES DU DEPLOIEMENT

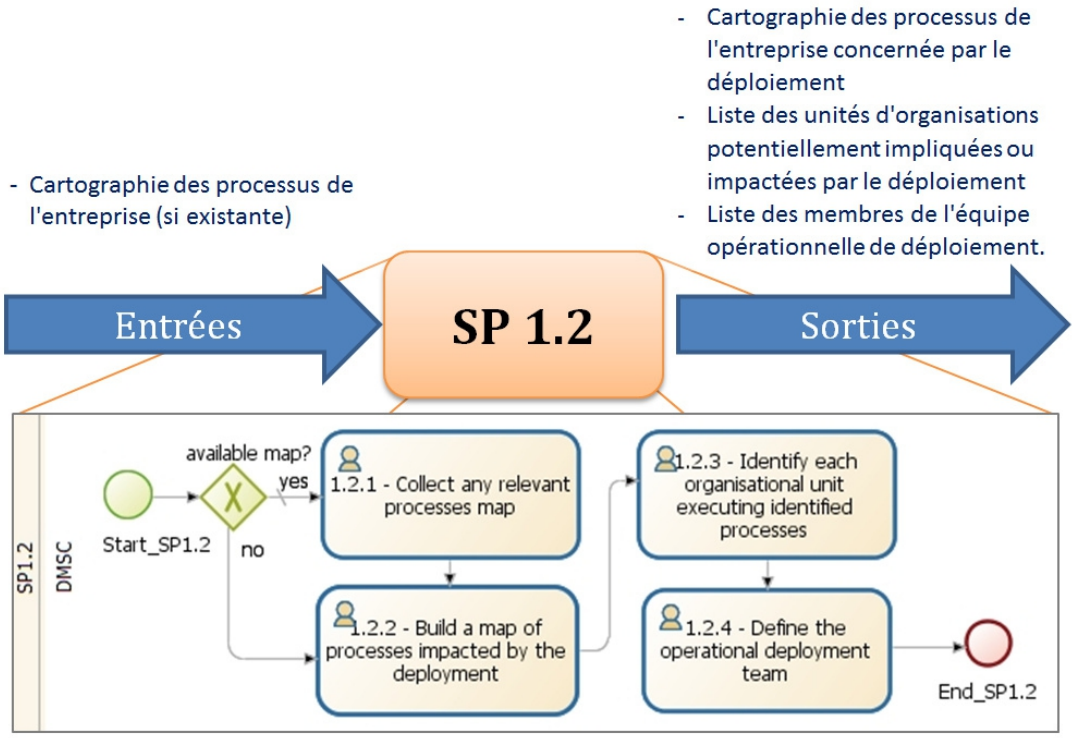


FIGURE 70 : SOUS-PROCESSUS SP1.2 – EXPLICITER LES PARTIES PRENANTES DU DEPLOIEMENT

DMSC : Deployment management strategic committee – Comité de pilotage stratégique du déploiement.

Le comité de pilotage stratégique du déploiement collecte l'ensemble des cartographies existantes de processus, pertinentes pour le déploiement, considérant le périmètre défini dans le sous-processus SP1.1. Puis, la cartographie des processus de haut niveau qui seront impliqués ou impactés par le déploiement est réalisée. Il n'est pas nécessaire que cette cartographie rentre dans le détail des processus techniques : son seul but est de les identifier et d'expliciter leurs processus supports. De cette façon, les unités d'organisation concernées peuvent être identifiées, et, ainsi, la participation de certains de leurs membres, pour faire partie de l'équipe de

déploiement opérationnelle, peut être sollicitée. Pour aider à composer celle-ci, la Figure 71 suggère certains types de personnes qui devraient en faire partie.

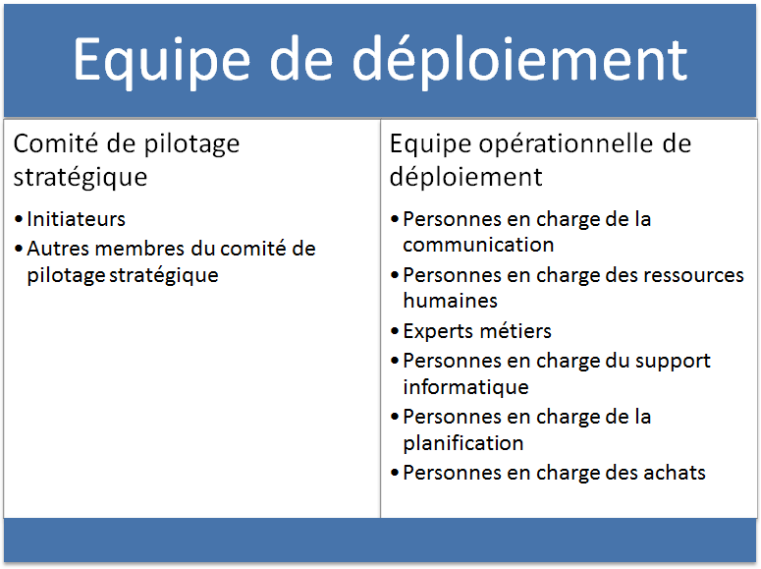


FIGURE 71 : SUGGESTION DE COMPOSITION DE L'EQUIPE DE DEPLOIEMENT

SOUS-PROCESSUS SP 1.3 – EVALUER LA MATURITE DE L'ENTREPRISE POUR LE DEPLOIEMENT

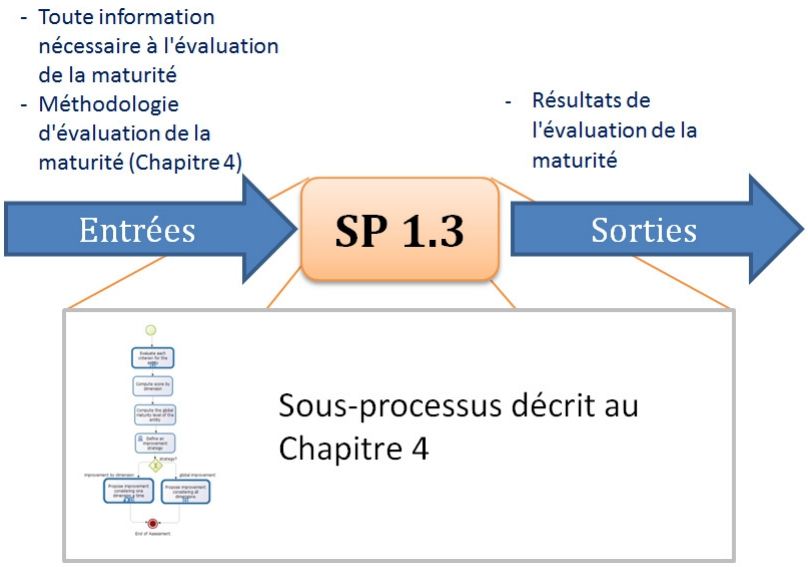


FIGURE 72 : SOUS-PROCESSUS SP1.3 - EVALUER LA MATURITE DE L'ENTREPRISE POUR LE DEPLOIEMENT

Le comité de pilotage stratégique se charge ensuite d'évaluer la maturité pour le déploiement afin de statuer sur la pertinence de celui-ci (cf. Figure 72). Le détail de ces tâches a été précisé dans le chapitre 4, lors de la présentation de la méthodologie associée.

SOUS-PROCESSUS SP 1.4 – STRUCTURER LE PROJET DE DEPLOIEMENT

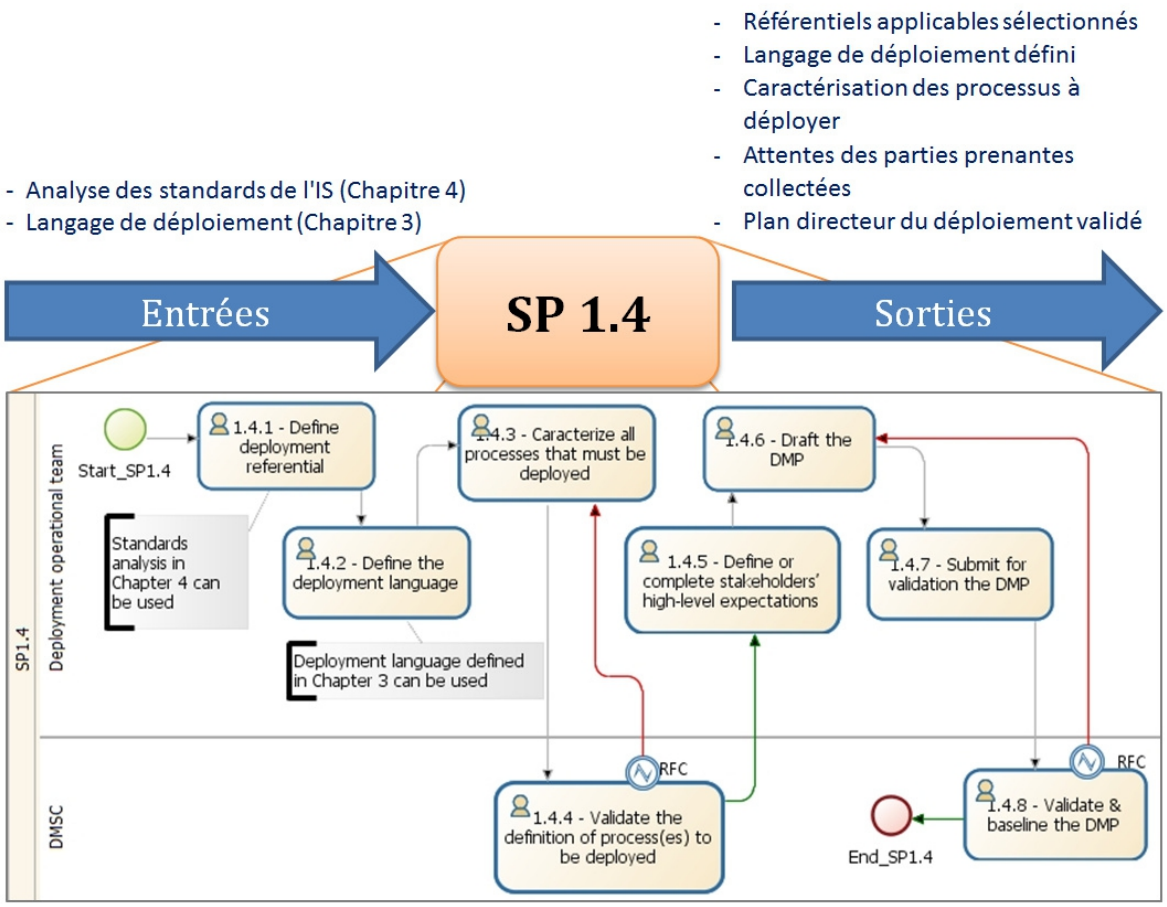


FIGURE 73 : SOUS-PROCESSUS SP1.4 - STRUCTURER LE PROJET

DMP - Deployment Management Plan : Plan directeur du déploiement
RFC – Request for change – Demande de modification

La mission de ce sous-processus est de cadrer correctement le projet de déploiement, de façon à ce que celui-ci s'exécute sans encombre. Pour cela, l'équipe de déploiement opérationnelle (cf. Figure 71) se charge tout d'abord de clarifier le ou les référentiels qui seront utilisés comme sources de bonnes pratiques. Notons que ces référentiels peuvent être des standards de l'IS et, dans ce cas, l'analyse des standards de l'IS présentée au chapitre 4 peut s'avérer d'une aide précieuse ; ou bien des référentiels autres, développés par des partenaires, par exemple. Puis, elle fixe le langage qui devra être privilégié tout au long du déploiement. Pour cela, elle peut soit définir son propre langage, soit utiliser celui proposé au chapitre 3, moyennant des adaptations en fonction de ses besoins, si ceux-ci divergent de ceux d'Eurocopter. Ensuite, sur la base de la spécification du déploiement réalisé dans le sous-processus SP1.1, l'équipe de déploiement opérationnelle caractérise chacun des processus à déployer. Une fois ce travail validé, les attentes des différentes parties prenantes peuvent être identifiées et une version initiale du plan directeur de déploiement peut être rédigée, puis soumise au comité de pilotage stratégique pour validation. Son obtention marque la fin de ce sous-processus.

TACHE T1.5 – OFFICIALISER LE LANCEMENT DU PROJET

Enfin, le comité de pilotage stratégique, appuyé par la direction de l'entreprise si c'est nécessaire, déclare terminée l'étude amont du projet de déploiement réalisée jusqu'alors et annonce officiellement le lancement de celui-ci. La vision qui l'a motivé est communiquée au sein de l'entreprise pour que les membres du bureau d'études se familiarisent avec les changements imminents qui vont avoir lieu. Cette étape peut permettre également de détecter de nouvelles parties prenantes qui auraient pu être oubliées et qui doivent faire partie de l'équipe de déploiement.

5.1.5 ACTIVITE A2 – CAPTURER

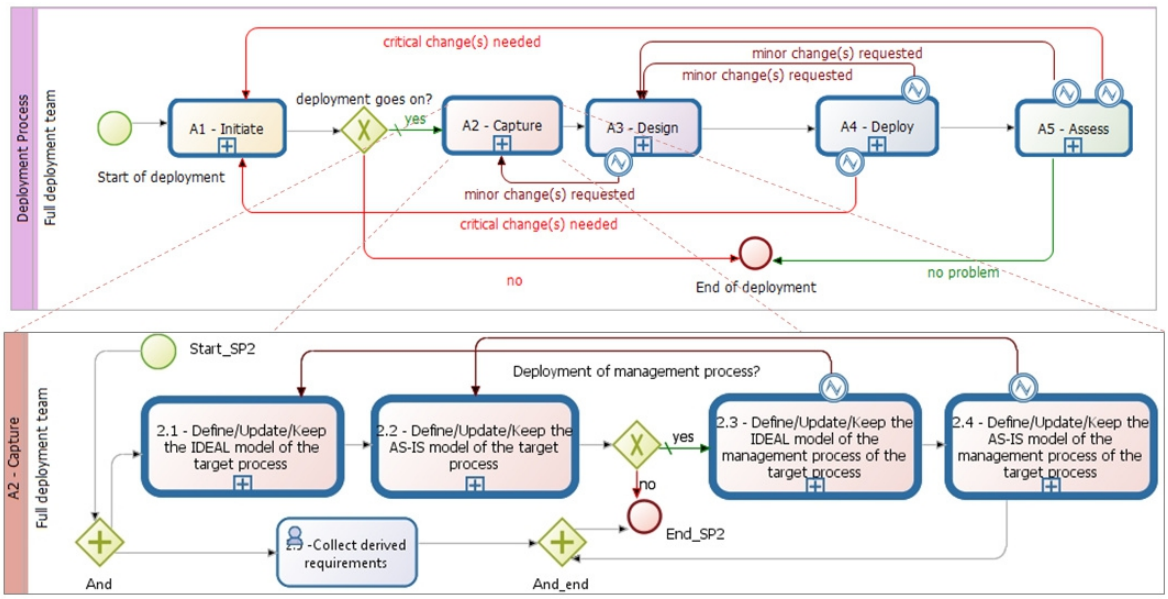


FIGURE 74 : ACTIVITE A2 – CAPTURER

Cette activité peut être déclenchée lors de deux scénarii différents (cf. Figure 74) que nous détaillerons dans les paragraphes qui suivent :

- **Cas A** : lorsque la décision de mener le déploiement est prise. Sa mission est alors de capturer et formaliser l'ensemble de la connaissance sur les processus à déployer, qu'elle soit interne ou externe à l'entreprise. Dans ce dernier cas, cette activité permet d'instancier cette connaissance au contexte de l'entreprise.
- **Cas B** : lorsque des changements doivent être apportés à la formalisation opérée dans le cas A.

Pour cela, trois ou cinq sous-processus/tâches sont nécessaires :

- SP 2.1 – Définir/Mettre à jour/Conserver le modèle IDEAL du processus cible du déploiement
- SP 2.2 – Définir/Mettre à jour/Conserver le modèle AS-IS du processus cible du déploiement
- SP 2.3 – Définir/Mettre à jour/Conserver le modèle IDEAL du processus de pilotage du processus cible du déploiement
- SP 2.4 – Définir/Mettre à jour/Conserver le modèle AS-IS du processus de pilotage du processus cible du déploiement

- T 2.5 – Collecter les exigences dérivées

Les sous-processus SP2.3 et SP2.4 ne sont appelés que s'il a été décidé de déployer un processus de pilotage au processus cible du déploiement. L'ensemble des sous-processus exécutent le même ensemble de tâches illustré Figure 75.

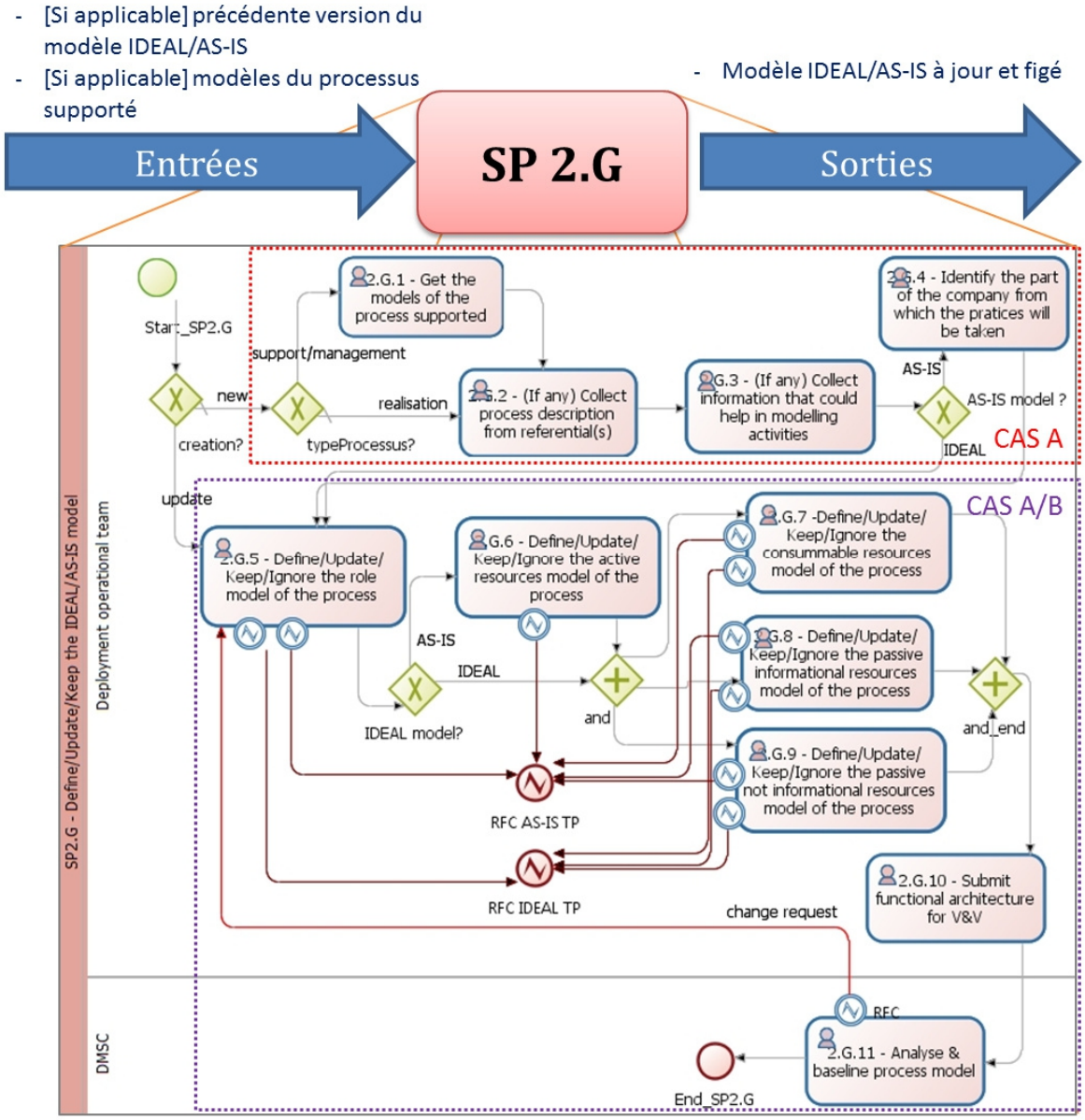


FIGURE 75 : SOUS-PROCESSUS GENERIQUE SP2.G – DEFINIR, METTRE A JOUR, OU CONSERVER LE MODELE IDEAL/AS-IS DU PROCESSUS

RFC – Request for change – Demande de modification / TP – Target process – Processus cible du déploiement / MP – Management process – Processus en charge du pilotage du processus cible / DMSC : Deployment management strategic committee – Comité de pilotage stratégique du déploiement.

CAS A – EXECUTION INITIALE

Sous-processus SP 2.1 – Définir/Mettre à jour/Conserver le modèle IDEAL du processus cible du déploiement

Si le type de processus en cours de modélisation est un processus support ou de pilotage, la première tâche de ce sous-processus consiste à récupérer le modèle du processus que celui-ci concerne. Puis, quel que soit le type de processus, la tâche suivante consiste à collecter, si elles existent, les descriptions qui en sont faites dans le ou les référentiels sélectionnés précédemment. De même, la tâche T2.G.3 se charge de collecter toute source d'informations qui pourrait s'avérer pertinente pour la modélisation, si cela est nécessaire.

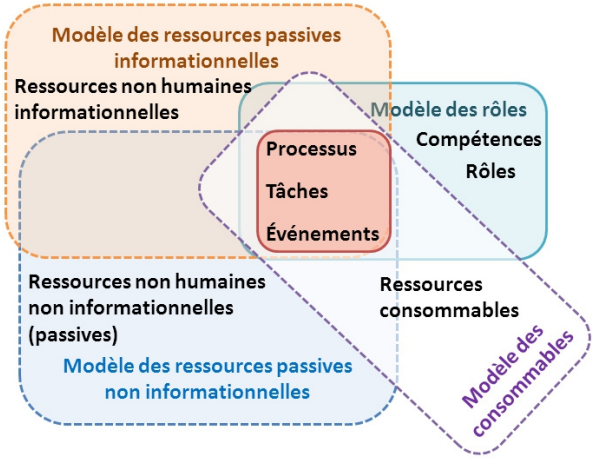


FIGURE 76 : COMPOSANTES DU MODELE IDEAL

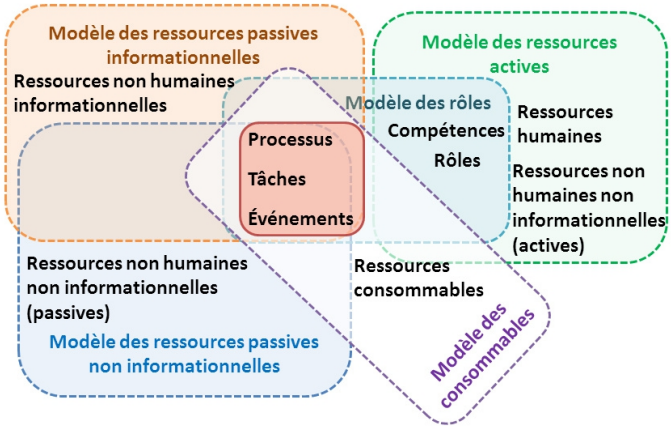


FIGURE 77 : COMPOSANTES DU MODELE AS-IS

Ensuite, comme le modèle à concevoir est le modèle IDEAL, le modèle des rôles doit être défini, éventuellement complété des modèles des ressources consommables, non humaines informationnelles et non informationnelles (cf. Figure 76). Une fois le travail de modélisation terminé, le modèle est soumis au comité de pilotage opérationnel pour vérification et validation. Tant que des corrections sont demandées, celles-ci sont opérées; néanmoins, une fois vérifié et validé, le modèle est figé et le sous-processus se termine.

Sous-processus SP 2.2 – Définir/Mettre à jour/ Conserver le modèle AS-IS du processus cible du déploiement

L'instanciation du processus générique décrit Figure 75, pour la réalisation d'un modèle AS-IS, est, dans son ensemble identique à ce qui vient d'être présenté, moyennant l'ajout de deux tâches. D'une part, la Tâche T2.G.4 qui consiste à identifier les unités d'organisations qui seront utilisées pour capturer les savoir-faire de l'entreprise. En effet, si elle est de taille importante, et que ses pratiques de conception ne sont pas homogénéisées, un choix de celles qui vont être capitalisées doit être fait.

D'autre part, la Tâche T2.G.7, qui consiste à définir une composante que possède le modèle AS-IS et non le modèle IDEAL : le modèle des ressources actives (cf. Figure 77). De plus, pour le modèle AS-IS, le modèle des rôles, bien que conseillé, n'est pas obligatoire.

Sous-processus SP 2.3 & SP2.4 – Définir/Mettre à jour/ Conserver le modèle IDEAL/AS-IS du processus de pilotage du processus cible du déploiement

L'exécution de ces deux sous-processus se fait de la même façon que ce qui a été écrit ci-dessus, sauf que le processus en cours de modélisation n'est plus le processus cible du déploiement mais son processus de pilotage.

CAS B – EXECUTION SUITE A UNE DEMANDE DE CORRECTION

Dans ce cas précis, les tâches de T2.G.1 à T2.G.5 ne sont pas exécutées, mais le reste des autres tâches reste applicable. En fonction de la demande de changements dans les modèles qui a été formulée, les tâches réalisées consistent, soit à mettre à jour les modèles en conséquence, soit à les conserver s'ils sont corrects.

5.1.6 ACTIVITE A3 – CONCEVOIR

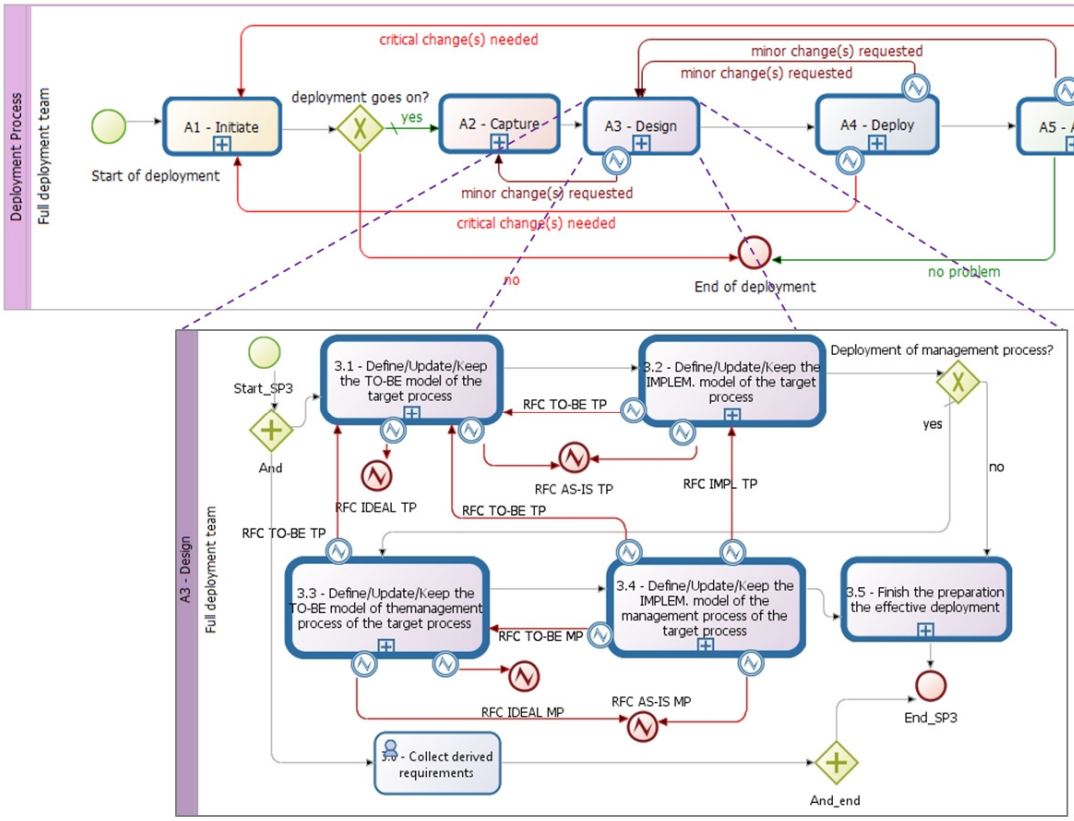


FIGURE 78 : ACTIVITE A3 – CONCEVOIR

RFC – Request for change – Demande de modification / TP – Target process – Processus cible du déploiement / MP – Management process – Processus en charge du pilotage du processus cible

De la même façon que pour l'activité précédente, deux scénarios distincts engendrent le déclenchement de cette activité (Figure 78) :

- Lorsque l'activité précédente est terminée. Dans ce cas, cette activité se charge de définir les modèles TO-BE et IMPLEMENTATION de l'ensemble des processus à déployer et de développer tout ce qui leur est support.

- Lorsque, suite à l'exécution de cette activité, des demandes de changements ont été formulées. Dans ce cas, cette activité sera exécutée pour corriger les modèles qu'elle a réalisés lors d'une exécution précédente s'avérant problématique.

Pour cela, il met en œuvre tout ou partie des sous-processus suivants, détaillés dans les prochains paragraphes :

- SP 3.1 – Définir/Mettre à jour/Maintenir le modèle TO-BE du processus cible du déploiement
- SP 3.2 – Définir/Mettre à jour/Maintenir le modèle IMPLEMENTATION du processus cible du déploiement
- SP 3.3 – Définir/Mettre à jour/Maintenir le modèle TO-BE du processus de pilotage du processus cible du déploiement
- SP 3.4 – Définir/Mettre à jour/Maintenir le modèle IMPLEMENTATION du processus de pilotage du processus cible du déploiement
- SP 3.5 – Terminer la préparation du déploiement effectif
- T3.6 – Collecter les exigences dérivées

En effet, les sous-processus SP 3.3 et SP 3.4 ne sont activés que si le processus de pilotage du processus cible est déployé. De plus si, suite à l'exécution d'un de ces sous-processus, des erreurs sont détectées, cette activité s'arrête et déclenche de nouveau l'exécution de l'Activité 2.

SOUS-PROCESSUS SP 3.G1 – DEFINIR/METTRE A JOUR/MAINTENIR LE MODELE TO-BE DU PROCESSUS CIBLE DU DEPLOIEMENT / DE SON PROCESSUS DE PILOTAGE

Ce sous-processus est illustré sur la Figure 80. Sa première tâche consiste à comparer les modèles IDEAL et AS-IS, de façon à identifier les différences qui existent entre eux et statuer sur la présence de leurs éléments dans le TO-BE. Elle est également l'occasion de mettre en exergue les erreurs de modélisation précédemment commises.

Puis, sur cette base, les sous-modèles constituant le modèle TO-BE sont réalisés (Figure 79), à savoir le modèle des rôles et des ressources passives informationnelles. Puis comme pour les modèles précédents, des tâches de vérification de validation sont réalisées par le comité de pilotage stratégique avant de terminer le sous-processus.

Nous pouvons noter sur la Figure 80, que ce sous-processus peut être terminé si des erreurs de modélisation ont été détectées sur les modèles réalisés précédemment.

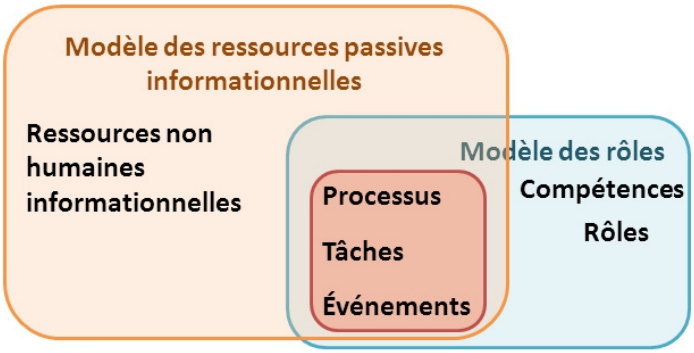


FIGURE 79 : COMPOSANTES DU MODELE TO-BE D'UN PROCESSUS

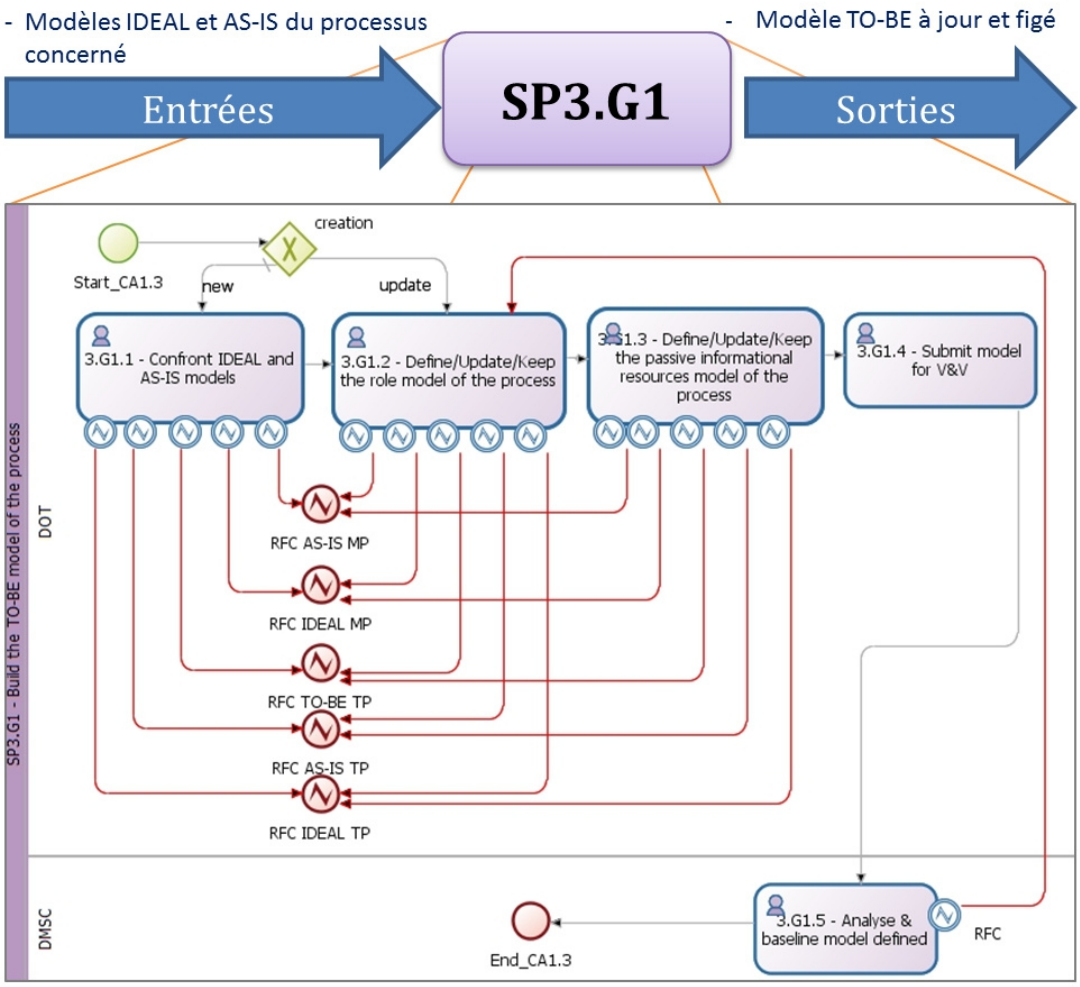


FIGURE 80 : SOUS-PROCESSUS GENERIQUE SP3.G1 – REALISER LE MODELE TO-BE D'UN PROCESSUS

RFC – Request for change – Demande de modification / TP – Target process – Processus cible du déploiement / MP – Management process – Processus en charge du pilotage du processus cible / V&V : Vérification et Validation

SOUS-PROCESSUS SP 3.G2 – DEFINIR/METTRE A JOUR/MAINTENIR LE MODELE IMPLEMENTATION DU PROCESSUS CIBLE DU DEPLOIEMENT/ DE SON PROCESSUS DE PILOTAGE

Ce sous-processus est modélisé sur la Figure 81. La première tâche qu'il comprend consiste, sur la base du modèle TO-BE, à identifier quelle ressource de l'entreprise, découverte lors de la réalisation du modèle AS-IS, pourrait jouer chacun des rôles identifiés au vu de ses caractéristiques et compétences. Si aucune d'entre elles ne peut être trouvée, un besoin d'embauche est exprimé. En revanche, si une ou plusieurs ressources ont été repérées, leur interopérabilité est évaluée à l'aide de la méthodologie proposée au chapitre précédent. Cela permet de choisir entre des ressources apparemment équivalentes, et de justifier en partie le modèle des ressources actives, seule composante obligatoire du modèle IMPLEMENTATION (cf. Figure 82). Puis, éventuellement, les modèles des ressources consommables, informationnelles et non informationnelles passives, sont conçus, avant que les tâches de V&V soient réalisées pour la livraison officielle du modèle. Ici encore, les erreurs de modélisation dans les modèles précédents engendrent la terminaison du sous-processus.

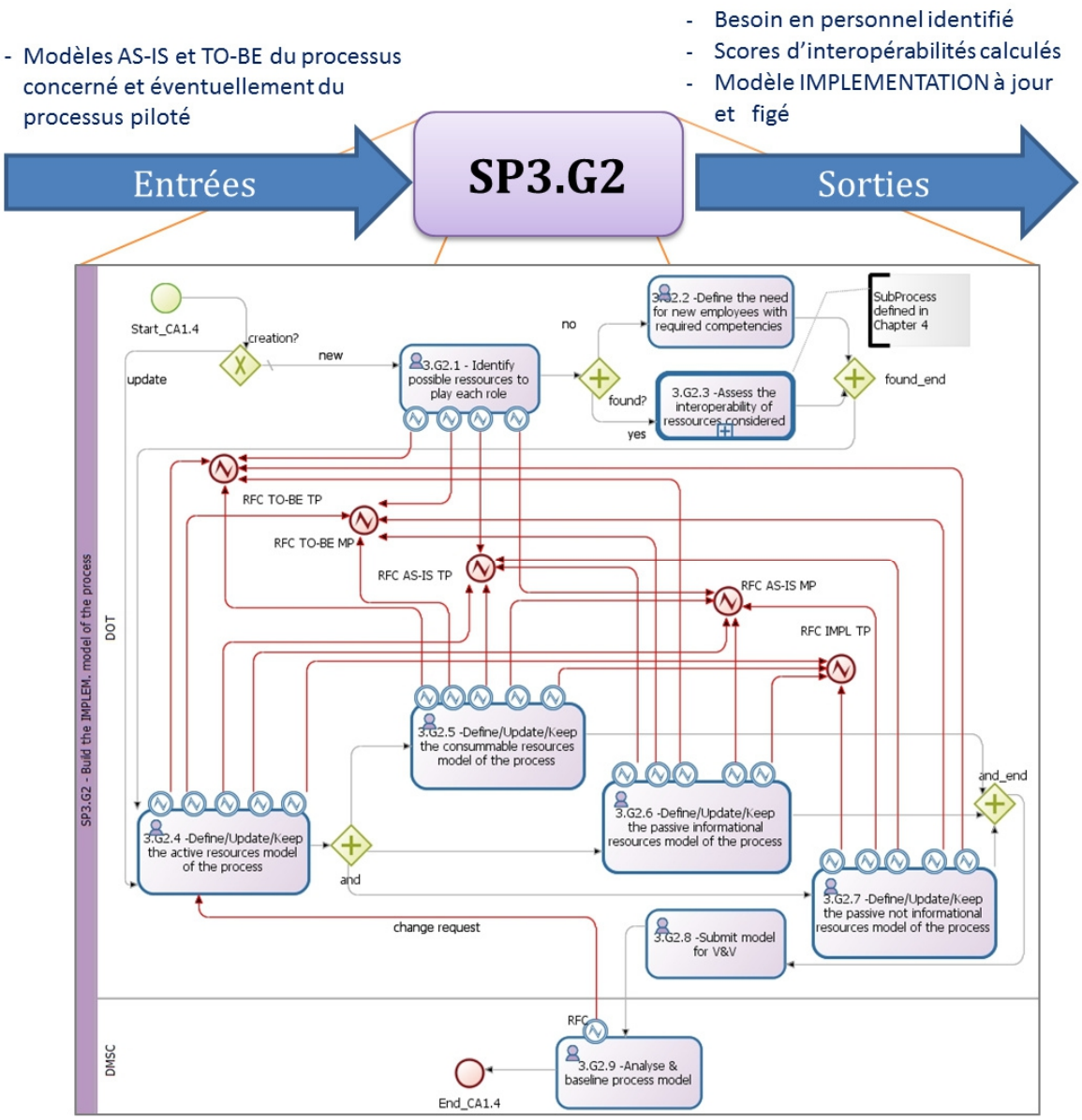


FIGURE 81 : SOUS-PROCESSUS GENERIQUE SP3.G2 - REALISER LE MODELE IMPLEMENTATION D'UN PROCESSUS

RFC – Request for change – Demande de modification / TP – Target process – Processus cible du déploiement / MP – Management process – Processus en charge du pilotage du processus cible / V&V : Vérification et Validation / DMP - Deployment Management Plan : Plan directeur du déploiement

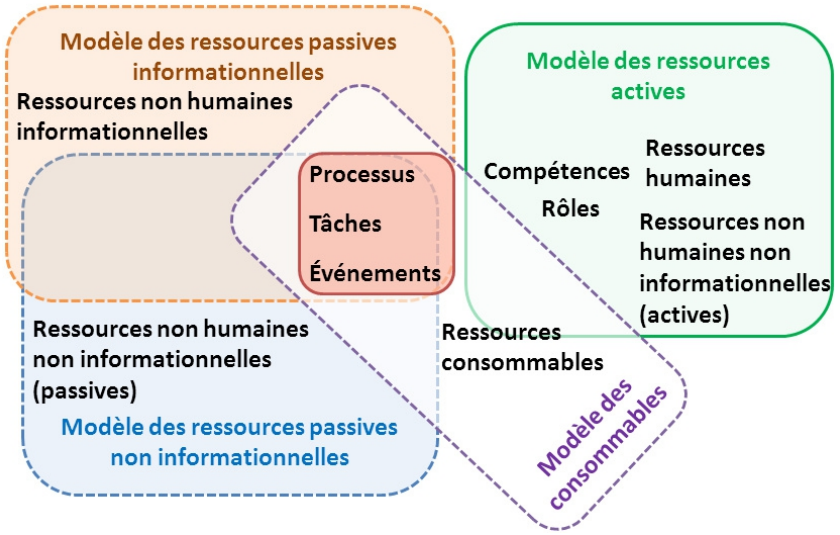


FIGURE 82 : COMPOSANTES DU MODELE IMPLEMENTATION D'UN PROCESSUS

Un trait plein indique un modèle obligatoire et un trait en pointillé, un modèle optionnel.

SOUS-PROCESSUS SP 3.5 – TERMINER LA PREPARATION DU DEPLOIEMENT EFFECTIF

Ce sous-processus conclut l'activité de conception. Il a pour objet de définir l'ensemble des moyens pratiques pour supporter le déploiement, l'exécution, la vérification et la validation du ou des processus à déployer définis précédemment.

Pour cela, il consiste tout d'abord à définir la stratégie de mise en place, qui servira de base de à la planification du déploiement figurant dans la nouvelle version du plan directeur de déploiement.

Puis simultanément, des kits de communication et de formation sont développés, la communication autour du déploiement est organisée, des personnes sont embauchées pour jouer les rôles non pourvus, et les outils et technologies nécessaires sont achetés. De plus, l'ensemble des critères qui pourront déterminer si le déploiement a été réalisé correctement (vérification) et qu'il répond bien aux attentes de ses parties prenantes (validation), est défini.

Enfin, de façon à ce que toutes les personnes de l'entreprise impactées se sentent impliquées, une campagne de communication est amorcée.

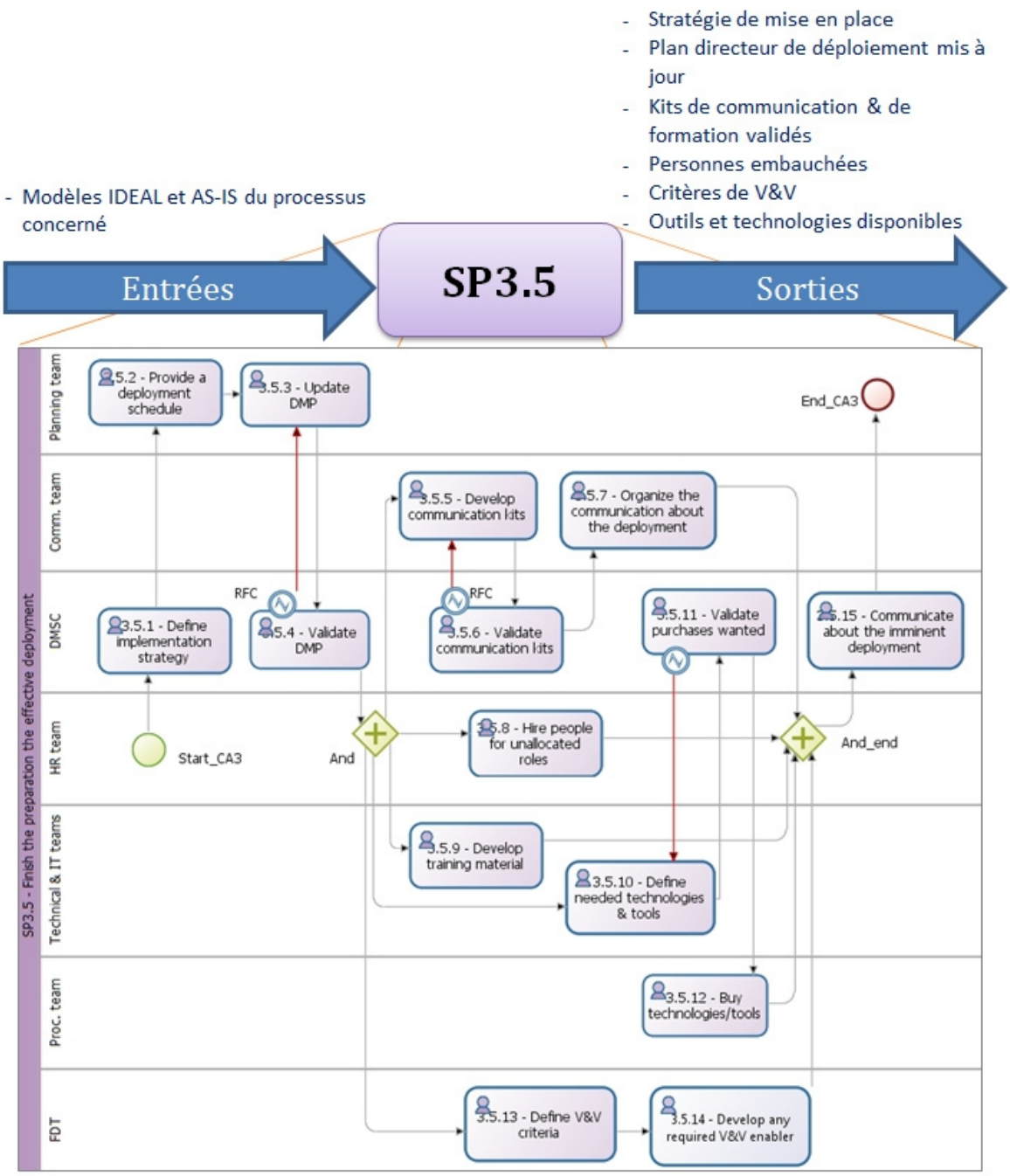


FIGURE 83 : SOUS-PROCESSUS SP3.5 - TERMINER LA PREPARATION DU DEPLOIEMENT EFFECTIF

RFC – Request for change : Demande de modification / DMP - Deployment Management Plan : Plan directeur du déploiement / FDT - Full Deployment Team : équipe de déploiement / V&V : Vérification et Validation

5.1.7 ACTIVITE A4 – DEPLOYER

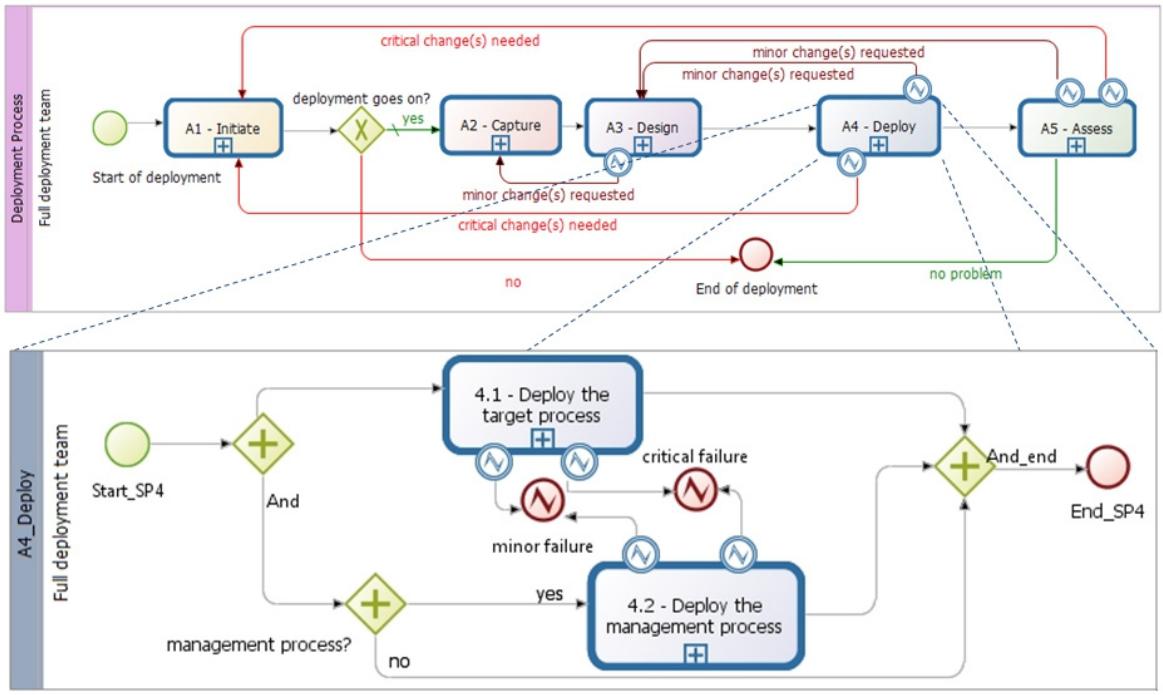


FIGURE 84 : ACTIVITE A4 – DEPLOYER

Cette activité concrétise l'ensemble des efforts menés jusque-là, en mettant en place dans l'entreprise tout ce qui a été défini dans les activités précédentes, tout assurant un accompagnement aux personnes impactées par le déploiement (cf. Figure 84).

Cette activité se décompose en deux sous-processus : SP4.1 et SP4.2 qui se chargent respectivement de déployer le processus cible et son processus de pilotage, si celui-ci doit l'être. Ils mettent en œuvre le même jeu de tâches, illustré Figure 85.

L'équipe en charge de la planification se charge d'organiser des revues d'avancement auxquelles l'ensemble des membres de l'équipe de déploiement se soumet. Cette dernière se charge également, en continu, de supporter toute personne en difficulté du fait du déploiement. Parallèlement, les membres des ressources humaines ainsi que les membres du comité de pilotage stratégique, se chargent de communiquer les nouvelles affectations des ressources et de résoudre les conflits pouvant apparaitre. S'ils n'y parviennent pas, cela arrête le déploiement et relance les activités A1 ou A3 en fonction de la criticité du conflit. Par contre, s'ils réussissent, les experts métiers se chargent de changer la documentation technique de l'entreprise concernant le processus, de façon à ce qu'elle intègre les nouvelles façons de faire.

Puis, les supports de communication et de formation sont diffusés. Des réunions sont menées par le comité de pilotage stratégique, pour expliquer les tenants et les aboutissants du déploiement et promouvoir la pensée système. Les formations sont organisées. Et enfin, les nouveaux outils et technologies sont mis en place et les conflits sont là encore résolus.

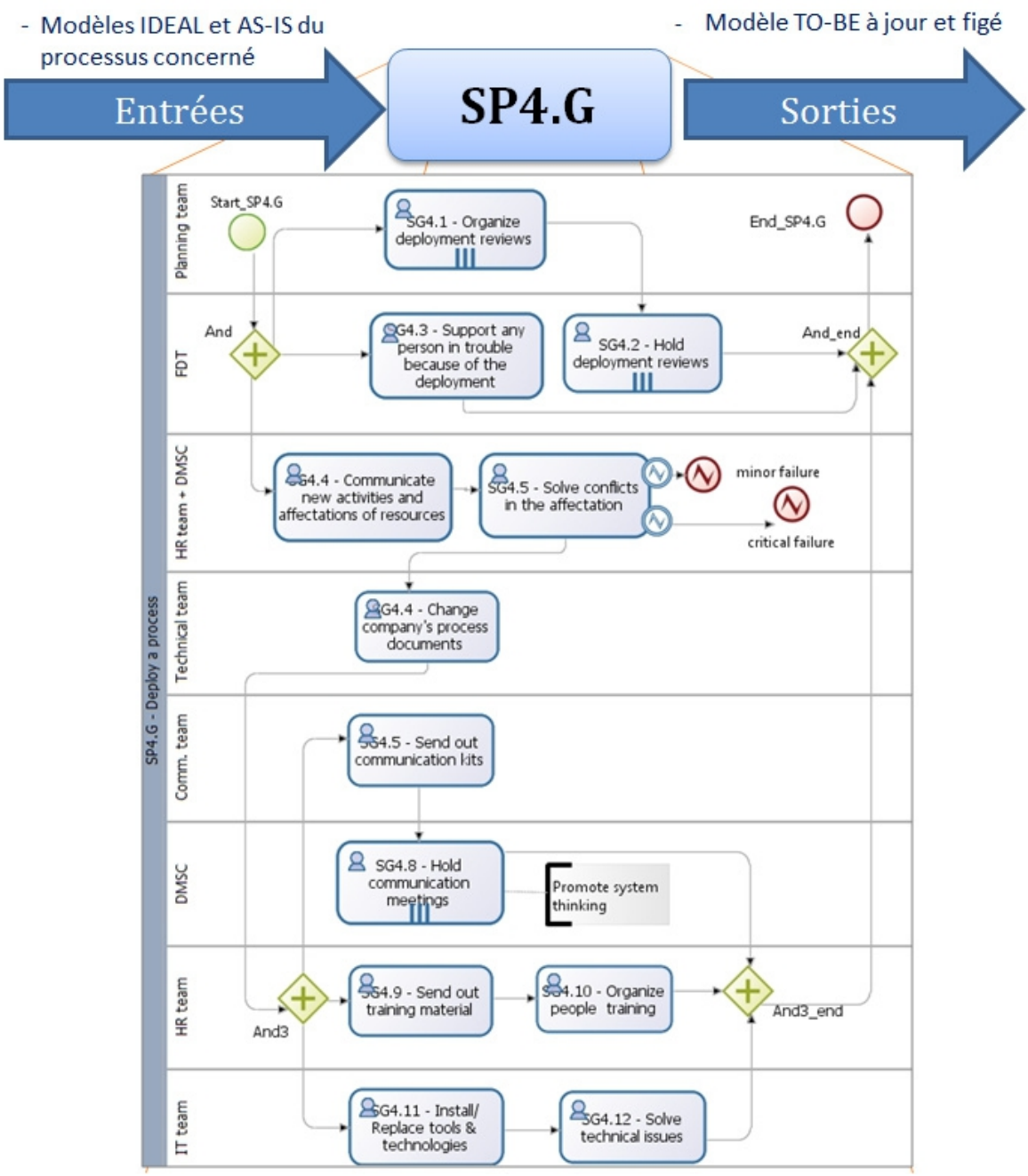


FIGURE 85 : SOUS-PROCESSUS GENERIQUE SP4.G – DEPLOYER UN PROCESSUS

DMSC : Deployment management strategic committee – Comité de pilotage stratégique du déploiement / FDT - Full Deployment Team : équipe de déploiement

5.1.8 ACTIVITE A5 – EVALUER

Cette activité consiste à évaluer la réussite du déploiement et, en fonction, à remettre en cause ou à pérenniser les nouveaux processus déployés. Pour cela, elle met en œuvre tout ou partie des sous-processus suivants (cf. Figure 86) :

- SP 5.1 – Vérifier la mise en place effective du processus cible
- SP 5.2 – Valider la mise en place effective du processus cible

- SP 5.3 – Vérifier la mise en place effective du processus de pilotage
- SP 5.4 – Valider la mise en place effective du processus de pilotage
- SP 5.5 – Évaluer la maturité de l'entreprise

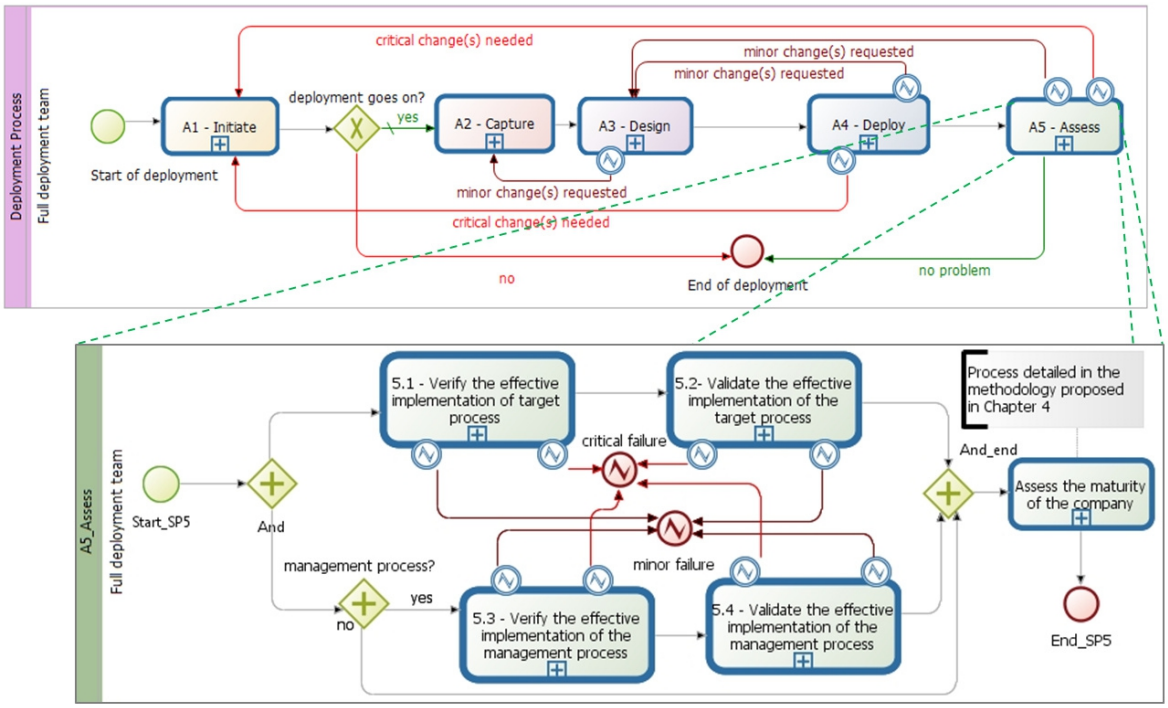


FIGURE 86 : ACTIVITE A5 – EVALUER

Les sous-processus SP5.1 et SP5.3 (respectivement SP5.2 et SP5.4) mettent en œuvre les tâches décrites Figure 87 (respectivement Figure 88).

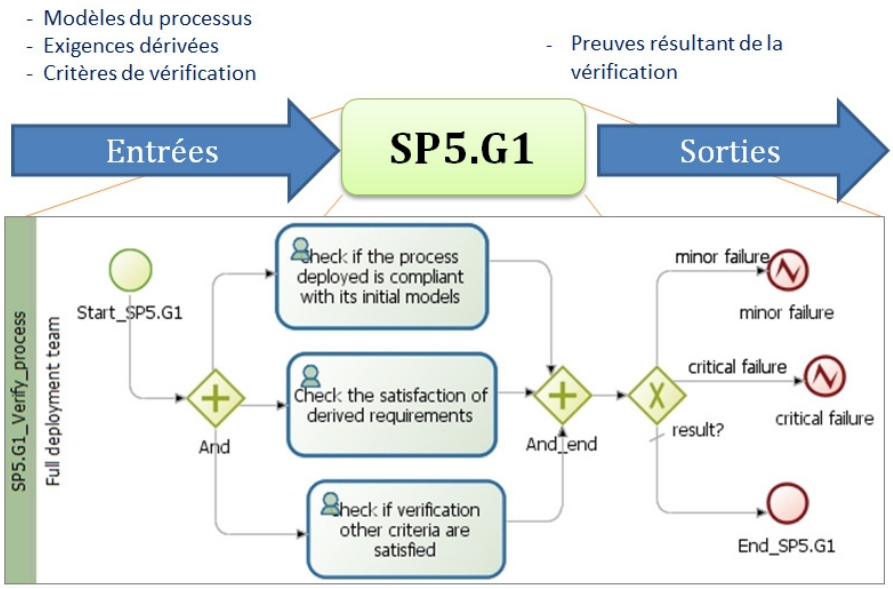


FIGURE 87 : SOUS-PROCESSUS GENERIQUE SP5.G1 – VERIFIER UN PROCESSUS

Dans le premier cas, l'équipe de déploiement se charge de vérifier : la conformité du processus déployé par rapport aux modèles définis, la satisfaction des exigences dérivées et des autres critères de vérification définis. Dans le second cas, elle s'assure de l'application du processus, de la satisfaction de l'ensemble des attentes et de l'ensemble des autres critères de validation.

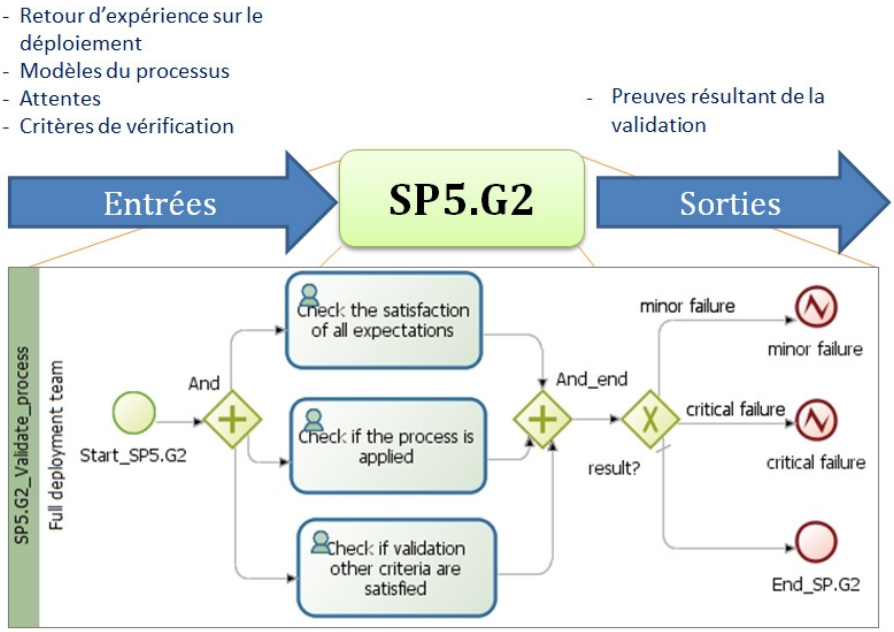


FIGURE 88 : SOUS-PROCESSUS GENERIQUE SP5.G2 – VALIDER UN PROCESSUS

Trois issues sont possibles pour ces deux sous-processus génériques : un résultat favorable, un résultat défavorable demandant des modifications mineures, et enfin, un résultat défavorable remettant en cause tout le déploiement. Le premier résultat mène à une nouvelle évaluation de la maturité pour avoir une constatation chiffrée de l'efficacité du processus. Les deux autres conduisent à la réexécution des activités A1 et A3.

La section suivante présente la mise en œuvre de ce processus de déploiement sur un exemple.

5.4. EXEMPLE D'APPLICATION

5.1.1 PRESENTATION DU CAS

Cet exemple se déroule dans une entreprise du domaine aéronautique. Un de ses projets de conception d'un système avionique est en difficulté, ses délais n'étant pas tenus. Trois causes sont identifiées. Premièrement, les rôles et responsabilités ne sont ni formalisés, ni partagés au sein du projet. Deuxièmement, les livrables devant être fournis ou reçus pas les différents acteurs ne sont ni identifiés ni clairement dotés d'une date de livraison diffusée au sein du projet. Enfin, les documents applicables au projet ne sont pas connus.

Les responsables du projet identifient donc que le problème vient d'un manque de processus formalisés, partagés et appliqués. Il est alors décidé de résoudre ce problème en mettant en place des processus standards au sein du projet. Les responsables voient, en ce déploiement,

l'occasion de mettre en place des pratiques d'Ingénierie Système, de façon à augmenter la qualité des livrables du projet et à rendre les activités plus efficientes.

Pour commencer, il est décidé de mettre en place un processus de définition des exigences des parties prenantes, au vu de leur qualité déplorable au sein du projet. Détaillons, activité par activité, la façon dont est opéré ce déploiement.

5.1.2 ACTIVITE A1 – INITIER

SOUS-PROCESSUS SP 1.1 – DEFINIR LA VISION

La première tâche consiste à collecter les informations motivant le déploiement. Ici, il s'agit des données chiffrées sur les problèmes liés à des exigences mal rédigées et mal tracées, ainsi que celles relatives aux couts temporel et financier que représentent la réécriture des exigences.

Celles-ci sont ensuite synthétisées et présentées de façon à convaincre les managers concernés de la pertinence de mettre une place un nouveau processus et de les faire prendre part au comité de pilotage stratégique du déploiement.

Puis, le projet de déploiement et le type d'IS concerné peuvent être caractérisés :

Finalité :
- Améliorer l'efficacité du projet de conception et capitaliser les pratiques de conception

Mission :
- Modéliser le processus existant de définition des exigences des parties prenantes et les ressources qu'il implique
- Faire adopter à sa place un nouveau processus de définition des exigences des parties prenantes modélisé, mettant en œuvre les bonnes pratiques préconisées par les référentiels d'IS, et impliquant les ressources les plus adéquates

Objectifs :
- Mener le déploiement et faire adopter le nouveau processus en moins d'un an

Périmètre :
- Département en charge de la conception des systèmes avioniques
- Le processus de pilotage sera déployé ultérieurement

Type d'IS :
- "Ingénierie Système de Programme " / Conception Innovante (cf. chapitre 2)

Aucune attente complémentaire n'est formulée par le comité de pilotage.

SOUS-PROCESSUS SP 1.2 – EXPLICITER LES PARTIES PRENANTES DU DEPLOIEMENT

Sur la base de la cartographie des processus de l'entreprise non montrée ici, une carte de haut niveau est réalisée, résumant ceux qui seront impactés par le déploiement (cf. Figure 89). Ensuite, bien que non illustré ici, chacune des unités d'organisation qui leur sont allouées sont identifiées ainsi que les ressources les composant. Enfin, grâce à tous ces éléments, les membres indispensables de l'équipe de déploiement sont identifiés, à savoir les personnes en charge de :

- la qualité du projet
- la vente de produits et services au client, de la gestion de ses contrats et de la communication en vers lui
- gérer le projet
- acquérir tout ce qui est utile ou nécessaire au projet
- gérer et fournir les ressources humaines du projet
- gérer et fournir les ressources non humaines du projet

- De fournir les composants et sous-systèmes

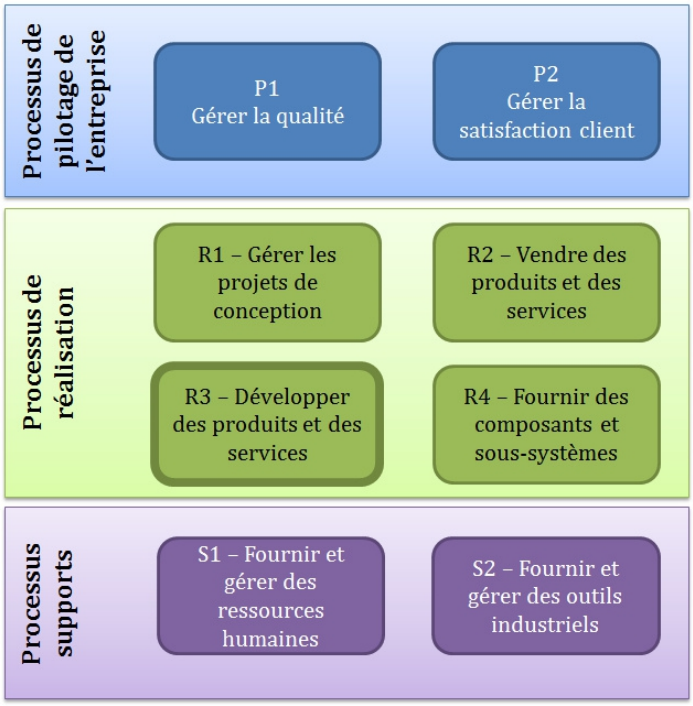


FIGURE 89 : EXEMPLE – CARTOGRAPHIE DES PROCESSUS IMPACTES PAR LE DEPLOIEMENT

SOUS-PROCESSUS SP 1.3 – EVALUER LA MATURITE DE L'ENTREPRISE POUR LE DEPLOIEMENT

Pour réaliser le projet de conception, une équipe transversale aux différents services de l'entreprise a été créée. La maturité de celle-ci est évaluée et un score de 2 est obtenu (cf. Figure 90, Figure 91, Figure 92, et Figure 93).

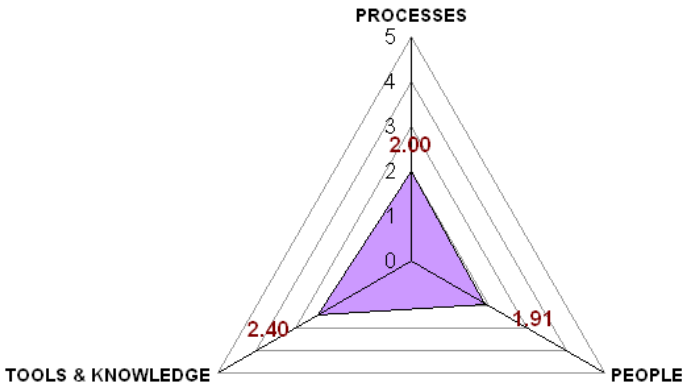


FIGURE 90 : EXEMPLE – SYNTHESE GLOBALE DES RESULTATS DE L'EVALUATION DE LA MATURITE

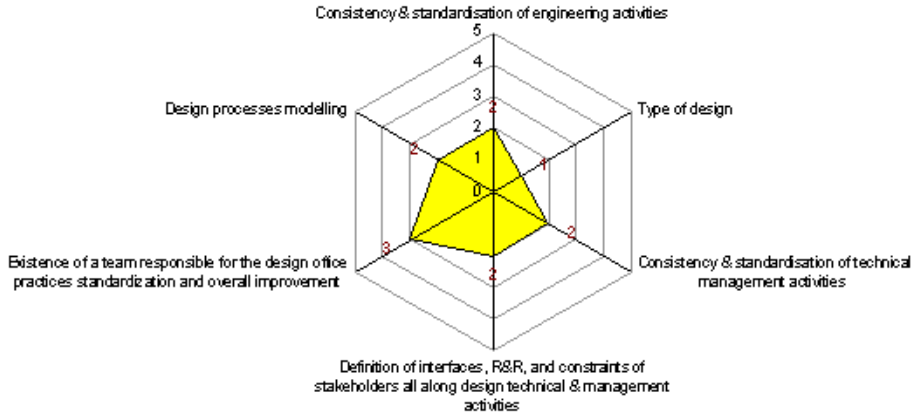


FIGURE 91 : EXEMPLE – SYNTHESE DES RESULTATS POUR LA DIMENSION "PROCESSUS"

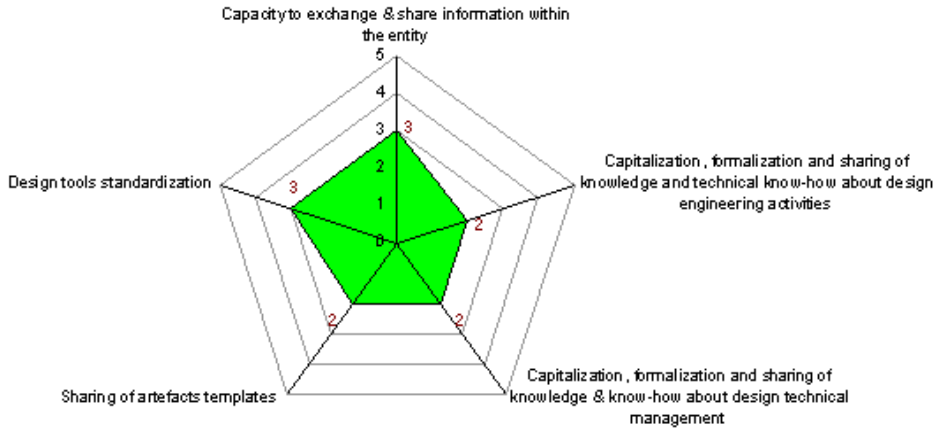


FIGURE 92 : EXEMPLE – SYNTHESE DES RESULTATS POUR LA DIMENSION "METHODES ET OUTILS"

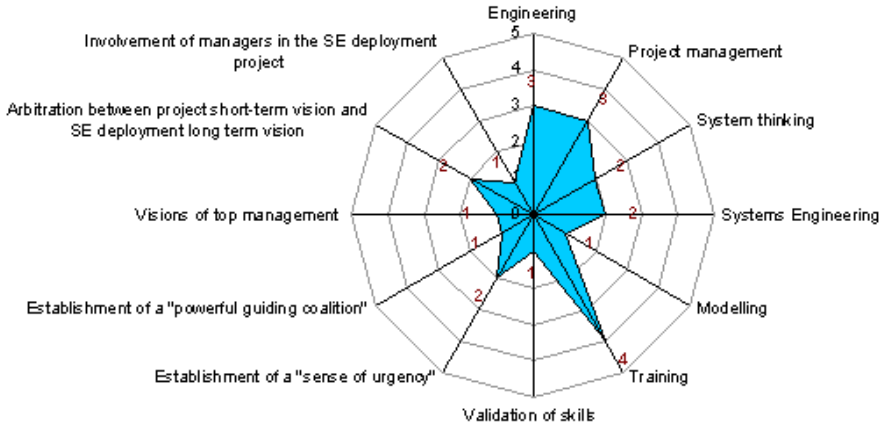


FIGURE 93 : EXEMPLE – SYNTHESE DES RESULTATS POUR LA DIMENSION "HOMMES"

Il apparaît dès lors que le déploiement ne devrait pas être mené, l'unité d'organisation évaluée ne présentant pas une maturité suffisante. Néanmoins, le comité de pilotage stratégique décide de prendre le risque de mener le déploiement, du fait de la situation critique du projet.

SOUS-PROCESSUS SP 1.4 – STRUCTURER LE PROJET DE DEPLOIEMENT

La première tâche consiste à définir le référentiel de déploiement. Au vu de l'analyse menée au chapitre 4, l'ISO 15288 :2008 [20] est retenue et complétée par le guide de bonnes pratiques de l'INCOSE [3] et l'ISO FDIS 29148 :2011 [132].

Ensuite, la tâche suivante consiste à définir le langage de déploiement. Ici, celui défini au chapitre 3 est adopté tel quel.

Puis, sur cette base, le processus à déployer, à savoir celui de définition des exigences des parties prenantes est caractérisé selon la définition proposée par [20] :

Finalité :
- Définir les exigences pour un système qui peut fournir les services requis par les utilisateurs et les autres parties prenantes dans un environnement défini.

Missions :
- Identifier les parties prenantes, ou les classes de parties prenantes, impliquées tout au long du cycle de vie du système, ainsi que leurs attentes.
- Analyser et transformer ces attentes en un ensemble d'exigences qui expriment l'interaction prévue du système avec son environnement opérationnel et qui sont la référence pour la validation.

Dès lors, les attentes suivantes sont formulées :

- Modéliser les processus en BPMN 2.0 de façon à pouvoir aisément les automatiser
- Respecter les prescriptions/contraintes des autorités, notamment des autorités de certification, pour la définition des processus
- Livrer les processus avec les éléments permettant leur mise en pratique et facilitant leur compréhension par tout à chacun
- Respecter les directives du groupe auquel appartient l'entreprise
- Définir les processus en Anglais pour une compréhension pour permettre la compréhension de tous
- Favoriser, autant que faire se peut, l'interopérabilité intra et inter-entreprises

Enfin, le plan de déploiement est rédigé et validé. Il inclut :

- La caractérisation du projet
- La caractérisation des processus à déployer
- L'organisation du projet
- Le planning
- Les activités à réaliser
- Les attentes formulées

TACHE T1.5 – OFFICIALISER LE LANCEMENT DU PROJET

Une réunion avec l'ensemble des membres du projet est finalement organisée pour communiquer sur le lancement imminent du projet de déploiement et répondre aux premières questions.

5.1.3 ACTIVITE A2 – CAPTURER

SOUS-PROCESSUS SP 2.1 – DEFINIR/METTRE A JOUR/CONSERVER LE MODELE IDEAL DU PROCESSUS CIBLE DU DEPLOIEMENT

Sur la base des définitions issues des référentiels d'IS sélectionnés, un modèle IDEAL du processus est proposé. Il est décrit sur la Figure 94 et précisé sur les trois figures suivantes. Nous pouvons observer qu'il a été choisi de définir le modèle des rôles et des ressources non humaines informationnelles, mais pas celui des ressources consommables ou non humaines non informationnelles.

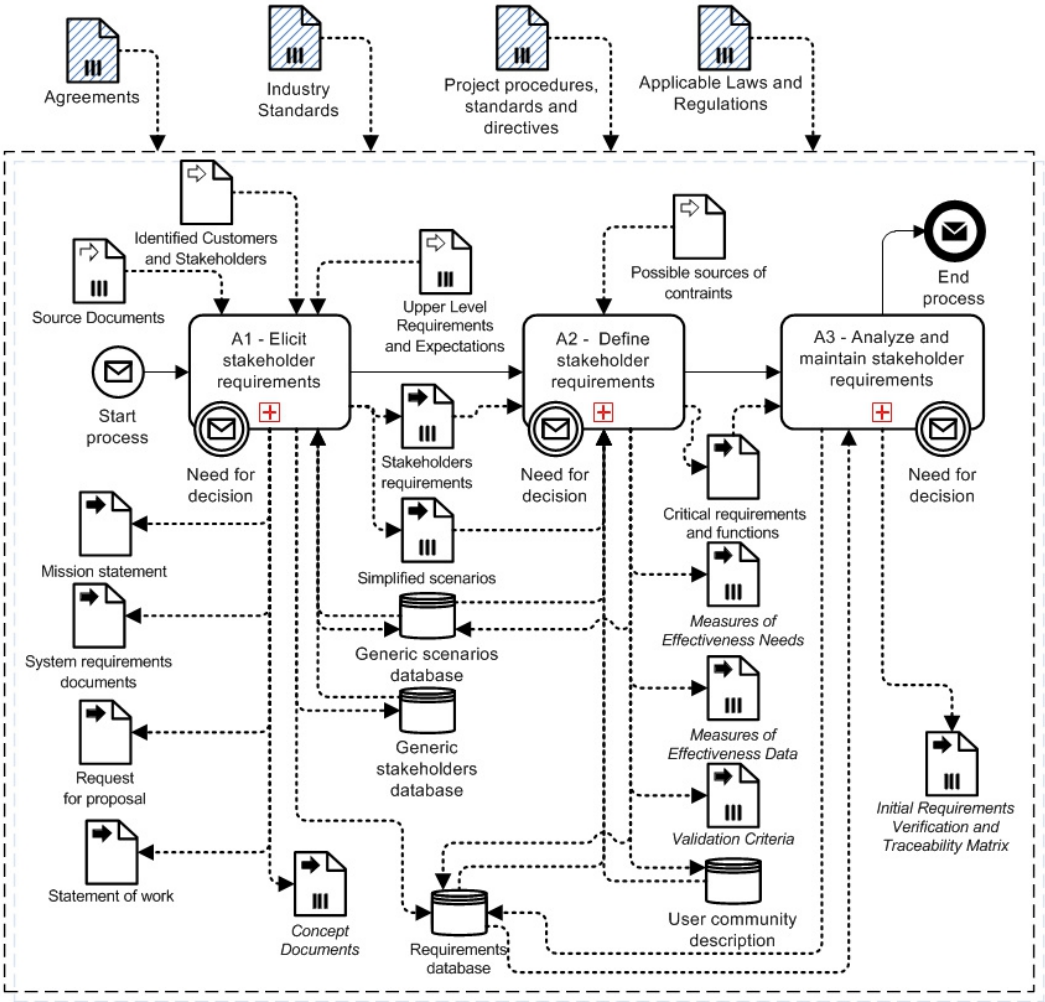


FIGURE 94 : EXEMPLE – MODELE IDEAL DU PROCESSUS DE DEFINITION DES EXIGENCES DES PARTIES PRENANTES

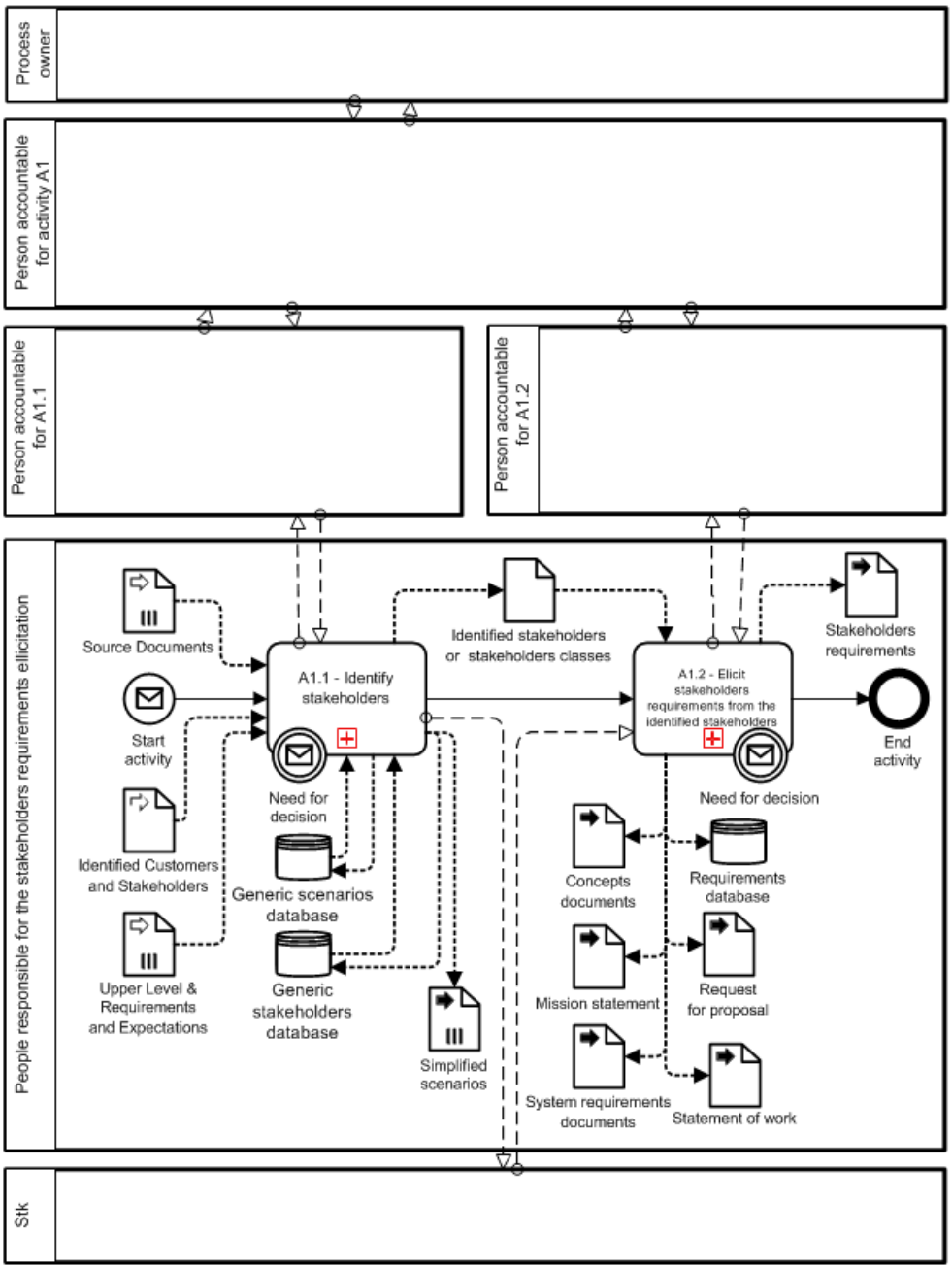


FIGURE 95 : EXEMPLE – ACTIVITE A1

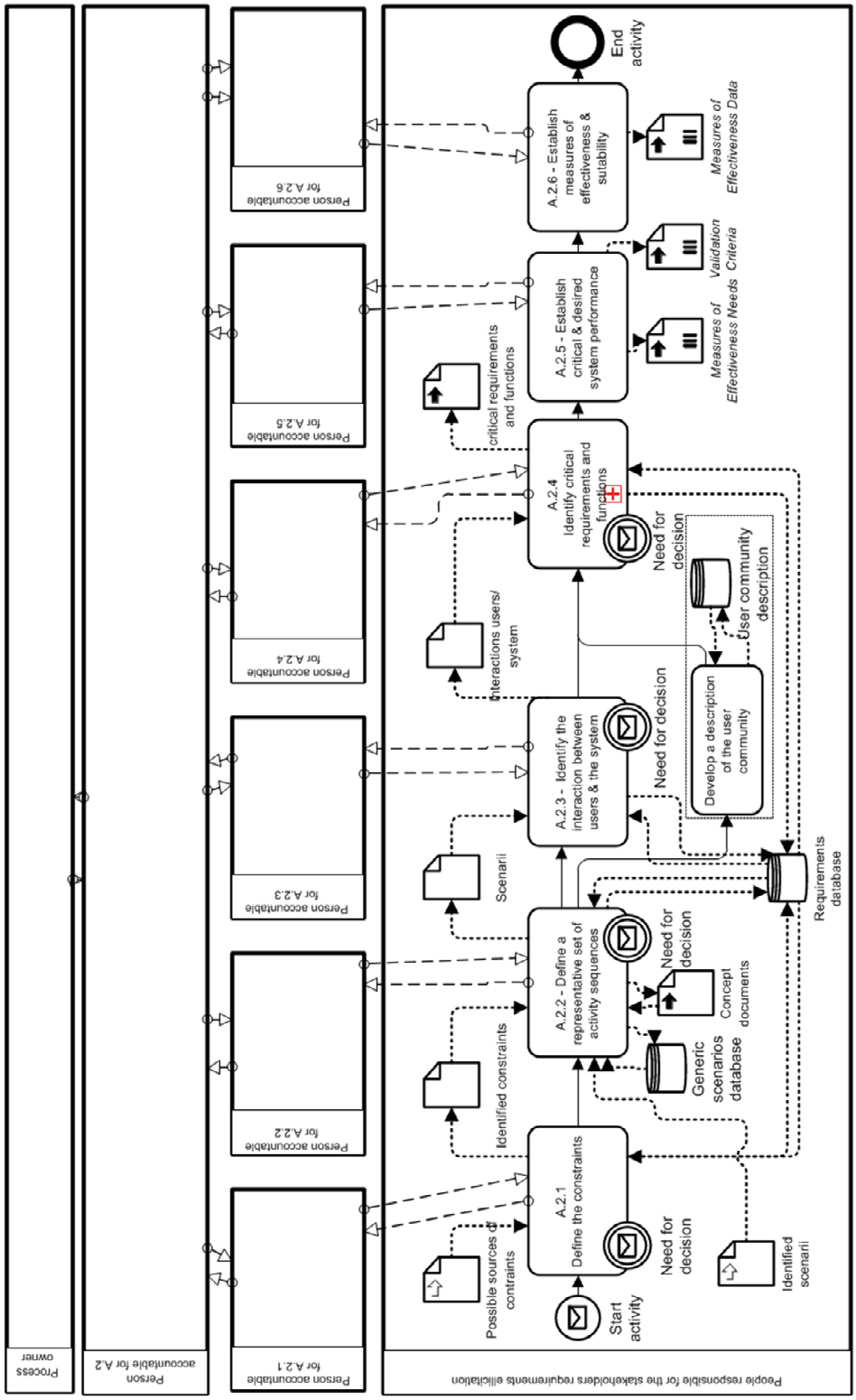


FIGURE 96 : EXEMPLE – MODELE IDEAL – ACTIVITE A2

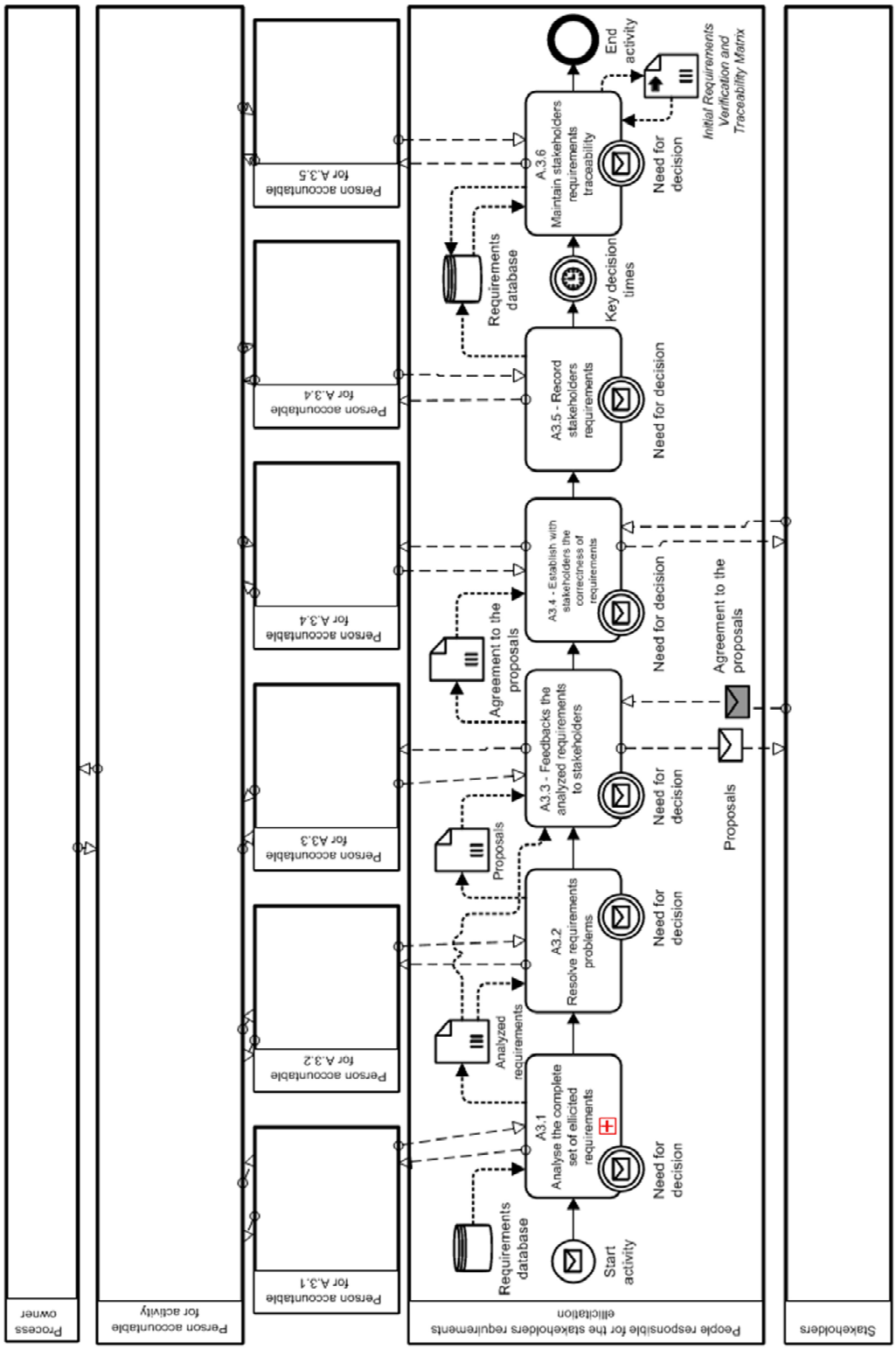


FIGURE 97 : EXEMPLE – MODELE IDEAL – ACTIVITE A3

SOUS-PROCESSUS SP 2.2 – DEFINIR/METTRE A JOUR/ CONSERVER LE MODELE AS-IS DU PROCESSUS CIBLE DU DEPLOIEMENT

L'élaboration du modèle AS-IS s'avère délicate du fait des divergences des pratiques, de leur non formalisation et du manque de maturité au sein du projet. Néanmoins, les modèles suivants ont pu être réalisés (Figure 98, Figure 99, et Figure 100). Lors de l'exécution de ce sous-processus, le modèle des ressources actives est également réalisé, mais ne sera détaillé ici.

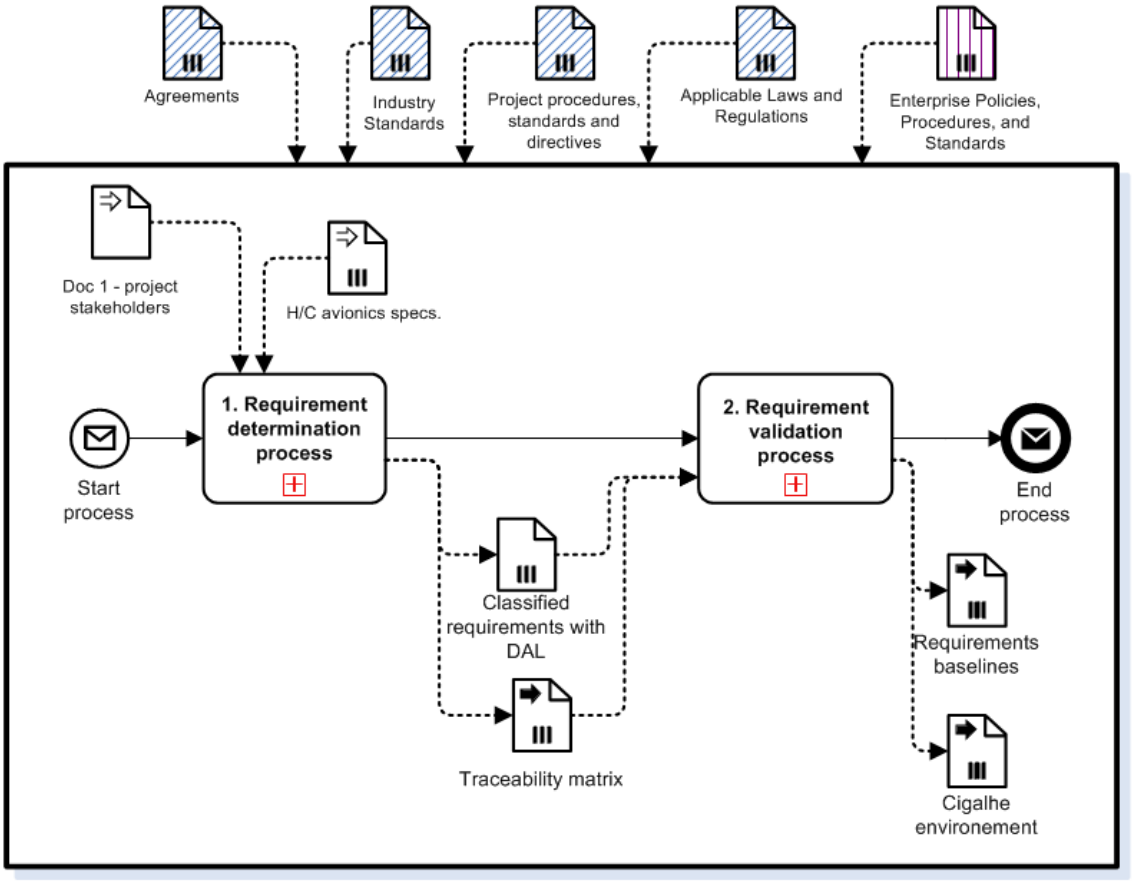


FIGURE 98 : EXEMPLE – MODELE AS-IS – PROCESSUS DE DEFINITION DES EXIGENCES

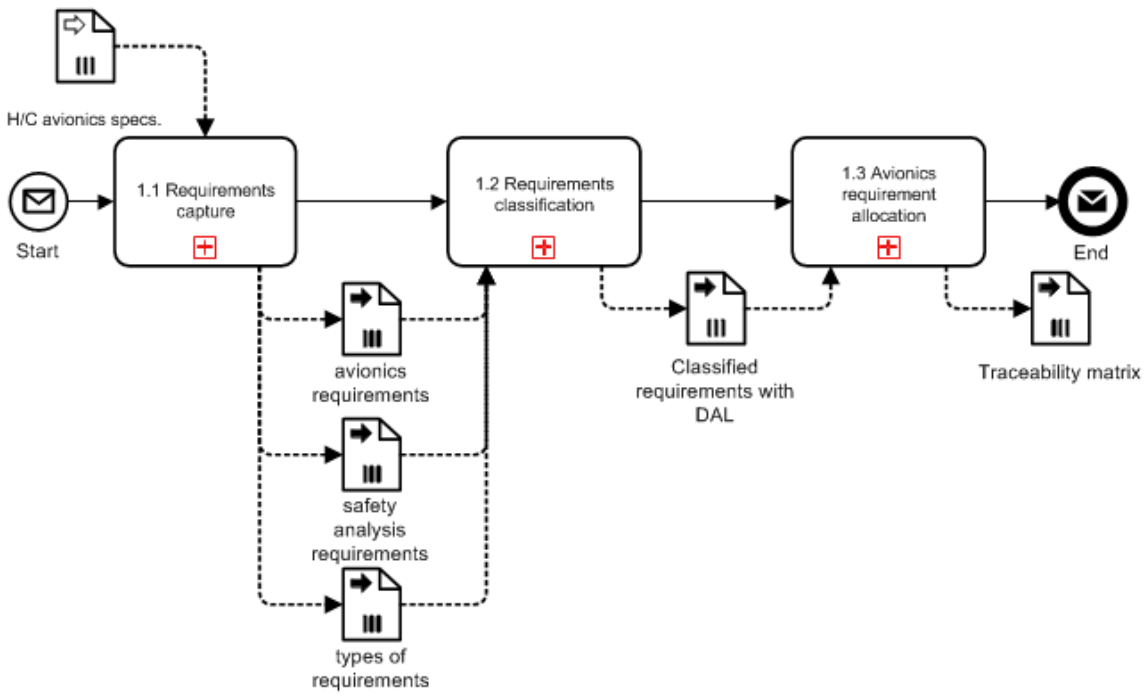


FIGURE 99 : EXEMPLE – MODELE AS-IS – ACTIVITE A1

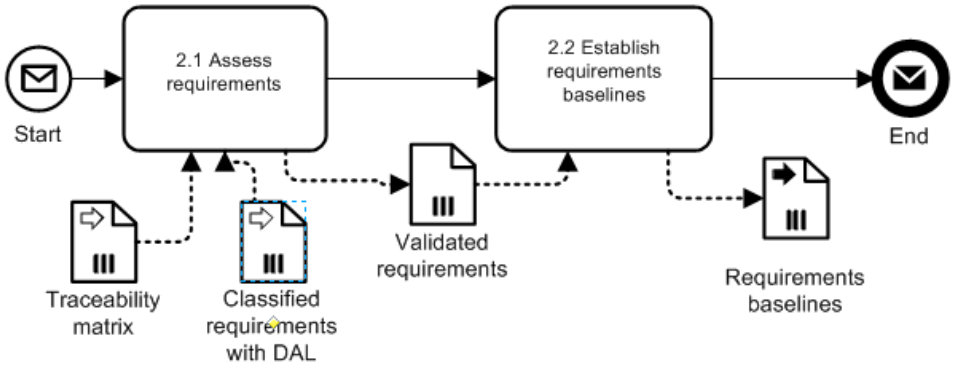


FIGURE 100 : EXEMPLE – MODELE AS-IS – ACTIVITE A2

5.1.4 ACTIVITE A3 – CONCEVOIR

SOUS-PROCESSUS SP 3.G1 – DEFINIR/METTRE A JOUR/MAINTENIR LE MODELE TO-BE DU PROCESSUS CIBLE DU DEPLOIEMENT

Considérant le manque de formalisme et de maturité au sein du projet, le comité de pilotage stratégique décide de prendre le modèle IDEAL comme base du modèle TO-BE, et de l'enrichir sur la base du modèle AS-IS et des interviews qui ont été menés pour réaliser celui-ci. Les modèles complémentaires sont illustrés sur la Figure 101, Figure 102, Figure 103 et la Figure 104.

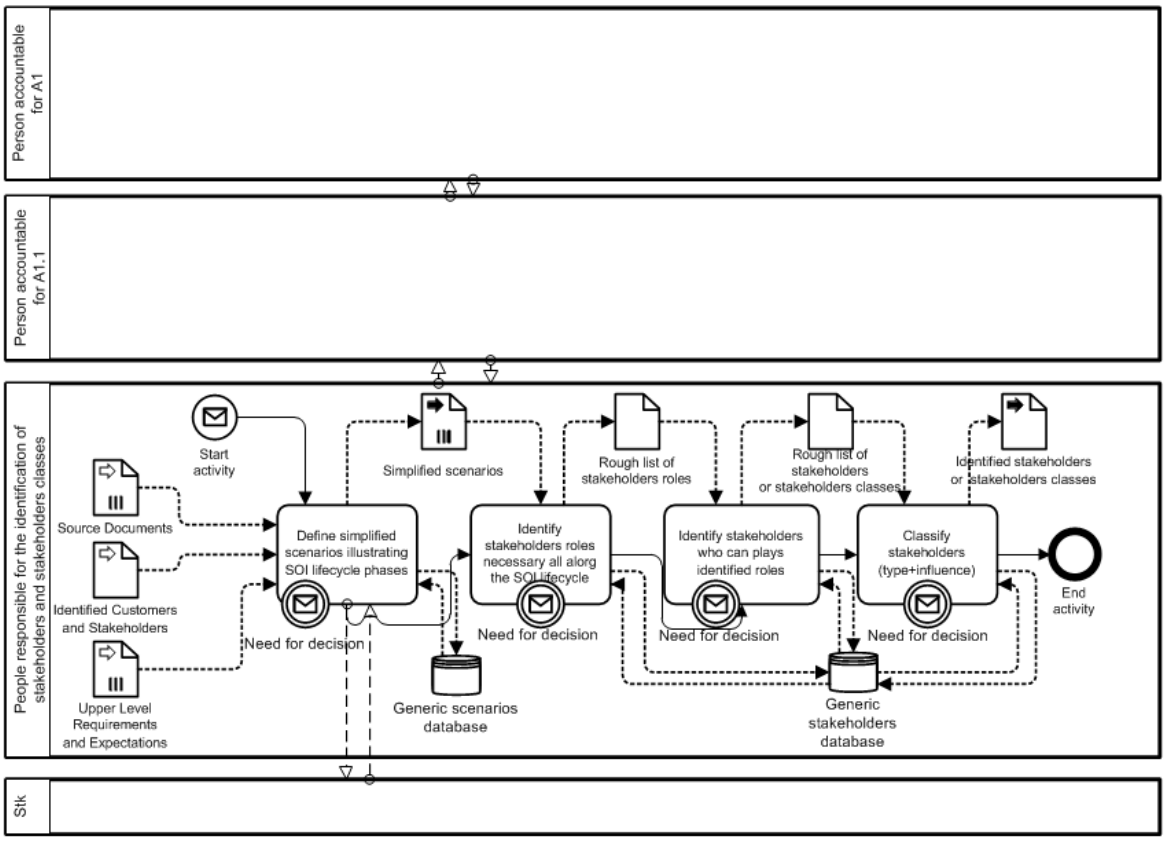


FIGURE 101 : EXEMPLE – MODÈLE TO-BE – ACTIVITÉ A1.1

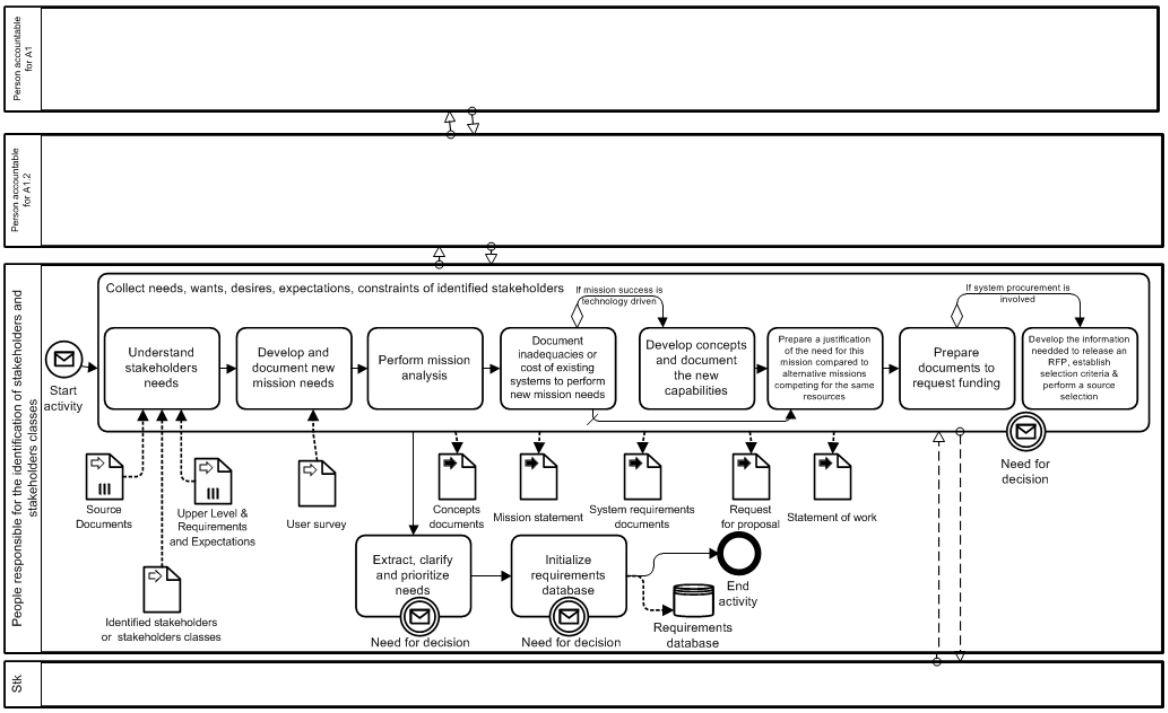


FIGURE 102 : EXEMPLE – MODÈLE TO-BE – ACTIVITÉ A1.2

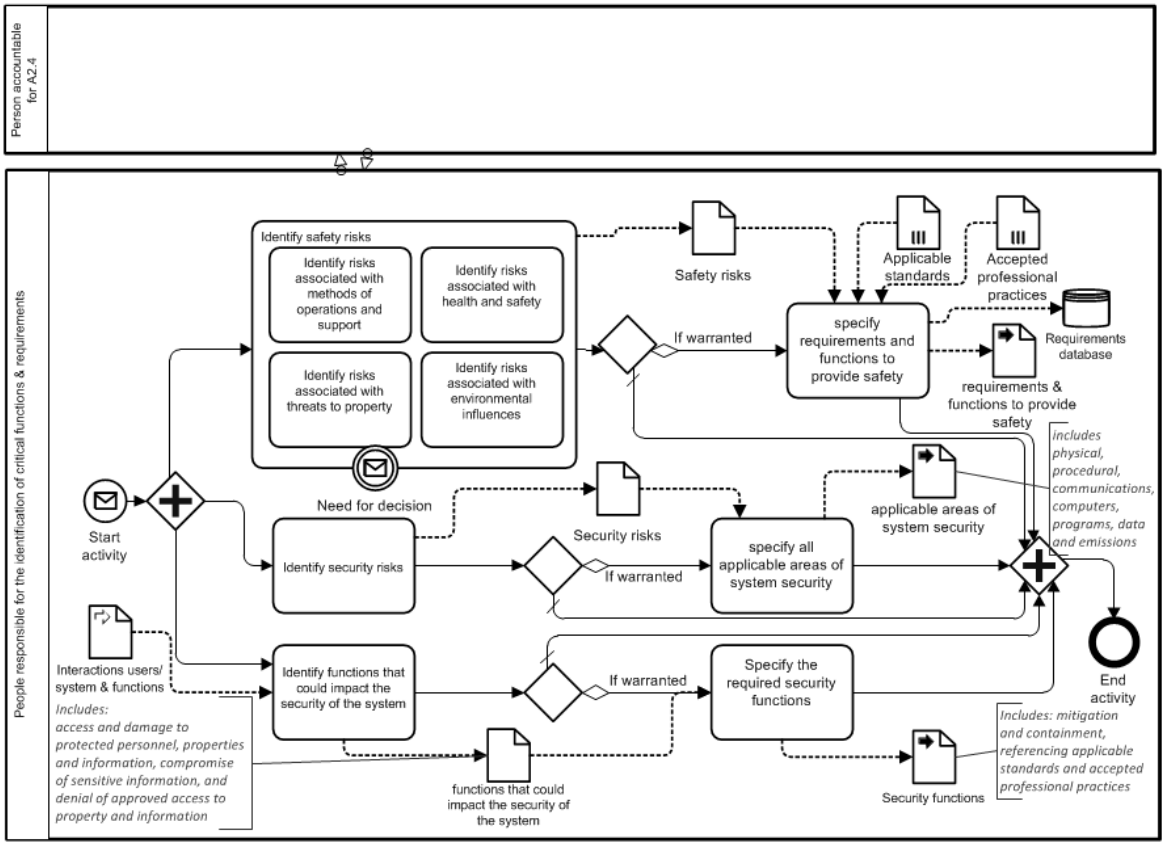


FIGURE 103 : EXEMPLE – MODÈLE TO-BE – ACTIVITÉ A2.4

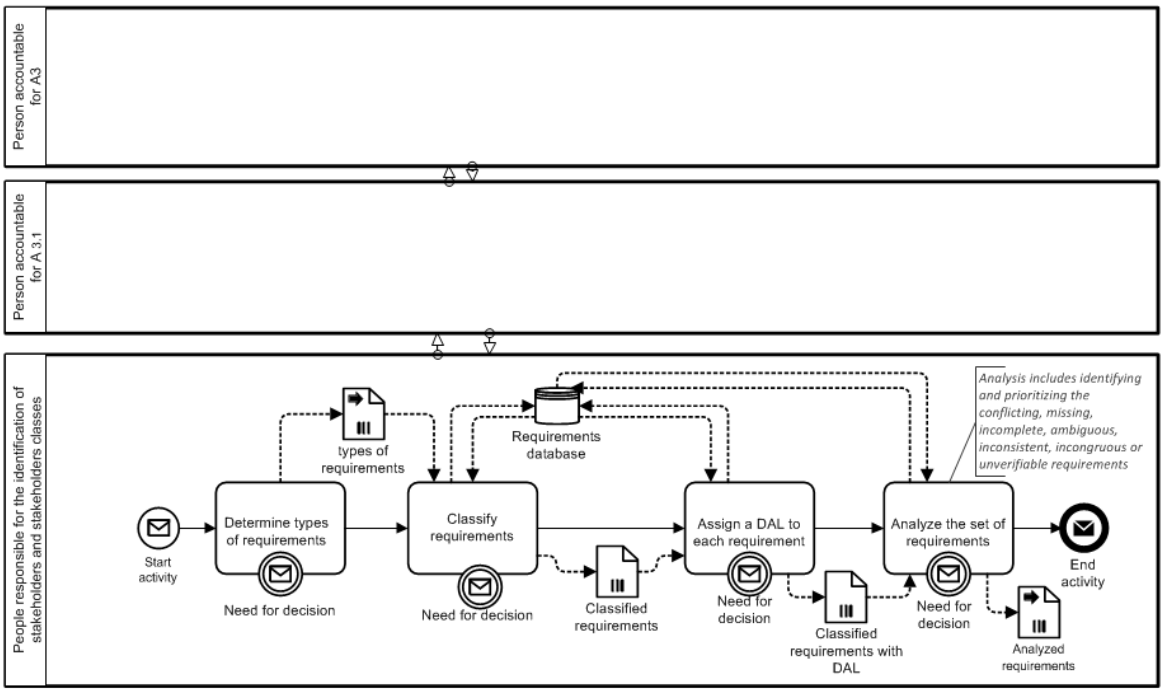


FIGURE 104 : EXEMPLE – MODÈLE TO-BE – ACTIVITÉ A3.1

SOUS-PROCESSUS SP3.G2 – DEFINIR/METTRE A JOUR/MAINTENIR LE MODELE IMPLEMENTATION DU PROCESSUS CIBLE DU DEPLOIEMENT

Nous ne le détaillerons pas ici mais, pour chaque rôle identifié, une personne doit être allouée. Pour cela, la méthodologie d'évaluation de l'interopérabilité peut être utilisée tel qu'illustré dans le chapitre 4.

SOUS-PROCESSUS SP3.5 – TERMINER LA PREPARATION DU DEPLOIEMENT EFFECTIF

Tout d'abord une stratégie de mise en place est définie : stratégie de communication, politique d'embauche, etc. Puis, pour chacune des tâches qu'il reste à réaliser, une durée est affectée et le plan directeur de déploiement est mis à jour en conséquence.

Ensuite, l'équipe de déploiement définit tout ce qui doit supporter le processus. Notamment, pour faciliter son application, des mémos très graphiques, résument les points clefs des processus. De plus, une liste clefs des parties prenantes types du processus est définie ; et des références bibliographiques pour de plus amples informations sont fournies.

Enfin, des critères de vérifications et de validation sont définis : la conformité du processus déployé aux modèles définis, la satisfaction des exigences dérivées, l'application du processus, et la satisfaction des attentes initiales.

5.1.5 ACTIVITE A4 & A5 – DEPLOYER & EVALUER

Les activités A5 et A6 étant bien trop spécifiques à l'entreprise, elles ne sont pas illustrées ici.

5.5. CONCLUSION DU CHAPITRE

Déployer de nouveaux processus dans une entreprise n'est pas une chose aisée, d'autant plus si on ne sait pas par où commencer. Pour aider à lutter contre cette difficulté, ce chapitre expose le processus de déploiement que nous proposons pour orchestrer ce déploiement, dans le cadre spécifique de processus d'Ingénierie Système. Il repose sur le langage défini au chapitre 3, et met en œuvre les contributions du chapitre 4, à savoir l'analyse des standards de l'IS, et les méthodologies d'évaluation de la maturité et de l'interopérabilité. Cette démarche s'articule autour de cinq activités principales :

- "**Initier**" : activité qui se charge de cadrer le projet et de s'assurer de sa viabilité.
- "**Capturer**" : activité qui guide l'entreprise dans l'élaboration des modèles des processus à déployer, tels que décrits dans les référentiels d'IS et tels que réalisés dans l'entreprise.
- "**Concevoir**" : activité qui se charge de définir l'ensemble des processus à déployer et de tout ce qui leur est support, sur la base des bonnes pratiques décrites dans les référentiels de l'IS et des savoir-faire de l'entreprise.
- "**Déployer**" : activité ayant pour vocation la mise en place effective dans l'entreprise et de l'accompagnement associé.
- "**Évaluer**" : activité qui consiste à statuer sur la réussite du déploiement et en fonction, à remettre en cause ou à pérenniser les nouveaux processus déployés.

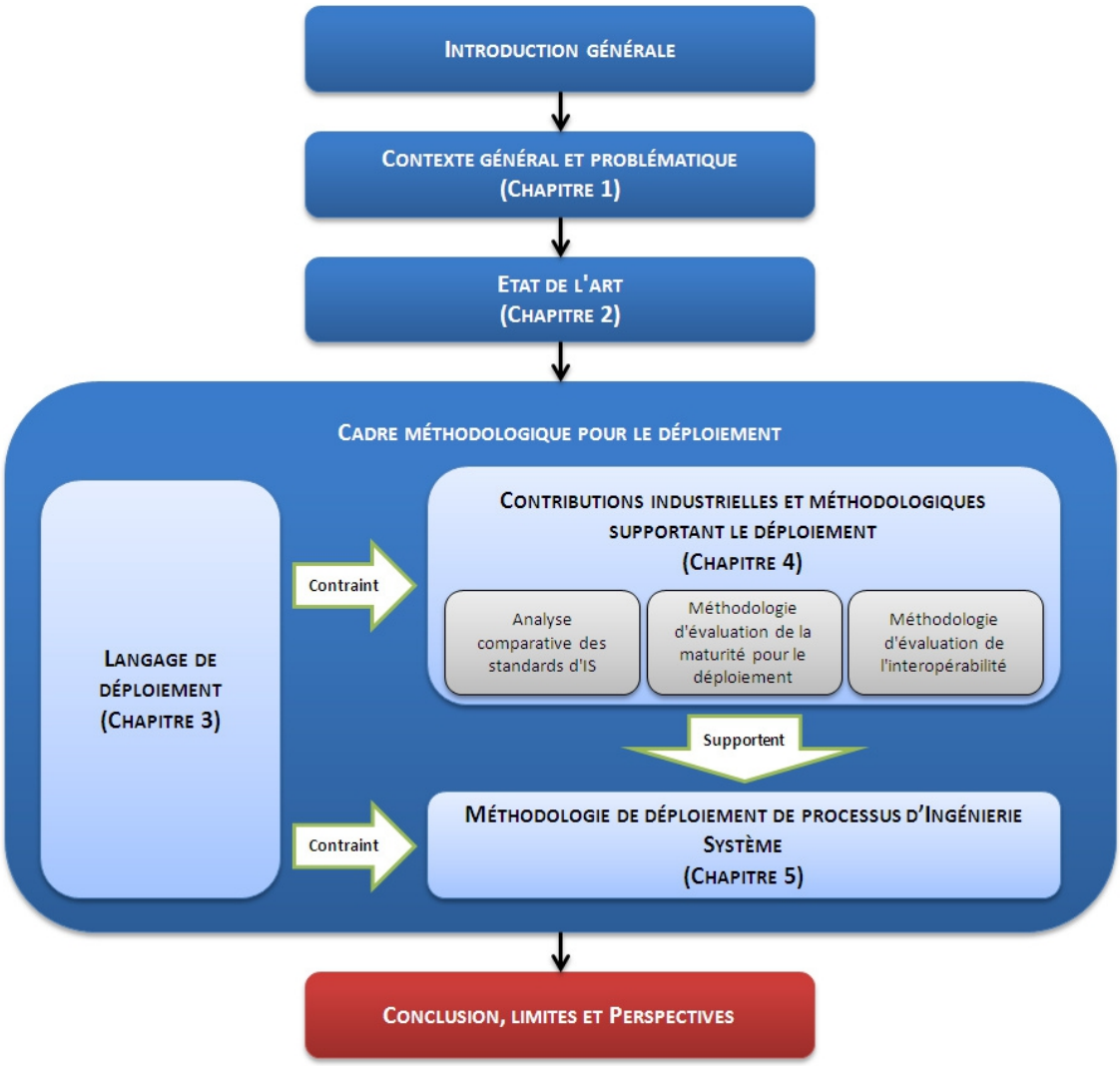
Ce processus n'a absolument pas la prétention de se déclarer comme la façon de déployer des processus d'IS. Il se veut humblement être une première base de discussion évitant ce que nous appelons "le syndrome de la feuille blanche", et un pense-bête des activités qui semblent pertinentes pour le déploiement au vues des travaux menés dans le domaine et des difficultés

que nous constatons en entreprise. Ce processus de déploiement a pour ambition de promouvoir l'Ingénierie Système, au travers même des activités qu'il préconise, en encourageant notamment l'identification dès le début du projet des parties prenantes et de leurs attentes, et par la mise en œuvre d'activités de vérification et de validation tout au long de son exécution. Il incite également les entreprises à réaliser une étude amont de viabilité avant de lancer toute action de façon à ne pas se lancer dans un effort vain ; et prévoit des arrêts du déploiement en cas d'erreurs critiques.

Pour garantir son applicabilité, ce processus de déploiement a été testé sur un exemple présenté dans ce chapitre. Sa force est d'avoir été conçu par et pour des industriels. Il se veut donc pragmatique, facilement et directement applicable en entreprise. Pour cela, il est rédigé en Anglais et est entièrement modélisé en BPMN 2.0, de façon à réduire les risques de multiples interprétations et de faciliter son automatisation. D'ailleurs, il a été implémenté dans un moteur de workflow non présenté ici[29]. Enfin, il est applicable à toute entreprise voire même, à tout type de processus, moyennant une adaptation des outils qui la supportent.

[29] Note aux Rapporteurs : il sera présenté lors de la soutenance.

Conclusion, limites et perspectives



MOTIVATION DE CES TRAVAUX

Les deux besoins initiaux d'Eurocopter, à l'origine de cette thèse, peuvent maintenant être repris et discutés au regard des résultats des travaux.

Il s'agissait, d'une part, d'appréhender au mieux le fonctionnement actuel de l'entreprise puis de rechercher les améliorations pertinentes, adéquates et notables ayant, par hypothèse, un impact bénéfique sur ses projets de conception. L'hypothèse de départ consistait à choisir, sélectionner, analyser, et enfin déployer concrètement de nouveaux processus mettant en œuvre une méthodologie de conception correspondant aux attentes d'Eurocopter : l'Ingénierie Système. Cela nécessitait de lever un certain nombre de verrous à la fois conceptuels, méthodologiques, opérationnels et même techniques. Ces verrous étaient liés à des contraintes telles que l'usage voulu de standards non nécessairement adaptés, l'atteinte d'objectifs en la présence d'enjeux de natures différentes, la prise en compte du contexte et de l'existant de l'entreprise et, enfin, des ressources et des forces en présence non nécessairement prêtes pour faire face au changement.

Il s'agissait, d'autre part, de réussir à déployer ces processus de manière opérationnelle, en minimisant les risques d'insuccès de ce déploiement et en s'assurant de leur efficacité et de leur survie à long terme. Une autre hypothèse de travail a alors été adoptée, à savoir que le succès nécessaire d'un déploiement était dépendant de la capacité des acteurs, des unités d'organisation, et des matériels à interopérer efficacement dans le cadre des activités qui leur étaient allouées. Devenir apte à évaluer, à anticiper et si possible à maximiser cette capacité à l'interopérabilité devenait donc un verrou essentiel à lever. Il n'est évidemment pas suffisant pour s'assurer du succès du déploiement. Néanmoins, une fois maîtrisé, il permet de minimiser grandement les raisons d'un échec. D'autres verrous sociaux, économiques, politiques ou humains restent bien-sûr à traiter mais sont extérieurs au cadre de cette thèse.

APPORTS

Au vu de ces besoins, nous nous sommes donc attachés à étudier et à lever certains verrous détaillés au chapitre 1. Nous avons proposé pour cela plusieurs contributions de natures diverses, mais dont la complémentarité nous assurent, ou à défaut nous permettent d'estimer que ces deux besoins ont bien été couverts. Ces contributions sont résumées sur la Figure 105.

La première de ces contributions est un **recueil des difficultés observées en industrie lors du déploiement de processus d'Ingénierie Système** (cf. chapitre 1). Nous y voyons un double intérêt. Premièrement, elle peut permettre à d'autres entreprises se lançant dans un tel déploiement, d'anticiper les types de difficultés qu'elle devra affronter. Deuxièmement, elle peut aujourd'hui fournir à la communauté scientifique travaillant sur le déploiement de processus ou sur l'Ingénierie Système, un retour industriel des difficultés observées dans une grande entreprise.

La seconde contribution est un **état de l'art sur le déploiement de processus d'Ingénierie Système guidé par l'interopérabilité** (cf. chapitre 2). Celui-ci identifie les contributions existantes pertinentes et met en exergue des besoins complémentaires que ces travaux ont contribué, nous l'espérons, de combler. Parmi ceux-ci figurait le besoin d'un langage de déploiement unifiant et résolvant les conflits sémantiques entre les concepts provenant de :

- La modélisation d'entreprise, de façon à pouvoir appliquer ses principes et utiliser les outils qu'elle propose.
- L'Ingénierie Système, pour respecter le vocabulaire qu'elle fournit pour la définition des processus à déployer, mais aussi pour pouvoir l'appliquer lors de la conception des livrables du projet de déploiement.
- L'entreprise, de façon à prendre en compte le vocabulaire qu'elle a adopté au fil des années et qui peut ne pas correspondre aux vocabulaires des deux domaines précédents.

Nous proposons donc, en conséquence, une troisième contribution qui consiste en un **langage de déploiement**, structuré à l'aide de vues incluant les concepts nécessaires pour considérer le déploiement selon différentes perspectives (cf. chapitre 3). Il contraint l'ensemble de ces travaux mais aussi le projet de déploiement. Il permet ainsi, non seulement de réduire les risques d'incompréhension lors du déploiement, mais également de capturer et de fixer le vocabulaire concret que l'entreprise adopte durant le déploiement. Cela supportera l'effort de formation associé à celui-ci, et le travail lors de déploiements futurs s'en trouvera ainsi simplifié.

La quatrième contribution est **un processus de déploiement détaillé** guidant l'entreprise dans son effort. Il a pour objet de décrire les activités qu'il apparaît pertinent de mettre en œuvre au vu de l'analyse des contributions existantes et des difficultés que nous avons pu observer en entreprise. Il est décrit ici en BPMN 2.0 pour faciliter sa compréhension et permettre son implémentation dans un moteur de workflow. Cette **implémentation** est la cinquième contribution, plus technique et industrielle, permettant de démontrer l'intérêt et faciliter la mise en œuvre de ce processus de déploiement. Cette contribution, tel un chef d'orchestre, guide l'entreprise dans son effort, et déclenche des prises de décisions à des moments stratégiques.

Pour supporter l'ensemble, trois contributions intermédiaires ont été développées pour lever des verrous sous-jacents du déploiement. Premièrement, une **analyse comparative des standards de l'Ingénierie Système** qui permet d'avoir une vue d'ensemble, puis détaillée, des contenus de ceux-ci, de façon à pouvoir définir le ou les standards qui seront utilisés dans le cadre du déploiement, en ayant connaissance de leurs complémentarités et de leurs chevauchements. Bien qu'ayant conscience du risque d'obsolescence de cette synthèse, elle représente un gain de temps précieux pour un industriel voulant déployer des processus d'Ingénierie Système ou en quête d'informations à son propos.

Deuxièmement, une **méthodologie d'évaluation de la maturité** qui permet d'estimer si une unité d'organisation possède les conditions minimales pour accepter et supporter un déploiement. Cette méthodologie met en œuvre un modèle de maturité implémenté dans une application informatique, fournissant des résultats globaux et détaillés. De plus, ce modèle de maturité associe à chaque critère, la ou les barrières d'interopérabilité qui peuvent être à l'origine de problèmes.

Troisièmement, une **méthodologie d'évaluation approfondie de l'interopérabilité des ressources impliquées, ou qui pourraient l'être, dans l'effort de déploiement**. Elle a pour nous deux intérêts majeurs. D'une part, elle permet de prendre en compte leur interopérabilité comme critère objectif de sélection et d'allocation de ressources aux nouveaux processus à déployer dans l'entreprise. D'autre part, elle peut également être utilisée en dehors de tout effort de déploiement, pour estimer et améliorer l'interopérabilité des ressources de l'entreprise, et ainsi améliorer sa réactivité, avantage de poids au vu de la concurrence existant sur les marchés.

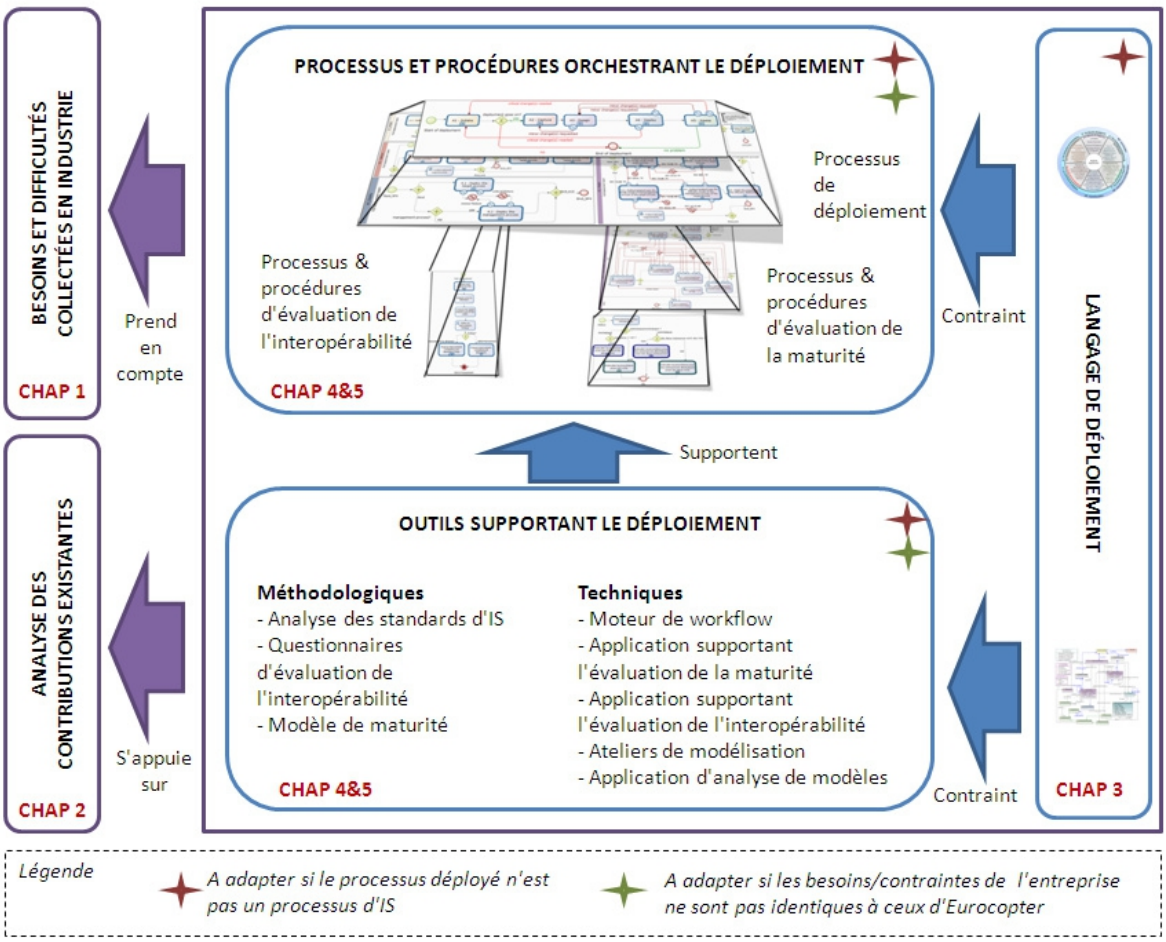


FIGURE 105 : SYNTHESE DES CONTRIBUTIONS DE CES TRAVAUX

PERSPECTIVES

Ce travail s'est déroulé dans un contexte industriel. Aussi, les contributions présentées, argumentées et illustrées tout au long de ce manuscrit, doivent maintenant trouver et prouver leur réelle applicabilité chez Eurocopter. À ce titre, nous entrevoyons plusieurs perspectives d'amélioration et pouvons proposer des pistes de recherche et développement pour, d'une part, relâcher certaines des hypothèses de travail adoptées, considérées comme limitatrices à cette applicabilité, d'autre part, étendre les contributions conceptuelles et méthodologiques.

METHODOLOGIES D'EVALUATION

D'une part, l'**évaluation de l'interopérabilité** ne tient pas compte de mesures d'interopérabilité techniques *i.e.* entre les outils applicatifs qui sont pourtant largement utilisés dans un projet de conception, qu'il s'agisse d'applicatifs de modélisation, d'analyse, d'étude d'impact, d'aide à la décision ou même de génération de documentation. Il apparait pourtant pertinent de pouvoir les utiliser ainsi que celles qui seront développées dans les années futures. Toutefois, nous avons anticipé ce besoin : les méthodologies d'évaluation restent ouvertes au changement d'outils d'évaluation. Rien n'empêche une entreprise d'avoir recours à une autre solution pour évaluer l'interopérabilité que des questionnaires. La seule condition étant que, pour chaque case de la matrice d'interopérabilité et pour chacun des trois types de ressources,

un outil soit identifié et commun à l'ensemble des évaluations menées dont les résultats doivent être comparés.

D'autre part, le choix de **quantifier la maturité** d'une organisation dans le cadre d'un déploiement peut être discuté. En effet, ce type d'évaluation reste encore balbutiant et très controversé. Il nécessite du temps pour un résultat souvent considéré comme dérisoire ou sujet à discussions voire à discordes. Néanmoins, la finalité du modèle de maturité proposé n'est pas de fournir une évaluation absolue de cette caractéristique qui reste encore mal définie, mais de faire prendre conscience aux personnes impactées par le déploiement de l'urgence de changer les pratiques de conception. De plus, concernant l'évaluation elle-même de cette maturité, il est possible qu'une autre entreprise appliquant ce modèle puisse penser que ses critères ne sont pas adaptés ou que certains sont manquants. Ce phénomène est normal et attendu : ces critères sont ceux définis par et pour Eurocopter et nécessitent donc vraisemblablement des adaptations pour d'autres entreprises. C'est pourquoi, une perspective de ces travaux est d'appliquer ce modèle de maturité à d'autres sociétés possédant une définition de la maturité différente. Ce sera, d'une part, une façon de valider son applicabilité à d'autres entreprises et d'autre part, d'enrichir le jeu de critères proposé, sans pour autant rendre trop complexe l'évaluation.

MODELISATION

Tout d'abord, le processus de déploiement proposé repose sur la **construction de modèles** décrivant les processus à déployer. Si l'entreprise est suffisamment mature, les modèles TO-BE et IMPLEMENTATION peuvent être utilisés comme support de communication au sein de l'entreprise pour décrire les nouvelles pratiques et la nouvelle organisation mise en place. En revanche, si elle ne l'est pas, cela nécessite des efforts supplémentaires de la part de l'équipe de déploiement pour trouver des moyens d'expliciter le fonctionnement du processus et les ressources qu'il implique, sans dévoiler un modèle. Une perspective de ces travaux serait donc de proposer des méthodes pour supporter cet effort de vulgarisation voire des outils à instancier en fonction du processus concerné par le déploiement.

Ensuite, un aspect non abordé dans ces travaux est la **vérification automatique des modèles** conçus. Une amélioration possible serait donc de traduire la sémantique du langage proposé en une sémantique opérationnelle formelle permettant la vérification sémantique des modèles produits. Il serait également intéressant de définir lors de la phase de pré-déploiement, des propriétés incluant les lois métiers que devront respecter les processus à déployer.

Par ailleurs, nous ne fournissons aucune piste pour supporter la **modélisation des facteurs environnementaux, politiques, de financement, ou encore sociaux**. Une perspective d'amélioration de ces travaux serait donc d'identifier clairement ces facteurs (bien que certains le soient déjà dans des standards d'Ingénierie Système) et de fournir une représentation pour les intégrer dans les modèles à réaliser.

Enfin, lors de l'effort de déploiement, l'une des difficultés à laquelle va être confrontée l'équipe de déploiement, comme toute personne réalisant des modèles, est de savoir quelle **profondeur de modèle** doit être fournie. La seule réponse que nous pouvons apporter à cette question est que le modèle est terminé, une fois qu'une personne ne connaissant pas le processus, comprenne ce qui doit être réalisé sans doute. Néanmoins, cette approche empirique n'est pas suffisante. Une perspective de ces travaux pourrait être de définir des indicateurs permettant de détecter quand la modélisation est terminée.

PROCESSUS DE DEPLOIEMENT

Nous sommes conscients qu'un déploiement de processus requiert de nombreuses **prises de décisions** que ces travaux mettent en évidence mais auxquelles ils n'apportent pas de support. Une perspective de ces travaux serait d'intégrer à ce cadre de déploiement des outils méthodologiques et techniques provenant des contributions qui guident et supportent l'aide à la décision comme [143].

Ensuite, ces travaux s'intéressent au déploiement de processus dans une entreprise. Cependant, la société est rarement seule à mener la conception de bout en bout. Par conséquent, dans le cadre d'une conception très réactive et collaborative, ce qui est de plus en plus nécessaire, le changement des pratiques de conception doit être accompagné de la modification de celles de ses partenaires de façon à ce qu'ils restent en phase. Une perspective d'amélioration de ces travaux pourrait ainsi consister à définir un guide méthodologie permettant le déploiement de processus, non dans une entreprise seule, mais dans un réseau d'entreprises (**système de système**).

Enfin, deux cas de figure peuvent conduire à un déploiement de processus, soit l'entreprise en est l'instigatrice, soit une autorité extérieure (client, organisme de certification, ...) l'impose en exigeant des pratiques de conception particulières. La demande peut concerner un processus particulier ou bien être plus globale et concerner telle, la mise en place d'un **cadre d'architecture** comme [18] qui impacterait plusieurs processus. Une perspective d'amélioration de ces travaux pourrait être d'étendre le cadre de déploiement proposé de façon à, sur la base d'un cadre d'architecture donné, déduire les processus que devrait mettre en place l'entreprise et orchestrer ce déploiement.

PRISE EN COMPTE DES FACTEURS HUMAINS

L'essentiel de ce cadre méthodologique repose sur **l'implication de personnes** qu'il faut choisir, former, outiller, et dont il faut s'assurer de la légitimité dans l'entreprise. Par conséquent, pour faciliter sa mise en œuvre, il serait pertinent, en plus de ce cadre, de fournir un parcours de formation adapté aux membres de l'entreprise, leur faisant comprendre la pertinence de la mise en place de processus et les principes de l'Ingénierie Système et validant leurs compétences. Grace à ce parcours de formation, les personnels formés deviendront des moteurs de ce déploiement et la maturité de l'entreprise en sera augmentée.

Par ailleurs, nous avons cherché au mieux à intégrer certains avis et travaux de référence sur l'étude et la réduction de la **résistance au changement** mais restons conscients des limites opérationnelles qui ne sont pas étudiées plus avant.

OUTILLAGE INFORMATIQUE

Enfin, le développement d'un **démonstrateur** ne peut se dédouaner d'un réel développement d'un outil générique maintenu et déployé lui-même dans l'entreprise. Il doit respecter de fait l'hypothèse d'interopérabilité avec la totalité du parc applicatif d'Eurocopter dans lequel nombre d'informations et d'applicatifs de conception mais aussi de management sont disponibles et pertinents pour organiser le déploiement. Même si c'est un vœu pieu car hors de propos dans l'état actuel de l'étude, il constitue cependant, une partie de la solution du déploiement qui serait alors accessible, utilisable et réutilisable à volonté.

Références

[1] R. P. G. Collinson, *Introduction to Avionics Systems*. Springer, 2002, p. 492.

[2] ISO, *ISO 9000:2005 - Systèmes de management de la qualité - Principes essentiels et vocabulaire*. 2005.

[3] INCOSE, "Systems Engineering Handbook - A guide for system life cycle processes and activities - v3.2," 2010.

[4] J. Meinadier, *Découvrir et comprendre l'Ingénierie Système v3.2*. Cépadues-AFIS, 2012.

[5] S. Arnold, "Transforming systems engineering principles into integrated project team practice," Cranfield University Defence college of Management and Technology - Engineering Systems Department, 2008.

[6] ISO, "ISO 11354-1 - Advanced automation technologies and their applications - Part 1: Framework for enterprise interoperability," 2011.

[7] P. A. Smart, H. Maddern, and R. S. Maull, "Understanding Business Process Management: Implications for Theory and Practice," *British Journal of Management*, vol. 20, no. 4, pp. 491–507, Dec. 2009.

[8] ISO/IEC, "ISO/IEC TR 90005:2008 - Systems engineering - Guidelines for the application of ISO 9001 to system life cycle processes," 2008.

[9] J.-A. Estefan, "Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies," 2008.

[10] SEI, "CMMi for Development, Version 1.3," 2010.

[11] P. Plenkiewicz, *The Executive Guide to Business Process Management: How to Maximize "Lean" and "Six Sigma" Synergy and See Your Bottom Line Explode*. iUniverse, 2010, p. 248.

[12] S. Rivard and J. Talbot, *Le développement de systèmes d'information: Une méthode intégrée à la transformation des processus (Google eBook)*. PUQ, 2001, p. 718.

[13] Y. Ben Zaida, "Contribution à la Conduite du Changement pour l ' É volution du Système Entreprise," Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc, 2008.

[14] J. P. Kotter, "Leading Change Why Transformation Efforts Fail," *Harvard Business Review*, 2007.

[15] G. Petit, M. & Doumeingts, "Project UEML - Deliverable D1.1 - Report on the State of the Art in Enterprise Modelling," 2002.

[16] IFIP-IFAC Task Force, "GERAM: Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology - Version 1.6.3," 1999.

[17] DoD, "DoD Architecture Framework - Version 1.5," 2007.

[18] NATO, "NATO Architecture Framework - Version 3," 2007.

[19] The Open Group, "TOGAF - Version 9," 2009.

[20] ISO/IEC, “ISO 15288 - Systems engineering - System life cycle processes,” 2008.

[21] OMG, *Business Process Model and Notation (BPMN) - Version 2.0*. 2011.

[22] A.-W. Scheer, *Architecture of Integrated Information Systems*. Springer, 1992.

[23] OMG, “OMG Systems Modeling Language (OMG SysML ™),” 2012.

[24] OMG, “OMG Unified Modeling Language (OMG UML), Infrastructure,” 2011.

[25] CEA, “Méthode SAGACE: le systémographe - Version 1.0,” 1999.

[26] ATHENA Project, “First Version of State of the Art in Enterprise Modelling Techniques and Technologies to Support Enterprise Interoperability,” 2004.

[27] V. Chapurlat and C. Braesch, “Verification, validation, qualification and certification of enterprise models: Statements and opportunities,” *Computers in Industry*, vol. 59, no. 7, pp. 711–721, Sep. 2008.

[28] A. Sienou, “Proposition d’un cadre méthodologique pour le management intégré des risques et des processus d'entreprise,” Institut National Polytechnique de Toulouse, 2009.

[29] S. Zigiaris, “Business Process Re-Engineering - BPR,” 2000.

[30] T. Hernaus, “Generic Process Transformation Model : Transition to Process-based Organization,” Zagreb - Croatie, 2008.

[31] S. Mathieu, *Comprendre les normes ISO 9000: version 2000*. AFNOR, 2002.

[32] W. M. P. van der Aalst, A. H. M. ter Hofstede, and M. Weske, “Business Process Management: A Survey,” in *Business Process ManagementBusiness Process Management, International Conference, BPM 2003 Eindhoven, The Netherlands, June 26–27, 2003*, 2003, vol. 2678, no. 1, pp. 1019–1019.

[33] P. Harmon, *Business process change: a manager’s guide to improving, redesigning, and automating processes*. Morgan Kaufmann Publishers, 2003.

[34] M. Zur Muehlen, *Workflow-based Process Controlling. Foundation, Design, and Application of workflow-driven Process Information Systems*. 2004.

[35] IDS Scheer, “Business Process Management: ARIS Value Engineering - Concept,” 2005.

[36] J. B. Hill, J. Sinur, D. Flint, and M. J. Melenovsky, “Gartner’s Position on Business Process Management,” 2006.

[37] T. Bischoff and V. Huschke, “Process Management Lifecycle (PML),” 2008. [Online]. Available: http://scn.sap.com/docs/DOC-3239.

[38] P. S. Gill, D. Garcia, and W. W. Vaughan, “Engineering Lessons Learned and Systems Engineering Applications,” in *43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit 10-13 January 2005, Reno, Nevada*, 2005, no. January.

[39] E. Honour, "Understanding the value of systems engineering," *Proceedings of the INCOSE International Symposium*, 2004.

[40] I. Dixit and J. A. Lane, "Systems Engineering Philosophy: No Easy Answers?," in *Ninth Annual Conference on Systems Engineering*, 2011.

[41] M. D. Griffin, *System Engineering and the "Two Cultures" of Engineering*, vol. 35, no. 3. IEEE, 2007, pp. 44–44.

[42] S. A. Sheard, "Three Types of Systems Engineering Implementation," in *Tenth International Symposium of the International Council on Systems Engineering, Minneapolis, MN, July 2000*, 2000.

[43] DoD, "MIL-STD-499 (USAF) - Systems Engineering Management," 1969.

[44] J. H. Brill, "Systems Engineering - A Retrospective View," *Systems Engineering*, vol. 1, no. 4, pp. 258–266, 1998.

[45] K. J. Schlager, "Systems engineering-key to modern development," *Ire Transactions On Engineering Management*, vol. EM-3, no. 3, pp. 64–66, 1956.

[46] A. Gorod, B. Sauser, and J. Boardman, "System-of-Systems Engineering Management: A Review of Modern History and a Path Forward," *IEEE Systems Journal*, vol. 2, no. 4, pp. 484–499, 2008.

[47] H. Chestnut, *Systems Engineering Tools*. 1965.

[48] S. Shinners, *Techniques of Systems Engineering*. 1967.

[49] R. F. Miles, *Systems Concepts: Lectures on Contemporary Approaches to Systems*. New York: Wiley, 1973.

[50] W. P. Chase, *Management of system engineering*. Robert E. Krieger Publishing Company 1984., 1974.

[51] W. Wymore, *Systems Engineering Methodology for Interdisciplinary Teams*. New York: Wiley, 1976.

[52] B. Blanchard and W. Fabrycky, *Systems Engineering and Analysis*. 1981.

[53] A. P. Sage, *Systems Management for Information Technology and Software Engineering*. New York: Wiley, 1995.

[54] A. T. Bahill and B. Gissing, "Re-evaluating Systems Engineering Concepts Using Systems Thinking," *Design*, vol. 28, no. 4, pp. 516–527, 1998.

[55] J. C. Boarder, "The system engineering process," in *Proceedings of the 1995 IEEE Annual International Engineering Management Conference," Global Engineering Management: Emerging Trends in the Asia Pacific", Singapore, June*, 1995.

[56] J. Boarder, H. Derek, and M. Patrick, “Guide to the Practice of Systems Engineering,” in *COLLOQUIUM DIGEST-IEE*, 1992.

[57] J. Boarder, “Systems engineering as a process,” in *Systems Engineering for Profit, IEE Colloquium on*, 1995.

[58] J. J. Lesage, “Conception de la commande des systèmes de production: contribution à la structuration. Application à la conception d’un atelier flexible,” Ecole Centrale Paris/LURPA/ENS Cachan, 1989.

[59] E. J. Schut and M. J. L. Van Tooren, “Engineering Primitives to Reuse Design Process Knowledge,” in *49th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, 7 - 10 April 2008, Schaumburg, IL*, 2008, no. April, pp. 1–12.

[60] ANSI and EIA, “ANSI/EIA-632-1998 (R2003) - Processes for Engineering a System,” 2003.

[61] IEEE, “IEEE 1220:2005, Standard for application and Management of the Systems Engineering Process,” 2005.

[62] ISO/IEC, “ISO/IEC TR 19760:2003 - Systems engineering - A guide for the application of ISO/IEC 15288 (System life cycle processes),” 2008.

[63] ISO/IEC, “ISO/IEC TR 24766:2009 - Technologies de l’information -- Ingénierie des systèmes et du logiciel -- Guide pour les capacités d'outil d'ingénierie des exigences,” 2009.

[64] BNAE, “RG AERO 000 77 - Programme management - Guide for the management of Systems Engineering,” 2005.

[65] BNAE, “RG AERO 000 40 A - General recommendation for the programme management specification,” 1999.

[66] ECSS, “ECSS-E-ST-10C - Space engineering - System engineering general requirements,” 2009.

[67] California Department of Transportation, Division of Research and Innovation, “Systems Engineering Guidebook for ITS,” 2007.

[68] EIA, “EIA/IS 632, Interim Standard: Systems Engineering,” 1994.

[69] DoD, “MIL-STD-499A:1974 - MILITARY STANDARD - ENGINEERING MANAGEMENT,” 1974.

[70] DoD, “MIL-STD-499B - MILITARY STANDARD - SYSTEMS ENGINEERING,” 1994.

[71] S. A. Sheard, *Evolution of the frameworks quagmire*, vol. 34, no. 7. IEEE Computer Society, 2001, pp. 96–98.

[72] S. Rochet, “Formalisation des processus de l’Ingénierie Système : Proposition d'une méthode d'adaptation des processus génériques à différents contextes d'application,” Université de Toulouse,, 2007.

[73] S. A. Sheard, H. Lykins, J. R. Armstrong, S. P. Consortium, and R. H. Road, "Overcoming Barriers to Systems Engineering Process Improvement," pp. 59–67, 2000.

[74] I. M. D. Soria, J. Alonso, L. Orue-Echevarria, and M. Vergara, "Developing an Enterprise Collaboration Maturity Model: Research Challenges and Future Directions," in *15th International Conference on Concurrent Enterprising, Leiden, Netherlands, 22 - 24 June 2009*, 2009, pp. 429–439.

[75] National E-Health Transition Authority Ltd, "Interoperability Maturity Model - Version 1.0," 2007.

[76] T. Mettler and P. Rohner, "Situational maturity models as instrumental artifacts for organizational design," in *Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology - DESRIST '09*, 2009, p. 1.

[77] J. Bach, "The Immaturity of the CMM," *American Programmer*, vol. 7, p. 13, 1994.

[78] EIA, "EIA 731.1 - Systems Engineering Capability Maturity Model," 2002.

[79] Carnegie Mellon University, "Systems Security Engineering Capability Maturity Model - Version 3.0," 2003.

[80] J. Lee, D. Lee, and S. Kang, "An Overview of the Business Process Maturity Model (BPMM)," pp. 384–395, 2007.

[81] S. A. Sheard, "Process Implementation," in *13th Annual Symposium of the International Council on Systems Engineering, Arlington, VA, June-July 2003.*, 2003.

[82] K. R. Kyler, C. D. Sloan, and W. H. McCumber, "Additional Systems Engineering Roles," in *Twelfth INCOSE Symposium*, 2002, pp. 1–5.

[83] S. A. Sheard, "The value of Twelve systems engineering roles," in *Proceedings of INCOSE*, 1996.

[84] H. L. Davidz, D. J. Nightingale, and D. H. Rhodes, "Accelerating the Development of Senior Systems Engineers," in *2005 INCOSE International Symposium - Systems Engineering: Bridging Industry, Government, and Academia, Rochester, NY, July 10-15, 2005.*, 2005.

[85] M. E. Derro and P. A. T. Jansma, "Coaching Valuable Systems Engineering Behaviors," in *2008 IEEE Aerospace Conference*, 2008, pp. 1–17.

[86] M. E. Derro and C. R. Williams, "Behavioral competencies of highly regarded systems engineers at NASA," *2009 IEEE Aerospace conference*, pp. 1–17, 2009.

[87] M. Frank, "Knowledge, abilities, cognitive characteristics and behavioral competences of engineers with high capacity for engineering systems thinking (CEST)," *Systems Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 91–103, Jan. 2006.

[88] K. M. Gill, "Systems Thinking or Systems Engineering," *International Journal of Intelligent Defence Support Systems*, vol. 2, no. 3, pp. 202 – 221, 2009.

[89] M. A. A. Johnson, “From engineering to system engineering to system of systems engineering,” in *Automation Congress, 2008. WAC 2008. World*, 2008, pp. 1–6.

[90] M. Ryschkewitsch, D. Schaible, and W. Larson, “the Art and Science of Systems Engineering,” *Systems Research Forum*, vol. 03, no. 02, p. 81, 2009.

[91] J. E. Kasser and M. Frank, “A Maturity Model for the Competency of Systems Engineers,” in *Proceedings of the 20th International Symposium of the INCOSE, Chicago, IL., 2010.*, 2010.

[92] B. Curtis, B. Hefley, and S. A. Miller, “People Capability Maturity Model (P-CMM), Version 2.0, Second Edition,” 2009.

[93] H. L. Davidz, D. Nightingale, and D. H. Rhodes, “Enablers and Barriers to Systems Thinking Development: Results of a Qualitative and Quantitative Study,” 2005.

[94] R. Dubey, “Study and analysis of best practices for the development of systems engineers at a multi-national organization,” MIT, 2006.

[95] P. A. Jansma and M. E. Derro, “If You Want Good Systems Engineers, Sometimes You Have To Grow Your Own!,” in *Aerospace Conference 2007 IEEE*, 2007, pp. 1–15.

[96] ATHENA Project, “Deliverable D.A1.4.1 - Framework for the Establishment and Management Methodology,” 2005.

[97] INTEROP-NoE Project, “Deliverable DI.2 - Enterprise Interoperability-Framework and knowledge corpus-Advanced report,” 2006.

[98] G. E. Lavean, “Interoperability in Defense Communications,” *IEEE transactions on communications*, vol. 28, no. 9, pp. 1445 – 1455, Sep. 1980.

[99] C4ISR, “Levels of Information Systems Interoperability (LISI),” 1998.

[100] T. Clark and R. Jones, “Organisational Interoperability Maturity Model for C2,” in *ICCRTS 1999, United States Naval War College, Newport*, 1999.

[101] P. Fraser, C. Farrukh, and M. Gregory, “Managing product development collaborations - a process maturity approach,” *Journal of Engineering Manufacture*, vol. 217, no. 11, pp. 1499–1519, Jan. 2003.

[102] G. Kingston, S. Fewell, and W. Richer, “An organisational interoperability agility model,” in *10th ICCRTS. McLean, VA, June 13-16, 2005*, 2005.

[103] N. Daclin, “Contribution au développement d’une méthodologie pour l’interopérabilité des entreprises,” Université Bordeaux 1, 2007.

[104] I. Santos, S. Schuster, M. Vergara, and J. Alonso, “Assessing the Readiness for Enterprise Collaboration and Enterprise Interoperability,” in *14th International Conference on Concurrent Enterprising, Lisbon, Portugal, 23 - 25 June 2008*, 2008.

[105] W. Guédria, D. Chen, and Y. Naudet, “A Maturity Model for Enterprise Interoperability,” in *OTM 2009 Workshops*, 2009, pp. 216–225.

[106] A. Tolk and J. A. Muguira, “The Levels of Conceptual Interoperability Model,” in *2003 Fall Simulation Interoperability Workshop, Orlando, Florida*, 2003.

[107] IEC, “IEC TR 62390 - Common automation device - Profile guideline,” 2005.

[108] M. J. Leite, “Interoperability Assessment,” in *66th Military Operations Research Society Symposium. Monterey, CA, June 23-25, 1998*, 1998.

[109] J. Hamilton, J. Rosen, and P. Summers, “An Interoperability Road Map for C4ISR Legacy Systems,” 2002.

[110] K. Stewart, H. Clarke, P. Goillau, N. Verrall, and M. Widdowson, “Non-Technical Interoperability in Multinational Forces,” in *9th ICCTRS, Copenhagen, September 2004*, 2004.

[111] T. Ford, J. Colombi, S. Graham, and D. Jacques, “The Interoperability Score,” in *CSER 2007, March 14-16, Hoboken, NJ , USA*, 2007.

[112] N. Daclin, D. Chen, and B. Vallespir, “Methodology for Enterprise Interoperability,” in *17th IFAC World Congress - Seoul, Korea, July 6-11, 2008*, 2008.

[113] E. Yahia, M. Lezoche, A. Aubry, and H. Panetto, “Semantics enactment for interoperability assessment in Enterprise Information Systems,” *Annual Reviews in Control*, vol. 36, no. 1, pp. 101–117, Apr. 2012.

[114] G. F. Simons, L. A. Kappelman, and J. A. Zachman, “Enterprise Architecture as Language,” *Complex Systems Design \& Management*, pp. 29–47, 2010.

[115] L. A. Kappelman, “Brindging the chasm,” *Architecture Governance*, vol. 3, no. 28, 2007.

[116] B. Combemale, “Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM) -- État de l’art,” 2008.

[117] OMG, “OMG Meta Object Facility (MOF) Core Specification,” 2011.

[118] R. C. Gronback, *Eclipse Modeling Project: A Domain-Specific Language (DSL) Toolkit*. Addison Wesley, 2009.

[119] C. Hardebolle, “Composition de modèles pour la modélisation multi-paradigme du comportement des systèmes,” 2008.

[120] OMG, “OMG Systems Modeling Language, Version 1.2,” 2010.

[121] Project Management Institute, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge Third Edition (PMBOK® Guide)*. 2004.

[122] R. Shishko, “NASA Systems Engineering Handbook,” 2007.

[123] TLFi, “Dictionnaire Le Trésor de la Langue Française Informatisé,” 2012. [Online]. Available: http://atilf.atilf.fr/tlf.htm.

[124] R. P. Schumaker, “From Data to Wisdom : The Progression of Computational Learning in Text Mining The DIKW Framework,” *Communications of the International Information Management Association*, vol. 11, no. 1, pp. 39–48, 2011.

[125] J.-P. Minier, “Savoir définir les notions de but, finalité, mission et objectifs,” 2007. [Online]. Available: http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/ecogestion/legt/spip.php?page=forum&id_article=195.

[126] SAE, “ARP 4754 - Certification considerations for highly-integrated or complex Aircraft Systems,” 1996.

[127] “Dictionnaire Larousse en ligne,” 2012. [Online]. Available: http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais.

[128] Académie Française, “Dictionnaire de l’Académie Française - 9e édition.,” 2012. .

[129] OASIS, “Web Services Business Process Execution Language Version 2.0,” 2007.

[130] S. A. Sheard and J. J. G. Lake, “Systems engineering standards and models compared,” *History*, vol. 1220, no. January, pp. 589–605, 1998.

[131] BKCASE Project, “SEBoK v1.0,” 2012. [Online]. Available: http://www.sebokwiki.org/075/index.php/Main_Page.

[132] ISO/IEC, “ISO FDIS 29148 - Systems and software engineering - Life cycle processes - Requirements engineering,” 2011.

[133] INCOSE, “Guide for Writing Requirements,” 2012.

[134] ISO and IEC, “ISO 15504 - Information technology - Process Assessment,” 2004.

[135] B. E. White, “On Principles of Complex Systems Engineering - Complex Systems Made Simple Tutorial,” in *INCOSE Symposium, 20-23 June 2011, Denver, CO*, 2011.

[136] R. S. Swarz and J. K. DeRosa, “A Framework for Enterprise Systems Engineering Processes,” in *ICSSEA 2006*, 2006.

[137] J. Zachman, “A framework for information systems architecture - REPRINT,” *IBM systems journal*, vol. 38, pp. 454–470, 1999.

[138] P. A. Jansma, “Let’s roll! Rolling out the NASA Systems Engineering Framework,” in *Aerospace conference 2009 IEEE*, 2009, pp. 1–18.

[139] D. Sarantis, Y. Charalabidis, and J. Psarras, “Towards Standardising Interoperability Levels for Information Systems of Public Administrations,” *eJETA*, no. Special Issue on “Interoperability for Enterprises and Administrations Worldwide”, 2008.

[140] A. Zutshi, “Framework for a Business Interoperability Quotient Measurement Model,” Faculty of Science and Technology, University of New Lisboapara, 2010.

[141] B. Elmir and B. Bounabat, “A Novel Approach for Periodic Assessment of Business Process Interoperability,” p. 9, Nov. 2011.

[142] S. Mallek, N. Daclin, and V. Chapurlat, “The application of interoperability requirement specification and verification to collaborative processes in industry,” *Computers in Industry*, vol. 63, no. 7, pp. 643–658, Sep. 2012.

[143] A. Imoussaten, “Modélisation et pilotage de la phase de délibération dans une décision collective - vers le management d’activités à risques -,” Mines ParisTech, 2011.

[144] B. White, “On the Pursuit of Enterprise Systems Engineering Ideas,” 2006.

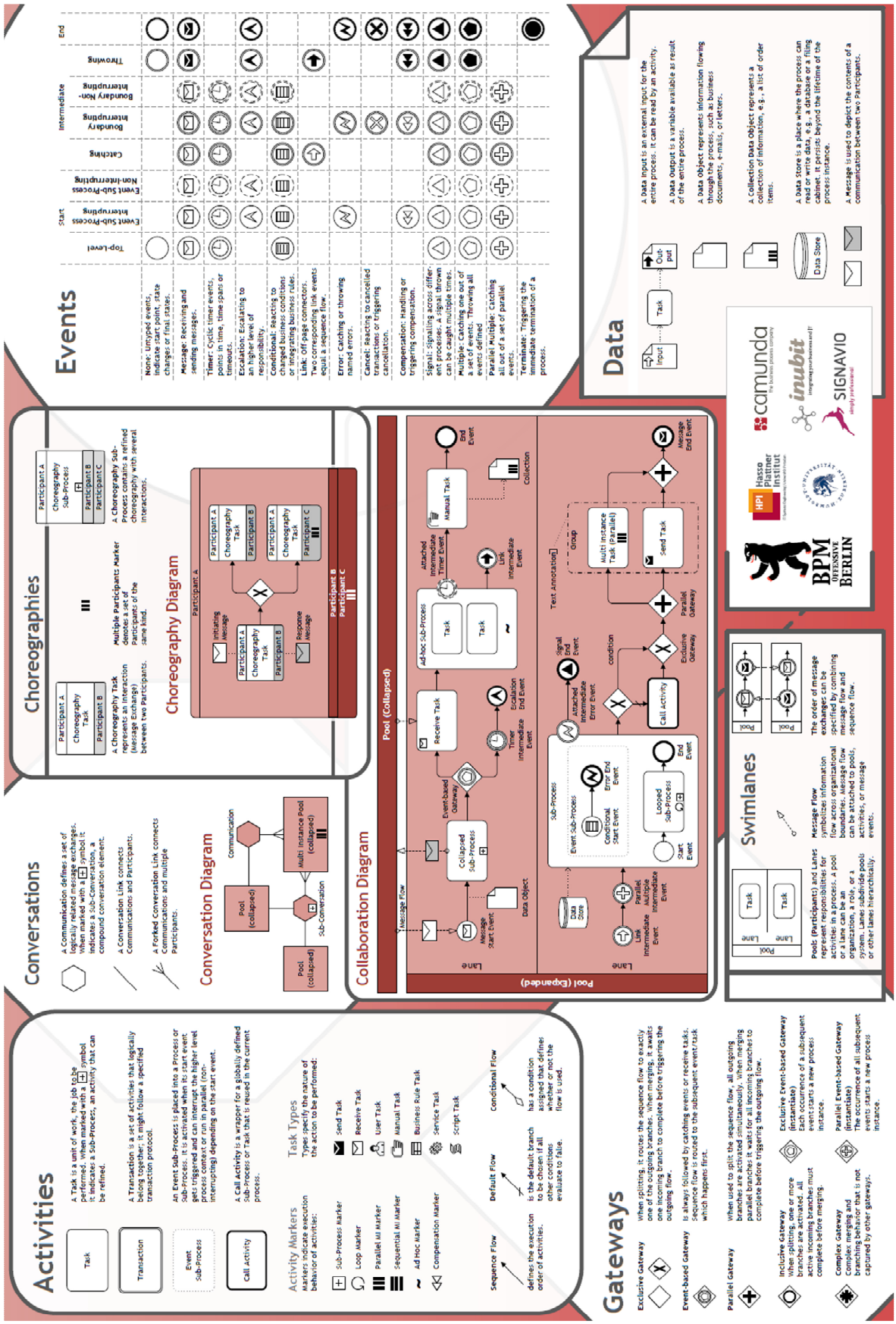
[145] INCOSE Fellows, “A Consensus of the INCOSE Fellows,” 2010. [Online]. Available: http://www.incose.org/practice/fellowsconsensus.aspx.

Annexes

TABLE DES ANNEXES

A. VUE D'ENSEMBLE DE BPMN 2.0 189
B. EXIGENCES D'INTEROPERABILITE 190
B.1. Exigences de compatibilité 190
B.2. Exigences d'interopération 191
B.3. Exigences d'autonomie 193
B.4. Exigences de réversibilité 193
C. QUESTIONNAIRES 195
C1. Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité intrinsèque d'une ressource humaine potentiellement en partenariat avec une ressource humaine 195
C.2 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité intrinsèque d'une ressource non humaine potentiellement en partenariat avec une ressource non humaine 196
C.3 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité intrinsèque d'une ressource humaine potentiellement en partenariat avec une ressource non humaine 197
C.4 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité intrinsèque d'une ressource non humaine potentiellement en partenariat avec une ressource humaine 198
C.5 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité intrinsèque d'une ressource humaine effectivement en partenariat avec une ressource humaine 199
C.6 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité intrinsèque d'une ressource non humaine effectivement en partenariat avec une ressource non humaine 200
C.7 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité intrinsèque d'une ressource humaine effectivement en partenariat avec une ressource non humaine 201
C.8 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité intrinsèque d'une ressource non humaine effectivement en partenariat avec une ressource humaine 202
C.9 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité extrinsèque d'un couple potentiel composé de deux ressources humaines 203
C.10 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité extrinsèque d'un couple potentiel composé de deux ressources non humaines 204
C.11 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité extrinsèque d'un couple potentiel composé d'une ressource humaine et d'une ressource non humaine 205
C.12 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité extrinsèque effective d'un couple composé de deux ressources humaines 206
C.13 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité extrinsèque d'un couple effectif composé de deux ressources non humaines 207
C.14 Questionnaire pour l'évaluation de l'interopérabilité extrinsèque d'un couple effectif composé d'une ressource humaine et d'une ressource non-humaine 208

A. VUE D'ENSEMBLE DE BPMN 2.0



B. EXIGENCES D'INTEROPERABILITE

B.1. EXIGENCES DE COMPATIBILITE

Type Resource 1	Dir.	Type resource 2	Statement	Intrinsic Potential	Intrinsic Effective	Extrinsic Potential	Extrinsic Effective
HR	-->	HR	The HR shall have physical capacities to communicate (i.e. to understand and to be understood by another human) with all his/her usual HR partners without external help.	X			
HR	-->	HR	The HR shall have physical capacities to communicate (i.e. to understand and to be understood by another human) with his/her identified partner without external help.		X		
HR	<-->	HR	The couple shall have physical capacities to communicate together.			X	X
HR	-->	HR	The HR shall use standard communication mean(s) usable by all his/her usual HR partners.	X			
HR	-->	HR	The HR shall use standard communication mean(s) usable by his/her identified partner.		X		
HR	<-->	HR	The couple shall have shared or at least compatible communication mean(s).			X	X
HR	<-->	HR	The couple shall be able to communicate in a common language.			X	X
HR	<-->	HR	The couple shall have the permission to exchange information together.			X	X
HR	<-->	HR	The couple shall have defined roles and responsibilities for the collaboration.			X	X
HR	-->	NHR	The HR shall have physical abilities to use the means (interface) provided by all his/her usual partners.	X			
HR	-->	NHR	The HR shall have physical abilities to use the means (interface) provided by his/her identified partner.		X		
HR	<-->	NHR	The couple shall have physical abilities to interact.			X	X
NHR	-->	HR	The NHR shall offer means to physically interact with a HR.	X			
HR	--> / <-->	NHR	The HR shall have the rights to use his/her identified partner.		X	x	x
HR	-->	NHR	The HR should know any data language used by all the NHR usable in its area of expertise.	X			
HR	--> / <-->	NHR	The HR should know all data languages usable by the NHR he/she is in collaboration with.		X	x	x
NHR	-->	HR	The NHR should provide data in a language understandable by most of its potential users.	X			
NHR	-->	HR	The NHR should provide data in a language understandable by its identified partner.		X		

HR	--> / <-->	NHR	The HR shall know the language(s) used by its identified partner to send message.		X	x	x
NHR	-->	NHR	The NHR shall produces and send data in standard data formats or at least exportable to editable standard ones.	X			
NHR	<-->	NHR	The couple shall "understand" the data format of its partner.			X	X
NHR	-->	NHR	The NHR should be able to establish and keep connections with all its partners active without human intervention.	X			
NHR	-->	NHR	The NHR should be able to establish and keep a connection with its identified partner active without human intervention.		X		
NHR	<-->	NHR	The couple should not need a human being to establish and keep a connection active.			X	X
NHR	-->	NHR	The NHR shall be open (i.e. it is able to establish connections with other systems).	X			
NHR	<-->	NHR	The both NHR shall be open (i.e. does they make connections possible with other systems).			X	X
NHR	-->	NHR	The NHR shall meet technical standards relevant and required by its environment	X			
NHR	-->	NHR	The NHR shall meet technical standards relevant and required by its identified partner.		X		
NHR	-->	NHR	The NHR shall meet the requirements from the OSI model.	X			
NHR	<-->	NHR	For each layer of the OSI model, the couple shall use same protocols and compatible architectures.			X	X
NHR	<-->	NHR	The couple shall have the permissions to collaborate.			X	X

B.2. EXIGENCES D'INTEROPERATION

Type Resource 1	Dir.	Type resource 2	Statement	Intrinsic Potential	Intrinsic Effective	Extrinsic Potential	Extrinsic Effective
HR	-->	HR	The HR should clearly know with who he/she has the right to exchange information.	X			
HR	-->	HR	The HR should be used to multi-cultural collaborations or should have been trained on this topic.	X			
HR	-->	HR	The HR should have a formalization of definitions he/she uses daily in its collaborations.	X			
HR	<-->	HR	The couple shall share a common formats for the data exchanged.			X	X
HR	<-->	HR	The couple shall share a common technical/operational language.			X	X
HR	<-->	HR	The couple shall share a common culture or at least understand and manage their culture differences.			X	X

HR	-->	HR	The HR shall have formal descriptions of what are his/her role(s) & responsibility(ies) during his/her collaborations.		X		
HR	-->	HR	The HR should have formal descriptions of what are his/her role(s) & responsibility(ies) before his/her collaborations.	X			
HR	<-->	HR	The couple should have formal descriptions of what are his/her role(s) & responsibility(ies)) for his/her collaborations.			X	X
HR	-->	NHR	The HR shall understand the syntax of the data provided by the NHR.		X		
HR	-->	NHR	The HR shall understand the language in which is written all indications about/present on the NHR		X		
HR	-->	NHR	The HR shall understand the semantic of data provided by the NHR.		X		
HR	<-->	NHR	The couple shall have shared data formats understandable and usable for both systems.			X	X
NHR	-->	HR	The NHR shall be provided with documentation understandable by the HS describing how it works and what the structure & meaning of its data are.			X	X
NHR	-->	HR	The NHR should be able to "learn" new data formats.	X			
NHR	-->	HR	The NHR should be provided with a a data dictionary.	X			
NHR	-->	HR	The NHR should be provided with documentation understandable by its potential users describing how it works.	X			
NHR	-->	HR	The NHR should be provided with a formalization of its data model.	X			
NHR	-->	HR	The NHR should be provided with the list of data formats that the it understands.	X			
NHR	-->	HR	The NHR should enable to update the rules for collaboration.	X			
NHR	-->	HR	The NHR should have rules for collaboration indicating in which case the system is authorized to collaborate.	X			
NHR	-->	HR	The written indications about/on the NHR should be written in a language understandable by most of potential users.	X			
NHR	-->	NHR	The NHR should be able to "learn" new data formats.	X			
NHR	-->	NHR	The NHR should be provided with a a data dictionary.	X			
NHR	-->	NHR	The NHR should be provided with a formalization of its data model.	X			
NHR	-->	NHR	The NHR should be provided with the list of data formats that it understands.	X			
NHR	-->	NHR	The NHR should enable updates of its collaboration rules.	X			
NHR	-->	NHR	The NHR should have rules for collaboration indicating in which case the system is authorized to collaborate.	X			
NHR	<-->	NHR	The couple shall be able to understand and manipulate the formats of the data (to be) exchanged in acceptable deadlines.			X	X

NHR	<-->	NHR	The couple shall share a common data model.			X	X
NHR	<-->	NHR	The couple shall share the same semantic.			X	X

B.3. EXIGENCES D'AUTONOMIE

Type Resource 1	Dir.	Type resource 2	Statement	Intrinsic Potential	Intrinsic Effective	Extrinsic Potential	Extrinsic Effective
HR	-->	HR	The HR shall keep following the decisions of his/her hierarchical accountable all along his/her collaborations.		X		
HR	-->	HR	The HR shall remain able to perform actions that are not related to collaboration but with the rest of its environment when needed.		X		
HR	<-->	HR	The couple shall remain independent all along the collaboration.				X
HR	-->	NHR	The HR shall be able to use other NHR in other collaborations context.	X			
HR	<-->	NHR	The couple shall remain independent all along the collaboration.				X
NHR	-->	HR	The NHR shall remain usable by other HR during/after the collaboration.	X			
NHR	-->	NHR	The NHR shall be able to perform other actions independently from the other NHR.		X		
NHR	<-->	NHR	The couple shall remain independent all along the collaboration.				X

B.4. EXIGENCES DE REVERSIBILITE

Type Resource 1	Dir.	Type resource 2	Statement	Intrinsic Potential	Intrinsic Effective	Extrinsic Potential	Extrinsic Effective
HR	-->	HR	The HR shall not get hurt during collaboration.		X		
HR	-->	HR	The HR should not get a lower hierarchical position after collaboration.		X		
HR	<-->	HR	The couple shall not hurt each other all along the collaboration.				X
HR	-->	NHR	The HR shall not make the NHR unusable during the collaboration.		X		
HR	-->	NHR	The HR shall not get hurt during collaboration.		X		

HR	<-->	NHR	Along the collaboration, the HR shall not get hurt by the NHR and the integrity of the NHR shall not be endangered by the HR.		X
NHR	-->	HR	The NHR shall not hurt the HR during the collaboration.	X	
NHR	-->	HR	The NHR shall be stable during/after the collaboration.	X	
NHR	-->	NHR	The NHR shall be stable during/after the collaboration.	X	
NHR	<-->	NHR	The couple shall not make the other unstable after the collaboration.		X

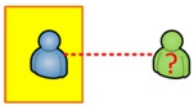
C. QUESTIONNAIRES

C1. QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE D'UNE RESSOURCE HUMAINE POTENTIELLEMENT EN PARTENARIAT AVEC UNE RESSOURCE HUMAINE

eurocopter
an EADS Company

Intrinsic Potential Interoperability Assessment of a Human resource in Collaboration with a Human resource

Sophie



Not known

	#	Question	Answer	Recommendation	Interoperability barrier concerned
Ability to exchange information	1	Does the human resource have physical capacities to communicate without external help?	Yes	Find somebody to establish communication.	Technical
	2	Is the human resource able to speak at least one other foreign language?	Yes	Learn new foreign languages.	Conceptual
	3	Does the human resource use standard communication means usable by other	Yes	Align communication means within and outside (group, sub-contractors,etc.) the company. Promotote standard ones.	Technical and Conceptual
	4	Does the human resource clearly know who he/she has the right to exchange information with?	Yes	Collect information from relevant organisation (security department, human resources, etc.). Anticipate needs and get authorizations (classified/secret defence accreditation, etc.)	Organisational
	5	In its current collaborations, does the human resource have formal descriptions of what are his/her roles & responsibilities?	Yes	The distribution of the work must be defined in a formal way. Requirements for expected results must be defined.	Organisational
Ability to understand and to use the information exchanged	6	Does the human resource use standard data formats or at least exportable to editable standard ones?	Yes	At least at company level, define a list of standards formats. Encourage employees to adopt these standards.	Conceptual
	7	Does the human resource have a formalization of the definition he/she uses daily in his/her collaborations?	No	Create it from scratch or use normative/company's written definitions.	Conceptual
	8	Is/Was the human resource used to multi-cultural collaborations or have been trained on this topic?	No	Make the human resource be involve in multi-cultural collaboration if possible or train the human resource.	Organisational

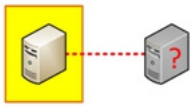
Intrinsic Potential Interoperability Score	**6 /8**

C.2 QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE D'UNE RESSOURCE NON HUMAINE POTENTIELLEMENT EN PARTENARIAT AVEC UNE RESSOURCE NON HUMAINE

eurocopter
an EADS Company

Intrinsic Potential Interoperability Assessment of a Non-human resource in Collaboration with a Non-human resource

Monitor simulating helmet symbology



Not known

	#	Question	Answer	Recommendation	Interoperability barrier concerned
Ability to exchange information	1	Is the non-human resource open (i.e. does it make connections possible with	No	If possible physically modify the non-human resource.	Technical
	2	Can the non-human resource establish and keep a connection active with a minimal human intervention?	No	If possible, enable automatic connections. Enable keeping connections active without (or at least with minimal) human intervention.	Technical
	3	Does the non-human resource meet the requirements from the OSI model?	No	Improve the non-human resource to meet this standard. Survey protocols usable by the non-human resource.	Conceptual and Technical
	4	Has the non-human resource rules for collaboration indicating in which case the non-human resource is authorised to collaborate?	Yes	Define class of non-human resources and define for them rights according to company's security policies.	Conceptual
	5	If existing, is it possible to update rules for collaboration?	No	Define how to update a rule or clearly state that it is not	Conceptual
Ability to understand and to use the information exchanged	6	Is the list of data formats the non-human resource "understands" available in the company?	No	Establish it or collect it from the supplier of the non-human resource.	Conceptual and Technical
	7	Is it possible to make the non-human resource "learn" new data formats?	No	Ask the supplier of the non-human resource for improvement if needed.	Conceptual and Technical
	8	Is a formalisation of the data model available for the non-human resource?	No	Establish it or collect it from the supplier of the non-human resource.	Conceptual
	9	Is a data dictionary available for the non-human resource?	No	Establish it or collect it from the supplier of the non-human resource.	Conceptual

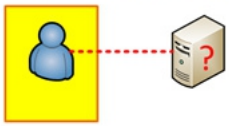
Intrinsic Potential Interoperability Score	**1 /9**

C.3 QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE D'UNE RESSOURCE HUMAINE POTENTIELLEMENT EN PARTENARIAT AVEC UNE RESSOURCE NON HUMAINE

eurocopter
an EADS Company

Intrinsic Potential Interoperability Assessment of a Human resource in Collaboration with a Non-human resource

Monitor simulating helmet symbology



Not known

	#	Question	Answer	Recommendation	Interoperability barrier concerned
Ability to exchange information	1	Has the human resource physical abilities to use any non-human resource that could be use in its area of expertise?	Yes	Adapt the non-human resource or find an other system to be able to communicate with both human resource and non-human resource.	Technical
	2	Is the human resource able to speak at least one other foreign language than mother tongue?	Yes	Learn new foreign languages.	Conceptual
	3	Does the human resource knows all data language used by non-human resources usable in its area of expertise?	Yes	Improve skills in data languages.	Conceptual
	4	Does the human resource knows the sensibility and localisation of information (s)he needs for all types of non-human resource usable in its area of expertise?	No	Identify sensibility and localisation of information needed to clearly identify the needed authorizations.	Conceptual and Organisational

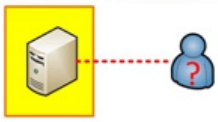
Intrinsic Potential Interoperability Score	**3 /4**

C.4 QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE D'UNE RESSOURCE NON HUMAINE POTENTIELLEMENT EN PARTENARIAT AVEC UNE RESSOURCE HUMAINE

eurocopter
an EADS Company

Intrinsic Potential Interoperability Assessment of a Non-human resource in Collaboration with a Human resource

Monitor simulating helmet symbology



Not known

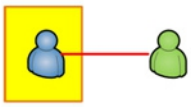
	#	Question	Answer	Recommendation	Interoperability barrier concerned
Ability to exchange information	1	Does the non-human resource offer means to physically interact with a human resource?	Yes	If possible physically modify the non-human resource.	Technical
	2	Does all written indications about/present on the non-human resource are written in a language understandable by most of potential users?	Yes	Either provide translations of indications in languages usable by the (potential) user or improve language skills of the (potential) user.	Conceptual
	3	Does the non-human resource provide data in a language understandable by most of its potential users?	Yes	To support interaction, favour the use of a standard language	Conceptual
	4	Does the non-human resource has rules for collaboration indicating in which case the system is authorized to collaborate?	No	Define class of systems and define for them rights according to company's security policies (and partner's one if applicable).	Conceptual
	5	If existing, is it possible to update rules for collaboration?	No	Define how to update a rule or clearly state that it is not possible.	Conceptual
Ability to understand and to use the information exchanged	6	Is the list of data formats the non-human resource "understands" available in the company?	Yes	Establish it or collect it from the supplier of the system.	Conceptual and Technical
	7	Is it possible to make the non-human resource accept new data formats?	No	Ask the supplier of the system for improvement if needed.	Conceptual and Technical
	8	Is a formalisation of the data model available for the non-human resource?	Yes	Establish it or collect it from the supplier of the system.	Conceptual
	9	Is a data dictionary available for the non-human resource?	No	Establish it or collect it from the supplier of the system.	Conceptual
	10	Is the non-human resource provided with a documentation understandable by its potential users describing how it works?	No	Establish it or collect it from the supplier of the system.	Conceptual

Intrinsic Potential Interoperability Score	**5 /10**

C.5 QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE D'UNE RESSOURCE HUMAINE EFFECTIVEMENT EN PARTENARIAT AVEC UNE RESSOURCE HUMAINE

eurocopter
an EADS Company

Intrinsic Effective Interoperability Assessment of a Human resource in Collaboration with a Human resource

Sophie  Ralf

	#	Question	Answer	Recommendation	Interoperability barrier concerned
Ability to exchange information	1	Does/Did the human resource have physical capacities to communicate without external help?	Yes	Find somebody to establish communication.	Technical
	2	Is/Was the human resource able to communicate in the language of its partner or in a shared foreign language?	Yes	Learn new foreign languages.	Conceptual
	3	Does/Did the human resource use communication mean accessible for its partner?	Yes	Align communication means within and outside (group, sub-contractors,etc.) the company. Promotote standard ones.	Technical and Conceptual
	4	Do/Did the human resource get the required permissions to collaborate with the partner and to access to the exchange data?	Yes	Collect information from relevant organisation (security department, human resources, etc.). Anticipate needs and get authorizations (classified/secret defence	Organisational
	5	In the collaboration, do/did the human resource have a formal & shared definition of his/her roles and	Yes	The distribution of the work must be defined in a formal way. Requirements for expected results must be defined.	Organisational
Ability to understand and to use the information exchanged	6	Does/Did the human resource use standard data formats or at least exportable to editable standard ones?	Yes	At least at company level, define a list of standards formats. Encourage employees to adopt these standards.	Conceptual
	7	Does/Did the human resource have a formalization of the definition he/she uses daily in his/her collaborations and is/was it compliant with the partner's?	No	Create it from scratch or use normative/company's written definitions.	Conceptual
	8	If relevant, is/was the human resource efficient in the multi-cultural collaboration?	No	Make the human resource be involve in multi-cultural collaboration if possible or train the human resource.	Organisational

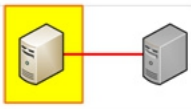
Intrinsic Potential Interoperability Score	**6 /8**

C.6 QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE D'UNE RESSOURCE NON HUMAINE EFFECTIVEMENT EN PARTENARIAT AVEC UNE RESSOURCE NON HUMAINE

eurocopter
an EADS Company

Intrinsic Effective Interoperability Assessment of a Non-human resource in Collaboration with a Non-human resource

Monitor simulating helmet symbology



Software test bench simulation computer

	#	Question	Answer	Recommendation	Interoperability barrier concerned
Ability to exchange information	1	Does/Did the non-human resource offer means to physically connect to the other non-human resource in an "easy"	No	If possible physically modify the non-human resource.	Technical
	2	Is/Was the non-human resource able to establish and keep a connection by itself without human intervention?	No	If possible, enable automatic connections. Enable keeping connections active without (or at least with minimal) human intervention.	Technical
	3	Does/Did the non-human resource meet the requirements from the OSI model?	Yes	Improve the non-human resource to meet this standard. Survey protocols usable by the non-human resource.	Conceptual and Technical
	4	If legitimate, does/did the non-human resource allow access to the other non-human resource?	Yes	Define class of non-human resources and define for them rights according to company's security policies (and partner's one if	Conceptual
Ability to understand and to use the information exchanged	5	Has/Had the non-human resource data formats consistent with those of the other non-human resource?	No	Establish it or collect it from the supplier of the non-human resource.	Conceptual and Technical
	6	Is/Was the data model of the non-human resource consistent with those of the other non-human resource (if existing)?	No	Establish it or collect it from the supplier of the non-human resource.	Conceptual
	7	Has/Had the non-human resource a data dictionary consistent with those of the other non-human resource (if existing)?	No	Establish it or collect it from the supplier of the non-human resource.	Conceptual

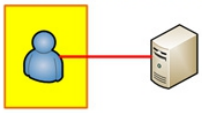
Intrinsic Potential Interoperability Score	**2 /7**

C.7 QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE D'UNE RESSOURCE HUMAINE EFFECTIVEMENT EN PARTENARIAT AVEC UNE RESSOURCE NON HUMAINE

eurocopter
an EADS Company

Intrinsic Effective Interoperability Assessment of a Human resource in Collaboration with a Non-human resource

Sophie



Software test bench simulation computer

	#	Question	Answer	Recommendation	Interoperability barrier concerned
Ability to exchange information	1	Have/Had the human resource physical abilities to use the means provided by the non-human resource to interact?	Yes	Adapt the non-human resource or find an other system to able to communicate with both human-resource and non-human resource.	Technical
	2	Does/Did the human resource understand the language in which is written all indications about/present on the non-human resource?	Yes	Learn new foreign languages.	Conceptual
	3	Does the human resource understand the syntax of the data provided by the non-human resource?	Yes	Improve skills in data languages.	Conceptual
	4	If legitimate, does/did the human resource experience difficulties with non-human resource's access control ?	No	Identify sensibility and localisation of information needed to clearly identify the needed authorizations.	Conceptual and Organisational
Ability to understand and to use the information	6	Does/Did the human resource understand the semantic of data provided by the non-human resource?	Yes	Collect documents introducing semantic of non-human resource's data.	Conceptual

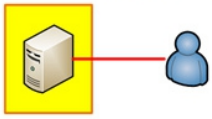
Intrinsic Potential Interoperability Score	**4 /5**

C.8 QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE INTRINSEQUE D'UNE RESSOURCE NON HUMAINE EFFECTIVEMENT EN PARTENARIAT AVEC UNE RESSOURCE HUMAINE

eurocopter
an EADS Company

Intrinsic Effective Interoperability Assessment of a Non-human resource in Collaboration with a Non-human resource

Monitor simulating helmet symbology



Sophie

	#	Question	Answer	Recommendation	Interoperability barrier concerned
Ability to exchange information	1	Does/Did the NHR offer means to physically interact with the HR partner?	Yes	If possible physically modify the non-human resource.	Technical
	2	Does/Did all written indications about/present on the NHR are written in a language understandable by the HR?	Yes	Either provide translations of indications in languages usable by the (potential) user or improve language skills of the (potential) user.	Conceptual
	3	Does the NHR provide data in a language understandable by the HR?	No	To support interaction, favour the use of a standard language	Conceptual
	4	If legitimate, does/did the system allow access to the HR?	No	Define class of systems and define for them rights according to company's security policies (and partner's one if applicable).	Conceptual
Ability to understand and to use the information exchanged	5	Does/Did the NHR provide data in formats understandable and usable by the HR?	No	Establish it or collect it from the supplier of the system.	Conceptual and Technical
	6	Is/Was a formalisation of the data model available for the NHR?	Yes	Establish it or collect it from the supplier of the system.	Conceptual
	7	Does/did the NHR have a data dictionary available for the NHR?	No	Establish it or collect it from the supplier of the system.	Conceptual
	8	Is/Was the NH is provided with a documentation understandable by the HS describing how it works?	Yes	Establish it or collect it from the supplier of the system.	Conceptual

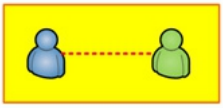
Intrinsic Potential Interoperability Score	**4 /8**

C.9 QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE EXTRINSEQUE D'UN COUPLE POTENTIEL COMPOSE DE DEUX RESSOURCES HUMAINES

eurocopter
an EADS Company

Extrinsic Potential Interoperability Assessment of a couple of Human resources

Sophie



Ralf

	#	Question	Answer	Recommendation	Interoperability barrier concerned	Instruction
Ability to exchange information	1	Have they physical capacities to communicate	Yes	Find somebody to establish communication.	Technical	Go to next question
	2	Are they are able to communicate in a common language?	Yes	Improve skills in a shared language or employ a translator.	Conceptual	Go to next question
	3	Have they common/compatible communication means?	Yes	In case of physical distance, IT alignment must be done. The more the ICTs are flexible and easy to use, the easier is the communication.	Conceptual & Technical	Go to next question
	4	Have they the permission to exchange information together?	Yes	A collaboration cannot be a success if the two partners have not the right to do it. Please ensure that they both have the right to exchange information, especially concerning confidential data. The required administrative requests must be done.	Organisational	Go to next question
	5	Have they defined roles and responsibilities for the collaboration?	No	The both partners must agree on the allocation of work. The distribution of the work must be defined in a formal way. Requirements for the results must be defined.	Organisational	End of assessment
Ability to understand and to use the information exchanged	6	Do they share a common formats for the data exchanged?	Yes	A common format for the data to exchange and produce must be defined. A change in this format can be realized if the two partners are agree and if it does not interfere in the both partners way of working.	Conceptual	End of assessment
	7	Do they share a common technical/operational language?	Yes	A common detailed glossary must be established. To simplify the work, it can be defined on the basis of a standard.	Conceptual	End of assessment
	8	Do they share a common culture or at least understand and manage their culture differences?		Cultural incompatibilities are the most difficult to remove. To do it the understanding of the other culture is mandatory. For this, talking and training are required to understand the both partners positions. Cultural incompatibilities can occur if the two partners come from distinct countries or if they come from different business areas.	Organisational	/

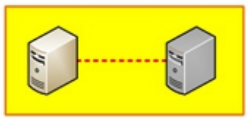
Intrinsic Potential Interoperability Score	**4 /8**

C.10 QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE EXTRINSEQUE D'UN COUPLE POTENTIEL COMPOSE DE DEUX RESSOURCES NON HUMAINES

eurocopter
an EADS Company

Extrinsic Potential Interoperability Assessment of a couple of Non-human resources

Monitor simulating helmet symbology



Software test bench simulation computer

	#	Question	Answer	Recommendation	Interoperability barrier concerned	Instruction
Ability to exchange information	1	Are both resources open (i.e. do they make connections possible with other systems)?	Yes	If possible, physically modify the systems.	Technical	Go to next question
	2	Do the resources need a human being to establish and keep a connection active?	Yes	If possible, enable automatic connections. Enable keeping connections active without (or at least with minimal) human intervention.	Technical	Go to next question
	3	For each layer of the OSI model, do the resources use same protocols and compatible architectures?	No	Use a standard protocol for each of the seven layers of the OSI model. The infrastructure for each layer must be compatible.	Conceptual and Technical	End of assessment
	4	Have the resources the permissions to collaborate?		Make sure the rights are correctly defined according to common and proprietary security policies.	Technical	/
Ability to understand and to use the information exchanged	5	Are both resources able to understand and manipulate the formats of the data (to be) exchanged in acceptable deadlines?		Homogenize the formats used by the two systems and favour standard formats.	Conceptual and Technical	/
	6	Do the resources share a common data model?		Homogenize {data names & relations}, {data attributes & identifiers}, and {tables and their structure} respectively by defining a common {conceptual data model} {common logical model} and {common physical data model}.	Conceptual	/
	7	Do the resources share the same semantic?		Create Data dictionaries Eliminate overloading.	Conceptual	/

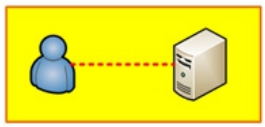
Intrinsic Potential Interoperability Score	**2 /7**

C.11 QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE EXTRINSEQUE D'UN COUPLE POTENTIEL COMPOSE D'UNE RESSOURCE HUMAINE ET D'UNE RESSOURCE NON HUMAINE

eurocopter
an EADS Company

Extrinsic Potential Interoperability Assessment of a couple of Human and Non-human resources

Sophie



Software test bench simulation

	#	Question	Answer	Recommendation	Interoperability barrier concerned	Instruction
Ability to exchange information	1	Do they have physical means to interact?	Yes	Please connect a medium or find another system which is able to communicate with the both resources. A graphical interface is good solution to improve the understanding of the human resource.	Technical	Go to next question
	2	Have they a common language?	Yes	To support interaction, promote the use of a standard language	Conceptual	Go to next question
	3	Has the human resource the rights to use the non-human resource?	Yes	The rights must be defined in consistency with security policies and rules.	Organisational	Go to next question
Ability to understand and to use the information exchanged	4	Do they have shared data formats understandable and usable for both of them?	No	Find a common format or at least find a data converter without loss.	Conceptual	End of assessment
	5	Is the non-human resource provided with a documentation understandable by the human resource describing how it works and what the structure & meaning of its data are?	No	Documentation is a precious help. It explains the functioning of the non-human resource and often help in case of failures. If no documentation exists, a new one must be created for future users during utilisation.	Conceptual and technical	End of assessment

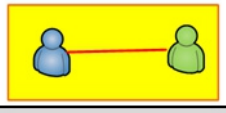
Intrinsic Potential Interoperability Score	**3 /5**

C.12 QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE EXTRINSEQUE EFFECTIVE D'UN COUPLE COMPOSE DE DEUX RESSOURCES HUMAINES

eurocopter
an EADS Company

Extrinsic Effective Interoperability Assessment of a couple of Human resources

Monitor simulating helmet symbology



Software test bench simulation

	#	Question	Answer	Recommendation	Interoperability barrier concerned	Instruction
Ability to exchange information	1	Have/Had they physical capacities to communicate together?	Yes	Find somebody to establish communication.	Technical	Go to next question
	2	Is/Was there a language in which they are able to communicate together?	Yes	Improve skills in a shared language or employ a translator.	Conceptual	Go to next question
	3	Have/Had they common/compatible communication media?	Yes	In case of physical distance, IT alignment must be done. The more the ICTs are flexible and easy to use, the easier is the communication.	Conceptual & Technical	Go to next question
	4	Have/Had they the permission to exchange information together?	Yes	A collaboration cannot be a success if the two partners have not the right to do it. Please ensure that they both have the right to exchange information, especially concerning confidential data. The required administrative requests must be done.	Organisational	Go to next question
	5	Are/Were the roles and responsabilities clearly defined and shared all along the collaboration?	No	The both partners must agree on the allocation of work. The distribution of the work must be defined in a formal way. Requirements for the results must be defined.	Organisational	End of assessment
Ability to understand and to use the information exchanged	6	Have/Had they shared data format for all information exchanged?	Yes	A common format for the data to exchange and produce must be defined. A change in this format can be realized if the two partners are agree and if it does not interfere in the both partners way of working.	Conceptual	End of assessment
	7	Is/Was there a shared definition of vocabulary used?	Yes	A common detailed glossary must be established. To simplify the work, it can be defined on the basis of a standard.	Conceptual	End of assessment
	8	Do/Did they manage multi-cultural aspects?		Cultural incompatibilities are the most difficult to remove. To do it the understanding of the other culture is mandatory. For this, talking and training are required to understand the both partners positions. Cultural incompatibilities can occur if the two partners come from distinct countries or if they come from different business	Organisational	/

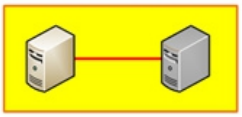
Intrinsic Potential Interoperability Score	**4 /8**

C.13 QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE EXTRINSEQUE D'UN COUPLE EFFECTIF COMPOSE DE DEUX RESSOURCES NON HUMAINES

eurocopter
an EADS Company

Extrinsic Effective Interoperability Assessment of a couple of Human resources

Monitor simulating helmet symbology



Software test bench simulation

	#	Question	Answer	Recommendation	Interoperability barrier concerned	Instruction
Ability to exchange information	1	Do/Did they have difficulties to physically find a way to connect each other?	No	Find somebody to establish communication.	Technical	Go to next question
	2	Do/Did they need a human being to establish and keep a connection active?	No	Improve skills in a shared language or employ a translator.	Technical	Go to next question
	3	Do/Did they have difficulties to exchange information due to protocols or architecture problems?	No	In case of physical distance, IT alignement must be done. The more the ICTs are flexible and easy to use, the easier is the communication.	Conceptual and Technical	Go to next question
	4	Do/Did they have rights conflicts (access control etc.)?	No	A collaboration cannot be a success if the two partners have not the right to do it. Please ensure that both partners have to right to exchange information, especially concerning confidential data. The required administrative requests must be done.	Conceptual	Go to next question
Ability to understand and to use the information exchanged	5	Do/Did they have inconsistent data formats?	No	A common format for the data to exchange and produce must be defined. A change in this format can be realized if the two partners are agree and if it does not interfere in the both parnters way of working.	Conceptual and Technical	Go to next question
	6	Do/Did they have conflicts in their data models?	Yes	A common detailed glossary must be established. To simplify the work, it can be defined on the basis of a standard.	Conceptual	End of assessment
	7	Do some piece of data not have the same meaning/interpretation for both resources?	No	Cultural incompatibilities are the most difficult to remove. To do it the understanding of the other culture is mandatory. For this,talking and trining are required to understand the both partners positions. Cultural incompatibilities can occure if the two partners come from distinct contries or if they come from different business areas.	Conceptual	End of assessment

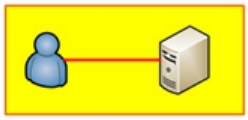
Intrinsic Potential Interoperability Score	5 /7

C.14 QUESTIONNAIRE POUR L'EVALUATION DE L'INTEROPERABILITE EXTRINSEQUE D'UN COUPLE EFFECTIF COMPOSE D'UNE RESSOURCE HUMAINE ET D'UNE RESSOURCE NON-HUMAINE

eurocopter
an EADS Company

Extrinsic Effective Interoperability Assessment of a couple of Human and Non-human resources

Sophie



Software test bench simulation

	#	Question	Answer	Recommendation	Interoperability barrier concerned	Instruction
Ability to exchange information	1	Do/Did the non-human resource provide a communication mean usable by the human resource according to his/her capacities?	Yes	Please connect a medium or find another system which is able to communicate with the both resources. A graphical interface is good solution to improve the understanding of the human resource.	Technical	Go to next question
	2	Is/Was the human resource able to understand the language used by non-human resource and	Yes	To support interaction, promote the use of a standard language	Conceptual	Go to next question
	3	Has/Had the human resource the authorization to use the non-human resource? Do/Did the non-human resource authorize access correctly?	Yes	The rights must be defined in consistency with security policies and rules.	Organisational	Go to next question
Ability to understand and to use the information exchanged	4	Do/Did they are able to handle and understand the format in which data are/were exchanged?	No	Find a common format or at least find a data converter without loss.	Conceptual	End of assessment
	5	Do/Did the human resource have access to a documentation describing how the non-human resource works and what the structure& meaning of its data are? Do/Did understand it?	No	Documentation is a precious help. It explains the functioning of the non-human resource and often help in case of failures. If no documentation exists, a new one must be created for future users during utilisation.	Conceptual and technical	End of assessment

Intrinsic Potential Interoperability Score	**3 /5**

Contribution à la prise en compte de l'interopérabilité pour le déploiement de processus complexes dans une grande entreprise : proposition d'un guide méthodologique outillé pour les processus d'Ingénierie Système

RESUME : Les entreprises dont le cœur de métier est orienté vers la conception et la production de systèmes réputés complexes cherchent en permanence à améliorer leur position sur des marchés généralement mouvants face à la concurrence internationale. Une des solutions possibles consiste à déployer, améliorer et gérer des processus d'Ingénierie Système. Entre autres avantages, les entreprises peuvent par ce biais espérer gagner à la fois en termes de qualité de leurs prestations et de réactivité avec laquelle elles les fournissent.

Ce déploiement nécessite cependant de porter une attention particulière aux besoins, capacités et motivations des ressources et organisations, tant internes qu'externes à l'entreprise, devant être impliqués dans le déploiement ou l'exécution de ces processus. De fait, la maîtrise de leur interopérabilité doit être considérée comme un facteur clef de la réussite du déploiement. Par ailleurs, comme le déploiement de processus appelle à structurer le travail, à modifier l'organisation et le fonctionnement même des entreprises, ces dernières doivent être en mesure de mettre en œuvre des efforts importants de compréhension, d'anticipation, d'adaptation voire de gestion du changement. Elles se trouvent alors souvent dépourvues face au peu de solutions pragmatiques disponibles et applicables réellement pour déployer des processus en milieu industriel.

Pour répondre à ces besoins, les travaux de recherche développés au cours de cette thèse ont pour objectif de fournir un cadre méthodologique et technique permettant de lever certains des verrous empêchant ou freinant la réussite du déploiement de processus. Ils sont appliqués ici au déploiement de processus d'Ingénierie Système dans un contexte aéronautique. Ils concernent plus particulièrement les processus d'ingénierie de produits de type hélicoptère et des services associés.

La contribution globale de ces travaux consiste donc à définir un guide méthodologique outillé pour assister le déploiement de processus dans une entreprise multi-sites et pluridisciplinaire. Ce guide inclut :

- Une **analyse comparative** détaillée des standards de l'Ingénierie Système applicable en aéronautique,
- Un **méta-modèle** permettant d'établir une vision/compréhension partagée des concepts nécessaires au déploiement,
- Un **modèle de maturité** permettant de connaitre le degré de préparation de l'entreprise pour le déploiement,
- Une **méthodologie de déploiement formalisée** (BPMN 2.0 et modèle formel sous-jacent) facilement automatisable et non ambiguë,
- Une **méthodologie d'évaluation de l'interopérabilité** des ressources et des unités d'organisations à impliquer dans un processus à déployer, formalisée mathématiquement et outillée entre autres par des questionnaires types facilitant son application immédiate,
- Des **modèles de processus** et en particulier celui de définition des exigences réalisé pour valider la méthodologie de déploiement,
- Un **ensemble cohérent et interopérable de solutions informatiques** comprenant un moteur de workflow, des outils de modélisation, des outils d'évaluation de la maturité et de l'interopérabilité, une application récupérant la connaissance des modèles et un générateur de documents.

Mots clés : Déploiement de processus, Evaluation de l'Interopérabilité, Ingénierie Système, Ingénierie Système d'Entreprise, Modélisation d'Entreprise.

MINES ParisTech

ParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Contribution to the consideration of interoperability for the deployment of complex processes in a large company: proposition of a methodological and equipped guide for Systems Engineering processes

ABSTRACT : Companies whose primary business is the design and the supply of complex systems try to constantly improve their performances to be ahead of their international competitors. For this, a solution is to deploy, improve and manage Systems Engineering processes. Indeed, among other things, this may enable companies improving the quality of their services but also the reactivity with which they supply them.

Nonetheless, this deployment requires paying a special attention to needs, abilities and motivations of resources and organisations, should they be internal or external to the company, likely to be involved in the deployment or execution of these processes. Thus, mastering their interoperability should be considered as an important need and should be considered as a key factor in the deployment.

Moreover, since a process deployment implies to structure the work share, to modify the organisation and the functioning of enterprises, the latter must be able to carry out considerable effort to understand, anticipate, adapt and lead the change. However, they often experience difficulties considering the few pragmatic and applicable solutions available to directly deploy processes in industry.

To meet these needs, this thesis research aims to supply a methodological and technical guide that enables getting over obstacles preventing or impeding the success of the deployment. It is here applied for the deployment of Systems Engineering processes in an aeronautics context. More precisely, this work focus on processes in charge of the design of helicopters along with services related to them.

Consequently, the global contribution of this thesis consists in the definition of an equipped methodological guided to support the deployment of processes in a company that is multi-sites and multi-cultural. This guide includes:

- A **detailed comparative analysis** of international Systems Engineering norms applicable in a aeronautics,
- A **meta-model** that enables sharing a common vision/understanding of concepts required for the deployment,
- A **maturity model** that enables appraising the readiness of a company for the deployment,
- A **formalised deployment methodology** (BPMN 2.0 and an underlying formal model) that is unambiguous and that can be easily automated,
- A **methodology enabling the assessment of the interoperability** of resources and organisation units to involve in a process to deploy, mathematically formalised and equipped with typical questionnaires to facilitate its immediate application,
- **Processes models** and more particularly the one in charge of the stakeholders requirements definition to validate the deployment methodology,
- A **consistent and interoperable set of computer applications** including a workflow engine, modelling tools, applications for the assessment of maturity and interoperability, an application to collect knowledge in models and a document generator.

Keywords : Process deployment, Interoperability Assessment, Systems Engineering, Enterprise Systems Engineering, Enterprise Modelling.

MINES ParisTech

ParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY