



HAL
open science

DEPNET : une approche support au processus de gestion de conflits basée sur la gestion des dépendances de données de conception

Mohamed-Zied Ouertani

► **To cite this version:**

Mohamed-Zied Ouertani. DEPNET : une approche support au processus de gestion de conflits basée sur la gestion des dépendances de données de conception. Autre. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 2007. Français. NNT : 2007NAN10031 . tel-01748149v1

HAL Id: tel-01748149

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01748149v1>

Submitted on 29 Mar 2018 (v1), last revised 16 Jul 2007 (v2)

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.



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

U.F.R. Sciences et Techniques Mathématiques, Informatique et Automatique
Ecole Doctorale IAEM Lorraine
Département de Formation Doctorale Automatique

Thèse

Présentée pour l'obtention du titre de

Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy I

en Automatique, Traitement du Signal, Génie Informatique

par Mohamed-Zied OUERTANI

**DEPNET : UNE APPROCHE SUPPORT AU PROCESSUS DE
GESTION DE CONFLITS BASEE SUR LA GESTION DES
DEPENDANCES DE DONNEES DE CONCEPTION**

Soutenue publiquement le 18 Juin 2007

Membres du jury :

Président :	M. Sándor VAJNA	Professeur, Universität Magdeburg (Allemagne)
Rapporteurs :	M. Michel BIGAND	Maître de conférences, HDR, École Centrale de Lille
	M. Abdelaziz BOURAS	Professeur, Université Lumière, Lyon 2
Examineurs :	M. Gérard MOREL	Professeur, Nancy Université
	M. Michel TOLLENAERE	Professeur, INP-Grenoble
	M. Gabriel RIS	Professeur, Nancy Université (Directeur de thèse)
	Mme. Lilia GZARA	Maître de conférences, Nancy Université (Codirectrice de thèse)

U.F.R. Sciences et Techniques Mathématiques, Informatique et Automatique
Ecole Doctorale IAEM Lorraine
Département de Formation Doctorale Automatique

Thèse

Présentée pour l'obtention du titre de

Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy I

en Automatique, Traitement du Signal, Génie Informatique

par Mohamed-Zied OUERTANI

**DEPNET : UNE APPROCHE SUPPORT AU PROCESSUS DE
GESTION DE CONFLITS BASEE SUR LA GESTION DES
DEPENDANCES DE DONNEES DE CONCEPTION**

Soutenue publiquement le 18 Juin 2007

Membres du jury :

Président :	M. Sándor VAJNA	Professeur, Universität Magdeburg (Allemagne)
Rapporteurs :	M. Michel BIGAND	Maître de conférences, HDR, École Centrale de Lille
	M. Abdelaziz BOURAS	Professeur, Université Lumière, Lyon 2
Examineurs :	M. Gérard MOREL	Professeur, Nancy Université
	M. Michel TOLLENAERE	Professeur, INP-Grenoble
	M. Gabriel RIS	Professeur, Nancy Université (Directeur de thèse)
	Mme. Lilia GZARA	Maître de conférences, Nancy Université (Codirectrice de thèse)

«Si deux personnes sont toujours du même avis, l'une est de trop!»

Winston Churchill

Remerciements

Je tiens à remercier Messieurs Francis LEPAGE, Alain RICHARD, directeurs successifs du Centre de Recherche en Automatique de Nancy, ainsi que Monsieur Gérard MOREL, responsable du DEA « Productique et Automatisation des Procédés Discrets » et Monsieur Thierry DIVOUX, responsable du groupe thématique « SYstème de Production Ambiants » pour m'avoir accueilli dans cette structure et contribué au bon déroulement de cette thèse.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à mes deux directeurs de thèse, Madame Lilia GZARA et Monsieur Gabriel RIS, qui m'ont suivi et guidé tout au long de ce travail et m'ont ouvert la voie vers la recherche scientifique. Merci Gabriel pour la confiance que vous m'avez accordé, pour les conseils judicieux qui ont fait avancer ce travail et pour votre souci permanent de me fournir un environnement scientifique riche et de bonnes conditions de travail. Merci Lilia pour avoir assumé la difficile tâche de suivi de mes travaux. Votre disponibilité, votre écoute, votre soutien et vos qualités humaines ont permis de mener cette aventure à bon terme et de manière enrichissante. Je vous suis profondément reconnaissant d'avoir su me guider dans ce chemin, que nous avons partagé, et d'avoir souvent su répondre à mes doutes (elle sait combien ils ont été nombreux).

Je souhaite exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur Sándor VAJNA, Professeur à l'Otto-von-Guericke-Universitaet Magdeburg (Allemagne), pour m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de thèse.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Monsieur Michel BIGAND, Maître de Conférence HDR à l'École Centrale de Lille, et Monsieur Abdelaziz BOURAS, Professeur à l'Université Lumière Lyon2, pour avoir accepté d'être rapporteurs de mes travaux de thèse pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail et pour le temps qu'ils y ont consacré en acceptant d'apporter leurs jugements sur cette thèse.

Que Monsieur Gérard MOREL, Professeur à Nancy Université trouve ici toute ma reconnaissance pour l'amitié qu'il m'a témoignée et pour l'honneur qu'il me fait en acceptant d'être examinateur de cette thèse.

Je remercie Monsieur Michel TOLLENAERE, Professeur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble, d'avoir bien voulu examiner ce travail et pour l'honneur qu'il me fait de participer à ce jury.

Après mon jury, je souhaite remercier, ici, tous ceux et toutes celles qui ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire par leur fine relecture de fond, de forme, de présentation, de mise en page, ... Chacun(e) dans son domaine de compétence respectif a collaboré à ce dernier, ils se reconnaîtront sans doute au fil des pages.

Merci à l'ensemble des membres du groupe thématique SYMPA pour avoir constitué l'environnement humain nécessaire à la concrétisation de ces travaux. Ces quatre années n'auraient certainement pas été les mêmes si je n'avais pas partagé une ambiance agréable et conviviale lors de nos échanges au BSR.

N'arrivant pas à finir mes remerciements et face à la difficulté de la tâche (tant le nombre des gens qui me viennent à l'esprit en cette instant est important), j'espère que tous ceux (toutes celles) qui par leur présence, leur courrier électronique, leur discussion, leur sourire, leur générosité, leur patience, leur soutien, leur accueil, ont cheminé avec moi, trouveront dans ces quelques lignes toute ma gratitude et mon amitié sans que je n'aie besoin de les citer un(e) à un(e).

Enfin, j'adresse à mes vifs remerciements :

- à ma mère, mon père, ma sœur et mon frère pour leur amour, leur confiance et leur souci permanent à me fournir le mieux d'eux même. N'oubliez pas que je serai moi aussi toujours là pour vous ...

- à Alexandra, pour sa confiance, son soutien et sa présence malgré l'égoïsme dont j'ai fait preuve durant ma rédaction. J'espère que nos rêves se concrétiseront bientôt et que nous continuerons notre chemin ensemble.

Désormais, un nouveau chapitre s'offre à moi fort de cette expérience et de mes réflexions.

Table de matières

Table de matières	v
Liste des figures	viii
Liste des tableaux	xi
Introduction générale	1
Chapitre 1: Contexte, Problématique et Approche	6
1 Introduction	7
2 La gestion de conflit en ingénierie	9
2.1 Définitions de la notion de conflit.....	9
2.2 Approches et méthodes de gestion de conflit.....	11
2.2.1 Gestion de conflits par classification	13
2.2.2 Gestion de conflits par négociation	18
2.3 Outils support au processus de gestion de conflits.....	22
2.4 Synthèse	24
3 Précision de la problématique	27
3.1 Motivation	27
3.2 Identification de l'équipe de négociation	29
3.2.1 État de l'art sur les équipes de collaboration.....	29
3.2.2 Équipe de négociation pour la gestion de conflits.....	31
3.2.3 Rôle des membres de l'équipe de négociation	33
3.3 Gestion des impacts.....	34
3.3.1 Pourquoi l'analyse d'impact après la résolution de conflit	34
3.3.2 État de l'art sur la gestion des impacts	36
4 Approche de recherche adoptée: Le réseau de dépendances de données.....	39
4.1 Le réseau de dépendances de données pour l'identification des négociateurs.....	41
4.2 Le réseau de dépendances de données pour la gestion des modifications	44
Chapitre 2: Réseau de dépendances des données	47
1 Etude de cas : Exemples de dépendances de données.....	48
2 État de l'art sur la dépendance entre données	55
2.1 Travaux sur la qualification du lien de dépendance	56
2.2 Travaux sur la quantification du lien de dépendance	61

2.3	Synthèse	62
3	Le réseau de dépendances des données	65
3.1	Les nœuds du réseau	65
3.2	Les arcs du réseau	71
3.2.1	Qualification du lien de dépendance entre données	71
3.2.2	Quantification du lien de dépendance entre données	77
3.3	Le réseau de dépendances des données critiques	83
4	Obtention du réseau – Traçabilité du processus de conception	85
4.1	La traçabilité du processus de conception de produit	86
4.1.1	Qu'est ce que la traçabilité	86
4.1.2	Quoi tracer	87
4.2	Proposition d'un modèle pour la traçabilité du processus de conception en vue de la gestion de conflits.....	89
4.2.1	Les concepts de base du modèle de traçabilité.....	89
4.2.2	Un modèle de traçabilité support à l'approche DEPNET	98
5	Génération du réseau de dépendances de données.....	101
6	Conclusion.....	105
	Chapitre 3: Usage du réseau de dépendances des données	107
1	Le réseau de dépendances support à l'identification des négociateurs	109
2	Le réseau de dépendances support à la résolution de conflit	111
3	Le réseau de dépendances de données support à la gestion des impacts	114
3.1	Impact sur les données produit.....	115
3.1.1	Approche adoptée pour la propagation des impacts.....	115
3.1.2	Illustration sur le cas d'étude du turbocompresseur.....	119
3.1.3	Le réseau de dépendances de données critiques pour la gestion d'impacts. ..	120
3.1.4	Synthèse	122
3.2	Impact sur la coordination du processus de conception.....	123
3.2.1	Coordination du processus de conception : Etat de l'art.....	124
3.2.2	Des stratégies pour la ré-organisation des actions de conception	128
3.2.3	Synthèse	139
3.3	Vers l'optimisation de l'organisation du processus de conception	140
3.3.1	Objectifs à atteindre	141
3.3.2	Paramètres d'optimisation.....	141
3.3.3	Liens entre les paramètres de gestion.....	146

4	Conclusion.....	150
	Chapitre 4: Prototype d'un outil support à l'approche DEPNET.....	153
1	Introduction	154
2	Analyse des besoins	154
2.1	Module de traçabilité.....	154
2.2	Module gestion de conflits	159
2.2.1	Importer les informations du processus tracé.....	160
2.2.2	Générer un réseau de dépendances de données.....	161
2.2.3	Extraire le réseau de dépendances de données critiques	162
2.2.4	Identifier l'équipe de négociation	163
2.2.5	Propager les impacts de la solution	163
2.3	Diagramme de classe associé	164
3	Conception et développement de DEPNET	165
3.1	Choix technologiques.....	165
3.2	Conception et développement	170
4	Scénario d'application de l'outil DEPNET : cas du développement d'un turbocompresseur	173
4.1	Module traçabilité du processus de conception.....	173
4.2	Module gestion de conflit.....	182
4.2.1	Identification de l'équipe de négociation	182
4.2.2	Gestion d'impacts de la solution retenue	185
5	Conclusion.....	188
	Conclusion générale	191
	Références bibliographiques	195
	Annexe A	208
	Annexe B	210
	Annexe C	212
	Annexe D	214
	Annexe E	215
	Annexe F.....	218

Liste des figures

Figure 1. Influence des modifications sur les coûts (Decreuse et Feschotte 1998).....	7
Figure 2. Processus de gestion de conflit	12
Figure 3. Approche de gestion de conflit par classification	14
Figure 4. Logique du processus de la méthode résolution proposée par (Lara et Nof 2003)..	20
Figure 5. Protocole de résolution de conflits proposé par (Rose 2004)	21
Figure 6. Processus de gestion de conflit par négociation (Ouertani <i>et al.</i> 2006b).....	28
Figure 7. Positionnement de notre travail de thèse par rapport au travail de Rose	28
Figure 8. Déroulement d'un processus de conception collaborative.....	40
Figure 9. Conflit détecté (donnée D6) durant le déroulement du processus de conception....	42
Figure 10. Liens de dépendance entre les données	43
Figure 11. Propagation de modification sur le processus de conception	44
Figure 12. Turbocompresseur.....	49
Figure 13. Roue turbine et Axe de liaison.....	50
Figure 14. Roue Compresseur	50
Figure 15. Illustration des diamètres « Inducer » et « Exducer » des roues turbine et compresseur.....	51
Figure 16. Interface moteur – turbocompresseur (coté carter turbine).....	52
Figure 17. Illustration de la caractéristique A/R d'un carter compresseur.....	52
Figure 18. Illustration du sous-ensemble « core-product »	53
Figure 19. Processus de conception d'un turbocompresseur	54
Figure 20. Lien de <i>composition</i> , lien d' <i>interface</i> (Maurino 1995).....	58
Figure 21. Les connecteurs de compatibilités d'assemblages des articles (Sellini 1999).....	60
Figure 22. Composants du réseau de dépendances de données	65
Figure 23. Différentes directions de dépendances entre données.....	72
Figure 24. Sous-ensemble Roue compresseur, Axe de liaison et Roue turbine	75
Figure 25. Exemple de réseau de dépendances de données	84
Figure 26. Illustration du principe d'élimination des dépendances faibles	84
Figure 27 . Réseau de dépendances de données critiques obtenu	84
Figure 28. L'approche DEPNET pour identifier le réseau de dépendances de données.....	85
Figure 29. Relations entre les différents items de traçabilité	88

Figure 30. Modélisation des actions de conception (Où) pour la traçabilité du processus de conception	92
Figure 31. Modélisation des données produit (Quoi) pour la traçabilité du processus de conception	95
Figure 32. Modélisation des concepts Qui, Pourquoi, Quand et Comment pour la traçabilité du processus de conception	98
Figure 33. Modèle de traçabilité du processus de conception.....	100
Figure 34. Diagramme d'objet UML partiel associé au cas d'étude Turbocompresseur.....	103
Figure 35. Réseau de dépendances de données relatif à l'action de conception « définir roue turbine ».....	104
Figure 36. Réseau de dépendances de données partiel du turbocompresseur avec les ressources responsables de chaque donnée	111
Figure 37. Enchaînement des activités de vulgarisation/médiation pour la résolution du conflit détecté.....	113
Figure 38. Exemple théorique d'un réseau de dépendances de données.....	116
Figure 39. Réseau de dépendances de données support à la gestion des impacts.....	117
Figure 40. Identification des données impactées.....	117
Figure 41. Vue partielle du réseau de dépendances associé au cas d'étude Turbocompresseur	119
Figure 42. Illustration du principe d'élimination des dépendances faibles.....	120
Figure 43. Exemple théorique du réseau de dépendances de données critiques	121
Figure 44. Réseau de dépendances critiques relatif au cas d'étude Turbocompresseur.....	121
Figure 45. Exemple de deux actions de conception dépendantes	128
Figure 46. Interdépendance faible	134
Figure 47. Interdépendance forte.....	134
Figure 48. Exemple de stratégie de diffusion dans le cas de l'interdépendance faible.....	135
Figure 49. Exemple théorique de réseau de dépendances de données	136
Figure 50. Identification des blocs d'interdépendances et de cycles	137
Figure 51. Minimiser le nombre de blocs d'interdépendances et de cycles.....	138
Figure 52. Organisation finale du flux de données	139
Figure 53. Taux de recouvrement et taux d'interaction multifonctionnelle entre actions de conception dépendantes.....	142
Figure 54. Taux de recouvrement et taux d'interaction relatifs aux diffusions des données	143
Figure 55. Les données en entrée et leurs poids pour une action de conception.....	144

Figure 56. Les différents utilisateurs du module traçabilité de l’outil DEPNET	155
Figure 57. Rôle de l’utilisateur administrateur.....	155
Figure 58. Rôles des utilisateurs chef de projet et acteur de conception.....	156
Figure 59. Diagramme de séquence du cas d’utilisation <i>déclarer phase</i>	158
Figure 60. Diagramme de séquence du cas d’utilisation <i>justifier action de conception</i>	159
Figure 61. Diagramme de cas d’utilisation du module gestion de conflit.....	160
Figure 62. Diagramme de séquence du cas d’utilisation <i>générer réseau de dépendances de données</i>	162
Figure 63. Diagramme de classe résultant des spécifications de l’outil DEPNET	165
Figure 64. Architecture de l’outil DEPNET	169
Figure 65. Vue simplifiée du méta-modèle intégré dans l’environnement Mega.....	171
Figure 66. Légende du module de traçabilité	174
Figure 67. IHM pour la création de processus et des phases qui le composent	175
Figure 68. IHM pour définir les dates début fin.....	175
Figure 69. IHM pour rajouter des commentaires	176
Figure 70. IHM pour décrire une ressource	177
Figure 71. IHM pour décrire une activité.....	177
Figure 72. IHM pour la saisie des informations relatives aux données produit.....	178
Figure 73. IHM pour la saisie des informations complétude et sensibilité	179
Figure 74. Vue d’ensemble du processus de conception d’un turbocompresseur.....	180
Figure 75. Schéma XML simplifié correspondant aux déclarations du chef de projet.....	181
Figure 76. IHM pour exporter un fichier XML vers la base de données	181
Figure 77. Choix du mode de visualisation du réseau.....	183
Figure 78. IHM Réseau de dépendances de données	183
Figure 79. IHM liste des acteurs à inviter à la négociation.....	183
Figure 80. IHM choix de la donnée à extraire.....	184
Figure 81. IHM aide à la décision	185
Figure 82. Gestion d’impact de la solution retenue : propagation de modification	186
Figure 83. IHM liste des données à modifier, ressources responsables et activités à ré-exécuter.	187
Figure 84. IHM réseau de dépendances avec activités consommatrices/productrices.....	187
Figure 85. IHM menu déroulant pour le choix de la donnée de départ.....	188

Liste des tableaux

Tableau 1. Comparaison des systèmes de gestion de conflits.....	26
Tableau 2. Cardinalités sur relation (Sellini 1999)	60
Tableau 3. Qualification d'un lien de dépendance.....	63
Tableau 4. Version, Révision et Correction (Gzara 2000).....	70
Tableau 5. Niveaux d'évaluation de l'attribut complétude (Ouertani <i>et al.</i> 2006a)	78
Tableau 6. Questionnaire pour l'évaluation de l'attribut complétude.....	78
Tableau 7. Niveaux d'évaluation de l'attribut variabilité	80
Tableau 8. Niveaux d'évaluation de l'attribut sensibilité	80
Tableau 9. Questionnaire pour l'évaluation des attributs variabilité et sensibilité	80
Tableau 10. Valeurs du degré de dépendance	82
Tableau 11. Stratégies de coordination des actions de conception dépendantes	130
Tableau 12. Impact de la combinaison des indices de recouvrement et d'interaction en cas de complétude « non utilisée » adapté de (Bhuiyan <i>et al.</i> 2004)	148
Tableau 13. Impact de la combinaison des indices de recouvrement et d'interaction en cas de complétude « très utilisée » ou « totalement utilisée »	149
Tableau 14. Tableau comparatif des solutions envisageables.....	167

Introduction générale

Dans le monde industriel actuel, c'est au sein d'un environnement de concurrence mondiale que les entreprises doivent répondre aux nouvelles exigences du marché : qualité, diversité et renouvellement rapide des produits, raccourcissement des délais de fabrication, diminution des coûts, etc.

Si l'approche séquentielle de développement de produits était encore valable il y a quelques années, elle devient complètement inappropriée aujourd'hui. L'ingénierie des systèmes modernes nécessite de nouvelles approches et techniques pour permettre aux experts de domaines divers, aux équipes de développement, aux industriels, aux fournisseurs et aux clients de s'impliquer et de travailler tous ensemble sur un projet (Ghodous 2002).

De ce fait, les entreprises s'appuient aujourd'hui de plus en plus sur des organisations de travail qui permettent de rassembler un grand nombre de compétences métiers au sein de projets, et de faire coopérer au mieux ces différents individus. C'est entre autre un des principes de l'ingénierie concourante (Concurrent Engineering) que de rassembler et pouvoir coordonner les acteurs dans le domaine de l'ingénierie. Cependant, si dans sa formulation, cette approche de conception peut paraître simple et ses objectifs clairs, sa mise en œuvre se révèle complexe. Cette complexité est due, selon (Sriram 2002), aux concepts clés sur lesquels se base cette approche de conception : l'intégration et la collaboration. Le principe de l'ingénierie concourante est d'intégrer, au plus tôt dans le processus de conception, toutes les contraintes du cycle de vie du produit, ainsi que les différents points de vues, émanant de l'intervention des différentes disciplines concernées par l'élaboration du produit (aéronautique, mécanique, hydraulique, etc.).

À cela se rajoute la nature incertaine des données due aux échanges préliminaires durant la conception, ce qui rend la réalisation de l'activité de conception difficile. Ces données échangées et partagées entre les différents intervenants, et qui sont l'essence même d'une activité de conception, jouent un rôle primordial dans l'organisation et le déroulement du processus de conception. L'évolution, l'échange et la synchronisation de ces données influencent l'avancement du processus de conception et rendent son organisation complexe.

Dans un tel contexte, des conflits peuvent apparaître entre les acteurs de conception lors de l'intégration de leurs propositions. Ces conflits sont amplifiés par la multiplicité des

expertises et points de vue des acteurs impliqués dans le processus de conception. Ce qui nous ramène à un des aspects fondamentaux à prendre en compte durant le déroulement d'un processus de conception intégrée et collaborative qui est la *gestion des conflits*.

Diverses approches ont été proposées pour comprendre ce phénomène, *le conflit*, et palier ces conséquences sur le processus de conception. Quelques travaux se focalisent à définir ce qu'est un conflit et que peuvent être ses origines et d'autres se préoccupent de la résolution des conflits et préconisent des stratégies pour faciliter cette résolution. Nous distinguons deux types de stratégies : *la gestion de conflits par classification* et *la gestion de conflit par négociation*.

Notre contribution se place dans le contexte de gestion de conflits par négociation. Ce processus de gestion de conflit peut être vu comme la succession de quatre principales phases : la détection de conflit, l'identification de l'équipe de négociation, la gestion de la négociation pour générer une solution et la gestion d'impacts de la solution sur le produit et le processus de conception.

Le travail de recherche présenté dans ce manuscrit s'intègre dans l'action « Gestion intégrée des connaissances en conception collaborative de produit et de processus organisationnel » du projet **NUMCOP2** (**NUM**érisation et **CO**nception **CO**llaborative **P**roduits **P**rocessus)¹ du thème **SYMPA** (**S**ystè**M**es de **P**roduction **A**mbiants) au **CRAN** (**C**entre de **R**echerche en **A**utomatique de **N**ancy)² et fait suite au travail de thèse de B. Rose (Rose 2004) qui propose un protocole de gestion de négociation et de génération de solution. L'objectif est de couvrir l'ensemble des phases du processus de gestion de conflits en se focalisant sur les phases d'« identification de l'équipe de négociation » et de « gestion d'impacts ». Le prolongement de ce travail permettra de définir un cadre méthodologique pour la gestion de conflits par négociation dans un contexte de conception collaborative.

L'apport principal de ce travail est l'étude des liens de dépendances entre les données de conception suite à une analyse du processus de conception selon une vision « flux de données ». En effet, les difficultés majeures d'un processus collaboratif et plus particulièrement le processus de gestion de conflit résident dans la compréhension des dépendances des données échangées durant la conception. Si la coordination du processus de conception nécessite dans la plupart des cas une communication explicite entre les acteurs de

¹ www.numcop2.com

² www.cran.uhp-nancy.fr

conception, la vraie raison de cette coordination est non pas de communiquer, mais de résoudre les liens de dépendances entre les données (Wang et Jin 1999). En effet, la conception collaborative est un processus dirigé par les contraintes où des acteurs ayant différents points de vue interagissent (McGinnis et Ullman 1992).

Deux objectifs sont ainsi identifiés dans ce travail de thèse :

- *identifier et qualifier* les liens de dépendances entre les données manipulées durant le processus de conception.
- *définir des méthodes* pour se servir de ces dépendances tout au long du processus de gestion de conflits.

Ce manuscrit est structuré selon le plan suivant. Un **premier chapitre** présente tout d'abord une analyse des travaux qui se sont penchés sur la problématique de gestion de conflits en conception collaborative. Cette analyse permet de préciser la problématique de notre travail de thèse : l'identification de l'équipe de négociation et la gestion des impacts de la solution retenue. Ce qui nous a permis, par ailleurs, d'éclaircir le cahier des charges du travail présenté dans ce manuscrit et ainsi proposer une approche support au processus de gestion de conflit appelée **DEPNET** (product **D**ata **dE**pendencies **NET**work identification and qualification), qui permet d'identifier et de qualifier les liens de dépendances entre les données manipulées durant le processus de conception.

À partir d'une étude de cas industriel et une analyse des travaux sur les dépendances de données en conception, le **chapitre 2** propose le concept du *réseau de dépendances de données*. Les concepts clefs de ce réseau sont présentés, incluant notamment la proposition de mécanismes pour la qualification et la quantification des liens de dépendances. La phase de construction du réseau de dépendances est ensuite décrite à travers l'approche **DEPNET** proposée pour la traçabilité du processus de conception.

Le **chapitre 3** décrit l'utilisation du réseau de dépendances de données pour répondre aux problématiques d'identification de l'équipe de négociation et de gestion des impacts de la solution sur le produit et sur le processus de conception. La gestion d'impacts de la solution retenue sur le produit consiste à propager la modification engendrée par la solution sur l'ensemble des données déjà réalisées. Quant à la gestion de l'impact de la solution sur le processus, des stratégies de coordination et de diffusion des données pour la ré-exécution des activités sont proposées. En outre, nous montrons comment ce réseau peut être utilisé pour supporter l'équipe de négociation lors de la phase de résolution de conflit.

Le **chapitre 4** propose un prototype support à l'approche DEPNET. L'intérêt de ce prototype est d'illustrer et de tester les différents concepts proposés dans ce travail de thèse.

La **conclusion** de ce mémoire synthétise notre contribution à la problématique de la gestion de conflits en conception collaborative, ce qui nous permet de proposer les perspectives et les diverses prolongations possibles de cet travail de recherche.

Chapitre 1:

Contexte, Problématique et Approche

1 Introduction

Face à un contexte économique incertain, les entreprises doivent faire preuve d'une grande réactivité en proposant des produits de qualité dans des délais toujours plus courts. Cette configuration pousse les entreprises à remettre en cause leurs processus de développement de produits et à revoir leur fonctionnement pour garantir leur survie. Après avoir travaillé à modifier leurs méthodes de production, les entreprises ont progressivement pris conscience de l'influence et de l'importance de la phase de conception dans le succès de leurs produits. En effet, comme l'affirme Clautrier (Clautrier 1991), si seulement 20% des coûts liés au cycle de vie d'un produit sont effectivement dépensés lors de la phase de conception, cette phase conditionne 80% des coûts qui sont engagés. Pour Bobroff (Bobroff *et al.* 1993), ce ratio peut même aller jusqu'à 10 % dépensés en conception contre 90 % engagés lors de cette même phase, dans de grands projets aéronautiques tels qu'Ariane 5. Ceci est dû essentiellement aux modifications qui apparaissent pendant le développement du produit. Les modifications intervenant lors de la phase de conception préliminaire sont facilement réalisables et moins coûteuses que celles détectées loin en aval de la conception. Les modifications détectées tardivement sont complexes et coûteuses étant donné la maturité du développement. La **Figure 1** résume ce principe.

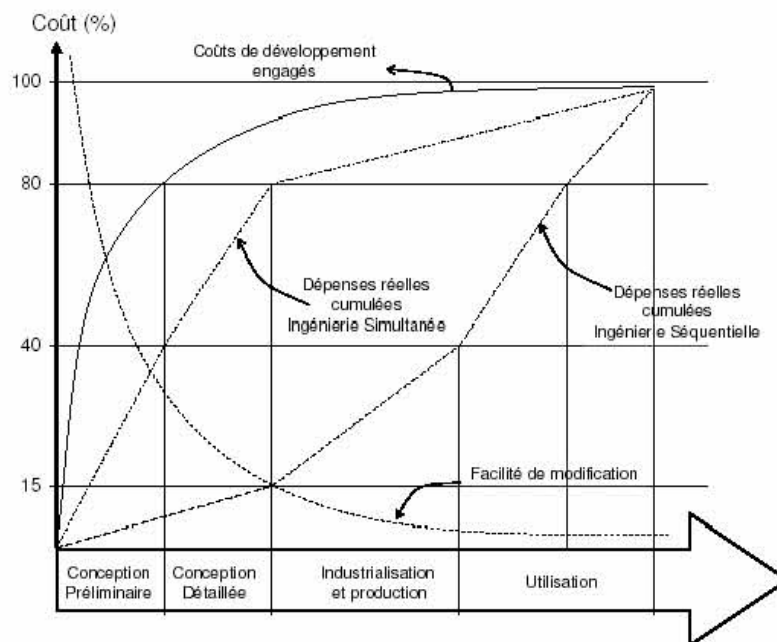


Figure 1. Influence des modifications sur les coûts (Decreuse et Feschotte 1998)

Ces nouvelles exigences en termes de qualité et de performances liées à une réduction des cycles de développement et des coûts ont signé le glas de l'ingénierie séquentielle et l'avènement d'un nouveau type d'organisation en conception de produit. Ainsi, l'*ingénierie concourante*³ est définie comme étant une pratique qui permet de : (1) améliorer la qualité du produit final en favorisant la formation des groupes de travail multidisciplinaires, et (2) de réduire le temps de développement de produit en favorisant la parallélisation des activités de conception (Prasad 1997 ; Xue et Yang 2004).

L'essence de l'ingénierie concourante est un processus intégré et collaboratif, où l'activité de conception est réalisée dans un cadre multi-acteurs, multi-vues et associe souvent plusieurs entreprises dans une logique distribuée, imposant de nouvelles formes d'interactions coopératives. Les différents acteurs sont donc amenés à coopérer et collaborer en se partageant leurs résultats afin que les contraintes de chacun soient prises en compte au plus tôt. La conception collaborative étant un processus de communication dynamique et de travail collectif afin d'atteindre des objectifs de conception, de définir le problème à résoudre, de déterminer les contraintes et de fournir une solution (Hennessy et Murphay 1999). Pour ce faire, les acteurs sont supportés par des outils d'aide au travail collaboratif afin de faciliter cet échange comme le notent Jeantet *et al.* (Jeantet *et al.* 1996) « *Il ne suffit pas de rassembler physiquement des acteurs de projet de conception pour intégrer leur travail et les apports spécifiques. Encore faut-il instrumenter leurs relations de manière adéquate* ».

Cependant, un acteur ne peut être tout le temps au courant de toutes les contraintes imposées au produit. De ce fait, certaines contraintes ne peuvent être respectées et des situations conflictuelles peuvent émerger. Ceci est la raison réelle de coordination entre acteurs ; c'est-à-dire résoudre les contraintes existantes entre leurs propositions respectives.

De plus, les interactions fréquentes entre des acteurs ayant des points de vue différents, des connaissances distinctes et des préférences propres qui peuvent changer au cours du temps, ne permet pas d'arriver à un compromis. En fonction de cela et de l'existence de buts inconciliables entre ces acteurs, des *conflits* peuvent apparaître pendant la conception.

Ces conflits induisent une augmentation des délais ainsi que de la consommation de ressources – temporelles, budgétaires, matérielles. Aussi, il convient de les détecter au plus tôt de manière à les résoudre dès leur apparition. En effet, si l'ingénierie concourante permet de les détecter au plus tôt, a contrario de l'ingénierie séquentielle qui les détecte trop tard, il n'en demeure pas moins vrai qu'il reste impossible, à l'heure actuelle, d'éviter ces conflits dans un

³ Souvent connu sous le terme anglo-saxon « *Concurrent Engineering* » (CE)

processus d'ingénierie. C'est à ce phénomène critique du processus de conception que nous nous sommes intéressés dans ce travail de thèse. Après avoir exposé dans la section 2 une étude bibliographique sur les approches existantes liées à la gestion de conflits, nous présentons la problématique adressée dans ce travail de thèse dans la section 3, ainsi que l'approche adoptée pour répondre à cette problématique dans la section 4.

2 La gestion de conflit en ingénierie

Dans cette section nous nous attachons à présenter, dans un premier temps, des définitions de la notion de conflit qui ont été proposées dans la littérature afin de mieux comprendre ce phénomène. Dans un second temps, nous étudions des travaux recensés dans la littérature, qui ont apportés des méthodes et outils support au processus de gestion de conflits.

2.1 Définitions de la notion de conflit

Selon Easterbrook (Easterbrook *et al.* 1993) la définition d'un conflit est complexe et varie selon le cadre d'étude. Il existe ainsi différents points de vue pour pouvoir proposer une définition générique d'un conflit. Pondy (Pondy 1967) précise que le mot « conflit » a été employé dans la littérature pour décrire différemment: des états antécédents de comportement conflictuel, des états affectifs d'individus, des états cognitifs d'individus et des divers types de comportement conflictuel. Fink (Fink 1968) note que les nombreuses utilisations du terme « conflit » reflètent le nombre de différents cadres conceptuels pour étudier le conflit. En effet, la notion de conflit est étudiée dans plusieurs domaines différents, tel que la sociologie, le génie informatique ou la productique.

Cependant, plusieurs auteurs, dans ces différents domaines, ont proposé chacun une définition du conflit sans qu'il y ait pour autant un consensus général entre ces définitions. Par exemple, selon March et Simon, il y a conflit lorsqu'une décision ne peut être prise par les procédures générales (March et Simon 1958). Wall et Callister (Wall et Callister 1995) présentent le conflit comme étant le processus dans lequel une partie s'aperçoit que ses intérêts sont opposés ou affectés négativement par ceux d'une autre partie.

Dans le domaine de la conception logicielle, les auteurs parlent plutôt de « manipulation d'exception »⁴ que de gestion de conflits. Une « exception » représente, selon Klein et Dellarocas (Klein et Dellarocas 2000), toute déviation d'un processus collaboratif « idéal » qui utilise les ressources disponibles afin d'atteindre les objectifs de l'activité de conception d'une façon optimale⁵. De manière générale, Sebasta (Sebasta 2006) définit « l'exception » comme étant « un événement rare, incorrect ou pas, qui est discernable par une ressource matérielle ou logicielle et qui peut exiger un traitement spécial ».

Dans le domaine de la conception de produit manufacturier, pour Pruitt (Pruitt 1981), un conflit est un désagrément entre deux ou plusieurs points de vue à propos de décisions ou valeurs proposées en cours de conception. Harrington (Harrington *et al.* 1995) rajoute que ces divergences sont dues essentiellement aux différents besoins menant à des préférences incompatibles parmi les alternatives prises en considération. Cointe (Cointe 1998) définit le conflit comme un désaccord entre les concepteurs sur les composants du produit et/ou sur leur évolution. Pour Klein (Klein 1993a), il s'agit d'une incompatibilité entre deux décisions concernant la conception ou les objectifs des concepteurs. Slimani (Slimani *et al.* 2006) considère qu'il y a conflit quand plusieurs propositions ne peuvent coexister au même instant dans le même espace de conception.

Dans tous les cas, ces définitions se rejoignent sur trois caractéristiques générales du conflit : interaction, interdépendance et incompatibilité. Selon Putnam et Poole (Putnam et Poole 1987) un conflit est défini comme étant : « *L'interaction de personnes interdépendantes qui perçoivent des oppositions de buts, objectifs, et valeurs, et qui voient l'autre partie comme potentiellement interférant avec la réalisation de ces buts.* »⁶. Cette définition est reprise par Easterbrook (Easterbrook *et al.* 1993) qui met en exergue ces trois caractéristiques générales du conflit.

Dans le cadre de notre travail de thèse, nous définissons le conflit comme :

Un désaccord entre plusieurs acteurs qui interagissent en échangeant des représentations du produit à la fois interdépendantes et incompatibles.

⁴ "Exception handling"

⁵ "Any deviation from an ideal collaborative process that uses the available resources to achieve the task requirements in an optimal way."

⁶ « *The interaction of interdependent people who perceive opposition of goals, aims, and values, and who see the other party as potentially interfering with the realisation of these goals* »

Le conflit est un phénomène qui peut se produire entre deux acteurs, coopérant ou non, au cours du processus de conception. Bien mener une situation de collaboration dépend de la manière dont le conflit est géré, d'autant plus que les conflits peuvent être extrêmement consommateurs de ressources (temps de développement, ressources allouées, budgets, matériels, etc.). C'est pourquoi il est important de mettre en œuvre des processus de résolution, permettant de revenir à une situation non conflictuelle le plus rapidement possible.

Pour cela, différentes approches, méthodes et outils ont été proposés afin de répondre au besoin de gérer les conflits qui apparaissent durant le processus de conception. Dans la suite de cette section nous étudions d'abord les travaux qui se sont focalisés sur le développement de méthodologies de gestion des conflits (§ 2.2) et nous discutons ensuite des outils proposés pour supporter ces méthodologies ou tout simplement le processus de gestion de conflit (§2.3).

2.2 Approches et méthodes de gestion de conflit

La gestion des conflits est une activité récurrente en ingénierie collaborative. Ces conflits, liés en partie à la complexité des produits et à la multiplicité des savoirs mis en jeu, représentent en moyenne entre 20 et 30% du temps global d'un projet (Klein 2000 ; Badke-Schaub et Stempfle 2003). Dans la plupart des cas, la résolution de ces conflits ne peut pas être réalisée par un seul acteur. Un seul acteur ne peut pas disposer de l'ensemble des compétences et connaissances, déployées lors de la réalisation de la donnée « source de conflit », et requises pour résoudre le problème détecté. La résolution de conflit est donc un processus plutôt collaboratif qui nécessite la mise en commun de différents domaines d'expertises ainsi que de connaissances collectives nécessaires à la définition d'une ou plusieurs solutions et alternatives en réponse à un conflit donné. Selon Robin (Robin 2005), la gestion de conflits relève d'une collaboration de type *prédéterminée* et *forcée* puisque les acteurs de la gestion de conflits se voient imposer un groupe de collègues défini au préalable afin de mener à bien la résolution du conflit. Selon Girard (Girard *et al.* 2003), ceci correspond au cas le plus contraint de la collaboration. Afin de gérer la résolution d'un conflit, le processus de gestion de conflit peut être vu, à l'image de la boucle cybernétique, comme une succession de trois principales phases (cf. **Figure 2**) : la détection de conflit, la résolution de conflit et la gestion de l'impact de la solution choisie au conflit (Rose 2004).

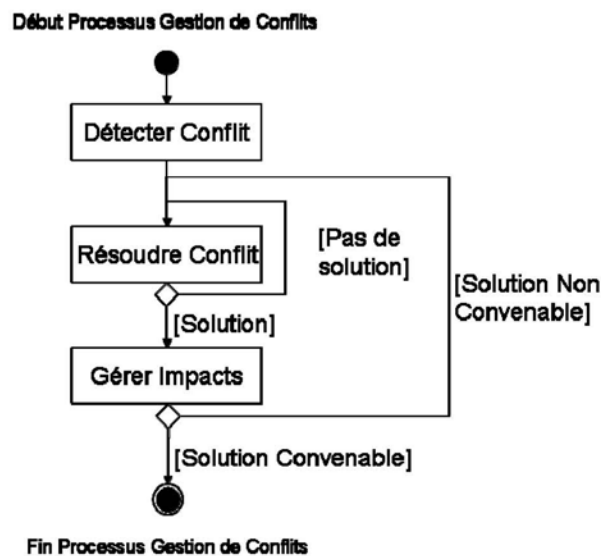


Figure 2. Processus de gestion de conflit

- La détection de conflit : cette phase consiste à identifier le conflit, automatiquement ou manuellement. Une détection automatique de conflit nécessite des mécanismes d'identification tels que les systèmes à base de règles via l'utilisation de réseaux sémantiques (Klein 1993b). Les causes de conflit sont déterminées, par l'acteur qui a détecté le conflit, pour spécifier sa nature et ainsi lancer le processus de résolution.
- La résolution de conflit : cette phase consiste à choisir une solution mettant fin au conflit afin que les différents acteurs du processus de conception, concernés par ce conflit, puissent terminer leurs activités respectives. Cette solution peut ne pas convenir à tous les acteurs concernés par le conflit. En effet, si une technique de vote est adoptée pour choisir une solution parmi d'autres, certains acteurs devront s'adapter avec la solution votée et modifier par conséquent leur proposition.
- La gestion des impacts : cette tâche consiste à évaluer les différentes répercussions que peut avoir la solution choisie au conflit. En effet, cette dernière est souvent traduite par la modification d'une ou plusieurs données réalisées auparavant ou par la relaxation d'une contrainte. Il est donc important de gérer l'impact de la solution lors de l'intégration les modifications nécessaires, afin d'éviter l'apparition de nouveaux conflits.

Afin de bien mener ce processus, plusieurs méthodes et outils de gestion de conflits ont été proposés dans la littérature. Nous classons ces travaux selon deux types d'approches :

- Ceux qui abordent la gestion de conflits par *classification*, en se basant essentiellement sur l'identification d'une taxinomie de conflits et de stratégies de résolution correspondantes.

- Ceux qui abordent la gestion de conflits par *négociation*, en se basant sur le concept de médiation entre acteurs pour résoudre le conflit.

2.2.1 Gestion de conflits par classification

Les travaux de cette catégorie abordent la gestion de conflits en proposant d'une part une classification des conflits qui peuvent survenir durant le processus de conception, et d'autre part une classification des stratégies de résolution associées à ces conflits. La classification de conflit permet de faciliter la détection d'un conflit en spécifiant ses symptômes, sa nature et ces causes. Une fois le conflit détecté, une stratégie de résolution est choisie par correspondance entre les deux classifications. Nous pouvons représenter l'approche de gestion de conflit par classification comme étant la succession de cinq phases principales (cf. **Figure 3**) :

- Détection d'un conflit : cette phase consiste à détecter le conflit lors de son apparition. Cette détection peut être manuelle ou automatique. L'acteur qui détecte le conflit exprime son désaccord sur une proposition qui ne lui permet pas de finaliser son action de conception.
- Détermination du type de conflit : suite à la détection d'un conflit, les acteurs de conception responsables de la résolution de conflit procèdent à un diagnostic. Ce diagnostic permet de déterminer les symptômes du conflit, pour ensuite déterminer les éléments contributeurs à ces symptômes et définir la nature⁷ des conflits et leurs éléments.
- Sélection de la stratégie de résolution : il s'agit d'exploiter les cas déjà rencontrés pour en extraire une solution au problème identifié. Les acteurs participant à la résolution de conflit récupèrent les cas similaires au cas courant et choisissent parmi eux la stratégie la plus appropriée. Cependant, certains conflits ne trouvent pas la stratégie appropriée. Dans ce cas, les acteurs ré-étudient le conflit (type, nature, éléments, etc.), par exemple en définissant des contre-propositions aux propositions rejetées (Sycara 1991), afin de trouver une nouvelle stratégie alternative. Ainsi, de nouvelles stratégies sont identifiées et répertoriées.
- Génération de solution : cette phase consiste à choisir une solution au conflit suite au déploiement de la stratégie de résolution sélectionnée.

⁷ Par exemple, pour Matta et Corby (Matta et Corby, 1996), la nature d'un conflit peut être : Compréhension d'une proposition, Acceptabilité d'une proposition, etc.

- Évaluation de la solution : les acteurs impliqués dans la phase de résolution d'un conflit évaluent l'impact de la solution sur le produit ainsi que sur son processus de conception.

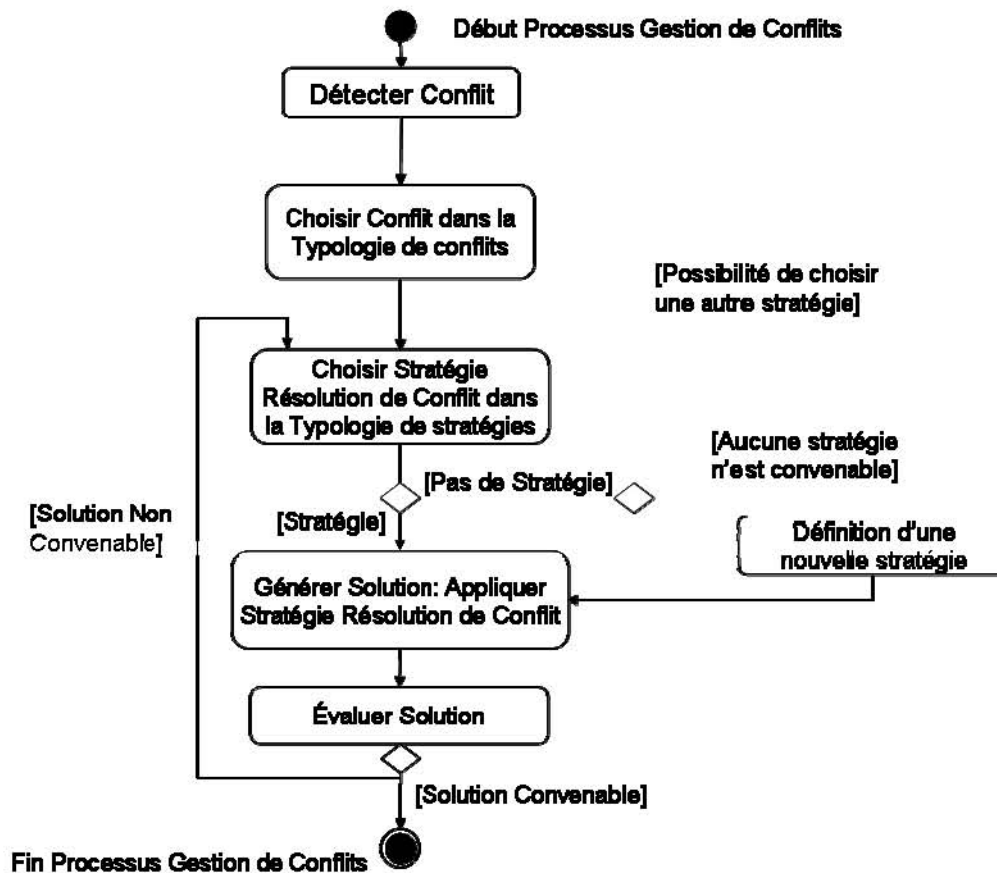


Figure 3. Approche de gestion de conflit par classification

Parmi les travaux qui ont adopté cette approche, nous citons ceux de (Matta et Corby 1996 ; Klein 2000 ; Slimani *et al.* 2006). Ces travaux sont présentés dans ce qui suit.

2.2.1.1 Classification proposée par Matta et Corby

Matta et Corby (Matta et Corby 1996) distinguent deux catégories de conflits dans la conception concurrente : 1- conflit entre conception et exigences et 2- conflits entre participants.

- Le conflit entre les propositions générées et les exigences imposées se résume à un non respect des exigences dans la génération d'une partie de la proposition. Ce type de conflit concerne le cas où la conception est conduite par un seul acteur (mono-expertise).
- Le conflit entre les participants correspond aux discordances entre les différents concepteurs. Ces discordances peuvent concerner aussi bien les *stratégies* utilisées que les *propositions* fournies. Les conflits de stratégies correspondent à des incohérences dans les

méthodes ou outils utilisés et dans l'organisation et la réalisation des tâches incombant aux différents participants. Quant aux conflits de propositions, ils résultent des problèmes liés à la compréhension des terminologies et des différents points de vue. Ils se révèlent aussi dans le refus d'acceptation des pré-conditions, des éléments et des conséquences d'une proposition donnée. Matta et Corby ont identifié un ensemble de stratégies et de méthodes pour la résolution de ces conflits, dont notamment : le Raisonnement à Partir de Cas (CBR⁸), la redéfinition de la planification des tâches (Sycara 1991), la restructuration du groupe de travail (Easterbrook *et al.* 1993).

Un outil (CREoPS2) support à cette approche proposée a été développé dans (Cointe *et al.* 1997). CREoPS2 est un système multi-agents distribué, développé pour aider à la gestion de conflits. Les concepteurs sont guidés dans la gestion des conflits par l'utilisation d'un serveur de connaissances, utilisant la typologie de conflits présentée par Matta et Corby et les stratégies de résolution de conflits que ces derniers ont réunis.

2.2.1.2 Classification proposée par Klein

Une autre classification des conflits a été réalisée par Klein (Klein 1995, 1996). Ce dernier distingue deux types de conflits :

- des conflits de conceptualisation, qui concernent la façon dont les concepteurs se représentent le processus de conception. Ce type de conflit se compose à son tour de deux sous-types : conflit sur des *terminologies* et conflit sur des *concepts*. Le premier sous-type se manifeste dans le cas où deux propositions de conception utilisent des termes différents pour désigner un même concept. Quant au second sous-type de conflit, ses causes sont liées aux différentes interprétations d'un même terme en fonction du domaine de travail.
- des conflits de croyances, qui concernent le contenu et l'objet du produit à concevoir. Ce type de conflit se décompose en trois sous-types : conflit *but-but*, conflit *but-traitement* et conflit *traitement-traitement*. Les conflits *but-but* se réfèrent aux incompatibilités des buts et sous-buts des membres d'un même groupe de travail qui ont un objectif de conception commun à atteindre. Ceci peut être dû à une expression peu explicite et peu claire des besoins de chacun des intervenants. Les conflits *traitements-traitement*, sont quant à eux, dûs à la façon dont les intervenants utilisent les différents modèles, méthodes ou outils à leur disposition. Par exemple, le choix d'une approche multi-modèles implique un

⁸ Case Based Reasoning

accroissement de complexité pour le système, mais chaque concepteur utilise un modèle qui représente au mieux son point de vue sur l'objet en conception. Cette utilisation exige un modèle de vérification de la cohérence entre les différents modèles.

Dans un second temps, Klein a relié sa classification de conflits avec une classification de processus de résolution de conflits. Ces processus sont subdivisés en deux classes, en fonction du fait que le conflit ait déjà eu lieu ou non. Si le conflit n'a pas encore eu lieu, des mécanismes d'anticipation et d'évitement peuvent être mis en place. De tels mécanismes sont basés sur une description de l'action de conception où les acteurs ne s'engagent qu'au minimum⁹. Si le conflit s'est déjà produit, Klein propose des mécanismes de détection et de résolution de conflits. Parmi ces mécanismes, nous pouvons citer notamment les systèmes à base de règles via l'utilisation de réseaux sémantiques ou la traçabilité de la logique de conception déployée durant le processus de conception. Cette approche offre une représentation relativement globale de la logique de conception¹⁰ (Lee 1997). En effet, certains éléments du contexte comme l'organisation de l'activité, le rôle des acteurs ainsi que l'artefact sont représentés. Plusieurs vues du projet sont alors disponibles: modules de l'artefact, association des tâches, évaluation des spécifications, prise de décision, alternatives de conception et argumentation.

Afin d'instrumenter cette approche, Klein a développé un outil (iDCSS), qui présente une modélisation intégrée de tous types de dépendances en conception coopérative.

2.2.1.3 Classification proposée par Slimani

Certains éléments des typologies proposées dans (Matta et Corby 1996) et (Klein 2000) ont été repris dans les travaux de Slimani (Slimani *et al.* 2006). Ces derniers proposent une dichotomie entre causes de conflits d'ordre *technique* et causes d'ordre *cognitif* en se basant sur la notion de spécifications incomplètes. Les causes d'ordre techniques peuvent être de trois types : linguistique, partage de ressources et modèles et outils. Quant aux causes d'ordre cognitif, deux types ont été identifiés : buts ou sous-but et socioculturels.

Un ensemble de stratégies, complémentaires à celles présentées précédemment, est proposé par Slimani pour l'atténuation des conflits. Une stratégie d'atténuation de conflits est un ensemble des processus de *prévention* (pour tenter d'éviter leur apparition), de *détection* (afin

⁹ Les acteurs de conception peuvent décrire leurs actions de conception avec the « least-committment design model » (Klein, 1993).

¹⁰ Plus souvent connu sous le terme anglo-saxon de « Design Rational »

de pouvoir les identifier, les catégoriser et les notifier aux différentes parties en opposition), et de *résolution* adéquats (permettant de revenir à une situation non conflictuelle le plus rapidement possible). L'accent est mis sur l'utilisation de structures de connaissances disponibles par ailleurs pour représenter et réaliser automatiquement les traitements impliqués par ces stratégies. Parmi ces stratégies, nous trouvons : le prototypage, la suggestion de solutions à l'aide d'un *moteur d'inférences* (Caplat 2002) ou le *raisonnement à Partir de Cas* (Sycara 1991) et la relaxation de contraintes.

L'approche présentée ci-dessus a été incorporée dans une architecture d'aide à la coopération d'un système d'ingénierie simultanée et collaborative en intégrant un module spécifique à l'atténuation de conflit.

2.2.1.4 Synthèse

Plusieurs travaux ont proposé différentes approches de gestion de conflits par *classification*. Nous notons que la principale distinction dans la littérature concerne le fait que le conflit peut être une divergence de vues soit sur le produit, soit sur le processus de conception. D'autres typologies de conflit ayant attiré à la sociologie ou à la psychologie ont été étudiées dans plusieurs travaux. Une étude de ces travaux est présentée plus en détails dans (Easterbrook *et al.* 1993) et (Panteli et Sockalingam 2005).

L'intérêt de proposer des typologies de conflits est principalement de permettre de détecter automatiquement le(s) conflit(s) au plus tôt lors de l'exécution du processus de conception. La détection de conflits consiste à déterminer les éléments de désaccords et leur nature en analysant les arguments des demandes de modifications¹¹ à réaliser. Les méthodes pour détecter de conflit ne sont pas explicites dans la littérature. Dans certains travaux, la détection de conflit est assimilée à une tâche de diagnostic où le conflit, considéré comme un défaut, est à déterminer¹². Des symptômes de conflits sont identifiés en premier, pour ensuite déterminer les éléments contributeurs à ces symptômes. Ceci permettra d'identifier le conflit sur la typologie de conflits et de définir sa nature ainsi que ses éléments. Une fois le conflit identifié, une stratégie de résolution est sélectionnée afin de trouver une solution.

¹¹ L'apparition d'un conflit est souvent traduite par une demande de modification

¹² Par exemple, pour détecter un conflit, (Matta and Cointe 1996) ont adapté les méthodes fournies dans (Benjamins 1993) **Benjamins, R.** (1993). "Problem Solving Methods for Diagnosis". PhD Thesis, Department of Social Science Informatics, University of Amsterdam. Amsterdam, The Netherlands. pour réaliser une tâche de diagnostic.

Les stratégies de résolution proposées dans les travaux étudiés ci-dessus dépendent du contexte de la conception, du type de produit à concevoir, etc. Cependant, sans y apporter un grand intérêt, une autre alternative commune est suggérée par les travaux passés en revue afin que les approches proposées soient génériques. Ces travaux encouragent la stratégie de négociation pour la résolution de conflits dans le cas où aucune stratégie n'est convenable pour résoudre le conflit détecté. Cette stratégie se veut générique vu qu'elle ne dépend ni du contexte de l'apparition du conflit ni de la nature du conflit. La négociation est une stratégie de résolution qui permet, une fois le conflit détecté, d'amener les différentes parties impliquées (ou l'ensemble des concepteurs qui se sentent concernés par ce conflit), à coopérer pour la construction d'une solution.

Certains travaux ont toutefois tenté de mettre en œuvre cette stratégie de résolution avec des règles, des protocoles, et des outils pour bien mener le processus de négociation. Dans le paragraphe suivant, nous détaillons ces travaux en présentant les approches et méthodes adoptées pour mener le processus de négociation.

2.2.2 Gestion de conflits par négociation

Selon Barker (Barker *et al.* 2001), la négociation est un processus social fondamental qui caractérise le comportement d'une équipe de conception collaborative pour prendre une décision. Cette définition a été adoptée par plusieurs travaux de recherche sous le thème de GDNSS¹³.

La négociation en gestion de conflit peut être décrite comme étant une dynamique complexe visant à régler un conflit surgissant entre des partenaires qui se reconnaissent comme étant différents. Le processus de négociation se doit d'être coopératif, où les deux parties en situation conflictuelle cherchent une solution qui est mutuellement bénéfique. La solution du conflit est alors intégrative ou à «somme non nulle» (Boy *et al.* 2003). Pour parvenir à ce type de négociation, certains auteurs soulignent l'importance de chercher des moyens pour que les ressources d'une partie en conflit correspondent aux intérêts de l'autre partie (Adelson 1999 ; Burgess et Burgess 1999).

Dans ce qui suit nous présentons certains travaux qui ont approché le processus de gestion de conflits par la négociation.

¹³ Group Decision and Negotiation Support System

2.2.2.1 Approche de Cooper et Taleb-Bendiab

Selon Cooper et Taleb-Bendiab (Cooper et Taleb-Bendiab 1998), sept phases doivent être prises en considération lors de développement de systèmes de gestion de conflit : la détection de conflit, l'identification du conflit/sélection de la stratégie, la formation de l'équipe de négociation, la gestion de la négociation, le contrôle de la négociation, la génération de la solution et l'évaluation de la solution. Ces auteurs proposent un prototype (CONCENSUS pour CONCurrent Engineering Negotiation Support System) comme outil support à la négociation entre agents humains et/ou logiciels dans la conception simultanée de produits. CONCENSUS est un système multi-agents qui rend possible la participation des agents à un processus itératif de génération et de rejet de propositions de conception, jusqu'à atteindre un consensus. Dans beaucoup de situations, la meilleure solution, et parfois la seule, pour un conflit donné peut créer des conflits additionnels, qui doivent aussi être résolus. Le gestionnaire de négociation utilise un mécanisme de contrôle en utilisant des « portes de contrôle » et des « préférences », pour spécifier le comportement d'automatisation désiré pour le système. Une porte de contrôle consiste en un état et une action à réaliser. Par exemple, retourner le contrôle au gestionnaire (l'action) après deux solutions pour un conflit (l'état). Une préférence est, par exemple, une règle qui spécifie «ne pas créer d'autres conflits entre les agents à moins que l'indice de classement soit supérieur à x». Ce type de règle est spécifié en utilisant un langage de scripts. Les conflits sont recherchés entre les attributs physiques, tels que la longueur, le poids, le type de matériel. Les propositions sont évaluées avec l'objectif de fournir aux négociateurs une mesure de qualité. L'évaluation des propositions utilise des fonctions d'utilité fournies par les agents de conception.

2.2.2.2 Approche de Lara et Nof

L'approche de résolution de conflits par négociation, proposée par Lara et Nof (Lara et Nof 2003) est composée de cinq principales étapes (dont la logique est présentée dans la **Figure 4**) :

- étape 1 – Négociation directe : les acteurs concernés par le conflit négocient entre eux afin de résoudre le conflit. L'acteur qui a détecté le conflit propose une solution se basant sur ses propres connaissances et l'envoie aux autres parties concernées par le conflit. Ces derniers évaluent cette proposition et décident si la solution est acceptable ou non. Si les parties concernées par le conflit ne sont pas d'accord, la deuxième étape du processus de résolution de conflits est déclenchée.

- Etape 2 – Médiation par une partie tierce : une partie extérieure propose une solution qui est ensuite évaluée par les parties concernées par le conflit. Si consensus il y a, le conflit est considéré comme résolu, sinon la troisième étape est déclenchée.
- Etape 3 – Incorporation de nouveaux négociateurs : des experts sont conviés à participer au processus de résolution de conflits. Ces derniers, se basant sur leurs connaissances et savoir-faire, proposent une nouvelle solution au conflit qui est évaluée par la suite par les parties concernées par le conflit. Si la solution est acceptable, le conflit est alors résolu, sinon l'étape 4 du processus de résolution de conflit est lancée.
- Etape 4 – Persuasion : un médiateur tente de persuader les parties concernées par le conflit d'accorder moins d'importance au conflit détecté afin de le résoudre. Pour ce faire, une liste d'arguments persuasifs est alors communiquée aux différentes parties. Si le conflit n'est pas résolu, la dernière étape du processus de résolution est alors déclenchée.
- Etape 5 – Arbitrage : une solution arbitraire est choisie pour résoudre le conflit. Des phases de modélisation, d'analyse, de confrontation des parties concernées par le conflit et de résolution sont déployées pour résoudre le conflit et prévenir l'apparition de nouveaux problèmes.

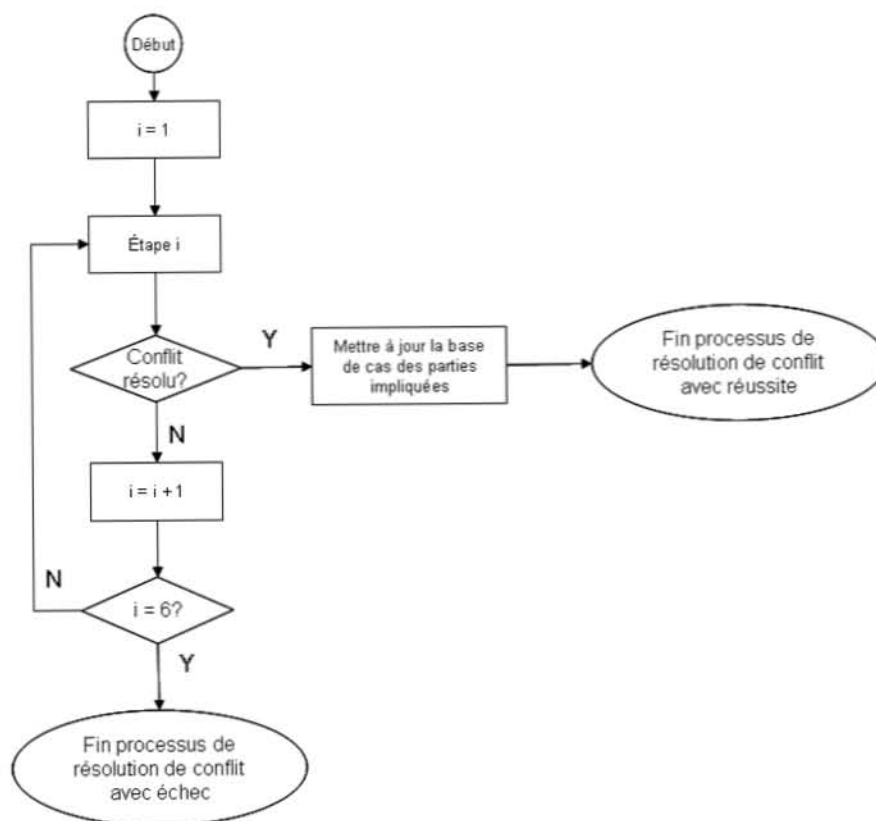


Figure 4. Logique du processus de la méthode résolution proposée par (Lara et Nof 2003)

2.2.2.3 Approche de Rose

En s'inspirant de la boucle de la systémique (LeMoigne 1995), Rose (Rose 2004) organise le processus de gestion de conflits en trois étapes : Observation, Décision, Information et propose un protocole nommé CO²MED¹⁴ pour la résolution de conflit (étape Décision). Dès qu'un conflit est **observé**, manuellement ou automatiquement, il s'agit de mettre en place un processus visant à **décider**, c'est-à-dire d'enchaîner une succession d'activités aboutissant à une prise de décision pour résoudre le conflit détecté, puis à **informer**, c'est-à-dire de transmettre la solution retenue sur la ou les activités de conception concernées et mémoriser ces actions (cf. **Figure 5**). Un outil support à ce processus a été développé.

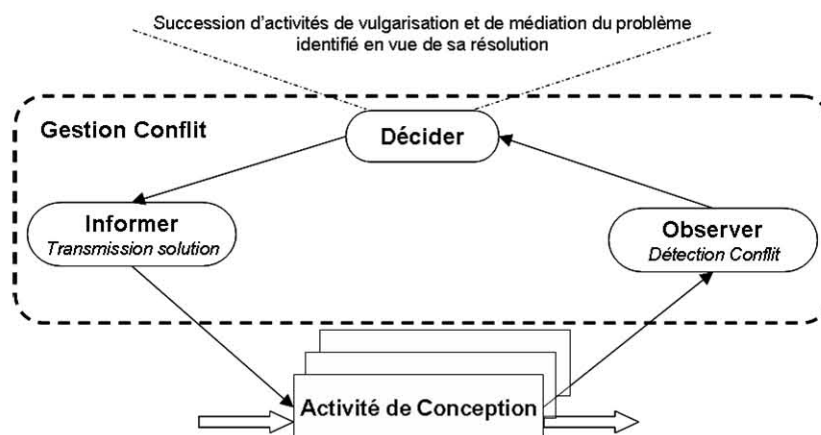


Figure 5. Protocole de résolution de conflits proposé par (Rose 2004)

Rose s'est principalement focalisé sur le processus de prise de décision pour la résolution de conflits. Cette phase de décision se base essentiellement sur la négociation entre les différents acteurs concernés par le conflit. Elle est menée au travers d'itérations de résolution clôturées par un consensus sur une solution donnée ou par une itération de vote pour statuer sur la solution finale à choisir (s'il n'y a pas de consensus). Les *itérations de résolution* sont chacune constituées d'une alternance d'actions de vulgarisation et de médiation¹⁵ :

- **Vulgarisation** : l'acteur qui mène la vulgarisation explique d'abord le problème qu'il rencontre avec les choix actuels sur le produit (en précisant l'élément du produit concerné et les caractéristiques qui posent problème). Ensuite, il justifie ou argumente sa motivation pour modifier la solution actuelle en précisant les conséquences néfastes des choix actuels sur le produit (performances du produit, coût, faisabilité technique, cohérence avec le

¹⁴ Collaborative CONflict Management in Engineering Design

¹⁵ Rose précise que ces actions de vulgarisation/médiation sont menées à tour de rôle par les différents acteurs concernés par le conflit pour construire une solution convenable.

cahier des charges de l'utilisateur, etc.). Rose préconise que cette action de vulgarisation du problème se fasse en des termes simples et compréhensibles de tous.

- Médiation : cette action a pour objectif de préconiser la solution à adopter pour palier au problème rencontré et éviter ainsi les conséquences négatives de l'ancienne solution. Elle provient soit de l'acteur qui vient de vulgariser son problème pour proposer sa solution, soit d'un autre acteur concerné par le conflit et qui propose une solution au problème vulgarisé.

2.2.2.4 Synthèse

Sur l'ensemble des travaux qui se sont intéressés à la gestion de conflit par *négociation*, la plupart s'est focalisée essentiellement sur la résolution même d'un conflit en proposant des protocoles et des outils d'aide à la négociation pour la résolution de conflit. L'accent n'est pas mis sur l'organisation du processus global de gestion de conflits. Néanmoins, nous notons l'organisation en trois phases proposée par Rose : Observer, Décider, Informer ; et celle en sept phases proposée par Cooper et Taleb-Bendiab : Détection, Identification du conflit et choix de stratégie, Identification de l'équipe de négociation, Gestion de la négociation, Suivi de la négociation, Génération de la solution, Évaluation de la solution.

Dans une étude des travaux sur le travail collaboratif en développement de produit manufacturier, Wang (Wang *et al.* 2002) préconise que le processus de gestion de conflit par négociation se limite à une succession d'au minimum cinq phases : la détection de conflits, l'identification de conflits, l'identification de l'équipe de négociation, la génération d'une solution et l'évaluation de celle-ci.

2.3 Outils support au processus de gestion de conflits

Après avoir présenté dans la section 2.2 les méthodologies et approches proposées dans la littérature pour gérer les conflits, nous présentons dans cette section quelques outils proposés dans la littérature et destinés initialement à supporter le travail collaboratif, mais qui selon leurs auteurs peuvent être déployés pour la gestion de conflits.

2.3.1.1 Proposition de Cutkosky et Mori

Cutkosky et Mori (Cutkosky et Mori 1998) proposent une architecture d'agents support à la conception collaborative. Ce système est applicable aux conflits d'interférences spatio-temporelles (Akinci *et al.* 1998). Chaque agent possède une base de règles qui lui permet de suivre les dépendances et les conflits associés à l'assemblage de modèles géométriques 3D. Si

le concepteur publie un nouveau modèle, l'opération est sauvegardée comme un changement d'état. Cela déclenche des actions en fonction du contenu des règles des agents. Les auteurs utilisent un ensemble de règles *si-alors* pour formaliser un algorithme de coordination. Les agents effectuent des concessions pour trouver une solution au conflit géométrique, comme par exemple diminuer ou augmenter la valeur d'un paramètre de conception. Ces solutions sont centrées sur la trace de la solution optimale de Pareto¹⁶. Les solutions trouvées par les agents sont publiées sur un serveur Web et proposées aux concepteurs. Chaque agent a un module de gestion qui sauvegarde le processus de conception, gère la base de règles pour la coordination et contrôle les actions de l'agent. Ce système est implémenté avec le logiciel AutoCAD R14 et ne détecte que les conflits du niveau géométrique.

2.3.1.2 *NegotiationLens*

Adelson (Adelson 1999) propose l'outil *NegotiationLens* pour faciliter la négociation entre les personnes après la détection d'un conflit. La formulation explicite, par chaque concepteur ou groupe, de sa vision du problème, aussi bien que des solutions qu'il aura à proposer, est encouragée. L'auteur défend la négociation coopérative, ce qui est aussi en accord avec le compromis bilatéral défendu par Castelfranchi (Castelfranchi 2000). Chaque partie en conflit expose sa vision du conflit et liste ses intérêts et ses ressources. La solution commune est construite par médiation en essayant de tenir compte des intérêts et des ressources de chacun. Les auteurs présentent des études de cas centrées sur des conflits d'ordre relationnel. *NegotiationLens* aide à découvrir les sources de friction. Le résultat de la négociation est une solution mutuellement acceptable.

2.3.1.3 SHARED-Design Recommendation and Intent Management System (SHARED-DRIMS)

Le principal objectif du module SHARED-DRIMS (Sriram 2002) est de capturer les raisons des choix dans un processus de conception, pour leur utilisation dans la résolution de conflits. Sriram suppose que les intentions des concepteurs ne rentrent pas en conflit et que seules leurs implémentations le font. Un conflit est recherché en fonction des paramètres de conception recommandés par les concepteurs et des valeurs attribuées à ces paramètres. Chaque fois qu'un concepteur rentre un nouveau paramètre de conception, le système recherche l'existence de ce paramètre et compare les valeurs ou les rangs des valeurs attribuées. Le

¹⁶ L'optimalité de Pareto est un terme de la théorie des jeux pour décrire une solution pour des objectifs multiples. Le résultat d'un jeu accomplit l'optimalité de Pareto si et seulement s'il n'y a pas un autre résultat plus profitable pour l'ensemble des joueurs.

système repose sur un autre module – CONGEN (Gorti et Sriram 1993) – pour rechercher des interférences physiques qui peuvent exister entre les parties du produit en conception. Il peut suggérer des alternatives géométriques. Ce sont les seuls types de conflits que SHARED-DRIMS détecte. Le module CONGEN contient un schéma de représentation des connaissances de conception, centré surtout sur les représentations géométriques et leurs relations. Ce système repose également sur un module de gestion des activités pour vérifier l'existence de conflits au niveau du partage des ressources en testant l'allocation de ressources pendant la conception. Selon Sriram, ce système prédit l'impact des changements - ce qui se produira si une valeur est modifiée - pour que les concepteurs soient conscients d'autres conflits qui peuvent arriver pendant la résolution d'un conflit. Dans une perspective de prévention des conflits, cette tâche est très importante mais sa faisabilité n'est pas toujours évidente dans ce projet.

2.4 Synthèse

Cette section présente un état des lieux des différents travaux qui se sont intéressés au processus de gestion de conflits. Ces travaux abordent cette gestion selon deux approches : la gestion de conflits par classification et la gestion de conflit par négociation.

Les travaux qui ont étudié la gestion de conflits par *classification* se sont intéressés à proposer, dans un premier temps, une classification des conflits qui peuvent survenir durant le processus de conception ainsi que les causes à l'origine de ces conflits. Cette classification permet essentiellement la détection automatique des conflits afin de prévenir leur apparition. Une classification des stratégies de résolution de conflits est, dans un second temps, proposée afin d'aboutir à une solution au conflit détecté. Une fois un conflit détecté, il est projeté sur la typologie de conflit mise en place. Finalement, une stratégie de résolution est choisie selon la nature et le type de conflit. Ces travaux se sont focalisés principalement sur la proposition de systèmes de gestion de conflits support à l'identification automatique des conflits et à une résolution type de ces conflits. Toutefois, il est difficile d'identifier tous les types de conflits qui peuvent survenir durant le processus de conception, et donc difficile de définir toutes les stratégies de résolution. Par ailleurs, et du fait de la variété du contexte dans lequel un conflit apparaît (contexte en terme d'organisation des processus, de complexité du produit, etc.) une stratégie de résolution type ne peut pas toujours être applicable. C'est pourquoi la meilleure stratégie de résolution de conflit reste la négociation face-à-face (Wang *et al.* 2002). C'est l'objectif principal des approches de gestion de conflit par *négociation*. La détection peut se

faire automatiquement selon une typologie de conflit, comme celle utilisée dans l'approche par *classification*, ou bien manuellement, c'est-à-dire un acteur se trouvant dans l'impossibilité de poursuivre son activité de conception avec les données d'entrées qui lui sont fournies. Une fois le conflit détecté, un processus de négociation est lancé dans lequel un ensemble d'acteurs sont invités à collaborer afin de trouver une solution et atteindre un consensus entre les différentes contraintes de chacun des acteurs concernés par le conflit. Cependant, il n'en demeure pas moins vrai que le contexte d'ingénierie collaborative impose de plus en plus un contexte de travail distribué et ainsi rend irréalisable les réunions face-à-face. Ainsi, plusieurs approches et outils basés sur la technologie Web ont été proposés pour faciliter la négociation dans un cadre d'entreprise distribuée et d'ingénierie collaborative.

Le **Tableau 1** suivant présente une analyse comparative des divers travaux étudiés précédemment. Cette comparaison est effectuée au regard de l'apport de chacun des travaux aux principales phases du processus de gestion de conflits : la détection de conflits, la résolution de conflits (selon une approche par classification ou par négociation) et la gestion des impacts.

	Détection des conflits		Résolution des conflits			Gestions des impacts	Principales contributions
	Automatique : Taxinomie conflits	Manuelle	Taxinomie de stratégies résolution	Négociation			
				Identification négociateurs	Gestion de négociation		
<i>iDCSS</i> (Klein 1996)	√		√				Le concept de base de iDCSS est un module de capture des processus, produit et décisions organisationnelles ainsi que leurs dépendances
<i>CREOPS2</i> (Cointe <i>et al.</i> 1997)	√		√				Gestion de connaissances, résolution de conflit selon le point de vue du concepteur
<i>CONCENSUS</i> (Cooper et Taleb-Bendiab 1998)		√		√	√		Un prototype de négociation pour les systèmes multi agents
Cutkosky and Mori (Cutkosky et Mori 1998)	√				√	√	Prise en compte des contraintes pour la résolution du conflit. Seules les contraintes géométriques sont prises en compte
<i>NegotiationLens</i> (Adelson 1999)		√			√		Outil support à la négociation pour les conflits de buts et de ressources
<i>SHARED-DRIMS</i> (Sriram 2002)		√			√	√	Le système permet de tracer la logique de conception de chaque acteur ainsi que les négociations passées. Les concepteurs disposent des informations concernant comment et pourquoi une décision a été prise
Lara and Nof (Lara et Nof 2003)		√			√		Protocole et langage de résolution de conflits : le FDL-CR ¹⁷
<i>CO2MED</i> (Rose 2004)		√		√	√		Capitalisation des connaissances mises en œuvre pour la résolution de conflit
Slimani <i>et al.</i> (Slimani <i>et al.</i> 2006)	√		√			√	Prise en compte de la Logique de Conception pour la résolution de conflit

Tableau 1. Comparaison des systèmes de gestion de conflits

¹⁷ Facility Description Language – Conflict Resolution

3 Précision de la problématique

3.1 Motivation

Dans ce travail de thèse nous nous sommes intéressés à la gestion de conflits par *négociation*. En regard des différentes décompositions du processus de gestion de conflits proposées dans la littérature et particulièrement celle proposée par Wang (Wang *et al.* 2002), nous considérons qu'afin de développer un système support à la gestion de conflit par négociation, il est nécessaire de considérer les quatre phases suivantes (cf. **Figure 6**) :

- Détection de conflit : définir des mécanismes de détection des conflits tout en prenant en compte des méthodes utilisées pour représenter les contraintes, les objectifs, les intentions et les dépendances de conception.
- Identification des négociateurs : identifier et former une équipe de négociateurs pour participer à la résolution du conflit identifié. Durant le processus de résolution, de nouveaux conflits peuvent survenir. L'équipe de négociation peut donc être reformée. Une gestion dynamique de cette équipe est donc nécessaire.
- Gestion de la négociation pour générer une solution : conduire et contrôler la négociation entre les différents membres de l'équipe de négociateurs. Un responsable est affecté à cette tâche et a pour rôle de bien mener la négociation en choisissant quelle étape de la négociation doit être exécutée et quand doit elle être exécutée. Par exemple, prendre la décision de stopper le processus de négociation, de lancer un vote sur une solution, etc. Ensuite, la solution optimale au conflit est choisie. Pour ce faire, les acteurs se basent sur leurs propres connaissances, savoir-faire, compétences, etc.
- Gestion des impacts : propager les impacts de la solution choisie afin de conserver la cohérence du processus de conception. Une solution peut avoir un impact sur les données déjà produites, sur la coordination du processus de conception ou sur l'organisation associée.

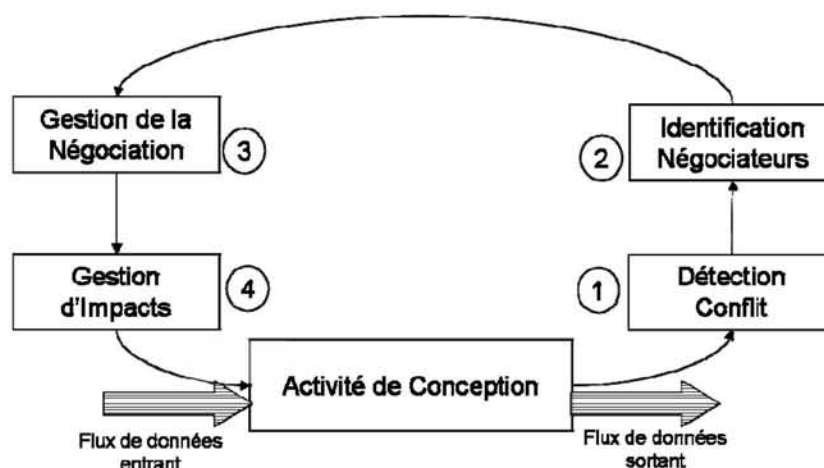


Figure 6. Processus de gestion de conflit par négociation (Ouertani *et al.* 2006b)

Vis-à-vis de ce processus, nous nous focalisons dans ce travail de thèse sur la phase d'*identification des négociateurs* ainsi que celle de *gestion des impacts* suite au choix d'une solution. Deux principales raisons ont motivé ce choix.

Premièrement, ce travail s'intègre dans une continuité du travail de thèse de Rose (Rose 2004), conduite au sein du laboratoire CRAN¹⁸, qui a proposé le protocole CO2MED pour la résolution de conflit par négociation (cf. §2.2.2.3). Dans son travail, Rose n'a pas traité les phases amont et aval qui sont importantes à la gestion de conflits. La **Figure 7** illustre notre positionnement par rapport au travail de Rose. Les phases écrites en gras/italique n'ont pas été abordées dans le travail de thèse de Rose.

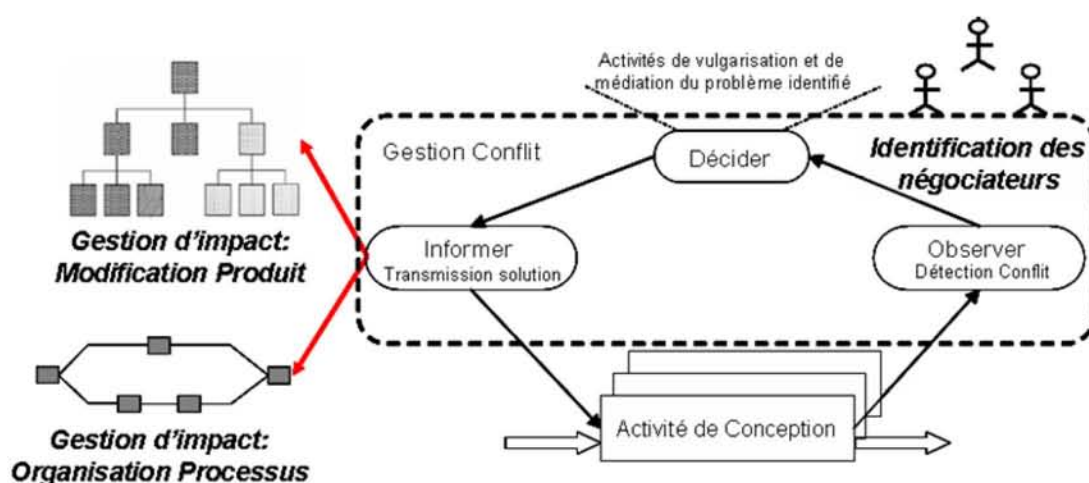


Figure 7. Positionnement de notre travail de thèse par rapport au travail de Rose

Deuxièmement, il ressort de l'état de l'art, présenté dans la section 2 de ce chapitre, que la plupart des travaux ne concernent que la phase de détection de conflits, en proposant des

¹⁸ CRAN – Centre de Recherche en Automatique de Nancy

taxinomies de conflits, la phase de gestion de la négociation, en proposant des protocoles et outils d'aide à la négociation et au choix final d'une solution pour le conflit. Les phases d'identification des négociateurs et de gestion des impacts, malgré leurs importances, ne sont pas traitées dans la littérature. En effet, rares sont les travaux qui se sont intéressés à proposer une solution ou des mécanismes supports. Par exemple, Cooper et Taleb-Bendiab (Cooper et Taleb-Bendiab 1998) et Wang (Wang *et al.* 2002) soulignent l'importance de l'identification de l'équipe de négociation sans pour autant y apporter une solution. Par contre, Rose (Rose 2004) propose d'utiliser une matrice de compétences et de disponibilités des acteurs afin de choisir ceux qui sont à même de résoudre le conflit. Sauf que cette solution n'est pas suffisante vu qu'elle dépend essentiellement de la politique d'entreprise et que les acteurs ne sont pas choisis par rapport à leur implication lors de la réalisation de la donnée qui est la source du conflit, mais la participation à la résolution leur est imposée selon leurs disponibilités et compétences. Afin de mieux préciser la problématique précédemment introduite, nous détaillons dans le paragraphe suivant la phase d'identification des négociateurs. La phase de gestion des impacts est quant à elle détaillée dans le § 3.3.

3.2 Identification de l'équipe de négociation

Comme souligné auparavant, il n'existe pas dans la littérature de travaux qui se sont intéressés à l'identification des équipes de négociation. Néanmoins, certains travaux ont mis l'accent sur l'identification des équipes de conception collaborative. En assimilant le processus de gestion de conflit à un sous-processus de conception (c'est-à-dire un processus ayant comme objectif de résoudre un problème lié à l'artefact à concevoir) et du fait que la gestion de conflit est un processus collaboratif (Girard *et al.* 2003), nous nous appuyons sur ces travaux pour étudier l'équipe de négociation et définir les rôles qui peuvent être assignés aux acteurs membres de cette équipe.

3.2.1 État de l'art sur les équipes de collaboration

Lu (Lu *et al.* 2002) considère que l'activité de conception collaborative est un processus sociotechnique et préconise que tout processus collaboratif se compose nécessairement de ressources. Ces ressources sont décrites comme étant un « atome » qui évolue durant le cycle de vie du processus de conception. Selon l'auteur, le concept ressource dans un environnement de conception collaborative est considéré comme un concept fondamental et peut être le plus important. Dans une étude menée auprès de 205 entreprises, Hong (Hong *et al.* 2005) met l'accent sur le rôle que peut assurer une ressource durant le processus de

conception et décrit l'influence du changement de rôle d'une ressource, qui évolue selon l'avancement du processus de conception, sur les performances du processus de conception. Une équipe de travail tend vers un processus de conception globalement optimisé selon des indicateurs de performance multiples tels que le coût, la durée, la qualité et les livrables. Ceci est favorisé par une meilleure compréhension commune du produit à concevoir et de son processus de conception. En effet, une compréhension partagée, entre les différents membres d'une équipe de travail, de « quoi concevoir » et de « comment le concevoir » est un facteur important pour construire une équipe de travail efficace. Les membres de l'équipe identifient les objectifs du projet et communiquent l'étendue des connaissances partagées concernant les besoins du client, les sous-traitants ou autres.

Afin de construire un groupe de travail efficace, Minel (Minel 2003) propose que l'équipe ne doit pas dépasser dix acteurs, les acteurs sont libres au moment de la création de l'équipe d'intégrer et de servir ou non l'intérêt du groupe. Plus encore, Smith (Smith 2004) propose que l'équipe doit satisfaire les caractéristiques suivantes :

- elle doit être composée d'au plus dix acteurs,
- ses membres choisissent de servir l'intérêt du groupe de travail,
- ses membres doivent travailler ensemble tout au long de la tâche qui leur est assignée,
- pour tout problème, ses membres doivent se référer au chef de projet,
- elle doit être multidisciplinaire.

Les travaux cités ci-dessus se sont intéressés d'un côté aux facteurs qui influencent la formation d'une équipe de travail efficace ; et d'un autre côté, comment supporter la collaboration au sein d'une équipe de travail afin qu'elle soit la plus performante, en proposant des méthodes et outils d'aide à la collaboration. Cependant, ces travaux ne proposent pas de structurer l'équipe en affectant des rôles à chacun des acteurs membres. Ce concept de rôle est décrit par Lander et Lesser (Lander et Lesser 1993) comme étant primordial pour bien mener une phase de collaboration ou de négociation.

Toutefois, nous notons les propositions de (Rouibah et Caskey 2003a) (Yang *et al.* 2004) pour catégoriser les acteurs dans le cadre de leurs travaux pour la gestion de modification en conception de produit manufacturier. Le processus de gestion de modification est également considéré comme étant un sous-processus collaboratif (Dureigne 2004).

Les travaux de Rouibah et Caskey (Rouibah et Caskey 2003a) et de Yang (Yang *et al.* 2004) soulignent l'importance d'identifier différentes catégories d'acteurs à inviter pour gérer une

demande de modification. Cependant, aucun mécanisme d'identification n'est proposé. Ces derniers proposent une classification en cinq catégories du groupe de travail pour la gestion des modifications. Ensuite, le chef de projet assigne un acteur à chaque rôle durant le processus de gestion de modification. Les cinq catégories sont :

- Coordinateur d'une donnée: c'est la ressource qui est responsable de l'élaboration et l'évolution d'une certaine donnée.
- Collaborateurs : ce sont les ressources qui ont été impliquées directement dans l'élaboration d'une donnée. Par exemple, différents ingénieurs de différentes entreprises travaillant sur une donnée commune en ayant des points de vue différents.
- Consultants: ce sont toutes les ressources qui doivent être consultées, sans intervenir, pour l'élaboration d'une donnée. Par exemple, un responsable de production doit être consulté afin de vérifier s'il est possible d'effectuer une certaine opération d'usinage en interne ou s'il doit sous-traiter cette tâche.
- Abonnés: ce sont toutes les ressources qui sont intéressées par l'évolution d'une certaine donnée sans pour autant être assignées à son élaboration, vérification ou approbation.
- Approbateur: c'est la ressource responsable de l'approbation et de la validation d'une donnée.

En s'inspirant de ces travaux, nous présentons dans ce qui suit une définition de l'équipe de négociation dédiée à la gestion de conflit (§3.2.2) et nous proposons ensuite une structuration de l'équipe de négociation en proposant des rôles qui seront assignés aux différents membres (§3.2.3).

3.2.2 Équipe de négociation pour la gestion de conflits

Le processus de gestion de conflits est un processus collaboratif qui nécessite l'intervention de plusieurs acteurs afin de résoudre un conflit. Une fois le conflit détecté, il est nécessaire d'identifier les bons acteurs à inviter pour le résoudre. Cette phase est considérée comme un pré-requis afin de bien mener la négociation et la résolution du conflit. En effet, identifier les bons acteurs concernés par le conflit permet de :

- disposer des connaissances et des compétences nécessaires pour résoudre le conflit,
- minimiser la durée du processus de gestion de conflits, c'est-à-dire atteindre le plus rapidement possible un consensus afin de résoudre le conflit,

- anticiper l'apparition de nouveaux conflits, en prenant en compte les différentes contraintes de conception.

Généralement, la formation d'une équipe en charge d'un processus d'ingénierie collaboratif se fait avant le lancement d'un projet. Les ressources sont affectées au projet lors de la phase d'organisation du processus pour la planification des activités. L'identification des acteurs se base essentiellement sur les notions de « rôle », « compétence » et « disponibilité ». En effet, l'acteur est choisi en fonction de ses compétences et de ses disponibilités en vue d'assurer un rôle lors de l'exécution d'une activité de conception. Cependant, la résolution de conflit ne peut être planifiée en avance. L'apparition du conflit est aléatoire et il est donc nécessaire de disposer des acteurs à même pour sa résolution. Ces derniers, que nous désignons par *négociateurs* dans ce travail de thèse, doivent répondre à certains critères pour pouvoir résoudre le conflit. Les négociateurs doivent avoir les compétences nécessaires pour résoudre le conflit et être disponibles pour participer à la négociation et la génération d'une solution convenable. Ceci permettra d'éviter l'apparition de nouveaux conflits, en prenant en compte dès le début les contraintes des différents négociateurs. Pour ce faire, les négociateurs correspondent aux acteurs :

- qui ont participé directement ou indirectement à la réalisation de la donnée source de conflit (la partie du processus de conception qui a aboutit à cette donnée). En effet, une donnée qui est une source de conflit résulte d'une ou plusieurs activités de conception précédant l'activité où le conflit s'est déclenché. Les acteurs responsables de l'exécution de cet ensemble d'activités doivent donc être invités à la négociation pour résoudre le conflit. Seuls ces derniers détiennent les raisons de la création d'une donnée et de la manière avec laquelle elle a été créée. Ainsi, la responsabilité de modifier une des données utilisées durant le processus de réalisation de la donnée source de conflit revient à ces derniers.
- qui entreprennent des activités directement dépendantes de la donnée source de conflit. En effet, au cas où les négociateurs sont amenés à modifier la donnée source de conflit, les acteurs utilisant cette donnée devront être avisés pour pouvoir propager les modifications nécessaires.

Nous notons que la composition de l'équipe de négociation est dynamique. Durant l'évolution de la négociation, il est possible que de nouveaux acteurs de conception intègrent l'équipe de

négociation et que d'autres se rétractent en fonction du problème rencontré. Ceci permettra de faire face aux différents problèmes que peuvent apparaître durant la phase de négociation.

3.2.3 Rôle des membres de l'équipe de négociation

Pour mener à bien un processus de négociation, il est nécessaire de définir des rôles différents pour chacun des membres de l'équipe de négociation. Notre objectif ici n'est pas de hiérarchiser le processus de négociation, mais de faciliter la coordination de ce processus afin d'atteindre au plus vite un consensus. Selon la phase à laquelle ils participent durant la négociation, les négociateurs peuvent jouer différents *rôles*. Nous identifions trois phases dans la négociation : *l'initiation*, *la conversation* et *la décision finale*.

- **La phase d'initiation** : Cette phase est la première phase de résolution de conflit et est menée par l'*initiateur* qui correspond la plupart du temps à l'acteur qui a détecté le conflit et lancé le processus de gestion de conflits. Cet initiateur lance la négociation en menant une action de vulgarisation où il explique le problème qu'il rencontre avec les choix actuels sur le produit. Ensuite, il justifie ou argumente sa motivation pour modifier la solution actuelle en précisant l'impact des choix actuels sur le produit.
- **La phase de conversation** : durant cette phase, une conversation entre les membres de l'équipe de négociation se déroule, au cours de laquelle des propositions de modifications sont échangées. Les négociateurs collaborent soit en proposant des alternatives de solutions qui répondent au conflit détecté, soit en appuyant une alternative proposée par un autre négociateur. Nous attribuons le rôle de *collaborateur* aux acteurs qui participent à cette conversation. Cependant, certains acteurs peuvent rencontrer des problèmes avec les alternatives de solutions proposées par les collaborateurs, et émettre des contre-propositions. Ces acteurs sont identifiés dans le processus de négociation comme étant des *référents*. Ces derniers ne sont pas tenus de joindre des solutions aux contre-propositions.
- **La phase de décision finale** : cette phase aboutit à une solution au conflit détecté par l'initiateur. Suite à la phase de conversation, soit un consensus est atteint par l'ensemble des membres de l'équipe de négociation, soit une solution est votée. Cette action est menée par les *approbateurs*. Les approbateurs sont tous les négociateurs qui ont participé à la proposition des alternatives de solutions pour résoudre le conflit.

Aux différents rôles identifiés ci-dessus, nous rajoutons un dernier rôle qui s'avère nécessaire pour bien mener un processus de négociation : le *responsable du processus de gestion de*

conflits. Selon (Zigurs 2003 ; Carte *et al.* 2006), il est important d'avoir un *responsable* pour permettre à l'équipe de négociation d'avancer et de progresser. Ce rôle doit être affecté à un membre de l'équipe de négociation, c'est-à-dire un négociateur qui participe à la résolution de conflits. Il s'agit de superviser les différentes phases du processus de gestion de conflits. Par ailleurs, le responsable du processus de gestion de conflits peut clôturer la négociation en imposant une solution en consultant des experts externes qui n'ont pas participé à la résolution du conflit.

Nous notons qu'un même négociateur peut jouer différents rôles selon l'évolution de la négociation. Un *initiateur* peut avoir le rôle d'un *collaborateur* (lorsqu'il propose une solution au problème traité) ou d'un *référént* (lorsqu'il refuse une solution proposée par un autre membre de l'équipe de négociation).

3.3 Gestion des impacts

Comme nous l'avons annoncé auparavant, la deuxième problématique adressée dans ce travail de thèse concerne la dernière phase du processus de gestion de conflits : *la gestion des impacts de la solution choisie au conflit*. Cette phase consiste à propager l'impact de la solution choisie par les négociateurs, suite à la *négociation*, sur l'ensemble des données de conception produites en amont ainsi que l'organisation du processus de conception.

3.3.1 Pourquoi l'analyse d'impact après la résolution de conflit

- *Maintenir la cohérence des données*

Le processus de conception est une succession d'activités qui transforment des données en entrées en données en sorties. Cette succession définit un lien de précedence entre les activités et donc entre les données (i.e. une donnée en sortie d'une activité devient une donnée en entrée de l'activité suivante). Ces données peuvent être de plusieurs types: structurelles, fonctionnelles, géométriques, comportementales, etc. Un lien direct existe entre ces différents types de données. Par exemple, les spécifications fonctionnelles permettent de définir la composition du produit et donc sa structure. Par ailleurs, la phase de négociation conduit à une solution qui se traduit par la modification d'une ou de plusieurs données mises en jeu dans la chaîne d'activités aboutissant à la production de la donnée source de conflit. Par exemple, la relaxation d'une contrainte du cahier des charges ou la redéfinition d'une donnée produite auparavant. Modifier une donnée entraîne souvent un ensemble de modifications des données qui sont dépendantes. En effet, afin que le processus de conception soit cohérent, les

modifications des données requises pour résoudre le conflit doivent être propagées. Gérer ces propagations est un élément qui doit donc être considéré lors de la gestion de conflits afin de maintenir la cohérence des liens entre les données de conception.

- *Respecter les contraintes du processus de conception*

Le processus de conception est composé d'une succession d'activités qui sont exécutées afin d'atteindre les objectifs de conception. Comme dans tout processus industriel, une planification de ces activités de conception doit être définie pour orienter et coordonner le travail des concepteurs. Outre l'ordonnement des activités, cette planification doit prendre en compte aussi l'allocation des ressources humaines et matérielles. En effet, le bureau d'étude d'une entreprise n'a pas seulement à coordonner un seul processus pour un seul projet mais plusieurs processus pour plusieurs projets, le tout dans un cadre d'exécution concurrente des processus.

Pour la plus élémentaire de ces activités (tâche ou opération), il est souvent difficile d'avoir une organisation *a priori*. L'organisation et la planification les plus appropriées dans ce cas sont déterminées par les liens de dépendances entre les activités. C'est le besoin de données en entrée de chaque activité qui crée cette dépendance. En effet, une activité consomme des données en entrée et les transforme en données qui seront utilisées par la suite par les activités suivantes.

Lorsqu'un conflit apparaît, il est nécessaire pour le résoudre de passer par une ou plusieurs modifications de la ou des données qui sont des sources de conflit. Pour effectuer ces modifications, l'activité productrice de ces données est remise en cause et doit être ré-exécutée. C'est alors qu'un problème de coordination des activités de conception survient. En effet, la ré-exécution des activités de conception suite à la résolution d'un conflit n'est pas prescrite, elle n'est pas prise en compte lors de la planification du processus de conception, seules les itérations prédéfinies sont planifiées. Cette ré-exécution est un processus en soi qui doit être géré en ordonnant les activités qui le composent et en allouant les ressources nécessaires pour son déroulement. Une telle gestion nécessite une remise en cause de l'organisation initiale de l'ensemble du processus de conception puisque les acteurs (ressources) sont de nouveau affectés et les activités aval amendées. Cette organisation doit être intégrée dans le processus global de conception afin de respecter les contraintes du processus de conception (le délai, l'effort et le coût du développement du produit). Il est donc nécessaire dans un premier temps d'identifier les activités qui doivent être ré-exécutées ainsi

que les ressources qui lui seront allouées. Ensuite, ces activités doivent être réorganisées tout en prenant en considération les contraintes de disponibilité ainsi que le délai de livraison.

3.3.2 État de l'art sur la gestion des impacts

Ce paragraphe présente une étude des travaux recensés dans la littérature et qui se sont intéressés à la gestion de modification. Dans un premier temps nous présentons les travaux qui ont étudié la propagation des modifications sur les données produit et, dans un second temps, ceux qui ont abordé la problématique de (ré)organisation du processus de conception.

3.3.2.1 Propagation des modifications sur le produit

Différentes stratégies sont proposées dans la littérature pour maîtriser le processus de gestion de modifications, aboutissant ainsi à différentes décompositions de ce processus. Néanmoins, il est possible d'en déduire une décomposition générique constituée de trois étapes (Ouertani *et al.* 2004) :

- Demande de modification (ou Engineering Change Request - ECR) : une modification est proposée et les demandes de modifications sont collectées avec les informations utiles pour poursuivre le traitement.
- Traitement de modification : c'est l'étude de faisabilité pour présenter la modification aux entités (acteurs) impliquées ou susceptibles d'être impliquées, l'analyse d'impact de la modification (conséquences sur le produit et sur l'organisation) et les décisions sur la poursuite du traitement.
- Implémentation de la solution : par la planification des tâches, l'information des acteurs impliqués, etc.

Par rapport à ce processus, plusieurs travaux ont été menés durant la dernière décennie. Nous classifions ces travaux en trois catégories : exploratoires, organisationnelles et techniques. Les travaux de nature exploratoire se sont intéressés à comprendre le processus de gestion des modifications et à dégager les problématiques liées à ce processus. Ces travaux sont essentiellement issus des études menées chez des industriels ou bien des *surveys* (Wright 1997) (Pickoz et Malmqvist 1998) (Huang et Mak 1999) (Huang *et al.* 2003).

Les travaux qui visent à apporter des solutions organisationnelles se sont focalisés sur la rationalisation du processus de gestion des modifications en proposant des stratégies pour la conduite du processus (Nicholls 1990) (Fricke *et al.* 2000), en définissant des mécanismes pour améliorer la performance du processus de gestion des modifications (Loch et Terwiesch

1999) (Collaine 2001) et en proposant de nouvelles organisations du processus pour mieux coordonner les activités de traitement des modifications et réduire les délais (Riviere *et al.* 2003) (Omri *et al.* 2004).

Enfin, nous trouvons les travaux qui ont proposé des solutions techniques afin de supporter l'implémentation des modifications et analyser leurs impacts sur le produit et sur le processus de conception. Parmi ces travaux, nous notons essentiellement les travaux de (Rouibah et Caskey 2003a), (Clarkson *et al.* 2004), (Ollinger et Stahovich 2004) et (Soufi *et al.* 2006). Parmi ces travaux, ceux menés au sein de l'équipe de P.J. Clarkson¹⁹ semblent être les plus prometteurs. Ils proposent une méthode de propagation des changements appelée « Change Propagation Method » (Clarkson *et al.* 2001) qui utilise :

- Une matrice de conception (Design Structure Matrix – DSM) pour modéliser les dépendances directes entre les différents composants d'un produit.
- Une matrice de probabilité exprimant la probabilité de modifier le composant **b** si on modifie le composant **a** ($l_{b,a}$).
- Une matrice d'impact exprimant l'impact d'une modification de **a** sur **b** ($i_{b,a}$).
- Une matrice de risque exprimant le risque d'impacter **b** si nous modifions **a** ($r_{b,a}$), avec

$$r_{b,a} = i_{b,a} * l_{b,a}$$

Il en résulte de cette brève bibliographie que le processus de gestion de modification, et plus précisément l'analyse d'impact des modifications, est toujours ramené dans sa finalité à une résolution d'un ensemble de contraintes. Les différents outils et méthodes proposés dans les travaux étudiés abordent le problème au travers des liens et des relations qui existent entre les différents composants d'un produit. En identifiant ces relations et en s'appuyant sur les contraintes imposées par un composant sur un autre, le problème est résolu par la propagation des modifications d'un composant du produit à un autre. Cependant, cette propagation ne peut pas être manuelle dans le cas de produits complexes. Par ailleurs, exceptées celles de (Clarkson *et al.* 2004) et (Ollinger et Stahovich 2004), aucune proposition ne fournit des éléments méthodologiques ou des mécanismes pour déterminer la nature de l'impact ou évaluer son degré d'importance.

¹⁹ EDC – the Cambridge Engineering Design Center, UK

3.3.2.2 Réorganisation du processus de conception

La réorganisation du processus de conception n'a pas été abordée dans la littérature et ce du fait de l'impossibilité de prévoir à l'avance les conflits et les modifications. Cependant, un grand nombre de travaux s'est intéressé à l'organisation des processus avant le lancement de la conception.

D'une part il y a les approches macroscopiques qui proposent des macro-organisations du processus de conception collaboratif en identifiant les actions de conception interdépendantes. Le niveau macroscopique consiste à étudier la décomposition du processus de conception en phases. La plupart des méthodes utilisées pour aborder ce niveau s'appuient sur une représentation matricielle (Steward 1981a), (David 2004) et des techniques de partitionnement (Gebala et Eppinger 1991), (Kusiak *et al.* 1994). Les phases ainsi que les activités qui les composent sont organisées en fonction des contraintes d'antériorité.

D'autre part, il y a les approches microscopiques qui proposent des micro-organisations du processus de conception permettant de coordonner les activités interdépendantes restant trop complexes à mettre en œuvre (Krishnan *et al.* 1997) (Yassine *et al.* 1999b) (Clermont et Aldanondo 1999) (Terwiesch *et al.* 2002) (Freisleben et Vajna 2002) (Bhuiyan *et al.* 2004). L'objectif de ces travaux est de trouver une performance globale optimale pour l'organisation tout en satisfaisant une contrainte particulière (durée, coût, effort et qualité).

Pour résumer, différentes méthodes pour adresser le problème de coordination des activités de conception ont été suggérées dans la littérature. Chaque approche est une contribution perspicace au sujet de quand et comment organiser le processus de conception d'une manière appropriée. L'ensemble de ces travaux souligne l'importance de proposer des stratégies de communication entre des activités dépendantes pour organiser le processus de conception. Cependant, les auteurs n'ont étudié que des processus de conception composés d'au plus deux activités²⁰ et ne présentent que des réponses partielles à la problématique de quand et comment organiser un processus de conception.

Le processus de gestion de conflits étant une partie du processus de conception global, il est possible d'adopter une des méthodes présentées ci-dessus pour la gestion des impacts. Cependant, nous notons une absence d'indicateurs et de mécanismes pour la coordination du processus ou encore l'organisation autour du processus.

²⁰ Les travaux de Clermont et Aldonando se sont intéressés à la simulation d'un processus de conception composé de trois activités.

4 Approche de recherche adoptée: Le réseau de dépendances de données

Après avoir défini la problématique à résoudre dans la section 3, le travail de thèse présenté dans ce mémoire a pour objectif de mettre en place une approche pour la gestion de conflits basée sur :

- Une démarche pour l'identification des négociateurs à inviter au processus de résolution de conflit,
- Un ensemble de mécanismes pour propager l'impact des modifications sur l'ensemble des données produit, et
- Un ensemble de stratégies de coordination afin de permettre de réorganiser le processus de conception tout en respectant certaines contraintes de développement.

Pour répondre à l'ensemble de ces objectifs, ce travail de thèse s'articule autour d'un élément principal qui est le *réseau de dépendances des données* manipulées durant le processus de conception. C'est le concept de base sur lequel s'applique l'approche **DEPNET** (product **Data dEP**endencies **NET**work identification and qualification) que nous proposons dans ce travail de thèse pour l'*identification des négociateurs* et la *gestion des impacts* de la solution choisie au conflit. Dans ce qui suit, et au travers d'une description du processus de conception, nous précisons l'idée clef sur laquelle se base notre approche DEPNET.

Le processus de conception de produit est composé principalement de ressources, sous-processus et activités, données et différentes relations entre ces éléments. Il peut être vu comme une succession d'activités dans le but d'atteindre un objectif de conception (Produit). Dans le cadre de la conception collaborative et de l'ingénierie concourante, différents sous-processus composés d'activités peuvent être lancés simultanément. (cf. **Figure 8** : sous-processus 1 et 2). A chacune de ces activités sont assignées une ou plusieurs ressources (acteurs) afin de les exécuter et atteindre les objectifs prescrits du processus de conception. Durant le processus de conception, les divers acteurs, impliqués dans le processus de conception, interviennent en utilisant des données produit amont, créées précédemment par d'autres, et ce pour créer des données produit aval utilisables par d'autres conséquemment. Ainsi, les activités s'échangent différentes données afin que le processus de conception

progresses, ces données peuvent provenir du même sous-processus ou d'un sous-processus différent. Ces différents échanges créent des liens entre les différentes activités et/ou sous-processus, entre les données et les activités ainsi qu'entre les différentes données manipulées durant le déroulement du processus de conception.

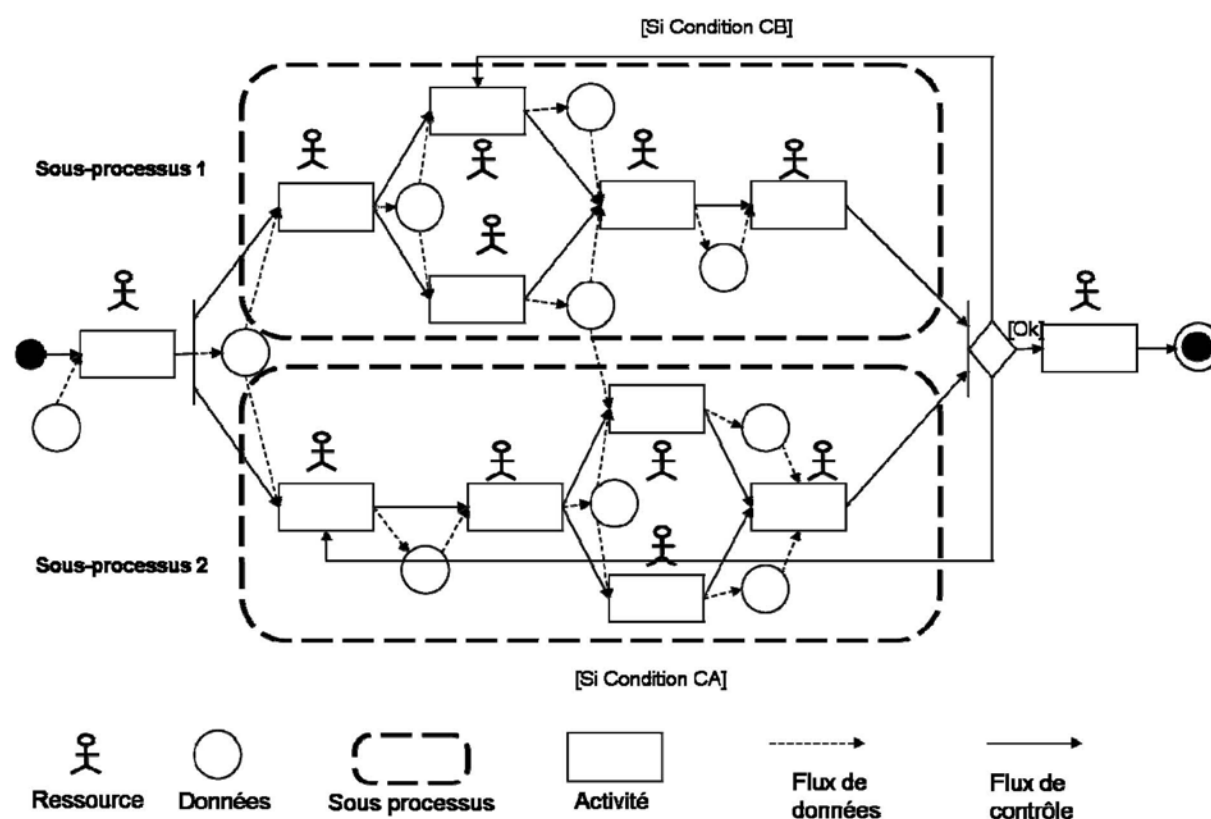


Figure 8. Déroulement d'un processus de conception collaborative

Les liens entre les activités correspondent aux liens de précédence et de succession des activités lors de leur exécution durant le processus. Ces liens sont souvent gérés par des procédures qui systématisent et organisent l'exécution de ces activités. Des outils tels que le « workflow » (WfMC 2006) permettent d'automatiser ces procédures. Les activités consomment en entrée des données pour produire des données en sortie nouvellement créées ou seulement modifiées. Des liens d'entrée/sortie sont ainsi créés entre les données consommées/produites et les activités. Ces liens sont souvent exprimés en termes d'entrées pour les données consommées et sorties pour les données produites. Les différentes relations, d'une part, entre les activités et, d'autre part, entre les données entrées/sorties et les activités responsables créent des *liens de dépendances* entre les données produits. Ainsi, lorsqu'un conflit surgit durant la conception, celui-ci apparaît sur l'une des données produites au cours du processus. Cette donnée est désignée comme *la donnée source du conflit*. Elle est le résultat d'une certaine activité du processus de conception et est liée à des données produites

auparavant durant le processus de conception comme expliqué ci-dessus. Résoudre le conflit revient donc à modifier cette donnée source de conflit et/ou les données utilisées pour son élaboration. C'est à l'équipe de négociation de trouver la solution au conflit, c'est-à-dire la ou les données à modifier. Ensuite, une analyse des modifications à intégrer est nécessaire afin de propager, dans un premier temps, l'impact de la solution choisie sur les autres données et, dans un second temps, l'impact sur la coordination du processus de conception.

Nous assumons dans ce travail de thèse qu'identifier les négociateurs et gérer l'impact de la solution retenue revient à identifier les différents liens de dépendances entre l'ensemble des données manipulées durant le processus de conception. Dans les deux paragraphes suivants nous illustrons à l'aide d'un exemple théorique comment le réseau de dépendances de données peut (1) nous permettre d'identifier l'équipe de négociation (§4.1) et (2) propager les modifications sur les données produit (§4.2).

4.1 Le réseau de dépendances de données pour l'identification des négociateurs

Pour illustrer le concept de réseau de dépendances de données et son usage pour identifier les négociateurs, considérons l'exemple de la **Figure 9** et supposons qu'un conflit portant sur la donnée D6 est détecté par la ressource responsable de l'activité A6 (la ressource est dans l'impossibilité d'exécuter l'activité A6 avec les valeurs actuelles de la donnée D6). Cette donnée (D6) est produite par l'activité A5 qui a eu comme données en entrée les données D4 et D5. Selon le même raisonnement, les données D4 et D5 sont les données en sortie des activités A3 et A4 respectivement. Cet enchaînement crée donc des liens de dépendance entre toutes les données manipulées durant le processus de conception.

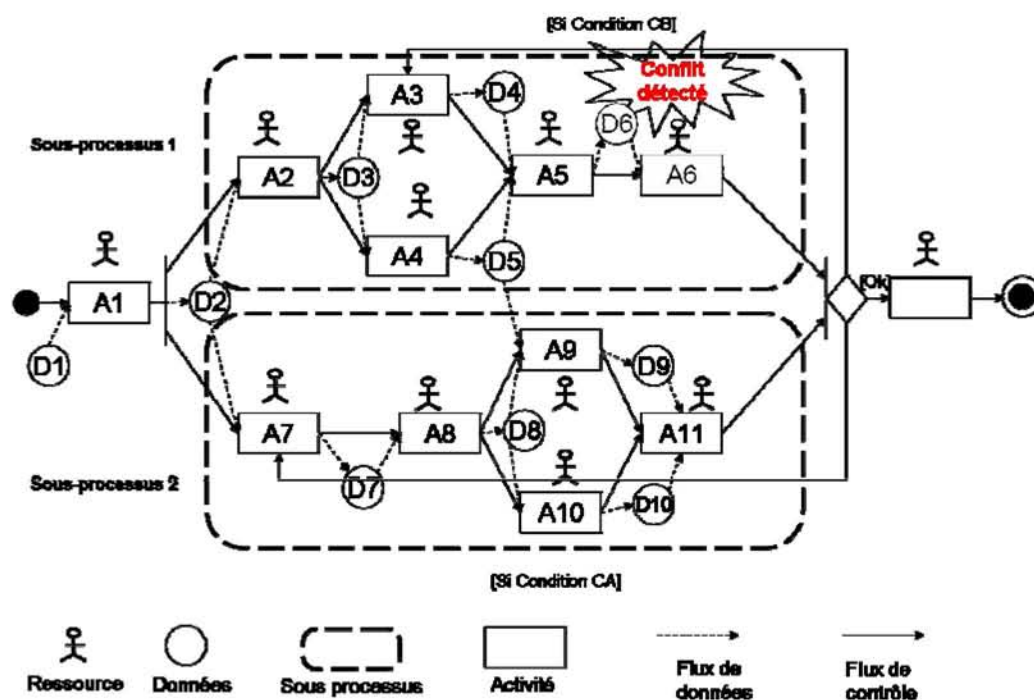


Figure 9. Conflit détecté (donnée D6) durant le déroulement du processus de conception

Si la résolution de conflit implique la modification de la donnée source de conflit, il est alors nécessaire de modifier les données en entrée de l'activité qui l'a produite. Afin de procéder à ces modifications, les données consommées en amont doivent être modifiées. La décision sur la nature des modifications à apporter est prise au cours de la phase de la résolution de conflit. L'identification des négociateurs à inviter pour lancer le processus de prise de décision se base donc sur l'identification des liens de dépendances entre les données manipulées et impliquées dans l'élaboration de la donnée source de conflit durant le processus de conception. En effet, chaque donnée est produite par une activité qui est exécutée par une ou plusieurs ressources. Identifier les données dont dépend la donnée source de conflit nous permet d'identifier les activités productrices et par conséquent d'identifier les ressources impliquées dans leur élaboration. Afin d'illustrer ce raisonnement, nous présentons dans la **Figure 10**, le sous processus 1 (de la **Figure 8**) où le conflit s'est déclenché.

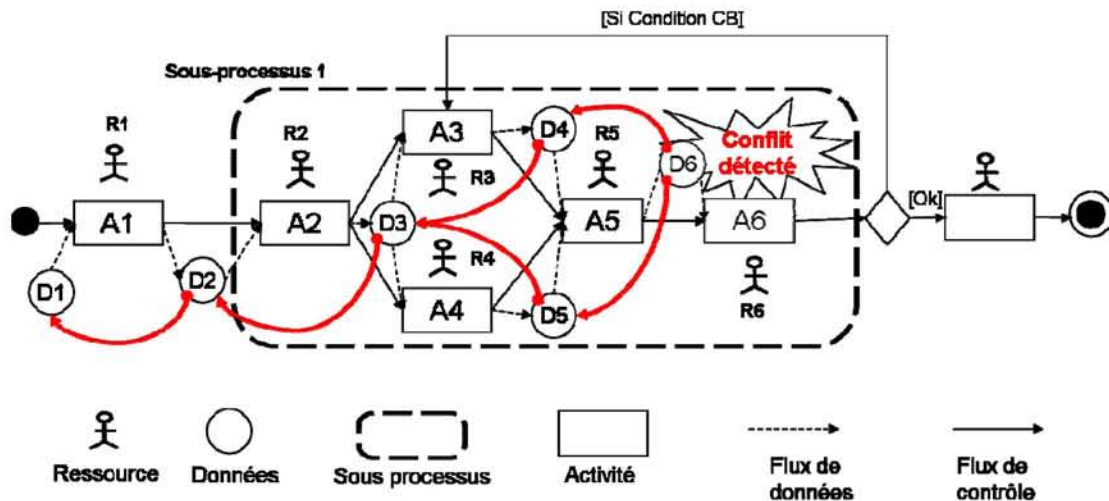


Figure 10. Liens de dépendance entre les données

La donnée D6 est une donnée source de conflit pour l'acteur R6 en charge de l'exécution de l'activité A6. Cette donnée est produite par l'activité A5 dont l'acteur responsable est R5. Cette activité A5 a consommé en entrée les données D4 et D5 afin d'atteindre son objectif (i.e. la donnée D6). Ces données (D4 et D5) sont produites par les activités A3 et A4 respectivement. Les ressources respectives responsables de leurs exécutions sont R3 et R4. C'est la donnée D3 qui a été utilisée en entrée des activités A3 et A4 afin de produire les données D4 et D5. Cette donnée (D3) est produite par l'activité A2 dont la ressource responsable est R2.

Résoudre le conflit qui se pose avec la donnée D6 revient donc à remettre en cause, non seulement la donnée D6 source de conflit, mais aussi l'ensemble des données utilisées pour son élaboration, c'est-à-dire les données D5, D4, D3, etc. La résolution de conflit portant sur la donnée D6 sera menée principalement par l'ensemble des acteurs qui sont impliqués dans la chaîne de l'élaboration de la donnée D6, c'est-à-dire R1, R2, R3, R4, R5 et R6, formant ainsi l'équipe de négociation. *Il en résulte que si les liens de dépendances entre les données manipulées sont identifiés, il est possible d'identifier les membres de l'équipe de négociation.* Dans ce paragraphe nous n'avons présenté que les liens de dépendances de données issus des liens de précédences des activités. D'autres types de dépendances existent entre les données manipulées durant le déroulement du processus de conception. Une étude des différents types de dépendances entre les données sera présentée dans le chapitre 2.

4.2 Le réseau de dépendances de données pour la gestion des modifications

Supposons, qu'après avoir mené le processus de résolution du conflit portant sur la donnée D6, l'équipe de négociation génère une solution qui se traduit par la modification de la donnée D3 produite par l'activité A2. Comme l'illustre la **Figure 11**, la propagation de la modification de la donnée D3 résulte en la remise en cause des données dépendantes, c'est-à-dire les données D4 et D5. De la même manière, modifier D4 et D5 implique la redéfinition des données D6 (donnée source de conflit) et la donnée D9, dont l'activité productrice s'est basé sur la donnée D5 comme donnée en entrée.

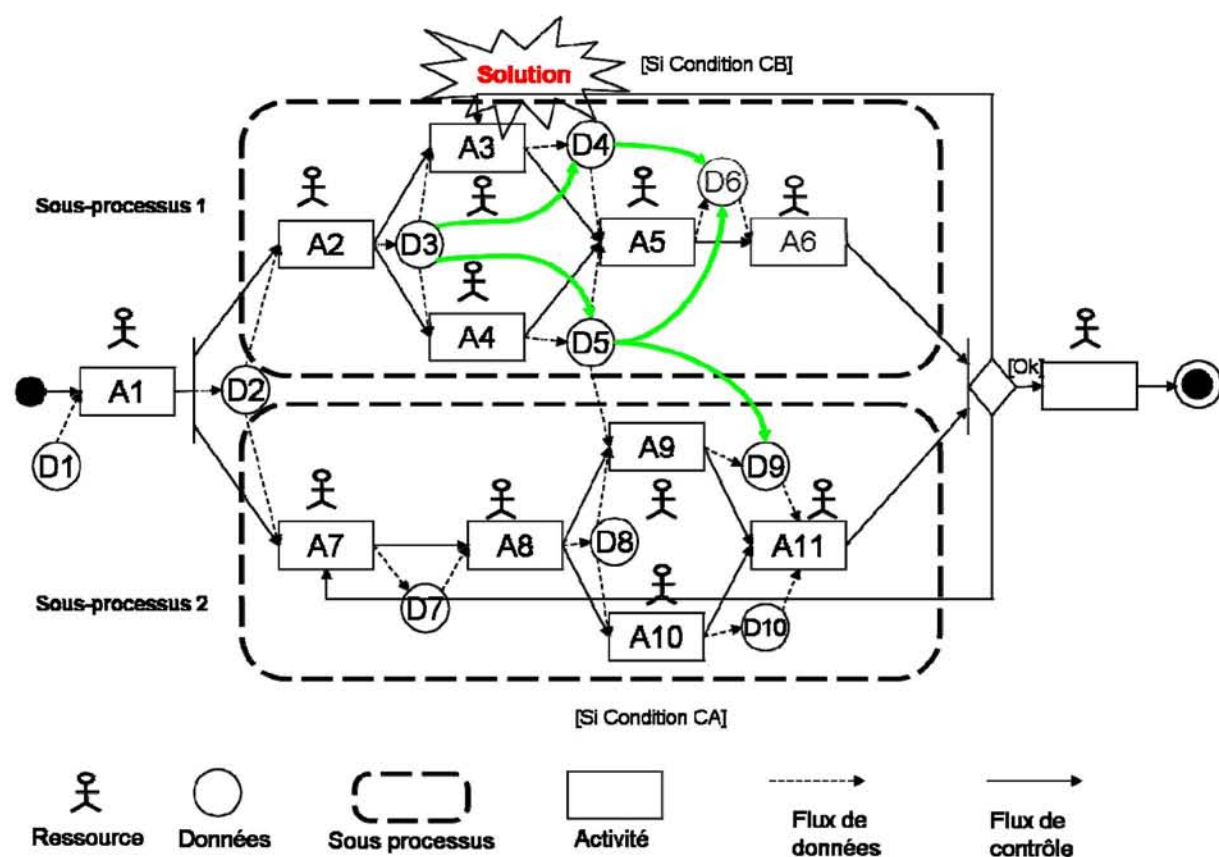


Figure 11. Propagation de modification sur le processus de conception

Propager l'impact de la modification induite par la solution choisie au conflit dépend donc fortement des liens de dépendances entre les données manipulées durant le déroulement du processus de conception. Il est donc nécessaire de disposer de ces relations existantes entre l'ensemble des données de conception. D'autant plus que, dans un cadre de conception distribuée, certains impacts peuvent être négligés si l'on ne se rappelle pas de leur existence.

Outre l'identification des données impactées, la propagation par les liens de dépendances permet d'identifier les activités qui seront remises en cause ainsi que les acteurs responsables de leur exécution. En effet, chaque donnée, manipulée durant le processus de conception, est le résultat d'une activité, suite à son exécution. Ce sont ces activités, identifiées suite à la propagation d'impact de la modification, qui devront par la suite être réorganisées.

Cependant, réorganiser ces activités nécessite une meilleure compréhension des différents types de liens de dépendances existant entre les données. Ceci nous permettra de proposer différentes stratégies de diffusion de données entre les activités afin de prendre en compte les contraintes de dépendances entre les données, mais aussi les contraintes imposées sur le processus de conception telles que le délai ou l'effort.

*Ainsi, outre l'**identification** des liens de dépendances entre les données, il est nécessaire de **qualifier** ces liens de dépendances afin de permettre la propagation de l'impact sur les données tout en mesurant le poids de ces impacts, mais aussi de proposer des stratégies de réorganisation du processus de conception.*

Le reste du manuscrit est organisé comme suit. Le chapitre 2 développe le concept de réseau de dépendances des données. Pour cela un travail préliminaire d'état de l'art sur la gestion des dépendances de données est présenté. Ensuite, nous développons les divers éléments caractérisant un réseau de dépendances ainsi que l'approche adoptée pour extraire ce réseau. Le chapitre 3 illustre, dans un premier temps, l'utilisation de ce réseau pour l'identification de l'équipe de négociation et l'analyse d'impact. Dans un second temps, après une étude de travaux sur la planification du processus de conception, des stratégies de coordination sont proposées pour la réorganisation du processus de conception suite à la résolution de conflit. Le chapitre 4 présente le prototype logiciel développé pour supporter l'approche DEPNET.

Chapitre 2:

Réseau de dépendances des données

Nous présentons, dans ce chapitre, le concept de base de l'approche DEPNET support aux phases d'identification de l'équipe de négociation et d'analyse d'impact. Comme précisé à l'issu du chapitre 1, DEPNET se base essentiellement sur le principe d'identification et de qualification du réseau de dépendances des données manipulées durant le processus de conception. Ce chapitre est donc consacré au concept de *réseau de dépendances des données*.

Avant de présenter en détail les caractéristiques du réseau, c'est-à-dire la forme et le contenu du réseau de dépendances des données, nous illustrons dans un premier temps le concept de dépendances entre données à travers un cas d'étude industriel (section 1). Dans un second temps, un état de l'art des travaux sur les dépendances de données de conception est recensé afin d'identifier les éléments de qualification des liens de dépendances (section 2). La section 3 définit ce qu'est un réseau et de quoi il est composé. Ensuite, la section 4 développe l'approche retenue pour obtenir ce réseau de dépendances, basée sur un modèle de traçabilité du processus de conception. Enfin, la section 5 illustre comment le réseau de dépendances de données est généré.

1 Etude de cas : Exemples de dépendances de données

Dans ce paragraphe, nous décrivons le processus de conception d'un turbocompresseur chez un partenaire industriel afin d'illustrer les dépendances entre données. Pour des raisons de confidentialité certaines données sont modifiées ou ne sont pas divulguées dans ce rapport. Rappelons d'abord qu'un turbocompresseur est un système qui récupère une partie de l'énergie des gaz d'échappement d'un moteur à explosion afin de comprimer l'air alimentant le moteur, améliorant ainsi son rendement. Un turbocompresseur comprend principalement (cf. **Figure 12**) :

- Un compresseur centrifuge refoulant l'air comprimé à l'admission du moteur,
- Une turbine centripète entraînée par les gaz d'échappement provenant du moteur.

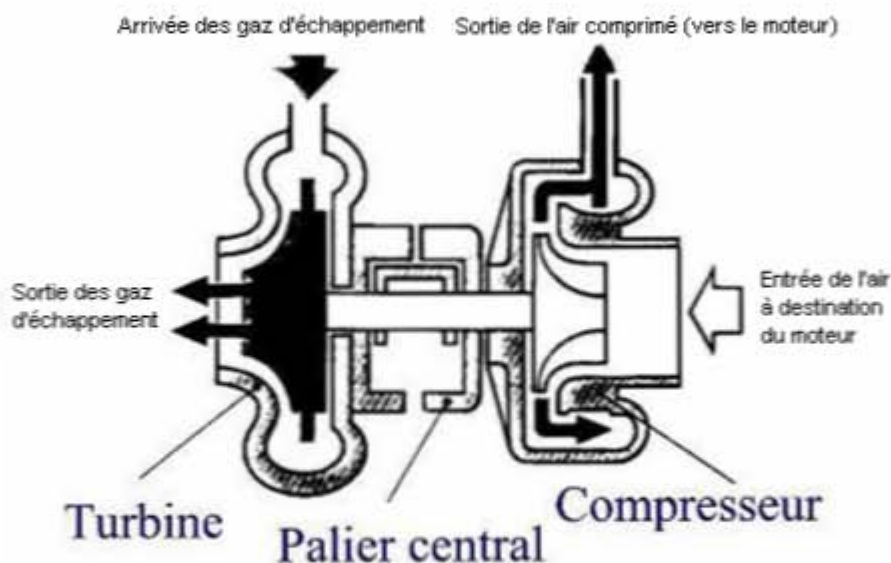


Figure 12. Turbocompresseur

Le processus de conception d'un turbocompresseur se compose principalement de quatre phases principales : la phase de conception de la turbine, la phase de conception du compresseur, la phase de conception du « core-product » et la phase de conception du carter. Les quatre phases sont exécutées simultanément dès que l'étude de faisabilité est terminée. Cependant la phase de conception du « core-product » n'est achevée qu'une fois que les sous-ensembles turbine, compresseur et carter sont finalisés.

En effet, suite à l'étude de faisabilité technico-économique, le chef de projet et les ingénieurs responsables de la conception du turbocompresseur disposent des spécifications du produit à concevoir ainsi que des différentes contraintes imposées par le client. Ces contraintes concernent essentiellement :

- les performances du turbocompresseur pour le type de moteur sur lequel il sera monté, et
- l'interface entre le moteur et le turbocompresseur.

Pour ce faire, le client envoie son cahier des charges pour préciser les performances requises et le modèle géométrique du moteur avec un encombrement dédié au turbocompresseur. Les ingénieurs doivent donc faire en sorte que le turbocompresseur puisse être monté sur le moteur.

Partant du cahier des charges fonctionnel, le concepteur turbine, le concepteur compresseur et le concepteur carter procèdent à la conception de leurs sous ensemble respectifs.

Le concepteur turbine commence par définir le diamètre de la roue turbine (cf. **Figure 13**) à concevoir qui lui permet d'atteindre les performances requises. Il demande au concepteur compresseur le diamètre de la roue compresseur (cf. **Figure 14**) qu'il a choisi. En effet, les performances requises pour la roue turbine dépendent du diamètre de la roue compresseur étant donné que le compresseur est le sous-ensemble qui permet de chasser l'air vers la périphérie pour augmenter la pression d'air. Ainsi, le concepteur compresseur est contraint de commencer son activité par définir le diamètre de la roue compresseur. Ensuite, il choisit le matériau et le processus de fabrication (par exemple la fonte) en se basant sur des standards internes à l'entreprise et sur des tests sur des prototypes livrés par les *équipes Innovation*²¹.

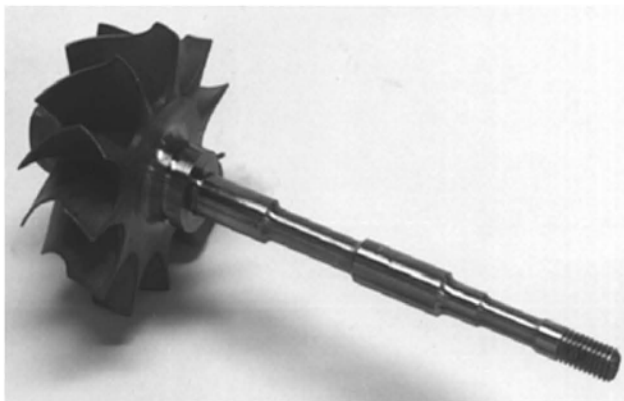


Figure 13. Roue turbine et Axe de liaison

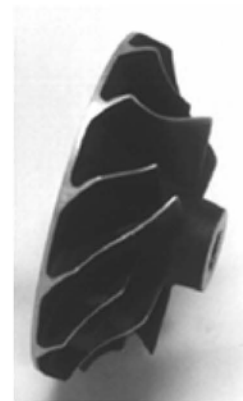


Figure 14. Roue Compresseur

Le concepteur compresseur définit par la suite les « inducer²² » et « exducer²³ » (cf. **Figure 15**) de la roue compresseur afin de calculer la distance entre le profil de la roue compresseur et le profil du carter correspondant, et ainsi, calculer les performances en sortie de son sous-ensemble.

Une fois que le concepteur turbine a défini le diamètre de la roue turbine, il calcule les « inducer » et « exducer » de la roue turbine et choisit le matériau à utiliser pour la roue. Une fois la roue turbine définie (diamètre, matériau, etc.), le concepteur turbine, avec la collaboration des responsables des opérations d'équilibrage et d'usinage par rectifieuse, développent les caractéristiques de l'axe de liaison entre la roue turbine et la roue compresseur (cf. **Figure 13**). Ces derniers, ne définissent que la partie interface entre l'axe et

²¹ Le processus de conception chez le partenaire industriel considéré se décline en deux types de projets ; les projets « Innovation » proposant et développant des nouvelles technologies et les projets « Adaptation » pour l'ajustement de produits (issus des projets innovation) aux besoins des clients.

²² Looking at a compressor wheel, the inducer is the "minor" diameter. For a turbine wheel, the inducer is the "major" diameter. The inducer, in either case, is where flow enters the wheel.

²³ Looking at a compressor wheel, the exducer is the "major" diameter. For a turbine wheel, the exducer is the "minor" diameter. The exducer, in either case, is where flow exits the wheel.

la roue turbine (l'axe est donc à l'état semi finalisé, la finalisation ne se fait que durant la phase de conception du « core-product »). Dès que la roue turbine et la roue compresseur sont définies, les diamètres ainsi que les « inducer »/« exducer » sont communiqués au concepteur carter afin qu'il puisse définir les carters turbine et compresseur.

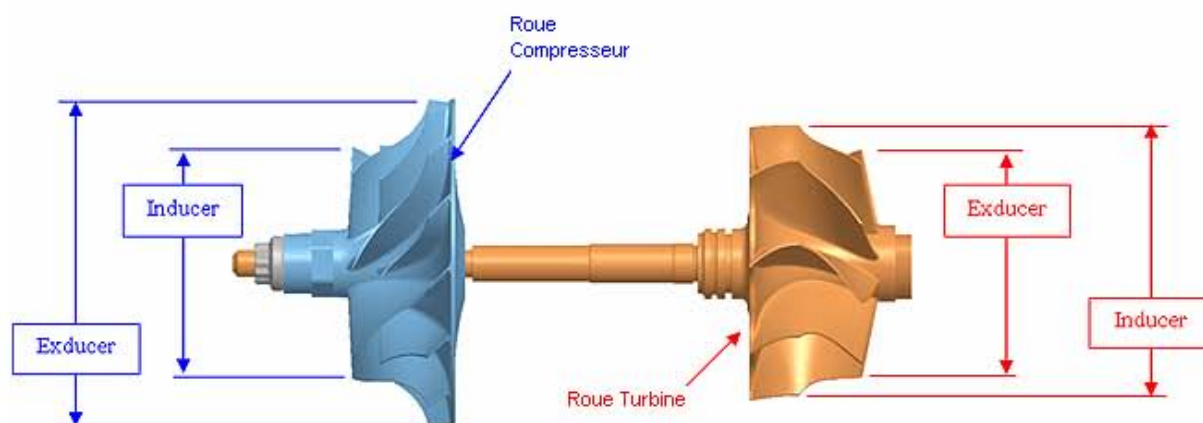


Figure 15. Illustration des diamètres « Inducer » et « Exducer » des roues turbine et compresseur

Le concepteur carter commence par définir les enveloppes intérieures de chacun des carters turbine et compresseur, qui sont déterminées en fonction des « Inducers » et des « Exducers », ainsi que, le ou les matériaux pour son sous-ensemble (il se peut que le carter turbine soit d'un matériau différent de celui du carter compresseur). Ensuite, il définit les caractéristiques géométriques de son sous-ensemble qui sont à l'interface avec le moteur sans se soucier des caractéristiques géométriques des carters turbine et compresseur qui sont à l'interface avec le « core-product ». Afin de définir l'interface entre les carters turbine/compresseur et le moteur, le concepteur carter se base sur les modèles CAO du moteur (2D et 3D) ainsi que la position du moteur (interface moteur carters turbine/compresseur) qui peut être par exemple longitudinale, verticale ou autre.

La **Figure 16**, illustre un exemple d'adaptation de l'interface carter turbine et moteur où le carter turbine (en gris foncé) doit être adapté afin de pouvoir être relié à la connexion moteur (en gris clair).

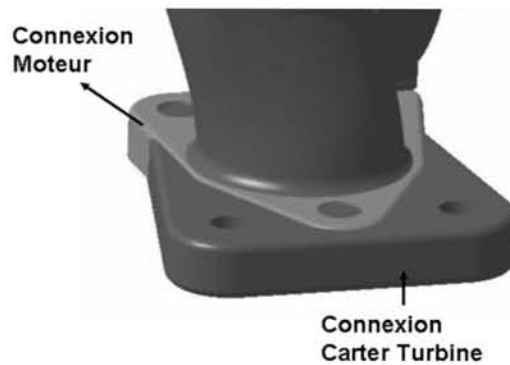


Figure 16. Interface moteur – turbocompresseur (coté carter turbine)

Ensuite, le concepteur carter définit le carter turbine et le carter compresseur en fonction des « inducer »/« exducer ». En effet, les valeurs des paramètres « inducer »/« exducer » permettent de calculer les distances entre le profil de la roue du compresseur/turbine et le profil du carter correspondant, cette distance est appelé « trim ». Plus cette distance est grande plus le flux air/gaz que peut supporter la roue est grand. La valeur du paramètre « trim » est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Trim} = \text{Inducer}^2 / \text{Exducer}^2$$

Les performances des carters turbine et compresseur sont ensuite définies. C'est le paramètre Area/Radius (A/R) qui permet de décrire la caractéristique géométrique du volume des carters turbine et compresseur. Le paramètre A correspond à la section d'admission (ou, pour le carter compression, la décharge), le paramètre R correspond au rayon entre la ligne centrale du turbocompresseur et le centre de cette surface (cf. **Figure 17**).

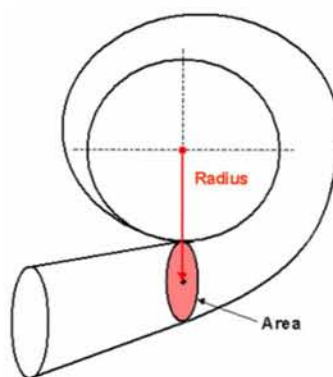


Figure 17. Illustration de la caractéristique A/R d'un carter compresseur

Parallèlement au sous-processus carter et suite à la finalisation des sous ensembles turbine et compresseur, les concepteurs turbine et compresseur collaborent afin de définir le sous-ensemble « core-product » qui a pour fonction de lier le sous-ensemble turbine et le sous-

ensemble compresseur. Le sous-ensemble « core-product » est composé d'une quinzaine de pièces dont une plaque arrière, un carter central et un roulement. (cf. **Figure 18**).

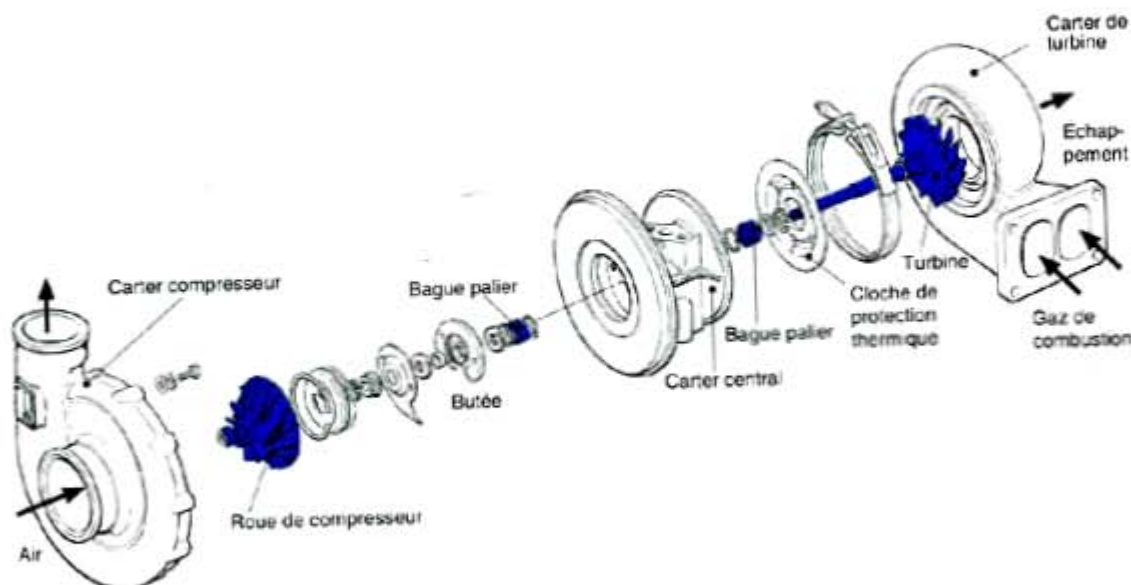


Figure 18. Illustration du sous-ensemble « core-product »

Ces concepteurs commencent par finaliser les caractéristiques géométriques de l'axe de liaison entre la roue turbine et la roue compresseur. Ensuite, en collaboration avec des experts en aérodynamique, en hydraulique et les responsables usinage/assemblage, ils spécifient les caractéristiques et tolérances du sous-ensemble « core-product » afin d'assurer un rendement efficace du turbocompresseur. Pour ce faire, ces acteurs se basent sur des données produites par les équipes innovation. En effet, les composants du « core-product » sont à leur tour composés d'autres pièces définies auparavant par les équipes innovation. Par exemple, le carter central est composé d'un carter, d'une manivelle, de deux goupilles (interne et externe), d'une douille, d'un bras et d'une goupille élastique. Cet ensemble est prédéfini par les équipes innovation. Ainsi, afin de spécifier les caractéristiques du « core-product » et de s'assurer de l'efficacité et de la qualité du produit, les équipes innovation participent à son développement.

La **Figure 19** présente à l'aide d'un diagramme d'activité une vue d'ensemble du processus de conception de turbocompresseur ainsi décrit. Nous soulignons le caractère multidisciplinaire du processus de conception. Divers acteurs de différents domaines participent au développement d'un turbocompresseur ; au moins huit différents métiers (aérodynamique, hydraulique, calcul de structure mécanique, usinage par rectifieuse, moulage, résistance des matériaux, dynamique des concentrations (EGR²⁴) et designer²⁵)

²⁴ Exhaust Gas Recirculation

participent à la définition d'un turbocompresseur. Nous notons aussi, que différents échanges de données sont effectués afin de progresser dans le processus de développement (certains échanges ne sont pas décrits, comme ceux avec le client ou avec les sous-traitants). En effet, plusieurs données sont dépendantes et la réalisation de l'une dépend de la réalisation de l'autre. Ces dépendances sont liées aux différentes contraintes qui existent entre les données. Ces contraintes peuvent être imposées par le client (interface moteur / carters turbine et compresseur), ou bien correspondent aux contraintes fonctionnelles entre les composants du turbocompresseur (traduites parfois par des équations mathématiques, des abaques, des standard, etc.).

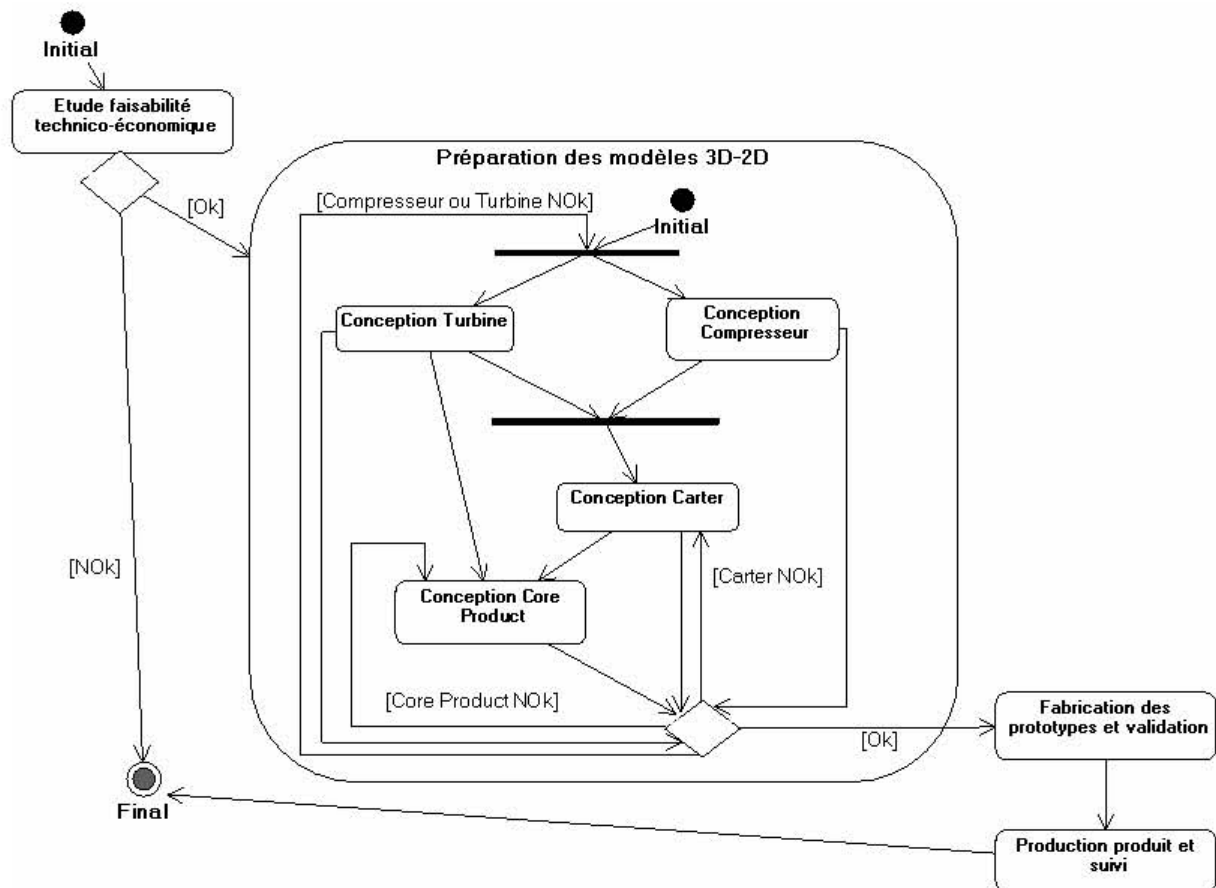


Figure 19. Processus de conception d'un turbocompresseur

C'est à ces dépendances entre données de conception que nous nous sommes intéressés dans ce travail afin de définir l'équipe de négociation et supporter la propagation d'impacts. Le restant de ce chapitre est consacré à la formalisation de ces dépendances dans un réseau représentant et caractérisant ces liens (Section 3) et à la définition d'une méthodologie permettant d'obtenir ce réseau dans un contexte de conception donné (Section 4). Au

²⁵ Le métier « designer » se réfère à l'acteur responsable de la réalisation des modèles CAO 2D et 3D

préalable, un état de l'art des travaux qui se sont intéressés aux dépendances entre données est présenté (Section 2) afin d'étudier les solutions déjà proposées et de cibler notre apport dans la formalisation des dépendances entre données de conception.

2 État de l'art sur la dépendance entre données

L'étude des liens de dépendances entre les données manipulées durant le processus de conception a retenu l'intérêt de plusieurs travaux, du fait que ces liens permettent d'un côté d'assurer la cohérence du produit à concevoir et d'un autre côté, d'organiser au mieux le planning d'exécution du processus de conception.

Avant de développer ces travaux, nous nous attardons dans le paragraphe qui suit sur la définition même du lien de dépendance. De nombreuses définitions existent dans la littérature pour exprimer un lien de dépendance entre deux données de conception.

Kusiak et Wang (Kusiak et Wang 1995) statuent que la dépendance entre deux variables est l'effet que peut engendrer une modification de la valeur de l'une des variables sur l'autre. Les auteurs distinguent deux types : dépendance qualitative et dépendance quantitative. Selon Wang et Jin (Wang et Jin 1999, 2000), un composant A dépend d'un autre composant B si la complétion du composant A dépend du composant B. Macabies (Macabies *et al.* 2000) et Giguère (Giguère *et al.* 2002) parlent plutôt de lien technologique entre deux entités défini comme étant une relation entre deux éléments avec des spécifications technologiques. Ils parlent également de lien dérivatif qui représente une relation unidirectionnelle entre une entité source et une entité cible ; c'est-à-dire l'entité cible est générée à partir de l'entité source. Ainsi, afin de créer un lien entre deux entités, ces dernières doivent répondre aux critères suivants : avoir une représentation géométrique normalisée, avoir un identifiant unique et avoir une spécification technologique. Pour Castelfranchi (Castelfranchi *et al.* 1992) et Sichman (Sichman *et al.* 1994 ; Sichman et Conte 2002), dans le cadre de système multi-agents, un agent ag_i est dépendant d'un autre agent ag_k si l'agent ag_i ne peut atteindre son objectif sans l'intervention de l'agent ag_k . Enfin, selon Sudarsan (Sudarsan *et al.* 2003), un lien de dépendance décrit les liens de décomposition physique et fonctionnelle que peuvent exister entre deux données. Les auteurs se basent sur le modèle produit (CPM²⁶), proposé par

²⁶ CPM – Core Product Model

Fenves (Fenves 2001), pour représenter les données relatives au produit : la fonction, la forme et le comportement ainsi que la décomposition physique et fonctionnelle du produit.

Ces définitions révèlent des caractéristiques différentes du lien de dépendance. Certaines sont relatives à l'effet d'une donnée sur l'autre. D'autres sont plutôt relatives à la nature des données considérées dans le lien de dépendances ainsi que le type de dépendance (lien technologique, lien de décomposition physique, etc.).

Nous pouvons ainsi classer les travaux passés en revue dans cette section en deux catégories, selon le problème adressé ; ceux relatifs à la **qualification** des liens de dépendances et ceux relatifs à la **quantification** de ces liens. Par **qualification**, nous entendons les travaux qui ont essayé de distinguer différents *types ou natures de dépendance en fonction des origines de cette dépendance*. Par **quantification**, nous désignons les travaux qui se sont intéressés à *évaluer l'ampleur et les répercussions d'un changement d'une donnée affectée par une autre*.

Nous soulignons que sur l'ensemble des travaux étudiés, les travaux qui se sont focalisés sur la qualification du lien de dépendance s'adressaient principalement à la problématique de la gestion de dépendances entre les données afin d'assurer la cohérence entre les données et d'assurer l'interopérabilité des systèmes qui gèrent ces données. Quant aux travaux qui se sont focalisés sur la quantification du lien de dépendance, ils s'adressaient essentiellement à l'évaluation des relations entre données en proposant des mécanismes de quantification.

2.1 Travaux sur la qualification du lien de dépendance

Afin de guider et de faciliter la collaboration entre différents acteurs, Wang et Jin (Wang et Jin 1999, 2000) proposent un ensemble de patrons pour la décomposition des liens de dépendances *complexes* en des liens de dépendances *simplifiés*. Cette décomposition permet essentiellement d'éviter les dépendances cycliques qui peuvent être une cause d'itérations et de plus de temps de développement. Les auteurs identifient quatre types de dépendances :

- une *dépendance naturelle*²⁷ exprimant une relation physique entre deux composants telle que les lois de transfert de chaleur.
- une *dépendance de produit*²⁸ qui se réfère aux liens géométriques ou fonctionnels qui peuvent exister entre composants d'un même produit.

²⁷ Natural Dependency

²⁸ Product Dependency

- une *dépendance de tâche*²⁹ qui se réfère aux contraintes de ressource entre deux processus de conception distribués.
- une *dépendance de ressource*³⁰ pour exprimer les besoins d'échange d'information et de communication entre les acteurs afin de résoudre les conflits qui surviennent durant le processus de conception.

Dans un contexte de conception distribuée, Dong et Agogino (Dong et Agogino 1998) proposent de gérer les données CAO en introduisant le concept de « Smart Drawing ». Un « Smart Drawing » permet de lier des entités et modèles CAO à des documents. Ainsi, il est possible à partir du « Smart Drawing » de naviguer d'un modèle CAO vers un autre tout en accédant en même temps à sa documentation. Les liens peuvent être de deux types. Le premier type de dépendance est dit *bidirectionnel*, par exemple, entre une entité CAO et une base de données relationnelle ou une application. Le second type de dépendance est dit *associatif*, par exemple, un document CAO et un e-mail discutant le contenu du document CAO. Cependant, si un changement survient, la modification n'est propagée qu'au niveau document (par exemple, mise à jour de la nomenclature lors d'une modification ou d'un ajout d'un nouveau document). Les contraintes ne sont pas vérifiées si une entité CAO est modifiée et qui peut contredire les spécifications de conception.

Dans un contexte de gestion de données techniques relatives à la représentation de produit durant son cycle de développement, de nombreux modèles de représentation s'appuient sur des liens exprimant une relation particulière entre les différents éléments de produit concernés. Selon Maurino (Maurino 1995), la structure de produit représente les niveaux successifs de décomposition du produit en objectifs techniques ; elle est constituée des *liens de composition* et des *liens d'interface* (cf. **Figure 20**).

²⁹ Task Dependency

³⁰ Designer Dependency

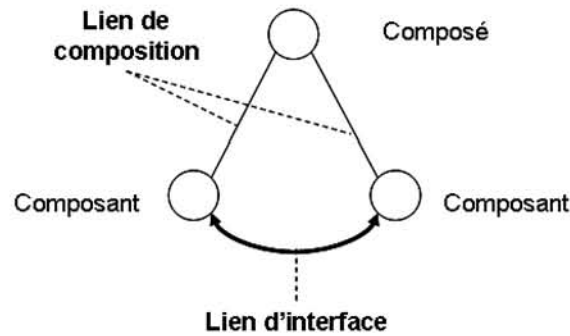


Figure 20. Lien de *composition*, lien d'*interface* (Maurino 1995)

Le lien de décomposition sert à lier une relation de type : « X est composant de Y ». Ce lien est porteur d'informations telles que :

- l'identification du lien : nature du lien (composition), type de structure et type de configuration,
- la qualité du composant entrant dans le composé (lien entre articles ou exemplaires),
- la validité du lien (date de création, date de préemption, ...).

Quant au lien d'interface, son rôle est d'associer de façon transversale plusieurs objets techniques au sein d'une même structure du produit. Ce type lien permet :

- d'exprimer la compatibilité entre différents éléments du produit en représentant, par exemple, les contraintes entre différents composants,
- de donner une représentation multi-vue d'un produit et ainsi de donner à chaque intervenant sa vision du produit.

Selon Bidarra (Bidarra *et al.* 2002), il est important de disposer d'une représentation multi-vue d'un produit dans un environnement de conception collaborative, du fait de la diversité des métiers qui participent à la conception d'un produit. Cependant, des redondances de données, utilisées dans deux représentations différentes, résultent des représentations multi-vues comme le décrit l'exemple fourni dans (Bocquet 1998) : la donnée fonctionnelle *surface dressée* (représentée comme une forme caractéristique ou *feature*³¹ (GAMA 1998)) n'est pas distinguée de la surface qui a été dressée dans le processus d'usinage, et pourtant la première notion est une donnée produit fonctionnelle et la deuxième est une donnée produit provenant des spécifications du processus d'usinage. Selon Tollenaere (Tollenaere 1998), la redondance

³¹ Un groupement sémantique (atome de modélisation) caractérisé par un ensemble de paramètres, utilisé pour décrire un objet indécomposable utilisé dans le raisonnement relatif à une ou plusieurs activités liées à la conception.

d'information de toutes natures dans un système informatique conduit à de multiples difficultés (voire des impossibilités) lors des modifications ou des évolutions du système. Un autre type de redondance peut surgir à cause de la diversité de dénomination. Cette diversité peut provenir du fait que les mêmes concepts peuvent avoir des noms différents, ou, inversement, des concepts différents peuvent être désignés par le même nom (El Hadj Mimoune 2004). Par conséquent, limiter les redondances est une nécessité dans un environnement de recherche de solutions où par nature, les concepts sont amenés à évoluer.

Dans (Sudarsan *et al.* 2005), les auteurs proposent un cadre de modélisation des informations relatives au produit pour palier aux besoins du concept PLM³² défini comme étant le concept qui permet une parfaite intégration des informations de conception tout le long du cycle de vie du produit. L'environnement de modélisation proposé se base essentiellement sur le modèle produit CPM (Fenves 2001), le modèle d'assemblage OAM (Sudarsan *et al.* 2003), le modèle d'intégration DAIM (Fenves *et al.* 2003) et le modèle d'évolution de famille de produit PFEM (Wang *et al.* 2003) ; tous ces modèles sont issus de travaux entrepris au NIST³³. Dans cet environnement, les relations de dépendances entre les données sont gérées principalement par le module OAM. Différentes catégories de relation d'assemblage sont gérées par ce module. La première catégorie est la « Relative Motion », elle représente le mouvement relatif entre deux ou plusieurs artefacts qui ne sont pas physiquement liés et décrit les contraintes de mouvement. La deuxième catégorie est la « Connection » qui représente une connexion entre deux ou plusieurs artefacts qui sont physiquement liés. Trois types de connexion existent : « Fixed », « Movable » et « Intermittent ». Ces relations sont soumises à des contraintes qui sont représentées principalement par les attributs suivants : « ParametricAssemblyConstraint » (ISO10303-108 2003), « KinematicPair » (ISO10303-105 1996) et « Relative Motion ».

Plusieurs travaux se sont intéressés à la notion de contrainte entre données afin d'assurer la cohérence du produit à concevoir, cette contrainte exprime le ou les liens de dépendances entre les données de conception. Parmi ces travaux, nous notons ceux de Yannou, Sellini et Vareilles (Yannou 1998 ; Sellini 1999 ; Vareilles 2005) qui ont proposé des environnements d'aide à la décision en conception. Un ensemble de règles de satisfaction de contraintes est

³² The Product Lifecycle Management (PLM) concept holds the promise of seamlessly integrating all the information produced throughout all phases of a product's life cycle to everyone in an organization at every managerial and technical level, along with key suppliers and customers (Sudarsan *et al.*, 2005).

³³ NIST : National Institute of Standards and Technology. USA

proposé afin d'assurer la cohérence de l'évolution des données durant le processus de conception.

Selon Sellini (Sellini 1999), le choix des solutions techniques, durant le déroulement du processus de conception, imposent l'abandon ou le choix impératif d'une solution pour des raisons de compatibilité. Afin d'aider la prise de décision, Sellini propose d'utiliser les cardinalités sur les relations entre articles ainsi que des connecteurs sur relation. Les cardinalités (**Tableau 2**) permettent de distinguer les options des variantes, alors que les connecteurs (**Figure 21**) permettent de poser des contraintes entre les différents articles. Quatre sémantiques sont définies pour les relations inter-liens (contraintes). Le connecteur entre deux articles se représente en UML par une classe d'association sur le lien d'association reliant les deux classes articles. Les types des connecteurs retenus sont « ET », « OU », « implication » et « OU Exclusif ».

1..n	Le lien a un caractère obligatoire (variantes)
0..n	Le lien est optionnel (options)

Tableau 2. Cardinalités sur relation (Sellini 1999)

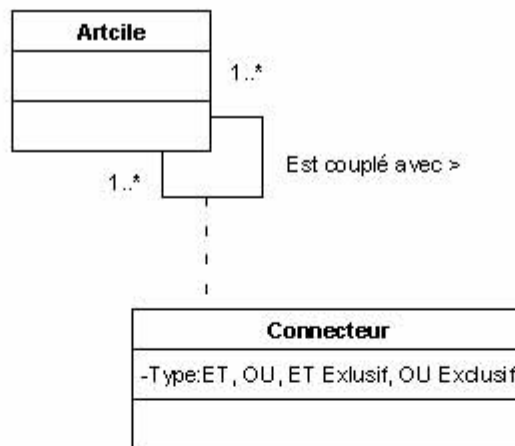


Figure 21. Les connecteurs de compatibilités d'assemblages des articles (Sellini 1999)

Yannou (Yannou 1998) et Vareilles (Vareilles 2005) proposent, dans leurs travaux respectifs, des outils d'aide au choix de solutions en conception de produits, dans le but de maintenir la cohérence du produit et de son processus de conception. Ces travaux se basent essentiellement sur les techniques de satisfaction des contraintes entre variables afin de choisir une solution à un problème de conception. Pour cela, différents types de contraintes sont proposées afin de caractériser les liens entre les variables d'un problème de conception. C'est à travers les

contraintes que les choix de conception transitent pour supprimer les alternatives incompatibles avec les choix effectués.

Dans (Yannou 1998), en se basant sur les travaux de (Janssen 1990), deux types de contraintes sont distinguées ; les contraintes de *validation* et les contraintes de *préférence*. Les contraintes de validation sont des contraintes « dures », qui doivent toujours être vérifiées. Les contraintes de préférence sont des contraintes « souples », qui indiquent juste des penchants du concepteur.

Vareilles (Vareilles 2005) parle plutôt de contraintes de *compatibilité* et de contraintes d'*activation*. Les contraintes de compatibilité permettent de définir les combinaisons de valeurs autorisées pour un ensemble de variables. Les contraintes d'activation permettent d'ajouter ou de supprimer des variables au problème de conception courant.

2.2 Travaux sur la quantification du lien de dépendance

Si la qualification des liens de dépendances entre les données a reçu beaucoup d'intérêt dans la littérature, rares sont les travaux qui se sont intéressés à la quantification de lien de dépendance entre données. En effet, la quantification du lien de dépendance entre données est le critère le moins simple à traiter.

Parmi les travaux qui se sont intéressés à la quantification de dépendances entre données, nous notons la proposition de Kusiak et Wang (Kusiak et Wang 1995). Après une évaluation qualitative du lien de dépendance, les auteurs proposent de quantifier le lien de dépendance. Les auteurs préconisent que la quantification du lien de dépendance est nécessaire pour pallier l'imprécision de la qualification. Pour ce faire, les auteurs proposent de calculer le taux de changement d'une variable affecté par une autre. Cette valeur peut être dérivée à partir des connaissances, des compétences et des expertises des acteurs de conception. Une définition mathématique de la dépendance quantitative est proposée :

Soit a et b deux variables de conception. La relation entre a et b est représentée comme « $b = a a^n$ » ; c'est-à-dire b est proportionnel à a à la puissance n . Le taux de changement entre a et b est exprimé comme suit :

$$\frac{\Delta b}{b} = n \frac{\Delta a}{a} \quad (1)$$

L'équation (1) peut être interprétée comme suit : « si a change de $r\%$, alors b changera de $nr\%$ ». L'indice n est utilisé pour mesurer la dépendance quantitative entre les variables a et b .

D'autres travaux, comme ceux de Mokhtar et Li (Mokhtar *et al.* 2000 ; Li *et al.* 2004), proposent de quantifier les dépendances pour gérer les demandes de modifications. Afin de choisir la meilleure stratégie pour la gestion des modifications, Mokhtar propose de quantifier le lien de dépendance en se basant sur le calcul du coût qu'engendre une modification ainsi que la durée nécessaire pour son exécution. En effet, afin de résoudre un problème lié à une modification d'une donnée, plusieurs alternatives peuvent coexister. Chaque alternative est alors évaluée selon le coût qu'elle peut engendrer ainsi que le temps nécessaire pour son déploiement. Cette quantification permet donc aux managers de prendre la décision sur le chemin que doit suivre la modification. Cependant, Li estime difficile de calculer précisément le temps nécessaire pour exécuter les activités impactées par une modification. Il propose de remplacer ce critère par le nombre d'activités impactées par une modification.

La dernière proposition que nous avons recensé dans la littérature, pour la quantification des liens de dépendances entre les données de conception, est celle présentée dans (Vareilles 2005). Afin de modéliser les contraintes de *compatibilité* et d'*activation*, Vareilles utilise les tables de compatibilités et les expressions mathématiques dites « simples » et « complexes ». Les tables de compatibilités permettent de représenter sous forme tabulaire des listes de n -uplets de valeurs autorisées. Chaque combinaison de n -uplets est mise sous forme de tuple autorisé. La combinatoire exprimée sous forme de table de compatibilité correspond à un sous-ensemble du produit cartésien des domaines des variables participant à la contrainte. Les expressions mathématiques sont, quant à elles, utilisées pour calculer des paramètres de conception ou pour représenter des lois physiques et des résultats d'expérimentations. Cette formalisation mathématique est un support pour les concepteurs pour vérifier leurs choix de solutions et ce à l'aide de règles d'influence dérivées de cette formalisation, comme décrit par l'exemple fourni dans (Vareilles 2005). Par exemple, la présence d'un trou débouchant à l'intérieur de la pièce et la direction perpendiculaire de la gravité par rapport à son axe vont entraîner l'apparition d'une déformation dite d'ovalisation.

2.3 Synthèse

A travers cette étude bibliographique concernant la qualification et la quantification des liens de dépendances entre données de conception, nous n'avons pas cherché à être exhaustifs dans les différentes propositions. Le but était de comprendre comment les travaux précédents abordent la problématique de qualification et de quantification d'un lien de dépendance entre deux données de conception. Il est apparu, de l'analyse de la littérature présentée, que les

liens de dépendances entre les données sont issus de la logique de conception déployée durant le développement de produit et de la planification des activités de conception. Ces liens sont toujours porteurs d'une sémantique, et c'est au niveau de cette sémantique que repose toute l'information qui caractérise un lien de dépendance. En effet, cette recherche en largeur nous a permis de recenser les éléments qui caractérisent un lien de dépendance entre données. Un lien de dépendance peut être qualifié par sa *nature* et sa *direction* (cf. **Tableau 3**). Par ailleurs, il peut être quantifié par des expressions mathématiques (Kusiak et Wang 1995 ; Yannou 1998 ; Vareilles 2005) ou des tables de compatibilité (Yannou 1998 ; Vareilles 2005).

Lien de dépendance entre données	
Nature	Lien d'interface et lien de décomposition (Maurino 1995) Contraintes de validation et contraintes de préférence (Yannou 1998) Dépendance naturelle, dépendance de produit, dépendance de tâche et dépendance de ressource (Wang et Jin 1999, 2000) Contraintes de mouvement et connexion (Sudarsan <i>et al.</i> 2003) Contraintes de compatibilité et contraintes d'activation (Vareilles 2005)
Direction	Inférence parallèle et inférence en série (Kusiak et Wang 1995) Bidirectionnelle et associative (Dong et Agogino 1998)

Tableau 3. Qualification d'un lien de dépendance

Outre ces éléments de caractérisation d'un lien de dépendance (**Tableau 3**), nous avons identifié deux autres types de liens de dépendance, la *cohérence* et la *redondance*, qui ont été traités implicitement par les travaux présentés ci-dessus. Ces deux types de liens peuvent s'appliquer aux différentes caractérisations identifiées. Nous revenons plus tard sur ces concepts de redondance (§3.2.1.3) et de cohérence (§3.2.1.4).

Les approches présentées ci-dessus apportent des éléments de réponses aux problèmes de gestion des dépendances entre les variables de conception. Cependant, il n'en demeure pas moins qu'il reste encore quelques manques pour la qualification et la quantification d'un lien de dépendance entre données. Parmi les limites des approches proposées nous notons :

- Premièrement, l'intérêt de la plupart des travaux soit à la qualification du lien de dépendance soit à la quantification de ce lien. Selon (Kusiak et Wang 1995), quantifier le lien de dépendance entre les données est important afin de pallier l'imprécision de la qualification qu'on peut rattacher à ce lien.
- Deuxièmement, les qualifications, proposées dans les travaux étudiés, ne tiennent pas compte des différents types de dépendances que nous pouvons rencontrer lors du déroulement du processus de conception. Par exemple, la proposition de (Kusiak et Wang

1995), en qualifiant les dépendances de qualitatives et quantitatives, ne prend pas en compte les dépendances entre deux éléments qui sont de natures différentes comme décrit dans (Wang et Jin 1999, 2000). Alors que les travaux de Wang et Jin, en proposant une qualification des dépendances selon la nature des entités étudiées (processus ou donnée), ne prennent pas en compte l'évaluation de l'impact des modifications d'une entité sur une autre.

- Troisièmement, une des limites des travaux cités ci-dessus c'est qu'ils ne proposent pas d'identifier les liens de dépendances. Ils se basent sur des modèles de processus connus à l'avance. Autrement dit, les différentes activités du processus sont prescrites avant le lancement du développement du produit. Ainsi, tous les liens de dépendances entre les données produites et consommées sont supposés être connus *a priori* (i.e. avant le lancement du processus de conception). Or, lors de l'exécution des activités, de nouvelles dépendances entre les données émergent du fait du savoir-faire déployé par les acteurs qui change d'un acteur à un autre, mais aussi du caractère innovant et émergent de la conception.
- Finalement, aucun travail n'a proposé de pondérer les liens de dépendances entre données afin d'évaluer leurs importances.

Ainsi et comme nous l'avons précédemment annoncé, l'objectif de ce chapitre est, après cet état de l'art, de formaliser les liens de dépendances dans un réseau en qualifiant et en quantifiant les divers liens de dépendances (Section 3). Pour la qualification des liens de dépendances, nous nous sommes intéressés à la nature la dépendance entre données de conception ainsi qu'aux dépendances de types cohérence et redondance. Cette qualification nous permettra d'identifier l'équipe de négociation à inviter pour la résolution de conflits. Quant à la quantification, nous proposons dans ce travail de pondérer le lien de dépendance afin de valuer son importance. La quantification du lien de dépendances de données est très utile pour la propagation d'impact des modifications qui sont générées par la solution retenue au conflit.

3 Le réseau de dépendances des données

Plusieurs travaux mettent l'accent sur l'intérêt de la représentation du réseau de dépendances de donnée et comment le visualiser afin de faciliter son interprétation (Sowa 1984), (Kusiak et Wang 1995), (Salomons *et al.* 1995) et (Sichman et Conte 2002). Le réseau de dépendances de données est un graphe orienté composé de nœuds et d'arcs (cf. **Figure 22**). Les nœuds correspondent aux données manipulées durant le processus de conception et les arcs correspondent aux dépendances qui relient les données entre elles (un arc orienté de D2 vers D1 signifie que D1 dépend de D2). Dans ce qui suit nous présentons en détail ces deux concepts.

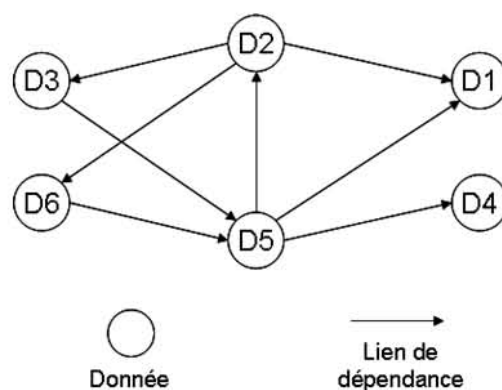


Figure 22. Composants du réseau de dépendances de données

3.1 Les nœuds du réseau

Les activités collaboratives sont guidées et supportées par plusieurs données tout au long du processus de conception. Des travaux, tels que (Finger *et al.* 1995 ; Jeantet 1998 ; Laureillard 2003 ; Karlsson *et al.* 2005) ont mis l'accent sur le rôle des objets dans la modélisation du futur produit. Ces derniers décrivent les données échangées au cours du processus de conception comme étant un vecteur de communication et de médiation entre les différents acteurs impliqués dans la conception du futur produit. L'évolution de ces données d'une activité à une autre peut être considérée comme un indicateur de l'évolution du processus de conception étant donné qu'elles représentent le modèle du futur produit. Ce sont ces données qui constituent les nœuds du réseau de dépendances que nous proposons de formaliser.

Comme nous pouvons le constater du cas d'étude présenté auparavant (§1), les données n'ont pas toutes les mêmes caractéristiques. En fonction du type, du degré de granularité, du format

et de l'état de données manipulées, nous distinguons différentes catégories de données constituant les nœuds du réseau. Nous présentons ci-dessous chacun de ces quatre facteurs de classification.

- *Type de donnée* : il ressort de l'étude des travaux sur la modélisation de produit (Umeda *et al.* 1990 ; Afnor 1995 ; Pahl et Beitz 1996 ; Gzara 2000 ; Hu 2000 ; Noel *et al.* 2004 ; Bettaieb 2005) que la plupart d'entre eux distinguent différents types de données produit : fonctionnelle, structurelle, comportementale et géométrique. La notion de fonction est définie par l'Afnor (Afnor 1995) comme étant l'« action d'un produit ou de ses constituants ». Les fonctions décrivent de manière abstraite les finalités d'un objet et peuvent être de deux catégories : les fonctions de services et les fonctions techniques. Quant à la notion de structure, Chandrasekaran (Chandrasekaran 1994) la définit comme étant la spécification de l'ensemble des composants qui constituent le produit et les relations entre ces composants. Le pont entre ces deux notions est, selon Gero (Gero *et al.* 1991), défini par le comportement du produit. Le comportement décrit la dynamique d'un objet et peut comprendre un ensemble de lois et de règles. Enfin, nous retrouvons les données de type géométrique souvent appelées « feature ». Bernard (Bernard 1999) présente les features comme « des ensembles d'informations qui se réfèrent à des aspects de formes et à d'autres attributs du produit ou sur son processus de fabrication ». Selon Gzara (Gzara 2000), le concept de feature sert à définir le passage de la conception à la réalisation de pièces mécaniques en décrivant les pièces à l'aide de forme géométriques pour lesquelles un processus de réalisation est connu.

Outre, ces quatre types communs à la plupart des travaux mentionnés précédemment, Labrousse (Labrousse 2004) présente un autre type de donnée ; l'effet externe, qui le définit comme étant un élément qui agit en tant que contrainte (positive ou non) sur le système produit/processus/ressource considéré et qui influe sur le déroulement des activités.

Pour illustrer cette notion de *type de donnée*, nous reprenons le cas d'étude présenté dans la section 1 de ce chapitre. Dans ce cas d'étude et afin de définir son sous-ensemble turbine et axe de liaison, le concepteur turbine se base sur *le cahier des charges fonctionnel* du turbocompresseur, établi conjointement par le chef de projet et le client (donnée d'admission de gaz d'échappement sous certaines conditions thermiques). La définition du *sous-ensemble* consiste par ailleurs à définir *les éléments qui le composent* (roue turbine et axe de liaison). Ensuite, il définit *les caractéristiques géométriques* de la

roue turbine (diamètre roue turbine, forme des ailettes, etc.) et l'axe de liaison (longueur, diamètre, etc.) enfin, *le comportement* du sous-ensemble pour évaluer sa performance.

Dans ce travail de thèse, nous avons retenons les quatre types de données qui sont : fonctionnel, structurel, comportemental et géométrique.

- *Degré de granularité de donnée* : durant le processus de conception, les acteurs s'échangent des données de diverses granularités. Cela va des données « composées » ou « étouffées », telles que les modèles CAO, les documents (normes ou procédures) ou les notes de calcul, à des données « élémentaires » telles qu'une dimension, le code d'un matériau ou une forme. Bien que l'ensemble des données composées soit important dans la structuration, la gestion et le suivi des résultats du processus de conception, plusieurs études conduites dans différentes entreprises (par exemple le projet européen SIMNET³⁴), ont montré que les acteurs pendant le processus de conception réalisent leurs activités et les suivent non pas en termes de création et de suivi de documents mais en terme d'évaluation des valeurs de *paramètres de conception* ainsi que les liens entre ces derniers.

Le concept de paramètre de conception a été mentionné par Suh (Suh 2001) pour décrire les variables physiques clés du domaine physique de son approche « axiomatic design ». Cette vision a été reprise dans le projet SIMNET (Rouibah et Caskey 2003b) (Yang *et al.* 2004). Ces auteurs utilisent la notion de paramètre de conception pour décrire les informations qui régissent le processus de conception, c'est-à-dire avec lesquelles les acteurs définissent le produit en cours de la conception. Selon Li *et al.* (Li *et al.* 2004), un paramètre est l'élément le plus élémentaire d'un modèle de processus de conception de produit, il représente l'objet à résoudre durant l'activité de conception. Un paramètre peut être une dimension géométrique, cycle de vie ou fiabilité du produit ou autre, et peut varier selon un intervalle de valeur continu ou discret.

Pour illustrer cette notion de *degré de granularité de donnée*, nous reprenons le cas d'étude présenté dans la section 1. Dans ce cas d'étude, *durant l'action de conception « définir le sous-ensemble compresseur », le concepteur compresseur produit un livrable qui est représenté par le modèle 3D CAO du compresseur. Cependant, pour atteindre cet objectif, ce dernier doit définir des données plus élémentaires telles que, le diamètre ou le matériau de la roue compresseur.*

³⁴ Workflow Management for Simultaneous Engineering Networks (SIMNET). SIMNET est un projet européen créé par la commission européenne : ESPRIT programme (EP 26780).

Dans ce travail de thèse, divers degrés de granularité de données sont pris en compte selon le besoin d'utilisation (production ou consommation) des acteurs de conception. Nous distinguons deux niveaux de granularité, les données élémentaires qui représentent les paramètres de conception et les données composées qui se présentent sous forme d'un ensemble de paramètres liés entre eux. En effet, il est impossible d'avoir un niveau élémentaire pour toutes les données de conception, d'autant plus que dans certains cas, un niveau élémentaire est sans intérêt comme pour les abaques ou les graphiques.

- *Format de donnée* : lorsque le processus de conception est supporté par un système d'information informatisé, tels que les SGDT³⁵, les acteurs sont amenés à créer, modifier ou consulter des instances de classes ou des valeurs d'attributs. L'ensemble des données de conception manipulées est en effet structuré en classes caractérisées par des attributs et liées entre elles (Gzara 2000). Ces classes, attributs et liens sont souvent définis initialement par l'administrateur dans le méta-modèle du système et les concepteurs, utilisateurs du système, ne font la plupart du temps qu'instancier les classes et les liens ou valuer les attributs. Il arrive, toutefois, qu'ils éprouvent le besoin pour créer une nouvelle classe, un nouveau lien ou un nouvel attribut, lorsqu'il n'existe pas dans le méta-modèle un contenant convenable à la donnée qu'ils manipulent.

Pour résumer, la manipulation d'une donnée lors d'une activité de conception revient à instancier une classe, instancier un lien ou valuer un attribut. Dans de rares cas, cela revient à rajouter une nouvelle classe, un nouveau lien ou un nouvel attribut. Pour illustrer ces propos, et toujours en se référant au même cas d'étude présenté dans la section 1, *lors de la définition des spécifications du turbocompresseur, le chef de projet crée dans la base de données partagée une nouvelle classe pour le produit à développer. Cette classe est ensuite instanciée, par l'équipe responsable de la réalisation du produit, pour référencer le turbocompresseur qui sera livré au client, en spécifiant certaines informations, ce qui correspond à la valuation de certains attributs de la classe turbocompresseur, comme par exemple, le type de moteur sur lequel le turbocompresseur sera monté, le constructeur de la voiture, etc. Ensuite, au fur et à mesure que la*

³⁵ SGDT – Systèmes de Gestion de Données Techniques : outils logiciels intégrés permettant de consolider et redistribuer l'ensemble des informations de définition du produit, d'en organiser, gérer et contrôler les accès, les modifications, le partage, le groupement, la sécurité, l'approbation des données techniques, créées sous différents formats et d'assurer l'archivage des données techniques dans un environnement hétérogène et distribué (Gzara, 2000)

conception progresse, les concepteurs créent et/ou instancient des classes et rajoutent et/ou valuent les attributs de ces classes afin de définir le produit.

Afin de prendre en compte l'ensemble des données manipulées durant le processus de conception, les données quelles soient sous la forme d'une classe, d'un lien ou d'un attribut sont toutes considérées dans ce travail de thèse. Ceci nous permettra essentiellement d'identifier les liens de dépendances existants entre des données qui sont de formats différents.

- *Etat de donnée* : tout au long du processus de conception rattaché au produit, celui-ci change d'un état à un autre au fur et à mesure de l'exécution des différentes activités décisionnelles lors de ce processus. Selon l'évolution de la donnée, Bettaieb (Bettaieb 2005) distingue quatre états qu'une donnée peut avoir durant son cycle de vie : « nouvelle », « supprimée », « modifiée » et « inchangée ». D'un autre côté, Saint-Marc (Saint-Marc *et al.* 2006) propose deux états que peut avoir une donnée, « standard » et « courant », qui représentent l'ensemble des informations structurelles (partielles ou complètes) et leurs valeurs associées. Enfin, nous citons la classification proposée par Grebici (Grebici 2007) où une donnée peut avoir quatre états durant son cycle de vie : « brouillon », « pièce à conviction », « trace-habilité » et « livrable ». C'est cette dernière classification, représentant convenablement l'évolution d'une donnée durant le processus de conception, qui a été retenue dans ce travail de thèse. Nous détaillons dans ce qui suit cette classification.

L'état « brouillon » se réfère aux données qui sont définies par un acteur isolément et qui restent dans l'espace de travail personnel de cet acteur. *Ceci est le cas du concepteur turbine qui définit les caractéristiques de l'axe de liaison roue turbine/roue compresseur.* L'état « pièce à conviction » se réfère aux données auxquelles s'applique une modalité de persuasion en rapport avec ce qui est représenté soit pour convaincre de l'existence d'un problème soit pour donner à voir une solution et permettre la construction conjointe et l'échange de point de vue. *Au regard de l'étude de cas présentée dans la section 1, suite à la définition des caractéristiques de l'axe de liaison, le concepteur turbine fait appel au concepteur compresseur pour avoir son avis sur sa proposition, d'autant plus que le concepteur compresseur collaborera avec le concepteur turbine pour finaliser l'axe de liaison.* L'état « trace-habilité » se réfère aux données auxquelles s'applique une modalité de consentement à la circulation sans contrainte. C'est une donnée qui peut être partagée par des acteurs autres que ceux qui ont participé à sa réalisation. *Par exemple, les sous-*

ensembles définis par les équipes innovation tels que le roulement, la plaque arrière, etc. sont partagées entre les différentes équipes et sont accessibles via un système PDM. L'état « livrable » se réfère aux données soumises à des modalités de vérification et de validation formelles. A la fin des différentes phases du développement du turbocompresseur, chaque sous-ensemble est soumis à une revue afin d'approuver et de valider chacune des propositions. Généralement, sont présents à ces réunions d'approbation, chaque responsable de sous-système à valider, le chef de projet, le business manager et parfois un représentant du client (seulement lors de l'approbation du sous-système carter).

- *Version et révision de données* : outre les états que peut avoir une donnée durant le déroulement du processus de conception, il est fréquent de devoir définir plusieurs versions d'un ensemble d'éléments (Bigand *et al.* 2006). Cette évolution se traduit par une modification qui survient pour diverses raisons telles qu'une évolution du besoin, une évolution de la définition du produit pour adapter l'offre ou améliorer la qualité, évolution du processus de réalisation, etc. Une des principales fonctions des SGDT est la maîtrise de ces évolutions. Différents types d'évolution sont utilisés pour différencier les données modifiées des données initiales. A ces évolutions divers termes clés sont associés, tels que version, révision, correction, modification majeure ou modification mineure (Gzara 2000). Gzara propose une classification de ces différents concepts en fonction de l'objet technique considéré (cf. **Tableau 4**).

Article	Document ou Nomenclature
<u>Version</u> : changement de définition du produit qui n'assure pas son interchangeabilité	<u>Correction</u> : modification éditoriale (modification de la forme du contenu telle qu'une faute d'orthographe) sans impact sur les objets qui dépendent de la représentation. Elle peut ou non être diffusée. <u>Révision</u> : modification sémantique (modification du sens du contenu) qui assure l'interchangeabilité de l'objet (initial et modifié) donc sans impact sur l'ensemble des cas d'emploi de l'objet. Une diffusion de la nouvelle révision à une faible échelle suffit.
<u>Révision</u> : changement de définition du produit qui assure son interchangeabilité	<u>Version</u> : modification sémantique qui n'assure pas l'interchangeabilité de l'objet (initial et modifié) donc ayant un impact sur au moins un cas d'emploi de l'objet. Une diffusion de la nouvelle version à une large échelle est souvent nécessaire.

Tableau 4. Version, Révision et Correction (Gzara 2000)

Dans ce travail de thèse, nous considérons la notion de version pour représenter les modifications apportées à une donnée, auparavant validée. Ces versions sont représentées par un passage à un indice supérieur chez notre partenaire industriel. Cependant, nous

avons choisi, par souci de clarté du réseau de dépendances, de n'afficher que les versions actuelles, tout en gardant la possibilité d'afficher toutes les versions antérieures.

3.2 Les arcs du réseau

Dans le réseau de dépendances de données proposé dans ce travail, les liens de dépendances entre données sont représentés par des arcs orientés. Nous proposons dans ce qui suit des éléments de qualification et de quantification du lien de dépendance. La qualification d'un lien de dépendance est faite au travers des concepts : nature, direction, redondance et cohérence. La quantification du lien de dépendance est faite au travers des concepts : dépendance à la création, dépendance à la modification et degré de dépendance.

3.2.1 Qualification du lien de dépendance entre données

3.2.1.1 Direction du lien de dépendance

L'échange de données entre les activités de conception détermine la direction du lien de dépendances entre les données consommées et celles produites. À défaut de travaux sur les liens de dépendances entre données, nous nous appuyons dans ce paragraphe sur les travaux qui se sont focalisés sur la dépendance entre activités. Yassine (Yassine *et al.* 2001) distingue trois types de dépendance entre activités de conception : l'*indépendance*, la *dépendance* et l'*interdépendance*. L'*indépendance* correspond à la situation où il n'y a pas besoin de donnée en entrée d'une activité qui soit une donnée en sortie d'une autre activité antérieure. La *dépendance* correspond à une situation où une activité dépend d'une activité en amont (elle a besoin d'une donnée en entrée issue d'une activité amont). L'*interdépendance* correspond à une situation où l'activité dépend d'une activité amont qui elle-même dépend de cette activité aval (l'activité A a besoin en entrée d'une donnée produite par l'activité B mais l'activité B a elle aussi besoin d'une donnée en entrée provenant de l'activité A). De la même manière, David distingue trois types de dépendances entre activités de conception : la *dépendance*, l'*indépendance* et le *couplage* (David 2004). La *dépendance* exprime un besoin unidirectionnel et impératif de données en entrée. L'*indépendance* traduit une coopération très faible. Le *couplage* traduit une forte coopération souvent cause des itérations de conception.

En transposant cette classification sur le lien de dépendance entre données, nous distinguons deux directions, que peut avoir un lien entre deux données : la *dépendance* et l'*interdépendance* (cf. **Figure 23**). La *dépendance* exprime une direction unidirectionnelle entre deux données dépendantes (D2 dépend de D1). L'*interdépendance* exprime une

direction bidirectionnelle entre deux données dépendantes (D2 dépend de D1 et en même temps D1 dépend de D2).

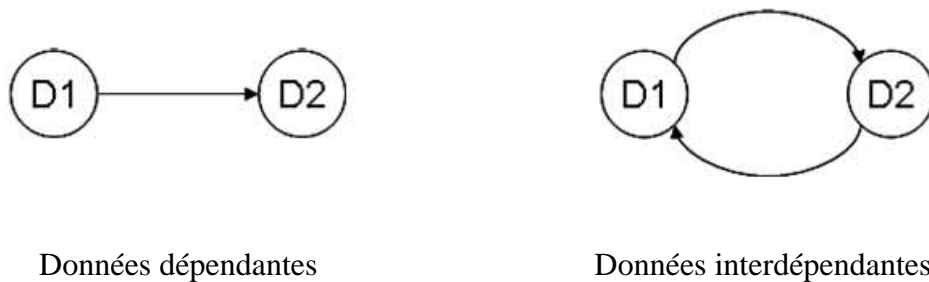


Figure 23. Différentes directions de dépendances entre données

3.2.1.2 Nature du lien de dépendance

Selon la situation de conception dans laquelle les données sont manipulées nous identifions différents types de dépendances entre données selon les dimensions ressource, processus et produit. On parle alors de dépendance inter/intra domaine, de dépendance inter/intra phase et de dépendance inter/intra point de vue.

Dépendance inter/intra domaine : la diversité des savoirs et savoir-faire déployés par les acteurs durant le processus de conception crée un lien de dépendance entre les données manipulées. Ce type de lien dépend du domaine, de l'expertise, des compétences et des connaissances des acteurs qui produisent et utilisent les données de conception. Nous parlons de dépendance *Intra-Domaine* en cas de dépendance entre données qui sont manipulées par des acteurs du même métier et qui possèdent les mêmes connaissances et compétences ; et de dépendance *Inter-Domaine* en cas de dépendance entre données qui sont manipulées par des acteurs de métiers différents.

Dépendance inter/intra phase : Dans une optique de réduction des coûts et des délais du processus de développement de produit, le processus est souvent décomposé en plusieurs phases. Ces phases ne sont pas toutefois totalement indépendantes. Des données sont échangées entre des activités appartenant à différentes phases afin que le processus de conception progresse. Selon la source de provenance de la donnée en entrée d'une activité, deux types de dépendances entre la (les) donnée(s) consommée(s) par l'activité et celle(s) produite(s) sont distingués : (1) dépendance *Intra-Phase* en cas de dépendance entre deux ou plusieurs données qui proviennent de la même phase. Ces données sont échangées suivant les liens de séquençage entre les activités au sein d'une même phase (ce qui correspond à la

notion de *sequence flow* selon la notation BPMN³⁶ (BPMN 2004)) ; et (2) dépendance *Inter-Phase* en cas de dépendance entre des données d'entrée et de sortie qui proviennent d'une phase autre que celle dont appartiennent les activités consommatrices. Ces données sont échangées entre des phases concourantes via des bases de données partagées ou des messages comme les e-mails, fax (ce qui correspond à la notion de message flow selon la notation BPMN (BPMN 2004)).

- **Dépendance inter/intra point de vue** : du fait de la diversité des métiers et des acteurs manipulant les diverses données de conception, les caractéristiques du produit peuvent être décrites et représentées différemment. Ces descriptions traitent ainsi différents aspects complémentaires dans le produit. Les connaissances qui sont décrites dans les représentations sont souvent qualifiées de « multi-facettes » car une variété de représentations est indispensable pour décrire complètement un artefact donné (Katz 1990). Afin d'exprimer une perception particulière du produit, les notions de vue ou de point de vue ont été introduites. La notion de point de vue, selon Harani (Harani 1997), permet la prise en compte des différentes perceptions qu'ont les acteurs du produit. Selon le point de vue des acteurs qui manipulent les données de conception, nous distinguons deux qualifications de dépendances sont distinguées : dépendance *Intra-Point de vue* en cas de dépendance entre deux données qui sont perçues de la même manière par les acteurs responsables des activités consommatrices et productrices de ces données, et dépendance *Inter-Point de vue* en cas de dépendance entre deux données qui sont perçues différemment par les acteurs de conception.

3.2.1.3 Redondance

Comme il l'a été mentionné auparavant, le lien de dépendance de type redondance a été implicitement étudié dans les travaux analysés dans la section 2 de ce chapitre. Ces travaux ont étudié conjointement la cohérence du produit pour éviter la redondance. Cependant, la redondance de données est parfois utile pour mieux comprendre le produit à concevoir. Dans ce qui suit, nous proposons d'étudier quelles sont les causes de la redondance de données dans un processus de conception. Ceci nous permettra d'identifier les liens de dépendances de type redondance et ensuite de discuter de leur utilité.

Dans un environnement de conception collaborative, il est nécessaire d'avoir différentes représentations du produit. Ceci permettra aux acteurs de conception, qui sont de divers

³⁶ BPMN pour Business Process Management Notation

domaines et métiers, de mener à bien leurs activités de conception en ayant différentes interprétations des données qu'ils manipulent. Pour cela il est nécessaire de disposer de différents modèles produit, chacun correspondant à un domaine différent (Bidarra *et al.* 2002). Cependant, ces différents modèles ne doivent pas être indépendants les uns des autres afin de prendre en compte les contraintes décrites par chacun de ces modèles. La modélisation multipoints de vue de produit se veut ainsi une approche adéquate pour l'intégration des différentes représentations du produit. La modélisation des points de vue permet, en se centrant sur un modèle unique, d'éviter l'élaboration de plusieurs modèles indépendants. De façon générale, la sémantique associée à celle de point de vue est polarisée sur la représentation que se fait un acteur de conception d'un objet réel, voire de l'univers de discours. Appliqué à un contexte manufacturier, le point de vue est donc lié au métier de l'acteur et correspond « au regard » que ce dernier porte sur un sous-ensemble du produit, sur un processus de réalisation du produit ou autre. Les différentes descriptions issues de ces points de vue conduisent à des représentations différentes du produit. Nous retrouvons par exemple, l'approche de modélisation multipoints de vue par « feature » proposée par Bronsvoort et Noort (Bronsvoort et Noort 2004) qui prend en compte le point de vue assemblage et le point de vue spécifications géométriques du produit. Cependant, selon les auteurs, cette modélisation intégrée n'est seulement utile que dans le cas où un seul acteur est responsable de la conception complète d'un produit, ce qui n'est pas souvent le cas en pratique. Chacun des participants possède son propre point de vue concernant une spécification particulière du produit. Il résulte de ces multiples et différentes vues, la redondance des données de conception manipulées durant le processus de conception.

Dans ce travail de thèse, nous considérons qu'il y a un lien de redondance lorsque deux données décrivent la même entité mais sont exprimées différemment. Ceci se produit essentiellement quand les deux données appartiennent à deux différents points de vue du produit. En outre, chaque composant d'un produit doit être liée à un ou plusieurs autres composants qui, ensemble, définissent la fonctionnalité du produit conceptuel à concevoir. Par conséquent, plusieurs données de conception définissent une interface commune entre deux composants (raccordement entre deux composants de produit) et décrivent la même entité, et ce en utilisant une expression différente pour chacune d'elles. Dans l'exemple illustré par la **Figure 24**, selon l'objectif de l'acteur impliqué dans le processus de conception du sous-ensemble roue compresseur, axe de liaison et roue turbine, la donnée « diamètre de l'axe de liaison » peut être décrite avec plusieurs expressions différentes : « diamètre de l'axe

de liaison » (pour l'acteur *concepteur core-product*), « diamètre interne roue compresseur » (pour l'acteur *concepteur roue compresseur*) et « diamètre interne roue turbine » (pour l'acteur *concepteur roue turbine*).

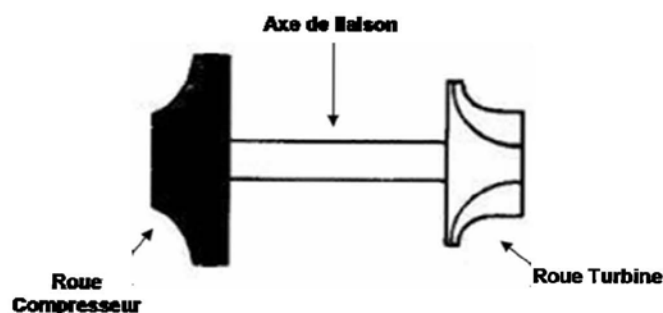


Figure 24. Sous-ensemble Roue compresseur, Axe de liaison et Roue turbine

Par conséquent, il est nécessaire de disposer de mécanismes pour détecter ces liens de redondance entre les données de conception, afin de maintenir la cohérence du processus de conception. Certains travaux tels que ceux proposés dans (Kusiak et Wang 1995 ; Bronsvort et Noort 2004) proposent des mécanismes pour détecter ces redondances et les supprimer. Dans ce travail de thèse, nous proposons d'identifier ce type de lien de dépendance entre données sans les supprimer. Nous laissons, aux acteurs qui utilisent le réseau de dépendances, le choix d'analyser ces liens, surtout que dans certains cas la redondance de données doit être maintenue afin de mieux comprendre le produit à concevoir et résoudre certains problèmes de conception. Cependant, si les acteurs jugent inutile de garder ces liens, les supprimer ne doit pas interférer avec l'objectif final de la conception.

3.2.1.4 Cohérence

Lorsqu'un groupe d'acteurs de conception, finalisé par des objectifs communs, doit collaborer pour atteindre ses objectifs qui se traduisent par le développement du produit, un mode informel d'échange de données de conception s'instaure entre ses membres. Dès lors que :

- la réalisation de cet objectif implique une répartition des tâches entre les différents membres,
- l'échange des données et les situations de collaboration deviennent de plus en plus importants,

des règles et des contraintes de synchronisation des propositions de chacun des membres du groupe de travail doivent être prédéfinies. Cette prédéfinition permet d'assurer la cohérence

des opérations effectuées sur les données de conception, en accord avec les objectifs poursuivis par le groupe.

Dans ce travail de thèse, nous nous sommes intéressés à ces liens de cohérence, que Nuseibeh (Nuseibeh *et al.* 2001) définit comme suit : un lien de dépendance de type cohérence existe entre deux données de conception lorsqu'elles doivent satisfaire une relation qui est prescrite pour être maintenue. Cette relation peut être exprimée avec des contraintes qui peuvent être des contraintes qualitatives ou des règles d'influence, des procédures ou des expressions mathématiques (Raghothama et Shapiro 2000 ; Bronsvoot et Noort 2004). Dans ce travail de thèse, nous ne cherchons pas à recenser l'ensemble des contraintes que peuvent avoir deux données. En effet, les contraintes dépendent essentiellement du domaine d'application et ne peuvent être généralisées à tous les produits manufacturés. Cependant, nous nous intéressons à l'identification de ces contraintes lorsqu'elles existent. Ainsi, les acteurs peuvent être au courant des contraintes à satisfaire lors de l'élaboration de leurs propositions durant le processus de conception. Par exemple, les données « performance de roue de turbine » et « Area/Radius » doivent satisfaire une contrainte qualitative, prescrite pour être maintenue entre elles. En effet, la donnée « performance de roue de turbine » est considérablement affectée si la donnée « A/R » du carter turbine est modifiée, puisque la valeur de « A/R » est utilisée pour ajuster la capacité d'écoulement de la turbine. La contrainte qualitative entre les deux données est exprimée comme suit : Diminuer la valeur de la donnée « A/R » augmentera la vitesse d'admission de gaz d'échappement dans la roue de turbine. Ceci permet d'avoir une puissance élevée de la turbine quand le moteur tourne avec une basse vitesse de rotation. Cependant, une faible valeur de « A/R » entraîne également une réduction de la capacité finale d'écoulement de la roue turbine. Ceci tendra à augmenter la contre-pression du système d'échappement et, par conséquent, à réduire la capacité du moteur de « respirer » efficacement à une grande vitesse de rotation, compromettant ainsi la puissance maximale de moteur.

Un exemple de contrainte sous forme d'équation mathématique peut être le calcul de la valeur de la donnée « trim » qui permet au concepteur carter de définir les carters des sous-ensembles turbine et compresseur. La valeur du paramètre « trim » est calculée, en fonction des données « Exducer » et « Inducer », selon la formule suivante :

$$\text{Trim} = \text{Inducer}^2 / \text{Exducer}^2$$

Plusieurs travaux ont traité la problématique de maintenance de la cohérence entre les données de conception, comme par exemple l'approche de modélisation multipoints de vue pour un développement intégré de produit proposée par Bronsvoot et Noort (Bronsvoot et

Noort 2004). Les auteurs proposent un ensemble de règles pour maintenir la cohérence entre les paramètres géométriques. Ces règles permettent de bien définir le lien de cohérence entre donnée, de vérifier le lien de cohérence ou de proposer une solution pour satisfaire ce lien de cohérence si cela est possible. Dans les pratiques courantes, ces règles sont décrites dans les spécifications du projet, d'autres sont implémentées dans des outils et certaines ne sont pas capitalisées (Nuseibeh *et al.* 2001). Il est donc nécessaire de disposer d'une base de contraintes commune pour répertorier toutes ces relations qui permettent de maintenir la cohérence entre les données de conception.

3.2.2 Quantification du lien de dépendance entre données

3.2.2.1 Dépendance à la création

Selon Wang et Jin (Wang et Jin 1999), deux données sont dites dépendantes si l'une des données ne peut être complétée sans l'autre. Cette définition met en avant une dépendance entre les données lors de leurs créations. Deux données sont dites *dépendantes à la création* si la création de l'une dépend de la création de l'autre.

Quelques études ont essayé de définir des attributs pour exprimer ce lien de dépendance, comme :

- la *pertinence* (Sperber et Wilson 1986) : une donnée de conception est pertinente pour son utilisateur si et seulement si elle a un effet contextuel dans le contexte où elle est utilisée.
- le *niveau d'usage* (Saint-Marc *et al.* 2006) : l'utilisateur qualifie la donnée utilisée de *compréhensible, de consistante, d'exploitable, d'actuelle ou d'acceptable*.
- la *complétude* (Culley *et al.* 2005) : le terme « complétude » est utilisé pour signifier le degré de détail de la donnée utilisée en entrée pour en produire une autre.

Afin d'exprimer un lien entre deux données de type *dépendance à la création*, nous nous sommes intéressés à l'attribut complétude. *La complétude exprime le degré d'utilisation d'une donnée en entrée par rapport aux objectifs de l'utilisateur pour produire une autre*. Cet attribut est la combinaison de l'*ampleur* et de la *profondeur* de la donnée de conception. L'*ampleur* signifie que tous les aspects du sujet sont décrits (Jacobson et Cohen 1996) et la *profondeur* est le degré de détail de la donnée (Beck 2000). La complétude peut être validée par la comparaison de la donnée avec des ressources sur le même thème. Il s'agit de déterminer si les données présentées sont équivalentes. Par exemple, si une donnée est de degré d'abstraction élevé, elle ne répond donc pas à tous les objectifs de ses utilisateurs et par

conséquent, sa complétude est moindre. Si une donnée répond à tous les objectifs de ses utilisateurs, elle est alors considérée comme complète par son utilisateur. Quatre niveaux de la complétude sont définis dans ce travail (cf. **Tableau 5**).

Niveau de complétude	Description des niveaux de l'attribut complétude
0	<i>Non utilisée</i> : la donnée en entrée n'est pas utilisée par l'activité consommatrice pour produire la donnée objective en sortie
1	<i>Partiellement utilisée</i> : une majeure partie de la donnée en sortie peut être produite sans la donnée en entrée
2	<i>Très utilisée</i> : une majeure partie de la donnée en entrée est nécessaire pour produire la donnée en sortie de l'activité consommatrice
3	<i>Totalement utilisée</i> : il est absolument impossible de définir la donnée en sortie sans avoir à disposition une donnée en entrée complète et finalisée

Tableau 5. Niveaux d'évaluation de l'attribut complétude (Ouertani *et al.* 2006a)

La question logique qui se pose, suite à la définition de ces niveaux, est *comment assigner ces différentes valeurs aux données utilisées en entrée de chaque activité de conception*. Ceci peut être effectué en s'appuyant sur un questionnaire basé sur des interviews d'experts et qui permet d'évaluer la complétude d'une donnée (Ouertani et Gzara 2007). Le **Tableau 6** illustre ce questionnaire.

Attribut	Questionnaire
Complétude	<ul style="list-style-type: none"> - Y a-t-il des données de conception équivalentes à celles utilisées en entrée de l'activité de conception exécutée ? - Quel est le niveau d'expertise de l'acteur de conception ? - Quel est le degré d'incertitude de la ou les données utilisées en entrée ? - la donnée répond-elle à tous les objectifs visés par l'utilisateur ? - selon les attentes de l'utilisateur, la donnée en entrée est-elle imprécise ?

Tableau 6. Questionnaire pour l'évaluation de l'attribut complétude

3.2.2.2 Dépendance à la modification

Reprenons la définition de dépendance proposée par Kusiak et Wang (Kusiak et Wang 1995) : une dépendance entre deux données représente l'effet de changement d'une donnée sur une autre donnée. Cette définition met en avant une dépendance entre les données du processus lors de leurs modifications. Deux données sont dites *dépendantes à la modification* si le changement de l'une implique la modification de l'autre.

Plusieurs travaux, du domaine de la science de la gestion et du développement de produit, ont proposé des attributs pour définir un lien de dépendance à la modification. Notons que ces attributs ont été proposés afin d'étudier les liens de dépendances entre les activités de conception lors des échanges de données préliminaires et non pas entre les données de conception. Parmi ces attributs nous notons :

- le *niveau* (Steward 1981b) qui représente l'ordre dans lequel les liens de retour (feedback) entre deux activités interdépendantes doivent être rompus.
- le *classement* (Pimmler et Eppinger 1994) qui permet d'évaluer les niveaux d'importance de dépendance (la valeur 1 correspond à un niveau d'importance élevé et 3 correspond à un niveau de dépendance peu important).
- la *probabilité de répétition* (Browning et Eppinger 2002) qui est la probabilité que l'évolution d'une activité implique des itérations de retraitement sur une autre activité.
- l'*évolution de l'information amont* et la *sensibilité de l'activité aval* (Krishnan *et al.* 1997) : l'évolution de l'information amont se réfère à l'écart possible entre la valeur de l'information (lors de l'échange) et la valeur finale ; autrement dit, l'incertitude sur les informations résultats d'une activité en sortie. La sensibilité de l'activité aval exprime combien cette activité est sensible aux variations des informations consommées en entrée. En d'autres termes, la sensibilité représente le temps de « re-travail » nécessaire à l'exécution des itérations pour intégrer les changements nécessaires.

Dans ce travail de thèse, nous nous sommes intéressés plus particulièrement à l'estimation des attributs évolution et sensibilité tout en les adaptant à la dépendance entre données. Nous utilisons plutôt le terme *variabilité* au lieu du terme évolution pour exprimer les variations survenant dans la valeur d'une donnée. Ainsi :

- La variabilité est *une pondération de la probabilité que la donnée, en entrée de l'activité aval, change après avoir été initialement libérée par l'activité amont*. Une donnée de conception est dite très variable si le concepteur qui est responsable de sa réalisation est incapable d'estimer sa valeur, ou son intervalle de valeur, au moment où il la communique à un autre concepteur. D'un autre côté, une donnée possède une faible variabilité lorsque le concepteur qui est responsable de sa réalisation est capable de fournir une valeur précise de cette donnée.
- La sensibilité est *le taux de modification de la donnée en sortie pour intégrer les changements subis par la ou les données en entrée de l'activité consommatrice*. Une donnée de conception est très sensible si un changement mineur de la donnée en entrée a un grand impact sur sa valeur finale. D'un autre côté, une donnée est non sensible aux changements de la donnée en entrée signifie que la donnée en entrée doit varier « dramatiquement » pour que la donnée en sortie soit affectée par ce changement.

Une échelle de valeurs, inspirée des travaux de (Krishnan *et al.* 1997 ; Yassine *et al.* 1999b) est proposée dans les tableaux suivants pour quantifier les attributs variabilité et sensibilité.

Niveau de variabilité	Description des niveaux de l'attribut variabilité
0	<i>Non variable ou stable</i> : la probabilité que la donnée en entrée soit modifiée après avoir été libérée est nulle. La donnée peut être livrée avec une valeur précise.
1	<i>Faible variabilité</i> : la probabilité que la donnée en entrée soit modifiée après avoir été libérée est faible
2	<i>Modérément variable</i> : la probabilité que la donnée en entrée soit modifiée après avoir été libérée est importante
3	<i>Très variable</i> : la probabilité que la donnée atteint sa valeur <i>objectif</i> est faible

Tableau 7. Niveaux d'évaluation de l'attribut variabilité

Niveau de sensibilité	Description des niveaux de l'attribut complétude
0	<i>Non sensible</i> : la donnée en sortie n'est pas sensible aux modifications de la donnée utilisée en entrée
1	<i>Faiblement sensible</i> : la donnée en sortie est faiblement sensible aux modifications de la donnée utilisée en entrée
2	<i>Modérément Sensible</i> : la donnée en sortie est modérément sensible aux moindres modifications de la donnée utilisée en entrée
3	<i>Très sensible</i> : toute modification de la donnée en entrée entraîne la redéfinition de la donnée en sortie

Tableau 8. Niveaux d'évaluation de l'attribut sensibilité

La méthode utilisée pour estimer ces attributs est, comme a été réalisé dans les travaux de (Yassine *et al.* 1999b ; Bhuiyan *et al.* 2004), celle des entretiens structurés des experts (cf. **Tableau 9**) en se basant sur des techniques subjectives proposées dans (Keeney 1992).

Attributs	Questionnaires
Variabilité	<ul style="list-style-type: none"> - Quelle est la fréquence de changements des spécifications du client ? - Les spécifications internes à l'entreprise de conception sont elles fixes ? - Quelle est la date estimée des prochaines modifications ? - Quelles sont les causes de ces changements : la donnée a une interface avec une autre donnée qui doit être modifiée, l'évaluation de la donnée est un problème de conception complexe à résoudre, autres raisons ?
Sensibilité:	<ul style="list-style-type: none"> - Quel est le risque encouru si une modification survient ? - Quel est le risque sur la planification des tâches de conception si une modification survient ? - Quelle est la durée estimée d'une itération de conception ? - la définition/réalisation de la donnée est elle un problème de conception complexe ?

Tableau 9. Questionnaire pour l'évaluation des attributs variabilité et sensibilité

3.2.2.3 Degrés de dépendance

Soumis à des contraintes de délai de livraison, les activités de conception sont souvent exécutées simultanément ; les acteurs responsables de ces activités sont alors obligés de

s'échanger des données qui ne sont pas finalisées afin de que les activités aval puissent démarrer. Selon Terwiesch (Terwiesch *et al.* 2002), certains acteurs participant au processus de conception sont obligés de commencer « in the dark » et de coordonner étroitement leurs activités avec les activités interdépendantes. Dans ce sens, certains travaux de recherche se sont intéressés à la gestion de coordination des activités de conception, en mettant l'accent sur la construction de stratégies de coordination en fonction de l'état des informations préliminaires. Clark et Fujimoto (Clark et Fujimoto 1991) définissent le terme « information préliminaire » comme un paramètre qui est en continuel évolution avant d'atteindre sa valeur finale. Plusieurs travaux ont étudié le problème de modélisation des collaborations entre acteurs en s'intéressant à la formalisation des échanges de données entre eux et plus particulièrement les informations préliminaires (Krishnan *et al.* 1997 ; Yassine *et al.* 1999b ; Gerwin et Barrowman 2002 ; Terwiesch *et al.* 2002 ; Bhuiyan *et al.* 2004 ; Grebici *et al.* 2006). Ces travaux ont identifié que le critère *degré de dépendance* entre activités³⁷ reste de loin le critère le plus étudié et le moins simple à traiter dans les travaux de modélisation de la collaboration. Pour fournir une mesure du degré de dépendance entre données, nous partons des propositions faites ci-dessus pour quantifier la dépendance à la création et la dépendance à la modification, en se basant sur les attributs complétude, variabilité et sensibilité. Nous considérons que la dépendance globale entre deux données est l'agrégation de la dépendance à la création et de la dépendance à la modification pouvant exister entre ceux deux données.

Ainsi et partant du fait que les trois attributs proposés sont complémentaires, nous définissons le degré de dépendance entre deux données comme étant une agrégation par multiplication de ces trois attributs (**Équation 1**). Cette agrégation s'explique par le fait que pour une variabilité et une sensibilité données, plus la complétude est importante (allant de *Non utilisée* à *Totalement utilisée* (cf. § 3.2.2.1 ci-dessus)), plus les itérations requises en cas de changement sont longues (importantes en durée) et plus le degré de dépendance est élevé. Par ailleurs, une dépendance à la création *nulle* veut dire qu'il n'y a pas de dépendance à la modification entre ces données (si la complétude est nulle alors le degré de dépendance est nul). Par contre, une complétude non nulle exprime au moins une dépendance entre les données (à la création) et donc le degré de dépendance ne peut pas être nul même si la variabilité et la sensibilité sont nulles.

³⁷ Parmi les travaux cités, seuls ceux de (Grebici *et al.*, 2006) se sont intéressés au degré de dépendance entre données de conception pour la coordination des activités de conception.

$$\text{Degré de dépendance} = \text{Complétude} \times (1 + \text{Variabilité} \times \text{Sensibilité}) \quad \text{Équation 1}$$

Les valeurs du degré de dépendance, selon la formule de l'Équation 1 ci-dessus, varient entre 0 et 30 (Tableau 10). Les valeurs {0} et {1, 2, 3 et 4} représentent un degré de dépendance *nul et faible* respectivement, et par conséquent un risque d'itération nul ou faible. Dans ce travail de thèse, le choix des limites de degré de dépendance faible est arbitraire. Il est possible que le responsable de conception d'un produit le fixe autrement, par exemple à 8 au lieu de 4. Inversement, des valeurs du degré de dépendance de l'ensemble {15, 20, 21 et 30} correspondent à un degré de dépendance *trop élevé* et donc une probabilité d'itération trop élevée. Les valeurs {5, 6, 7 et 8} et {9, 10, 12 et 14} expriment respectivement un degré de dépendance *modéré et élevé*.

Degré de dépendance	Description des niveaux du degré de dépendance
0, 1, 2, 3 et 4	<i>Nul ou faible</i>
5, 6, 7 et 8	<i>Modéré</i>
9, 10, 12 et 14	<i>Elevé</i>
15, 20, 21 et 30	<i>Trop élevé.</i>

Tableau 10. Valeurs du degré de dépendance

L'échelle de valeurs proposée dans le Tableau 10, projetée sur les directions de dépendances identifiées dans le §3.2.1.1, nous permet de qualifier les différents types de dépendances qui peuvent exister entre données :

- Le cas où le degré de dépendance est nul correspond à une *indépendance*. Cependant, comme précisé auparavant, ce type de dépendance n'est pas pris en compte dans ce travail de thèse.
- Un lien de dépendance unidirectionnel, dont le degré de dépendance varie de *faible* à *trop élevé*, correspond à une *dépendance* qui varie de *faible* à *trop élevée* respectivement.
- Un lien de dépendance bidirectionnel (c'est-à-dire il existe un lien de retour en arrière de la donnée aval vers la donnée amont), dont le degré de dépendance varie de *faible* à *trop élevé*, correspond à une *interdépendance* qui varie de *faible* à *trop élevée* respectivement.

Cette typologie est utile pour la proposition de stratégies de coordination basée sur l'échange de données préliminaires, comme nous le détaillerons dans la section 3.2 du chapitre 3.

3.3 Le réseau de dépendances des données critiques

Au fur et à mesure de l'avancement du processus de conception, les acteurs manipulent (créent, modifient, échangent, etc.) un nombre grandissant de données. Ce nombre pourrait aller de quelques dizaines de données en cas de produit simple à des milliers en cas de produit complexe (par exemple 140000 documents doivent être gérés pour le développement d'un Jet privé (Soufi *et al.* 2006)). Dans le cas industriel présenté dans la section 1 de ce chapitre, la conception d'un turbocompresseur met en jeu une centaine de données (distribuées entre les différents départements en France, en Chine et aux USA en plus des données partagées avec les clients et les sous-traitants). Il en résulte donc qu'un réseau de dépendances, identifié suite à la détection d'un conflit, peut être très volumineux. Ceci implique qu'un grand nombre de négociateurs, qui seront concernés par la résolution de conflit, est identifié. Pour ramener ce nombre de négociateurs à un chiffre raisonnable permettant une coordination facile du processus de résolution de conflit et une résolution rapide, nous proposons le concept de « réseau de dépendances de données critiques ». Ce dernier consiste à supprimer les données cibles (sortie) qui sont reliées par un lien de dépendance faible aux données sources (entrée). La limite en deçà de laquelle la dépendance est jugée faible ne peut être prescrite définitivement. C'est au responsable du processus de gestion de conflits de fixer ce seuil en fonction de la taille du réseau de dépendances et d'autres paramètres liés notamment aux contraintes sur les ressources humaines déployées ou au coût engendré par le processus de résolution. Nous considérons qu'en général une dépendance est faible si le degré de dépendance est inférieur à 4 (cf. **Tableau 10**). Dans ce qui suit, nous illustrons ce principe sur un exemple théorique.

Considérons le réseau de dépendances de données illustré dans la **Figure 25**. Dans ce réseau, l'acteur responsable de la réalisation de la donnée D7 a détecté un conflit sur la donnée D6. Il procède donc à l'identification des négociateurs qui seront invités à la résolution du conflit selon le protocole CO2MED (Rose 2004). Pour identifier les négociateurs, le principe est de parcourir le réseau vers l'arrière à partir de la donnée source de conflit ; c'est-à-dire parcourir le réseau en partant d'une donnée en sortie vers la donnée en entrée qui a été utilisée pour sa réalisation. Selon ce raisonnement, les négociateurs identifiés sont les acteurs responsables de la réalisation des données D2, D9, D10, D3, D5 et D4 en plus du responsable de la donnée D6. Sept négociateurs sont ainsi identifiés dans ce cas.

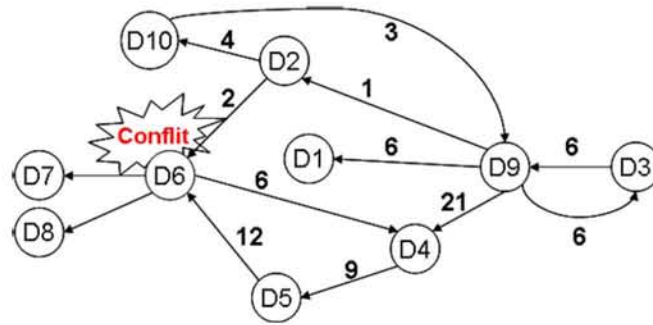


Figure 25. Exemple de réseau de dépendances de données

Le réseau présenté ci-dessus est simple et n'est composé que de dix données (cas d'un produit trop simple). Dans le cas où le réseau est composé ne serait-ce que d'une centaine de données, le nombre de négociateurs serait élevé, d'où l'intérêt d'identifier les négociateurs en se basant sur le réseau de dépendances de données critiques. Pour identifier le réseau critique, le principe adopté est de parcourir le réseau de dépendances vers l'arrière, d'un niveau à un autre, et d'éliminer les liens de dépendances faibles (cf. **Figure 26**). Sur l'exemple de la **Figure 25**, partant de la donnée source de conflit D6, et considérant qu'une dépendance est faible si son degré est inférieur à 4, seule la donnée D5 est identifiée au 1^{er} niveau (le degré de dépendance D2-D6 est $2 \leq 4$). En partant maintenant de la donnée D5 vers l'arrière, la donnée identifiée est D4. En appliquant le même raisonnement, à partir du niveau 2 (donnée D4), la donnée identifiée est la donnée D9 (la donnée D6 étant déjà identifiée comme source de conflit). A partir du niveau 3 (donnée D9), seule la donnée D3 est identifiée (le degré de dépendance du lien D9 - D10 est $3 \leq 4$). Le réseau de dépendances de données critiques ainsi obtenu est présenté **Figure 27**. Les négociateurs qui participeront à la résolution du conflit seraient dans ce cas les acteurs responsables des données D5, D4, D9 et D3.

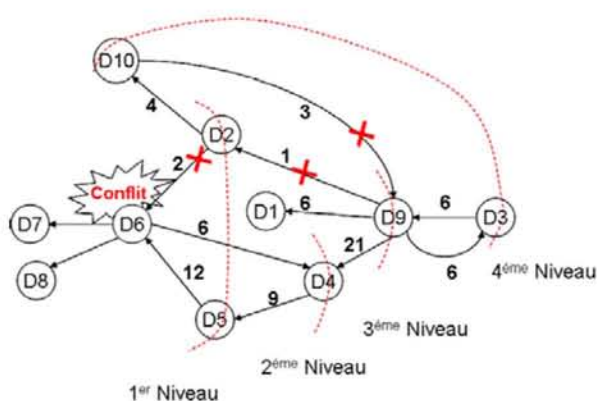


Figure 26. Illustration du principe d'élimination des dépendances faibles

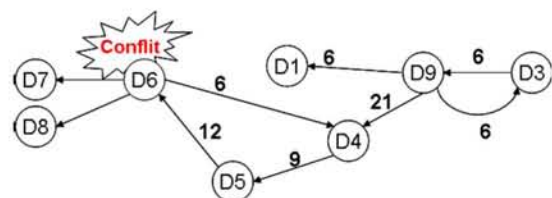


Figure 27. Réseau de dépendances de données critiques obtenu

4 Obtention du réseau – Traçabilité du processus de conception

Après avoir présenté les éléments composant un réseau de dépendances de données dans la section 3 de ce chapitre, l'approche **DEPNET** propose d'identifier ce réseau. Pour ce faire, nous proposons de tracer le processus tel qu'il a été abordé afin de disposer de l'historique de la conception réellement effectuée. Dans ce manuscrit nous ne différencions pas entre historique de conception et traçabilité. Selon Eynard (Eynard 1999), le concept d'historique de conception peut être associé à la traçabilité de l'ingénierie. Une trace de projet fournit un historique du travail effectué et permet de reconstituer le déroulement du processus de conception. Ensuite, des traitements sur les informations tracées sont effectués afin d'identifier les liens de dépendances et obtenir le réseau de dépendances de données (cf. **Figure 28**).

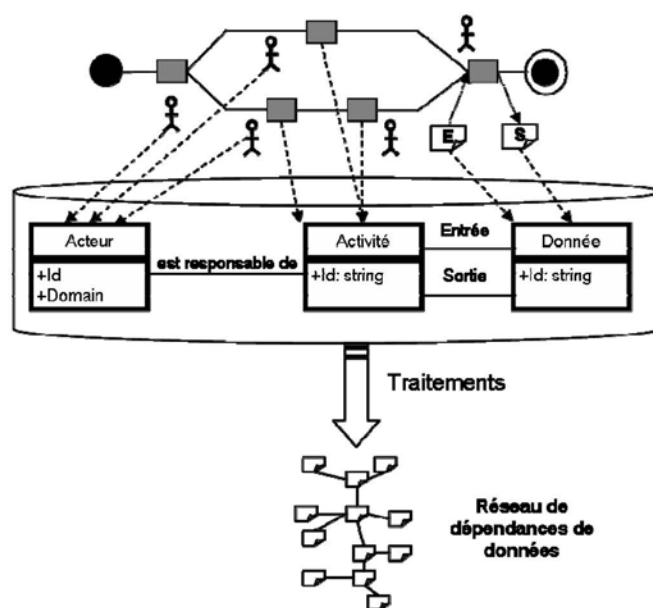


Figure 28. L'approche **DEPNET** pour identifier le réseau de dépendances de données

Ainsi, l'objectif de cette section est de proposer un modèle de traçabilité du processus de conception qui nous permet d'extraire le réseau de dépendances de données. À partir de l'étude bibliographique des approches abordant la traçabilité du processus de conception (§ 4.1.1), nous proposons d'abord les concepts de base qui permettront de satisfaire l'objectif du modèle de traçabilité visé (§4.1.2), et nous présentons ensuite les différents items du modèle de traçabilité proposé (§4.2).

4.1 La traçabilité du processus de conception de produit

4.1.1 Qu'est ce que la traçabilité

L'Afnor définit la traçabilité comme l'aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'une entité au moyen d'identifications enregistrées (Afnor 1995). Selon Gotel (Gotel et Finkelstein 1994) et Štorga (Štorga 2004), la traçabilité peut être considérée comme un facteur de conception important (et de qualité). Dans le cadre de la conception de produit, il s'agit de sauvegarder l'historique des informations relatives à l'environnement de conception et aux décisions prises durant le processus de conception.

L'objectif de la traçabilité du processus de développement de produit est double : (1) permettre la gestion du cycle de vie de produit et (2) capitaliser pour réutiliser la « logique de conception³⁸ » et les connaissances déployées durant le déroulement du processus de conception.

Shah (Shah *et al.* 1996) définit un historique de conception comme un bilan progressif des événements et des états représentant l'évolution que suit le développement du produit. Un historique de conception regroupe les données relatives au produit et processus ainsi que leurs relations aux différentes phases de conception.

Pour Cantzler (Cantzler 1997), l'historique doit représenter de façon combinée les informations qui décrivent le produit (objet de conception), celles qui caractérisent les activités le manipulant (création, modification, etc.) et celles qui montrent l'organisation réalisant ces activités.

Parmi les méthodes proposées pour l'acquisition et la sauvegarde d'historiques ainsi que pour la gestion du processus d'ingénierie, nous citons la méthode SAGEP (Ouazzani *et al.* 1997). Cette méthode s'appuie sur la décomposition de la conception afin de montrer la dynamique existant entre les objectifs de conception et les états du processus. La méthode exploite deux formalismes : une structure d'objectifs et un graphe d'état de conception. La structure d'objectifs permet de décrire et de sauvegarder la décomposition et le raffinement des objectifs de conception qui seront réalisés au fur et à mesure du processus. Le graphe d'état décrit dynamiquement et hiérarchiquement le processus de conception.

³⁸ Traduction de « Design Rationale »

Dans une optique plus générique, le projet RNTL IPPOP³⁹ (Nowak *et al.* 2004) propose un méta-modèle de processus répondant aux contraintes et besoins d'une modélisation intégrée produit-processus-organisation en conception de produits pour contribuer à l'augmentation du patrimoine technologique de l'entreprise et à la maîtrise de la conduite de l'activité de conception.

Il résulte des travaux étudiés ci-dessus que la traçabilité se définit comme l'aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'une entité au moyen d'identifications enregistrées. Dans le cadre de développement de produits industriels, il s'agit de sauvegarder l'historique des données relatives non seulement au produit et au processus mais aussi à l'organisation. La notion de traçabilité propose un bilan progressif des événements et des états représentant l'évolution que suit le développement du produit. Pour permettre la traçabilité du processus de conception, il est nécessaire de définir quels sont les items à tracer durant l'exécution des activités de conception.

4.1.2 Quoi tracer

Dans ce travail de thèse, nous considérons que chaque activité de conception peut être décrite et ainsi tracée en répondant aux questions basiques suivantes, adaptées du cadre conceptuel⁴⁰ de Zachman (Zachman 1987) :

- Où (Where) : où est ce que ces items sont manipulés?
- Quoi (What) : quels sont les items qui sont manipulés durant le processus de conception ?
- Qui (Who) : qui est impliqué dans la manipulation de ces items?
- Comment (How) : comment ces items sont manipulés?
- Pourquoi (Why) : pour quel objectif ces items sont manipulés ?
- Quand (When) : quand est-ce que ces items ont été manipulés ?

Ces thèmes génériques représentent les points fondamentaux à considérer durant la conduite de la traçabilité du processus de développement de produit.

³⁹ IPPOP : Intégration Produit Processus Organisation pour l'amélioration de la Performance en ingénierie.

www.opencascade.org/IPPOP/

⁴⁰ Le cadre conceptuel proposé par Zachman définit une matrice de 36 cellules qui couvrent les différentes problématiques de l'entreprise formulées de la façon suivante : « QUOI ?, COMMENT ?, QUI ?, OU ?, QUAND ?, POURQUOI ? »

Le processus de conception est défini comme une succession d'activités (**Où**) qui consomment et produisent des données (**Quoi**) afin de satisfaire les objectifs (**Pourquoi**) de conception et atteindre le « futur » produit. Ces activités sont exécutées par des ressources qui peuvent être humaines, matérielles ou logicielles (**Qui**) et sont contraintes par des délais de livraison (**Quand**). Lors du déroulement du processus de conception les acteurs se basent sur leurs connaissances et compétences et déploient leurs savoir et savoir-faire (**Comment**) afin de produire un produit qui satisfait les contraintes et le cahier des charges imposés par le client. Les relations entre ces différents points sont illustrées dans la **Figure 29**.

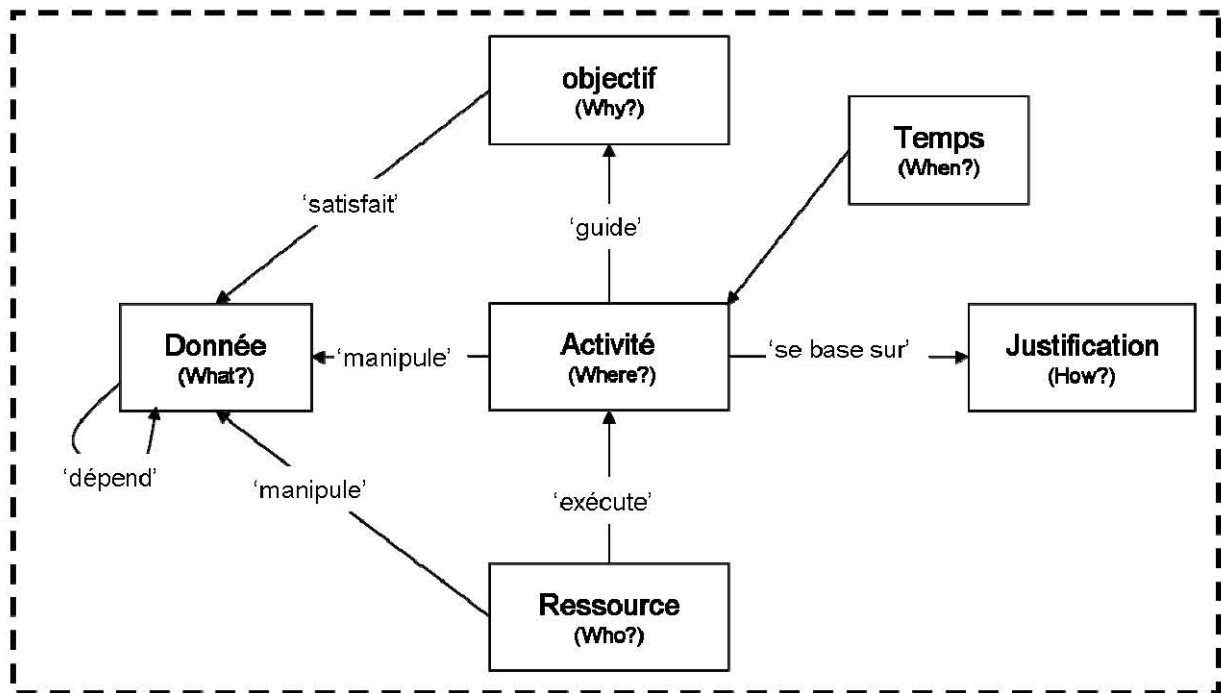


Figure 29. Relations entre les différents items de traçabilité

Dans la section suivante, nous détaillons ces différents éléments en se référant aux travaux proposés dans la littérature. Ceci nous permet de structurer les données à modéliser et ainsi proposer le modèle de traçabilité support à l'approche **DEPNET**.

4.2 Proposition d'un modèle pour la traçabilité du processus de conception en vue de la gestion de conflits

4.2.1 Les concepts de base du modèle de traçabilité

4.2.1.1 **Où** : les activités de conception

Plusieurs définitions du concept processus sont proposées dans la littérature (Gruhn 1995 ; Bernus *et al.* 1996 ; Vernadat 1999 ; Gzara 2000 ; Nowak *et al.* 2004). Elles s'accordent, toutefois, sur la définition du processus comme étant une succession d'activités dans le but d'atteindre un objectif de conception (Produit) en transformant des éléments entrants (inputs) en éléments sortants (outputs). Selon Freisleben et Vajna (Freisleben et Vajna 2002), un processus peut être composé de sous-processus, qui sont à leurs tours composés de plusieurs activités ou tâches de conceptions. Dans le cadre de la conception collaborative et de l'ingénierie concourante, différents sous-processus composés d'activités peuvent être lancés simultanément afin de répondre aux exigences de délais de livraison. Nous désignons par phases ces différents sous-processus. Une phase est terminée par une activité décisionnelle permettant soit de poursuivre le processus de conception et passer à la phase suivante, soit de l'interrompre. Cette décomposition de processus en phases est conforme à celle adoptée par notre partenaire industriel. Afin d'illustrer cette décomposition, nous reprenons un exemple du cas d'étude présenté dans la section 1 du chapitre 2.

Exemple de décomposition du processus en phases : *la conception du sous-ensemble carter constitue une phase de conception du processus de développement d'un turbocompresseur. Cette phase produit une solution technique, constituée de données telles que les modèles CAO 3D et 2D, les notes de calcul, en utilisant les données fournies par le client (le modèle CAO 3D du moteur, les spécifications) et celles issues de l'étude de faisabilité technico-économique. À la fin de cette phase, une décision est prise sur la proposition du concepteur carter, suite à laquelle une décision de poursuite ou d'interruption de son activité est prise.*

Une phase peut être à son tour décomposée et définie en termes d'actions élémentaires. La plupart des travaux proposés dans la littérature s'appuient sur le concept d'activité afin de caractériser ces actions (Harani 1997 ; Ouazzani *et al.* 1997 ; Labrousse 2004 ; Bettaieb 2005). Ce niveau de modélisation correspond à un niveau de gestion qui porte sur le pilotage du processus de développement de produit. En effet, le processus est organisé en phases afin de répondre aux impératifs managériaux de coûts, de délais et de qualité. Chaque phase est

ensuite conduite selon un planning pré-établi d'exécution d'activités. Ce niveau de modélisation correspond à l'organisation des phases en activités planifiées, c'est-à-dire prévisibles. Cependant, en conception collaborative, il est difficile de connaître et donc de planifier toutes les activités de conception. En effet, outre le caractère immergent et innovant de la conception, des modifications imprévisibles peuvent survenir durant le déroulement du processus et qui nécessitent un traitement immédiat afin de progresser dans la conception. Ceci est dû au fait, d'une part, que les contraintes et exigences de la conception évoluent tout le long du processus et d'autre part, que des conflits sur les propositions peuvent apparaître et engendrer de ce fait une modification du processus initialement mis en place. Ce niveau de modélisation correspond à la prise en compte des activités non planifiées lors de la définition des phases. Ainsi, selon le mode d'organisation du processus de conception, et comme le souligne Grebici (Grebici 2007), nous distinguons des activités *planifiées* et des activités *non planifiées*. L'exemple suivant (extrait du cas d'étude section 1 du chapitre 2) illustre cette décomposition.

Exemple de décomposition d'une phase en activités planifiées/activités non planifiées : *la phase de conception de carter est composée des activités « définition interface carter turbine/sortie moteur », « définition interface carter compresseur/entrée moteur », « définition carters turbine », « définition carter compresseur », etc. Cependant, les responsables de cet ensemble d'activités peuvent être amenés à mener des activités non planifiées lors de situations de coopération émergentes avec, par exemple, le concepteur turbine ou le concepteur compresseur afin de résoudre un problème de conception commun.*

D'un point de vue typologie des activités composant les phases, nous identifions trois types d'activités : les activités de transformation et de contrôle telles que définies dans la notation IDEF0⁴¹ ainsi que les activités décisionnelles. En effet, un acteur peut soit transformer (créer ou modifier) une donnée en entrée en une donnée en sortie, soit contrôler une activité de conception en se basant sur des normes, sur des standards internes de l'entreprise ou bien sur des expériences passées, soit prendre une décision pour clôturer une phase. Cette typologie est illustrée dans les exemples suivants.

Exemple d'activité de transformation : *à partir des données « inducer » et « exducer » de chacune des roues compresseur et turbine, le concepteur carter calcule la valeur du*

⁴¹ <http://www.idef.com/idef0.html>

paramètre « trim » afin de définir les caractéristiques des sous-ensembles carter compresseur et carter turbine.

Exemple d'activité de contrôle : le concepteur turbine, lors de la définition du diamètre de la roue turbine et le nombre des ailettes, se base sur le standard interne de l'entreprise afin de contrôler les données en sortie de son activité. Par exemple, selon le standard de l'entreprise, pour les moteurs « diesel » jusqu'à 80 Ch et les moteurs « essence » jusqu'à 100 Ch, le diamètre de la turbine doit être compris entre les valeurs 54,86 mm et 59,94 mm.

*Exemple d'activité de décision: à la fin de la phase d'étude de faisabilité technico-économique, une décision est prise sur le lancement ou non du processus de conception du turbocompresseur pour le client en question (cf. **Figure 19**).*

Après avoir identifié les différents types d'activités composant les différentes phases qui composent, à leur tour, le processus de conception, nous nous intéressons dans ce qui suit à l'enchaînement de ces activités lors de la progression de la conception (le processus étant, comme décrit ci-dessus, une succession d'activités). La méthode IDEF3⁴² définit l'enchaînement des activités⁴³ au moyen de connecteurs de type : Et / Ou / Ou-Exclusif et suivant deux modes : synchrone / asynchrone. Elle permet en plus de faire des relations entre activités de processus différents pour exprimer la précédence, l'interaction et les flux de données dans le cas de processus synchronisés ou concurrents. Dans CIMOSA (Vernadat 1996), l'enchaînement des activités est défini au moyen des opérateurs: début et fin de processus, mise en séquence, mise en parallèle, branchement conditionnel synchrone ou asynchrone, rendez-vous ou synchronisation et rebouclage. Dans ce travail, nous retenons les mêmes types de connecteurs que ceux proposés par la méthode IDEF3 : ET, OU et Ou-Exclusif. Une succession de type ET correspond à une succession séquentielle. Une succession de type OU correspond à une succession conditionnée par des conditions non exclusives⁴⁴. Quant à la succession de type Ou-exclusive, elle correspond aux successions conditionnées par une condition exclusive. Ce cas se présente lors d'une prise de décision où, suite à la fin d'une activité donnée, il y a un choix à faire entre plusieurs activités alternatives pour la poursuite du processus et ce selon le résultat atteint lors de l'activité amont.

En termes de modélisation, nous représentons les concepts de phase, activité planifiée et activité non planifiée comme étant des sous-classes d'une classe nommée « Action de

⁴² <http://www.idef.com/idef3.html>

⁴³ Nommées UOB (Unit Of Behaviour) dans IDEF3.

⁴⁴ Le cas d'un seul suivant correspond à une séquence d'action de conception. Le cas de plusieurs suivants correspond à une exécution en parallèle des actions de conception.

Conception ». Une phase peut être décomposée en activités planifiées qui peuvent à leur tour être décomposées en activités non planifiées. La typologie d'action de conception (transformation, contrôle ou décision) est traduite par un attribut de la classe « Action de Conception ». Cette propriété est utile pour distinguer les actions de conception à ré-exécuter une fois un conflit résolu et une solution choisie. Enfin une classe association « succession » permet de distinguer le type de succession entre les actions de conception. Le diagramme de classe UML⁴⁵ suivant (**Figure 30**) illustre la structuration de l'ensemble des actions de conception.

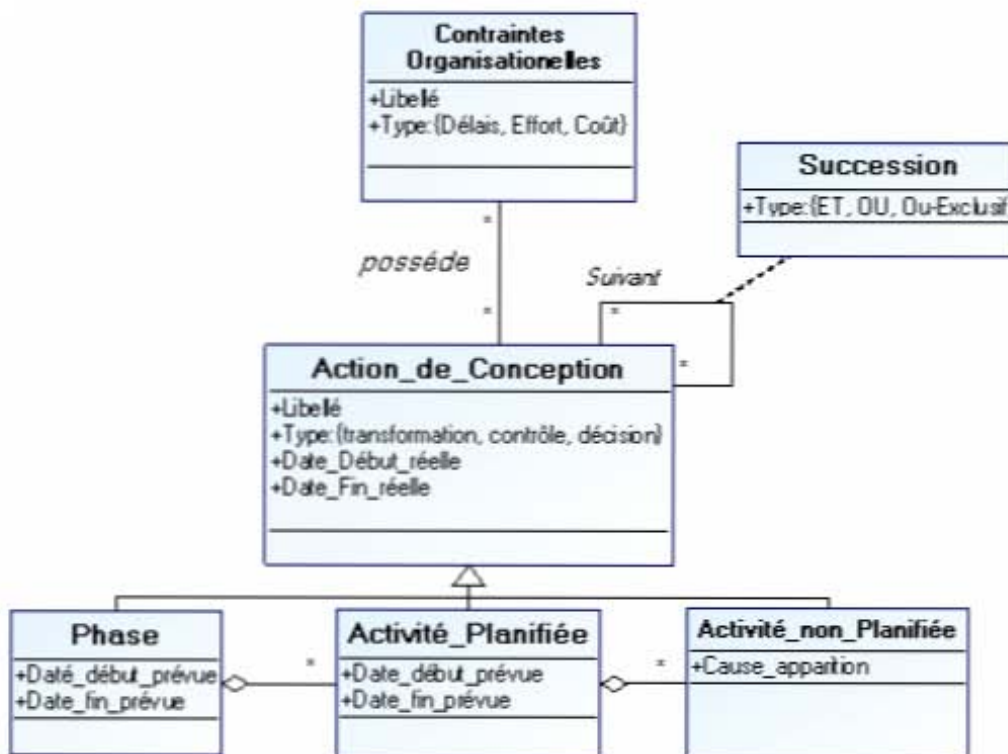


Figure 30. Modélisation des actions de conception (Où) pour la traçabilité du processus de conception

4.2.1.2 Quoi : les données de conception

Durant le déroulement d'un processus de conception collaborative, les actions de conception sont guidées et supportées par les données produites et consommées par chacune d'elles. L'enchaînement des actions de conception existe à cause des flux informationnels ou matériels (désignés généralement par les termes inputs/outputs ou entrées/sorties) et non pas à cause de liens cause-effet comme c'est le cas des procédures.

⁴⁵ UML : Unified Modeling Language, www.uml.org

C'est à ces données entrées et sorties de chaque action de conception que nous nous intéressons dans ce travail de thèse. Une action de conception consomme une donnée en entrée pour produire une autre en sortie. La donnée produite est ensuite communiquée à l'activité suivante pour que le processus de conception progresse. Dans la section 3.1 de ce chapitre, nous avons caractérisé les données produites manipulées durant le processus de conception en termes de : *type*, *degré de granularité*, *format*, *état* et *version*.

En termes de structuration, ces caractéristiques sont traduites par des attributs de la classe « Donnée Produit » qui spécifient le *type* de la donnée, son *degré de granularité* et sa *version*. En ce qui concerne l'*état* d'une donnée, nous ne traçons dans ce travail que les états de *livrable* et *trace-habilité*. L'état *livrable* est destiné à une donnée en sortie d'une phase après avoir été clôturée par une activité décisionnelle, et l'état *trace-habilité* correspond à une donnée en sortie d'une activité avant la fin de la phase. Pour exprimer les actions de consommation ou de production d'une donnée qui sera, par la suite, communiquée à l'activité aval deux associations « donnée_en_entrée » et « donnée_en_sortie » entre les classes « Donnée Produit » et « Action de Conception » sont définies. A la sortie d'une activité, une donnée peut avoir plus états.

La communication de données entre activités peut se faire selon deux types d'échange : inter phase ou intra phase. Le premier type correspond à un échange de donnée(s) entre deux activités qui appartiennent à la même phase. Dans ce cas la donnée en sortie de l'activité amont est dite « *Sequence_Flow_Supported* ». Dans le cas où les deux activités n'appartiennent pas à la même phase, la donnée en entrée de l'activité aval est dite « *Message_Flow_Supported* ». Cette distinction nous permet essentiellement d'identifier quelles sont les actions de conception concourantes qui se sont échangées des données durant le déroulement du processus de conception.

Outre ces deux types de données, nous distinguons un troisième type qui correspond aux contraintes de conception imposées aux ressources lors de l'exécution de leurs actions de conception. Les contraintes peuvent être, par exemple, des règles d'influence, des abaques, des standards internes à l'entreprise ou des normes qualités. Ces contraintes permettent de maintenir la cohérence entre les données. Elles sont représentées par la relation réflexive « cohérence » qui relie la classe « Donnée Produit » à elle-même.

Outre ces classes, nous définissons deux liens réflexifs sur la classe « Donnée Produit » pour exprimer d'une part la complétude entre deux données et d'autre part la sensibilité entre deux données. (cf. les classes associations « Complétude » et « Sensibilité » sur la **Figure 31**).

Nous associons également une classe « variabilité » à la classe « Donnée Produit ». L'ensemble de ces classes permettra de valuer le degré de dépendances entre les données.

L'ensemble de ces concepts est illustré dans le diagramme de classe UML **Figure 31**.

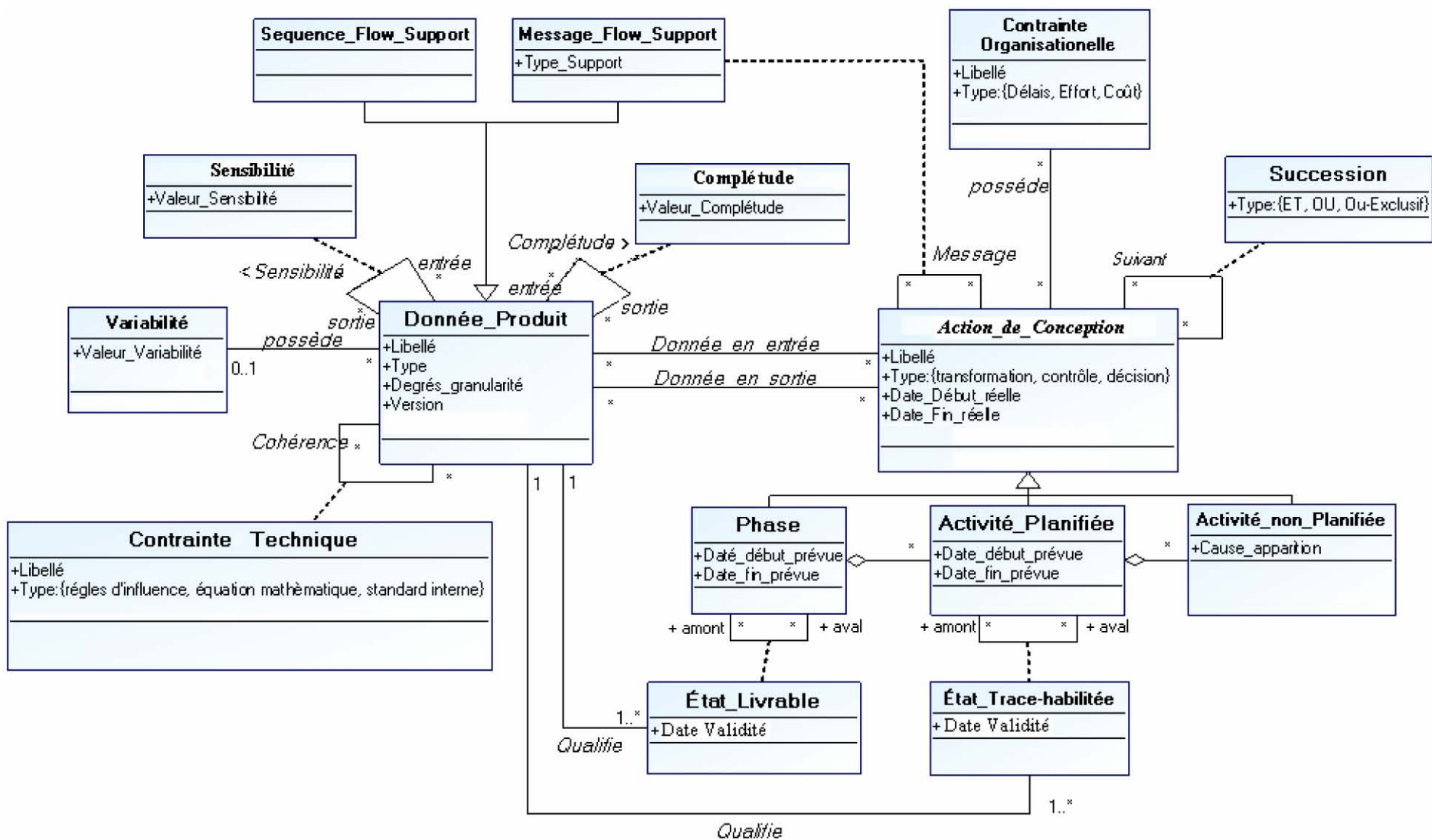


Figure 31. Modélisation des données produit (Quoi) pour la traçabilité du processus de conception

4.2.1.3 **Qui, Comment, Pourquoi, Quand**

Durant le déroulement du processus de conception, les actions de conception sont exécutées par des ressources (**Qui**) qui sont choisies selon leur expertises, compétences, connaissances, disponibilité afin d'atteindre l'objectif (**Pourquoi**) de conception. Ces actions de conception, qu'elles soient planifiées ou non, sont exécutées durant une durée (**Quand**) (l'intervalle de temps entre la date début et la date fin), pendant laquelle les ressources déploient leurs savoirs et savoir-faire (**Comment**) pour satisfaire l'objectif de la conception.

Les ressources (**Qui**) auxquelles nous nous intéressons dans ce travail sont celles qui correspondent aux mécanismes d'une activité au sens de la modélisation IDEF0, c'est-à-dire les objets de l'entreprise qui contribuent à la réalisation des fonctionnalités d'un processus. Vernadat (Vernadat 1996) définit une ressource comme étant une entité (humaine ou technique) qui peut jouer un rôle dans la réalisation d'un certain type de tâches, lorsqu'elle est disponible. En effet, avant le lancement du processus de conception, les chefs de projet identifient l'ensemble des ressources à inviter pour la réalisation des objectifs définies. Chaque ressource a un rôle et est assignée, selon les disponibilités, à une action de conception. Pour ce faire, les chefs de projet se basent sur le modèle organisationnel de l'entreprise tel que le modèle organisation proposé dans le cadre du projet IPPOP, inspiré du modèle GRAI (Graphe avec Résultats et Activité Inter-reliés) qui fournit principalement un cadre pour la prise de décision (Girard et Doumeingts 2004) et adapté par Robin (Robin 2005) qui propose le concept d'environnement de conception défini comme étant le contexte dans lequel on souhaite placer les acteurs de la conception dans le but d'atteindre les objectifs fixés. Il permet le suivi de l'évolution du centre de conception⁴⁶ pour une conduite efficace des activités collaboratives.

Une notion est à prendre en compte lors de l'organisation du processus de conception, est le rôle rattaché au fonctionnement des ressources. Cette notion est essentielle car une même ressource peut intervenir dans un même processus selon différents rôles en fonction de l'activité considérée (Robin 2005). Plusieurs types de rôles peuvent être tenus par une ressource : initiateur, exécutant, approbateur, responsable, interface, etc. Prenons par exemple le cas du concepteur turbine qui a pour rôles d'initiateur, exécutant et responsable de la phase

⁴⁶ Un centre de conception représente une organisation locale mise en œuvre pour satisfaire les objectifs de conception. Le concept d'organisation est à considérer comme étant le groupement de ressources (humaines, matérielles et informationnelles) pour satisfaire à des objectifs de conception et devant satisfaire à des objectifs de performance.

de conception de turbine, le concepteur carter qui tient le rôle d'interface avec le client ou le chef de projet qui tient le rôle d'approbateur des propositions des différents concepteurs.

Par ailleurs, lors de la définition des différentes propositions ou leur validation, ces différentes ressources déploient leurs savoir-faire (**Pourquoi**) afin d'aboutir à une solution qui satisfait les différentes contraintes de conception. Les ressources sont amenées à prendre des décisions, individuelles ou collectives, afin de proposer une solution satisfaisant leurs besoins et intentions de conception. Généralement, les raisons de décisions de conception, les changements au long du processus de conception, le contexte, et les interrelations ne sont pas exprimés sous forme explicite, donc sont perdus. Il ne suffit pas de garder la trace de la conception - publier une version d'un produit en train d'être conçu, dans la base de données, il faut aussi garder la trace de ce processus de prise de décisions. En effet, il est possible d'avoir plusieurs alternatives pour aboutir à une solution, il est donc nécessaire de tracer le choix qui motive une alternative et non pas une autre. Nous proposons dans ce travail de tracer ce processus de prise de décision en introduisant le concept de justification⁴⁷ afin de structurer ce processus et pouvoir le tracer.

Il y a peu de débat possible sur les cinq entités de base pour la traçabilité de la logique de conception qui sont discutées dans (Regli *et al.* 2002) : But (ou Problème de conception à résoudre), Hypothèses (ou Solution), Justification (ou Argumentation), Action de conception (au même sens que dans notre travail de thèse) et artefact (Donnée Produit réalisée à l'issue d'une action de conception). En revanche, la notion d'Alternative nous a semblé primordiale, dans la mesure où elle représente l'ensemble des solutions possible pour un problème de conception donné. Ce qui est utile lors de la phase de négociation et la génération de solution du processus de gestion de conflits.

Par ailleurs, les travaux de Bigand (Bigand 2005) (Bigand *et al.* 2006) proposent, pour répondre à la question « comment mémoriser les choix de conception effectués, avec leurs justifications, les hypothèses, le contexte, les auteurs de ces choix ? », de mettre en œuvre un système d'information contribuant à la capitalisation des connaissances expertes. Un ensemble de modèles génériques est proposé afin de servir comme base au développement de mémoires de projets de conception de produits.

Dans cette optique de mémorisation des choix de conception, nous considérons que les éléments clefs du concept justification à prendre en compte dans ce travail de thèse sont :

⁴⁷ l'**Annexe A** présente une brève étude des travaux sur la capitalisation de la logique de conception

Problème, Alternatives, Solution et Argumentation. La justification représente le choix de la décision prise par une ressource lors de l'exécution d'une activité afin de produire une donnée produit.

Le diagramme de classe UML suivant (**Figure 32**) structure l'ensemble des concepts présentés ci-dessus : Qui (Ressource), Pourquoi (Objectif), Comment (Justification) et Quand (Date début et Date fin de l'action de conception).

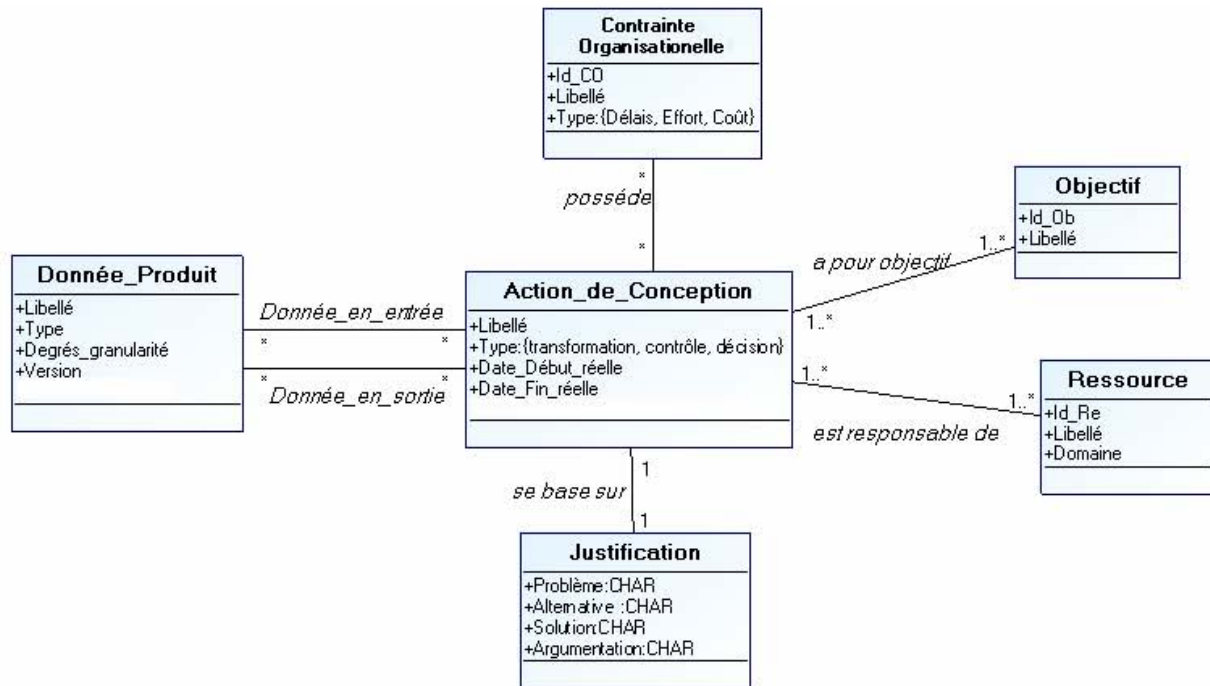


Figure 32. Modélisation des concepts **Qui**, **Pourquoi**, **Quand** et **Comment** pour la traçabilité du processus de conception

4.2.2 Un modèle de traçabilité support à l'approche DEPNET

De l'ensemble des descriptions et modélisations partielles proposées dans la section 4.2.1 ci-dessus, les concepts permettant la traçabilité d'un processus de conception se résument ainsi :

1. *Action de Conception* : par action de conception nous entendons tout type d'activité effectuée, durant le processus de conception, par une *ressource* pour satisfaire un *objectif* donné. Une action de conception peut être une *phase*, une *activité planifiée* ou une *activité non planifiée*. Une *phase* correspond à la décomposition du processus de conception en sous-processus et est organisée selon un planning d'exécution des activités planifiées. Une *activité planifiée* est définie comme une action de conception élémentaire, pré établie, et non décomposable. Elle peut être effectuée isolément ou regroupée avec d'autres activités dans des phases. Une *activité non planifiée* est définie comme une action de conception

élémentaire qui apparaît lors du déroulement du processus de conception. Elle peut être exécutée avec d'autres activités planifiées ou non. Par ailleurs, selon le type d'action à faire, une action de conception peut être de *transformation*, de *contrôle* ou de *décision*. Ces actions de conception sont liées entre elles par trois types de successions : ET, OU et Ou-Exclusif.

2. *Ressource* : tout ou partie des moyens humains et technologiques nécessaires pour exécuter une action de conception. Il peut s'agir d'un acteur ou d'un groupe d'acteur.
3. *Donnée Produit* : se sont les données manipulées par les actions de conception pour réaliser un objectif. Il s'agit essentiellement de représentations de produit (géométriques, fonctionnelles, structurelles ou comportementales) de différents degrés de granularité (paramètre, nomenclatures, documents, etc.) qui changent alors d'états à la sortie d'une action de conception (trace-habilité ou livrable). Selon le type de l'échange entre les actions de conception, ces données peuvent avoir plusieurs types : *message_flow_supported* ou *sequence_flow_supported*.
4. *Complétude* : le degré d'utilisation d'une donnée en entrée par rapport aux objectifs de l'utilisateur pour produire une autre.
5. *Variabilité* : la probabilité qu'une donnée produite par une activité soit modifiée une fois qu'elle a été libérée.
6. *Sensibilité* : le taux de modification de la donnée en sortie pour intégrer les changements subis par la ou les données en entrée de l'activité consommatrice.
7. *Cohérence* : une relation, entre deux données de conception, qui est prescrite pour être maintenue.
8. *Objectif* : résultat attendu à la fin de chaque action de conception.
9. *Justification* : la logique de conception adoptée lors d'une action de conception afin d'atteindre un objectif de conception donné.

Le modèle de la **Figure 33** regroupe l'ensemble des concepts décrit ci-dessus.

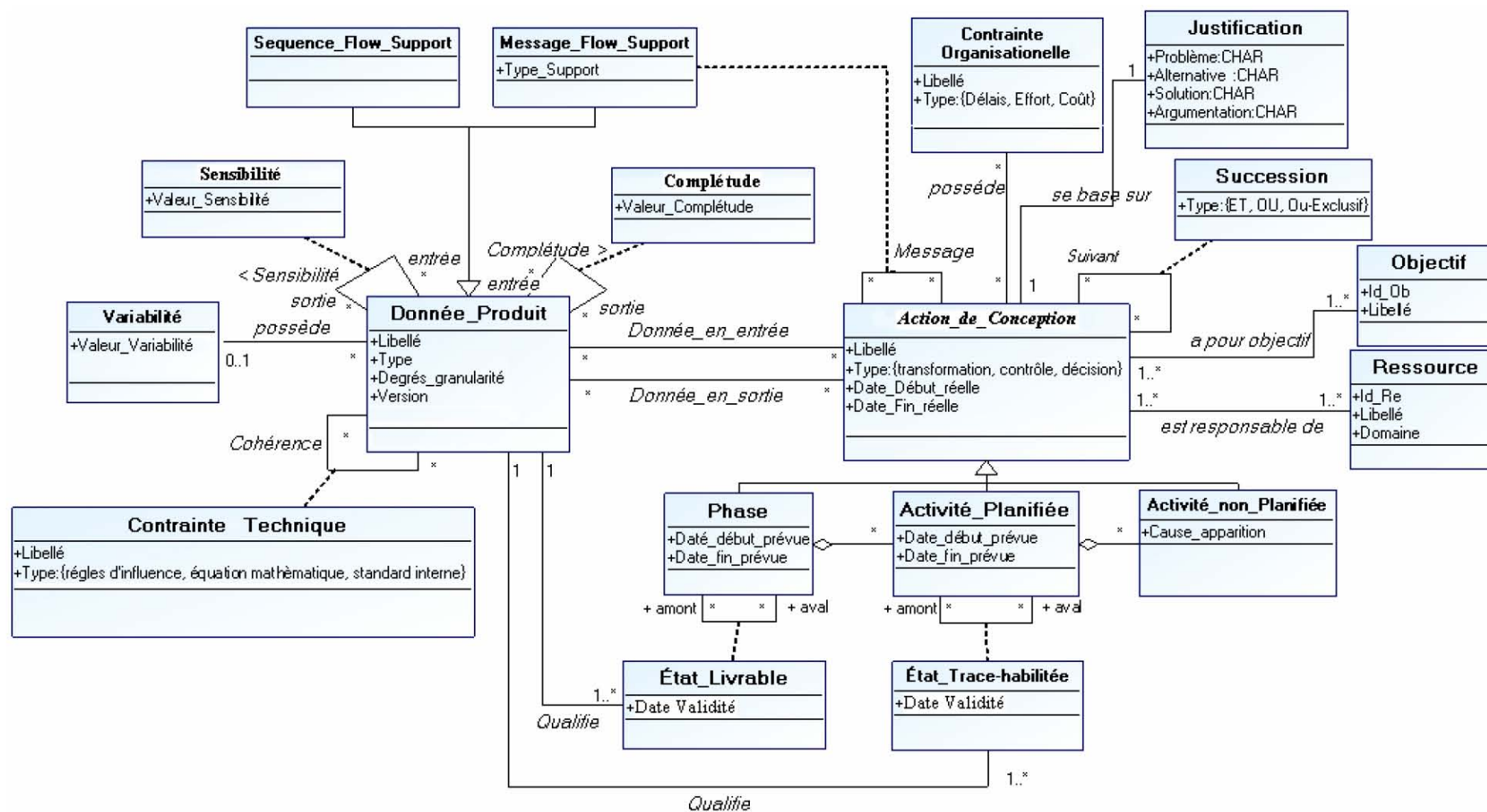


Figure 33. Modèle de traçabilité du processus de conception

5 Génération du réseau de dépendances de données

Afin d'extraire le réseau de dépendances des données, il est nécessaire que les données produites, manipulées durant le processus de conception, soient stockées dans un SGDT. C'est l'instanciation du modèle de traçabilité (**Figure 33**) qui permet de sauvegarder une trace du processus de conception dans une base de données. En effet, chaque ressource (acteur) est amenée, lors du lancement de son action de conception, de renseigner les champs de ce modèle. La première étape est l'identification de l'acteur (son identité, son domaine, ses compétences, etc.). La deuxième étape est la déclaration de l'action de conception exécutée en spécifiant le type de l'action (phase, activité planifiée ou activité non planifiée), la nature de l'action (transformation, contrôle ou décision), les dates de début et de fin, les données consommées en entrée de son action de conception et celles produites en sortie, tout en précisant, le type, le degré de granularité, l'état, la version, la variabilité, la complétude et la sensibilité. La justification de l'action de conception est également fournie en spécifiant les champs « problème », « alternatives », « solution » et « argumentation ». Une fois que toutes ces informations sont saisies, l'ensemble est stocké dans une base de données. Afin d'illustrer cette démarche pour la traçabilité du processus de conception, considérons le cas d'étude industriel présenté au début du chapitre 2. Dans ce cas, le concepteur turbine, lors de l'exécution de son action de conception « définir roue turbine », procède comme suit : d'abord il s'identifie (Id : concepteur turbine) et précise son métier (Domaine : thermodynamique). Ensuite, selon le type de l'action de conception, il spécifie le processus (et/ou la phase de conception) auquel revient son action de conception. Le processus étant « le processus de développement du turbocompresseur pour Peugeot 407 hdi » et la phase de conception est « la conception du sous-ensemble turbine ». L'action de conception, qui est une activité planifiée, est « définir roue turbine ». Les données de sortie de cette activité sont : « spécification turbocompresseur », « standard interne », « diamètre roue compresseur », « type moteur ». À partir de ces données produites, le concepteur turbine définit les données suivantes : « type roue turbine »⁴⁸ et « comportement roue turbine »⁴⁹. L'acteur attribue

⁴⁸ La donnée « type roue turbine » rassemble l'ensemble des paramètres géométriques tels que « matériau », « inducer », « exducer », « nombre ailettes », « forme ailettes » et « diamètre intérieur roue turbine ».

ensuite une valeur à la complétude, la variabilité et la sensibilité des données produit manipulées. Nous notons que le type des données produit, consommées à l'entrée de cette activité, est déduit automatiquement selon la provenance des données. Par exemple, le paramètre « diamètre roue turbine » est un *message_flow_supported* vu qu'il provient d'une phase différente, alors que la donnée « standard interne » est, elle, une contrainte, etc.

Cette démarche doit être appliquée par l'ensemble des acteurs, impliqués dans le processus de conception, pour toutes leurs interventions dans ce processus. Ainsi, au fur et à mesure de l'avancement une trace du déroulement du processus est sauvegardée dans une base de données par instantiation du modèle traçabilité (cf. **Figure 33**). Le diagramme objet UML de la **Figure 34** illustre une instantiation du modèle traçabilité basée sur l'exemple présenté ci-dessus. Pour la lisibilité du modèle instancié, nous présentons une instance de l'action de conception « définir roue turbine » lors de la réalisation de la donnée produit « type roue turbine ».

⁴⁹ La donnée « comportement roue turbine » rassemble l'ensemble des paramètres comportementaux tels que « type contrôle », « turbine expansion ratio », « température max » et « température limite ».

Une fois que les données produites sont enregistrées dans la base de données, un ensemble de requêtes est appliqué afin d'extraire le réseau de dépendances de données. Pour toute donnée produite, les requêtes permettent d'identifier d'abord l'action de conception productrice. En effet, toute donnée est le produit d'une action de conception qui a consommé des données produites en entrée. Les données produites consommées en entrée des actions sont alors ainsi identifiées.

Le processus de conception étant une succession d'actions de conception ; suite aux requêtes appliquées sur les différentes actions de conception, le réseau de dépendances de données associée est généré. La **Figure 35** présente le réseau de dépendances relatif aux données manipulées durant l'action de conception exécutée par le concepteur turbine (certaines données présentes dans cette figure n'ont pas été mentionnées dans le texte par souci de clarté).

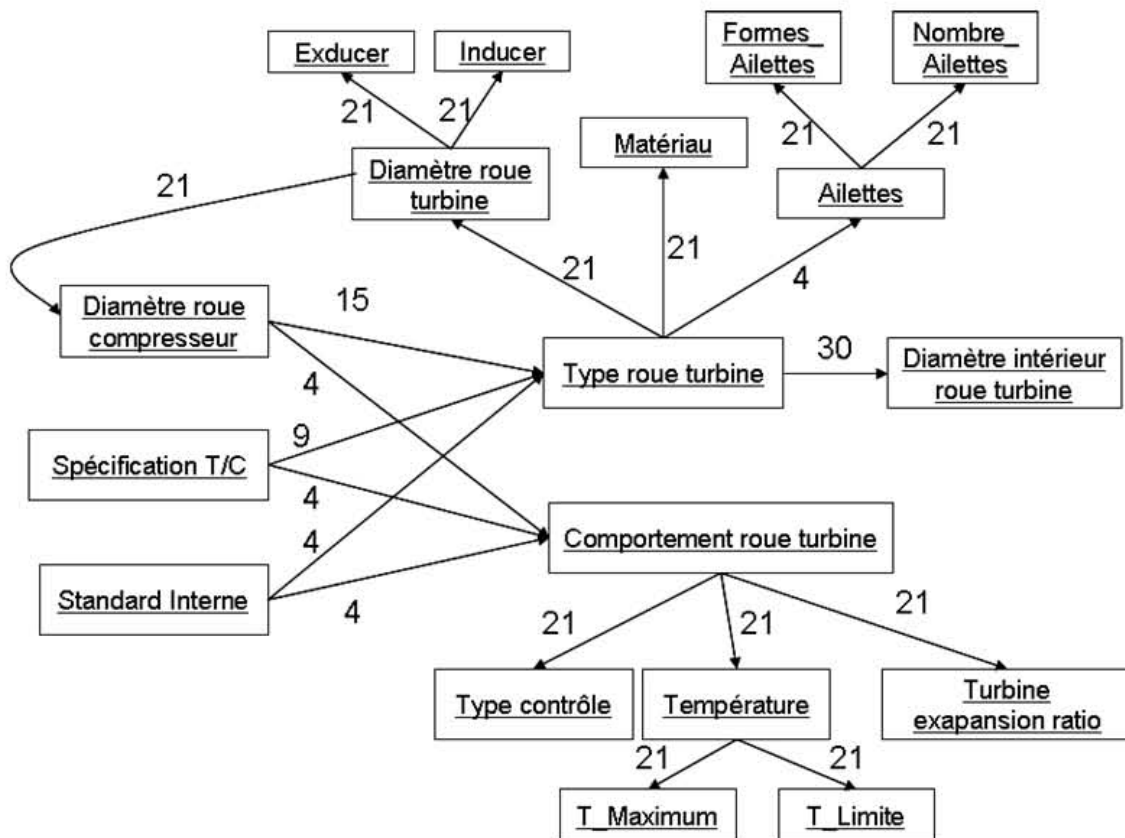


Figure 35. Réseau de dépendances de données relatif à l'action de conception « définir roue turbine »

6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le concept de base sur lequel repose l'approche DEPNET proposée dans ce travail de thèse, le réseau de dépendances de données. À l'issue d'une présentation du cas d'étude support à ce travail, et d'une analyse des travaux s'intéressant à l'étude des dépendances entre données, nous avons spécifié quelles sont les éléments qui composent ce réseau. Les éléments identifiés concernent les « données produit » manipulées durant la conception (type, degré de granularité, format, état et version) qui composent les nœuds du réseau, et les « liens de dépendances » existant entre ces données qui correspondent aux arcs entre les différents nœuds. Une qualification (direction, nature et redondance) et une quantification (cohérence, dépendance à la création, dépendance à la modification et degré de dépendance) de ces liens sont proposées afin de gérer ces liens de dépendances. Nous avons, ensuite, souligné la nécessité de tracer le processus de conception afin d'obtenir l'ensemble de ces informations et construire le réseau. Pour ce faire, un modèle de traçabilité du processus de conception a été proposé. Ce modèle a été construit en se basant sur les différents concepts nécessaires à l'élaboration du réseau de dépendances de données. Ces concepts ont été identifiés en répondant questions basiques adaptées du cadre conceptuel proposé par Zachman (Zachman 1987) « Quoi ? Où ?, Comment ?, Qui ?, Quand ? et Pourquoi ? ». Enfin, nous avons montré comment nous pouvons construire un réseau de dépendances de données à partir des informations tracées.

Le chapitre 3 du manuscrit présente l'utilisation de ce réseau de dépendances de données pour l'identification de l'équipe de négociation, le support de la phase de résolution d'un conflit et pour la gestion des impacts suite aux choix de la solution. Une analyse est conduite sur l'impact de la solution sur les trois aspects d'un environnement de conception Produit-Processus-Organisation.

Chapitre 3:

Usage du réseau de dépendances des données

Après avoir présenté les composants du réseau de dépendances de données et l'approche adoptée pour obtenir ce réseau, nous exposons dans ce chapitre l'utilisation de ce réseau durant le processus de gestion de conflits. Dans un premier temps, nous décrivons, dans la section 1, comment ce réseau est utilisé pour l'identification de l'équipe de négociation. Une fois l'équipe de négociation formée, nous illustrons l'usage du réseau de dépendances pour la résolution de conflit (Section 2). Dès qu'une solution au conflit est choisie, nous montrons comment le réseau de dépendances peut être un support à la phase de gestion d'impacts (Section 3).

1 Le réseau de dépendances support à l'identification des négociateurs

Lors du déroulement du processus de conception, dès qu'un conflit est détecté, le *responsable* du processus de gestion de conflits établit, à partir du réseau de dépendances des données, une liste des données produit qui peuvent être à l'origine du conflit. Pour ce faire, il parcourt le réseau en progressant vers l'arrière (c'est-à-dire de la donnée en sortie vers la donnée en entrée). Ainsi, le responsable du processus de gestion de conflits est en mesure de retrouver l'ensemble des données produit dont dépend la donnée source de conflit. Pour illustrer ce raisonnement, reprenons l'exemple décrit dans la section 1 du chapitre 2 où la donnée « type roue turbine » produite par l'action de conception « définir roue turbine » dépend des données « spécification turbocompresseur », « standard interne », « type moteur » et « diamètre roue compresseur », du fait que ces données ont été consommées à l'entrée de l'action de conception « définir roue turbine ». Or, ces données sont produites par d'autres actions de conception en amont qui à leur tour ont consommé des données en entrée. À titre d'exemple, pour produire le paramètre « diamètre roue compresseur », le concepteur compresseur a utilisé en entrée de son action de conception un certain nombre de données telles que « diamètre carter compresseur », « performance sortie turbocompresseur » et « standard interne ».

C'est en suivant ce raisonnement que le réseau de dépendances est obtenu. Il permet d'avoir une vision sur l'ensemble des données dépendantes et permet ainsi à l'acteur d'identifier les données auxquelles la donnée source de conflit est dépendante. Ainsi et au regard du même

exemple, si le concepteur carter, lors de la définition du sous-ensemble carter turbine, observe un conflit sur le paramètre « diamètre roue turbine », il est en mesure d'identifier l'ensemble des données dont dépend cette donnée (« type roue turbine », « spécification T/C », « diamètre roue compresseur » et « diamètre roue turbine »). Afin d'identifier ces données, un ensemble de requêtes SQL est appliqué sur les informations tracées et relatives au processus de conception du turbocompresseur en question. Ces requêtes SQL⁵⁰ et leurs résultats sont décrits dans l'**Annexe B**.

Une fois l'ensemble des données identifié, l'acteur procède à l'identification des différents négociateurs qui seront invités au processus de résolution de conflit, formant ainsi l'équipe de négociation. Pour y arriver, il faut d'abord identifier les actions de conception productrices de ces différentes données à l'aide de requêtes sur les liens « donnée en entrée » et « donnée en sortie » entre les classes « Donnée Produit » et « Action de Conception ». Ensuite, en appliquant des requêtes sur le lien « est responsable de » entre les classes « Action de Conception » et « Ressource », les acteurs responsables sont identifiés. À chaque action de conception est assignée une ressource pour l'exécuter. Cette dernière est choisie pour assurer un rôle selon ses compétences et ses disponibilités. Ces ressources sont alors toutes invitées à la phase de négociation pour résoudre le conflit. Cependant, certaines ressources ne sont parfois pas disponibles pour participer au processus de résolution de conflits. Dans ce cas, le responsable du processus de gestion de conflits⁵¹ peut choisir une autre ressource disponible mais qui doit être du même domaine et avoir les mêmes compétences que celles non disponibles. Pour cela, il s'appuie sur les informations concernant la ressource non disponible (domaine, compétences, etc.) qui sont stockées dans la base de données suite à l'instanciation de la classe « ressource ». Les requêtes SQL définies pour l'identification des activités et de leurs ressources responsables sont décrites dans l'**Annexe B** (requête 6 et requête 7).

En reprenant l'exemple du cas d'étude fourni auparavant, la **Figure 36** illustre le raisonnement décrit ci-dessus suite à la détection d'un conflit sur la donnée produit « diamètre roue turbine » par la ressource « concepteur carter ». Les ressources à inviter au processus de résolution de conflits sont : concepteur turbine, concepteur compresseur, ingénieur équipe innovation, concepteur carter, chef de projet, Business Manager, expert aérodynamique et un

⁵⁰ Comme nous pouvons le constater, certaines requêtes ne correspondent pas exactement au modèle de traçabilité UML présenté **Figure 33**, étant donné que ce modèle a évolué au fur et à mesure de la rédaction de ce mémoire alors que le prototype était déjà développé sur la base d'une version n-1 du modèle.

⁵¹ Tel qu'il a été défini dans le chapitre 1, le leader est l'acteur responsable du déroulement du processus de gestion de conflits.

ingénieur représentant du client. Cependant, le responsable du processus de gestion de conflits est libre d'inviter d'autres ressources qu'il juge nécessaires, ou bien de ne pas inviter une ressource parmi celles identifiées s'il juge que sa présence n'est pas nécessaire. Ceci peut être le cas de la ressource « client » qui peut ne pas être invitée à la résolution du conflit, vu que la donnée « type moteur » est gelée et ne peut en aucun cas être modifiée. Cependant, son avis peut être utile pour aboutir à une solution.

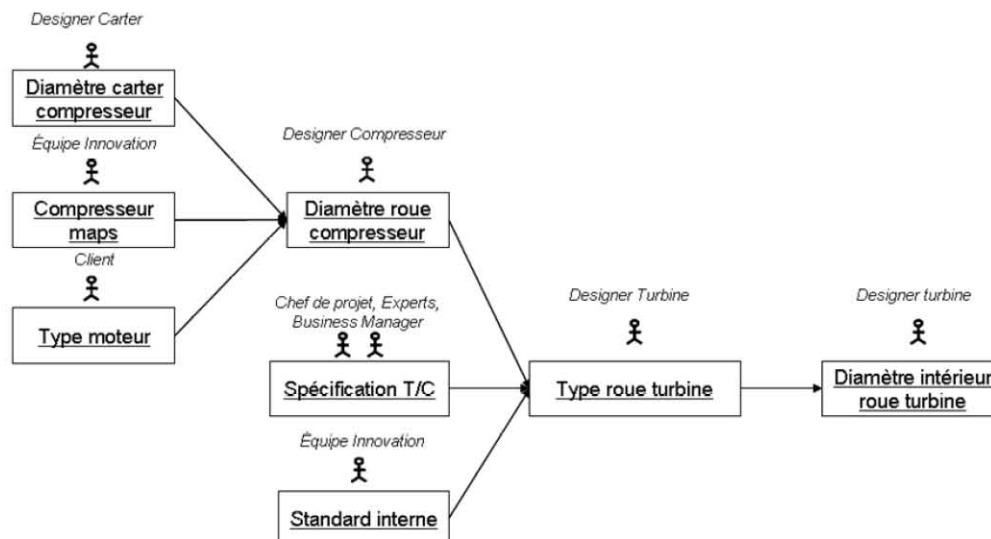


Figure 36. Réseau de dépendances de données partiel du turbocompresseur avec les ressources responsables de chaque donnée

Une fois l'équipe de négociation formée, un rôle est assigné à chacun des négociateurs durant la phase de résolution du conflit, tel qu'il a été défini dans le paragraphe 3.2.3 du chapitre 1.

2 Le réseau de dépendances support à la résolution de conflit

Afin de générer une solution pour le conflit détecté, l'équipe de négociation précédemment formée, procède à la négociation suivant le protocole CO2MED (Rose 2004). Rappelons que la prise de décision selon ce protocole est menée en des itérations de résolutions successives. Chaque itération de résolution est constituée d'une alternance d'actions de vulgarisation et de médiation :

- **Vulgarisation** : le négociateur qui mène la vulgarisation *explique* d'abord le problème qu'il rencontre avec les choix actuels sur le produit (en précisant l'élément du produit concerné et les caractéristiques qui posent problème). Ensuite, il *justifie* ou argumente sa motivation pour modifier la solution actuelle en précisant les mauvaises conséquences des choix actuels sur le produit (performances du produit, coût, faisabilité technique, cohérence avec le cahier des charges de l'utilisateur, etc.). Cette action de vulgarisation du problème doit se faire en des termes simples et connus de tous. Le négociateur peut faire part de son expertise en employant des paraboles, allégories, exemples ou contre-exemples concrets afin de traduire de façon la plus universelle possible le problème rencontré.
- **Médiation** : cette action a pour objectif de préconiser la *solution* à adopter pour palier au problème rencontré et éviter ainsi les mauvaises conséquences de l'ancienne solution. Elle provient soit du négociateur qui vient de vulgariser son problème pour proposer sa solution, soit d'un autre négociateur concerné par le conflit et qui veut approuver une solution donnée.

Ces actions de vulgarisation/médiation sont menées à tour de rôle par chacun des membres de l'équipe de négociation afin d'atteindre un consensus (cf. **Figure 37**). Chaque négociateur peut intervenir sur un problème à résoudre ou sur une solution proposée via les activités de vulgarisation/médiation. En effet, selon le rôle qui lui est assigné, un négociateur peut soit proposer une nouvelle solution à un problème vulgarisé, soit améliorer ou appuyer une solution déjà proposée (solution émergente). Ceci est le rôle du membre *collaborateur*. Cependant, certains membres de l'équipe de négociation peuvent révoquer une solution proposée en expliquant et argumentant le(s) problème(s) engendré(s) par cette solution (donc en vulgarisant le problème). Ceci est le rôle des membres *référents*, qui ne sont pas tenus à proposer des solutions au problème identifié, dont l'expertise permet une approbation intermédiaire des alternatives et solutions proposées.

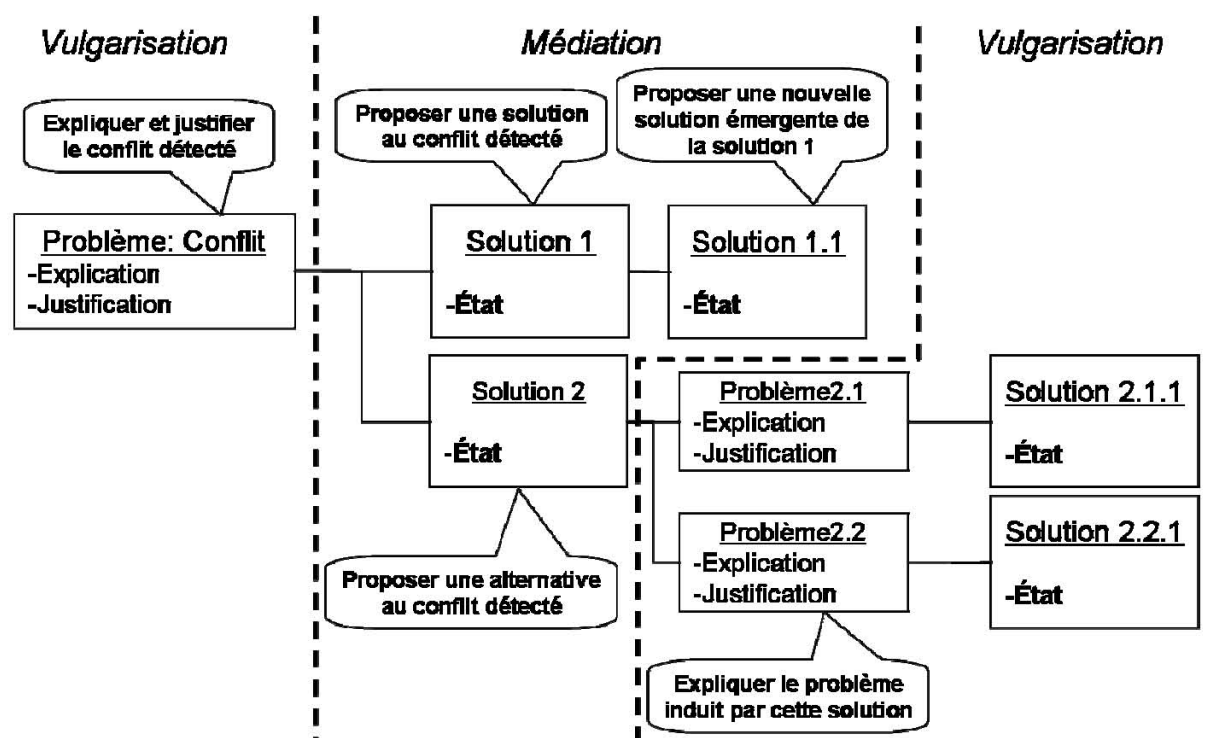


Figure 37. Enchaînement des activités de vulgarisation/médiation pour la résolution du conflit détecté

Outre la structuration de l'équipe de négociation, nous proposons dans ce travail de thèse d'étendre le protocole CO2MED afin d'assurer une prise de décision efficace et rapide. Premièrement, nous proposons aux membres de l'équipe de négociation des utilisations différentes du réseau de dépendances durant la phase de négociation. À chaque fois qu'une solution est proposée par un *collaborateur*, l'équipe est capable d'évaluer l'impact de cette solution sur le reste des données identifiées dans le réseau. Ceci permettra de choisir la solution la plus convenable tout en maîtrisant ses impacts. Cependant, les impacts sur des données non identifiées dans le réseau initial ne peuvent pas être détectés. L'équipe est alors obligée d'étendre le réseau de dépendances initialement généré pour explorer un nombre plus important de données impactées. Cette tâche est rendue possible et rapide grâce à la liberté de choix de la donnée de départ du réseau à générer. Plus encore, si l'équipe de négociation décide de ne s'intéresser qu'aux données importantes, le réseau de dépendances de données critiques peut leur fournir un choix de données dont le degré de dépendance est fixé selon un seuil choisi par l'équipe ou le *responsable* de la gestion de conflits.

Lors de l'enchaînement des itérations de résolution du conflit, il se peut que de nouveaux conflits apparaissent entre les membres de l'équipe de négociation concernant les alternatives et solutions proposées. Pour traiter ces conflits, de nouvelles expertises sont nécessaires et la

constitution de l'équipe de négociation est alors révisée. Des acteurs de conception concernés par les conséquences de résolution de ces nouveaux conflits sont alors invités à rejoindre l'équipe de négociation initiale. Ces acteurs sont identifiés suite à une mise à jour⁵² du réseau de dépendances. L'évolutivité du réseau rend ainsi l'équipe de négociation dynamique, ce qui permet une résolution plus efficace du conflit détecté.

Selon le protocole CO2MED, la clôture de la résolution de conflits peut être menée par une demande de vote⁵³ aux différents négociateurs ayant participé à la négociation si un consensus n'est pas établi. Afin de mener à bien et d'une manière efficace ce processus de vote, nous proposons que chaque collaborateur responsable d'une solution estime l'état de la solution afin de l'argumenter. Les états de solution utilisés dans ce travail de thèse sont ceux proposés par (Grebici 2007) : brouillon, pièce à conviction, trace-habilité et livrable. Lors du vote, chaque négociateur dispose ainsi de toutes les solutions proposées ainsi que de leurs états. Si un négociateur hésite entre plusieurs solutions, l'état de la solution peut être le critère de choix de vote. Ce critère lui permet d'estimer l'ampleur de l'impact de la solution sur l'ensemble des données qu'il manipule. Étant donné qu'une solution correspond à une ou plusieurs donnée(s); qu'elle soit à l'état « livrable » implique moins d'itérations de conception que si la donnée est à l'état trace-habilité. Quand le quorum minimal de voix en faveur d'une solution est atteint, celle-ci est adoptée. Sinon, le choix de la solution est autoritaire et revient au *responsable* de la gestion de conflits en se basant sur un ensemble de critères dont : état de la solution proposée. La solution à l'état le plus avancé permet de réduire le temps nécessaire à son intégration vu que le nombre d'itérations de conception est nul.

3 Le réseau de dépendances de données support à la gestion des impacts

Comme décrit précédemment, la phase de négociation est clôturée suite soit aux votes des différents négociateurs, soit à un choix autoritaire du *responsable* de la gestion de conflits. La

⁵² Actuellement, la mise à jour du réseau de dépendances se fait manuellement, étant donné que le réseau n'est généré que suite à une demande de l'initiateur du processus de gestion de conflits. Ceci dit une mise à jour automatique peut être envisageable et techniquement réalisable.

⁵³ Son instanciation est automatique en cas de non respect d'un jalon (pas d'accord sur une solution unique dans une durée d) ou lors d'un nombre trop important de solutions proposées.

dernière phase du processus de gestion de conflits consiste alors à intégrer les modifications engendrées par cette solution. Le paragraphe 3.1 suivant est consacré à l'étude de l'impact que peut avoir une solution sur l'ensemble des données produit, le paragraphe 3.2 s'intéresse plutôt à l'impact des modifications engendrées par la solution sur la coordination du processus de conception. Alors que le paragraphe 3.3 traite l'impact de la solution choisie sur l'organisation du processus de conception et plus particulièrement sur les performances du processus en termes d'effort et de délai.

3.1 Impact sur les données produit

Le processus de résolution de conflits conduit à la génération d'une solution qui concrètement revient à modifier une ou plusieurs données parmi celles qui ont été utilisées pour la réalisation de la donnée source de conflit. Ces données sont souvent de type paramètre, ce qui favorise l'acceptabilité et la facilité d'implémentation de la solution. En effet, il est plus facile pour les acteurs de conception d'intégrer la modification d'une donnée élémentaire tel qu'un paramètre (par exemple « forme ailette roue turbine ») qu'une modification d'une donnée composée tel un modèle CAO.

Le processus de conception est composé d'une succession d'actions de conception qui s'échangent des données produit afin d'atteindre leurs objectifs ; modifier une donnée implique alors une cascade de modifications sur les données dépendantes. Il est donc nécessaire de propager l'impact de la solution retenue sur le reste des données produit.

Dans la suite de cette section, nous présentons l'approche que nous proposons pour propager les impacts (§3.1.1) et nous l'illustrons sur le cas industriel considéré (§3.1.2). Ensuite, nous présentons dans le §3.1.3 l'utilisation du réseau de dépendances de données critiques pour la propagation des impacts. Le §3.1.4 présente une synthèse sur la propagation des impacts sur les données produit.

3.1.1 Approche adoptée pour la propagation des impacts

Les processus de gestion de modifications actuellement utilisés sont spécifiques et personnalisés suivant l'entreprise. Hormis le contexte de l'industrie aéronautique, il s'avère un manque de démarches structurées et d'outils efficaces support à la gestion de modification (Riviere *et al.* 2003 ; Clarkson *et al.* 2004 ; Jarratt 2004).

Partant du fait que la plupart des approches et méthodes proposées dans la littérature (cf. chapitre 1 paragraphe 3.3.2) s'accordent sur la nécessité d'aborder le problème de propagation

de l'impact d'une modification par l'identification des liens et les relations existants entre les différentes données manipulées durant le processus de conception, propager l'impact de la solution retenue revient à identifier l'ensemble des données produit dépendantes de la solution retenue.

L'approche de gestion d'impacts que nous adoptons dans ce travail de thèse se compose en deux étapes : identifier les données dépendantes et propager l'impact de la modification sur ces données.

Pour la phase d'identification des données dépendantes de la solution retenue, nous nous basons sur le réseau de dépendances présenté au chapitre 2 et généré à partir d'une base de données traçant le processus de conception. Ce réseau se différencie de celui généré pour supporter la phase d'identification de l'équipe de négociation par son élément de départ, c'est-à-dire la donnée (ou le nœud) à partir de laquelle le réseau est extrait. Étant donné que la solution au conflit consiste à modifier une ou plusieurs données produites durant le déroulement du processus de conception ; le ou les nœuds de départ du réseau sont donc les données à modifier représentant la solution. Une fois que le réseau est généré, les données impactées peuvent être identifiées. Afin d'illustrer cette démarche d'identification des données impactées, nous reprenons le réseau de dépendances (théorique) présenté dans la **Figure 25** , où un conflit est détecté sur la donnée D6 et en supposant qu'à l'issue de la résolution du conflit, les négociateurs ont statué sur une solution qui consiste à modifier la donnée D9 (cf. **Figure 38**).

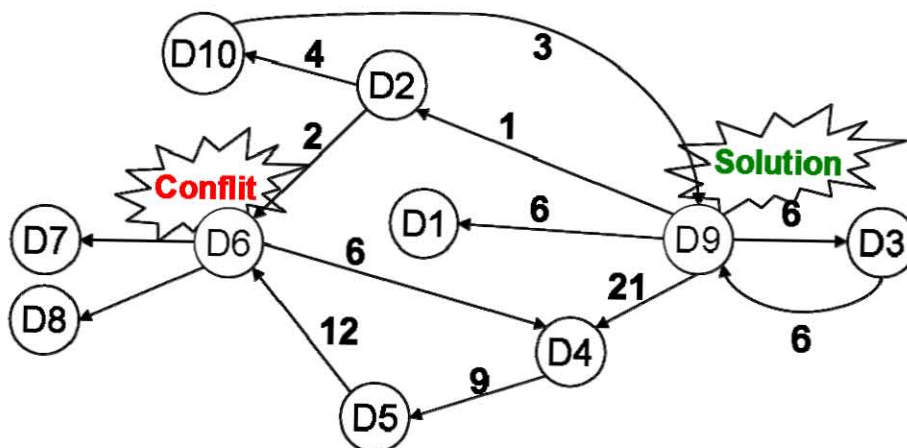


Figure 38. Exemple théorique d'un réseau de dépendances de données

Ainsi, le nœud de départ du réseau support à la propagation d'impact, c'est-à-dire généré suite au choix de la solution, est la donnée D9 comme illustré dans la **Figure 39**.

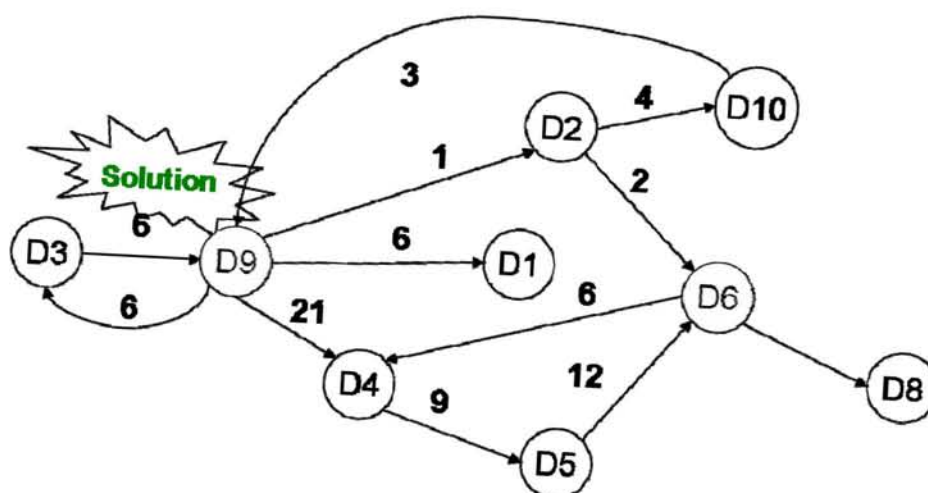


Figure 39. Réseau de dépendances de données support à la gestion des impacts

Une fois le réseau de dépendances de données identifié, le responsable de la phase de gestion des impacts parcourt le réseau vers l'avant en partant de la donnée solution (D9 dans ce cas). Ceci consiste à parcourir le réseau dans le sens du lien de la dépendance qui existe entre deux données ; c'est-à-dire de la donnée produit en entrée vers la donnée produit en sortie comme le montrent les flèches discontinues dans la **Figure 40**.

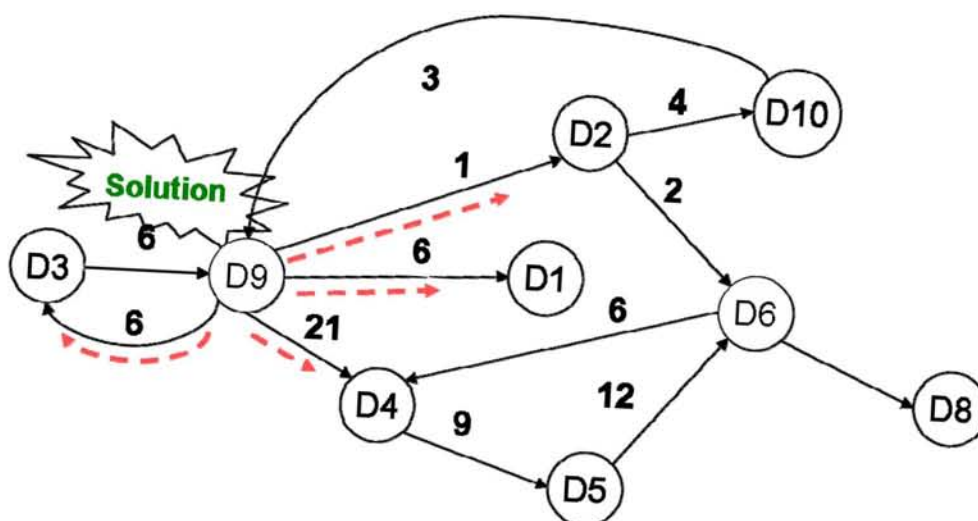


Figure 40. Identification des données impactées

Dans le cas théorique présenté ci-dessus, le responsable du processus de gestion de conflits commence par chercher quelles sont les données dépendantes de D9 et ainsi de suite. Les données D3, D1, D2 et D4 sont ainsi identifiées étant donné que D9 est une donnée utilisée en entrée pour leur réalisation. Par conséquent, modifier la donnée D9 implique la modification des données D1, D2, D3 et D4. De la même manière, cette modification est propagée sur les données dépendantes de ces dernières. Ce raisonnement est appliqué jusqu'à ce que tout le réseau soit parcouru et que les données produit à modifier soient identifiées.

Une fois la liste des données à changer établie, le responsable du processus de la gestion des modifications notifie l'ensemble des ressources concernées. Ces dernières sont identifiées à l'aide des informations tracées durant le processus de conception de la même manière que pour identifier les négociateurs (à chaque donnée produit est associée une ressource responsable de son élaboration). Dans le cas où une ressource identifiée n'est pas disponible, une nouvelle ressource est désignée pour réaliser les modifications nécessaires, en se basant sur les informations tracées concernant la ressource indisponible lors de la réalisation de la donnée en question. Ces informations concernent essentiellement le domaine de la ressource, les connaissances et compétences nécessaires pour réaliser cette donnée, ou autres informations que la ressource indisponible a précisé durant la réalisation de son activité telles que la consultation précise d'un autre projet ou d'une norme spécifique. À partir de ces informations et en se basant sur une matrice de compétences par exemple, le responsable du processus de gestion de conflits est capable de désigner la ressource à même de procéder aux modifications nécessaires.

Pour bien mener ce processus de modification, nous proposons de supporter les différentes ressources à l'aide des éléments tracés durant le processus de conception. Chaque ressource dispose ainsi d'un ensemble d'informations lui permettant de faciliter et accélérer l'intégration des modifications requises :

- La logique de conception, déployée lors de l'élaboration des données produit qui doivent être modifiées, permet à la ressource de définir la modification à intégrer.
- Les liens de cohérence entre la donnée à modifier et les données utilisées en entrée. Ce sont toutes les contraintes qui doivent être vérifiées afin de maintenir la cohérence du produit à concevoir.
- La variabilité des données en entrée, la sensibilité de la donnée par rapport à celles utilisées en entrée et la complétude requise des données produit en entrée permettent à la ressource de s'informer sur la situation de conception dont il sera responsable. Par ailleurs, ces informations seront utilisées pour coordonner l'activité d'intégration des modifications avec l'ensemble des activités responsables des données dépendantes et dont elle-même dépend. Ceci fera l'objet du paragraphe 3.2 de ce chapitre.

3.1.2 Illustration sur le cas d'étude du turbocompresseur

Afin d'illustrer l'approche proposée ci-dessus, nous reprenons le cas d'étude présenté dans la section 1 du chapitre 2 pour illustrer l'approche DEPNET. Suite aux phases de négociation et de génération de solution, les négociateurs ont choisi une solution qui consiste à modifier la donnée produit « diamètre carter compresseur ». A partir de cette donnée produit, le réseau de dépendances permettant d'identifier la liste des données produit à modifier et de propager l'impact de cette modification est alors généré. Pour la clarté d'illustration du résultat de l'approche proposée, nous ne montrons qu'une représentation partielle du réseau de dépendances résultant dans la **Figure 41**.

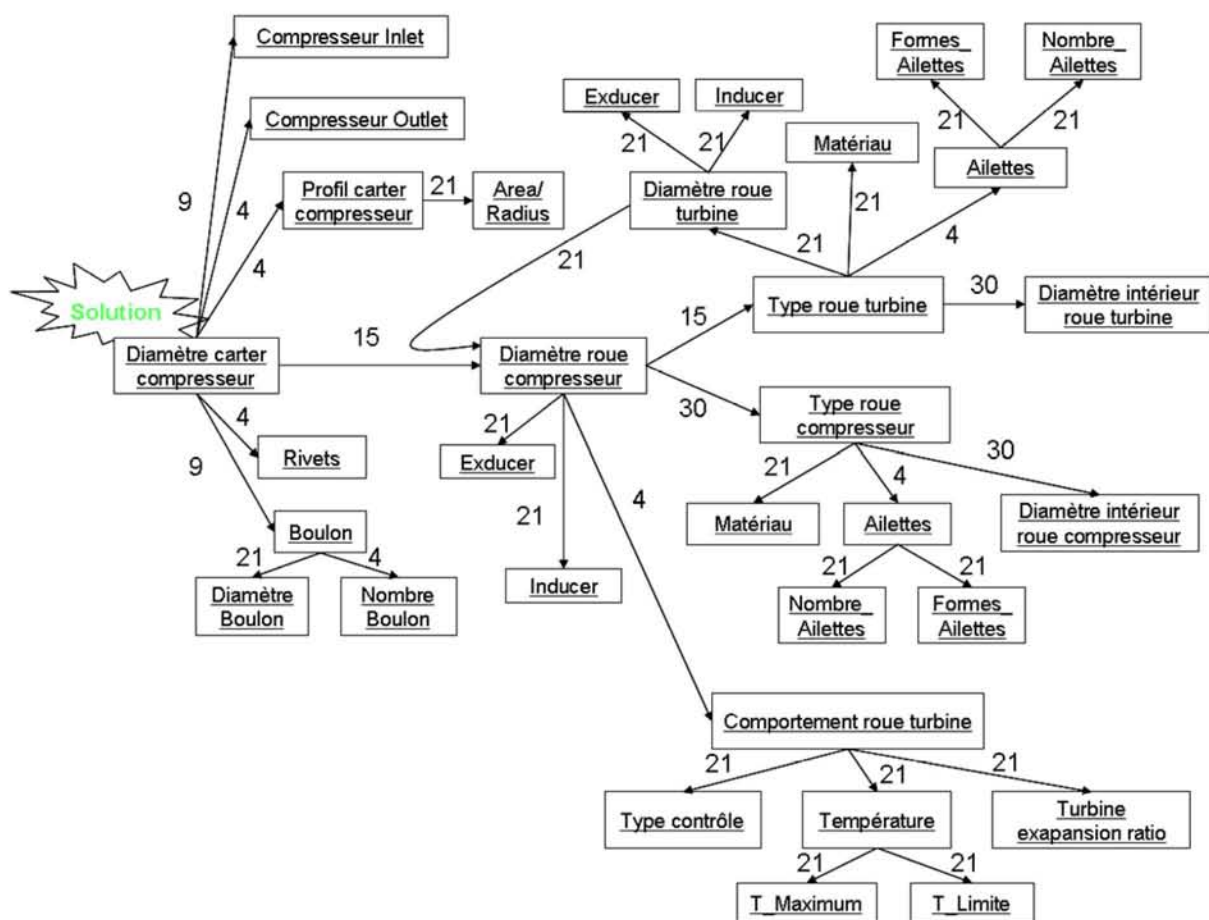


Figure 41. Vue partielle du réseau de dépendances associé au cas d'étude Turbocompresseur

Une liste de données produit est ainsi établie et les responsables de leur réalisation sont notifiés de la modification à appliquer. Cet exemple avec une trentaine de nœuds n'est qu'une vue partielle du réseau considéré et il est relatif à un produit relativement peu complexe. Si l'on considère un produit plus complexe, le nombre de nœuds (donc de données) à traiter serait considérable et de ce fait l'intégration des modifications résultantes serait coûteuse en temps et en argent (car nécessitant une durée d'exécution plus importante et mobilisant

davantage de ressources). Afin d'optimiser ce processus, nous utilisons le réseau de dépendances critiques introduit dans le chapitre 2 afin de diminuer le nombre de données à traiter. La section suivante illustre cette démarche.

3.1.3 Le réseau de dépendances de données critiques pour la gestion d'impacts.

Le réseau de dépendances des données critiques est extrait du réseau de dépendances en ne gardant que les liens de dépendances dont le degré est faible, c'est-à-dire un degré de dépendance inférieur à une valeur seuil que précise le responsable du processus de gestion de conflits.

Pour identifier le réseau de dépendances critiques, le principe est de parcourir le réseau d'un niveau à un autre, en éliminant à chaque niveau les liens de dépendances dont la valeur du degré de dépendance est strictement inférieure au seuil fixé. A chaque fois qu'un lien dont le degré de dépendance est inférieur à 4 est identifié, il est éliminé ainsi que ses successeurs. Nous schématisons ce principe dans la figure suivante où la valeur seuil choisie (arbitrairement) est 4.

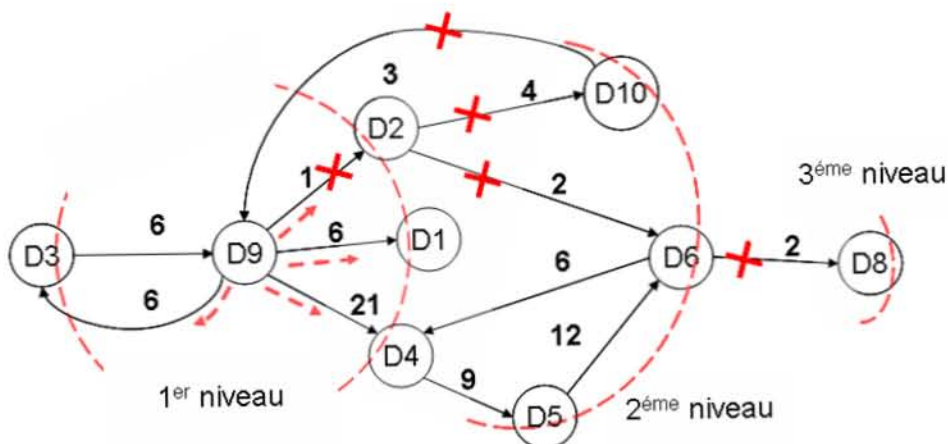


Figure 42. Illustration du principe d'élimination des dépendances faibles

Sur l'exemple de la **Figure 42**, partant de la donnée D9 (solution au conflit détecté), la propagation de la modification sur le 1^{er} niveau impacte seulement les données D1, D3 et D4 vu que le degré de dépendance du lien D9 - D2 est inférieur à la valeur seuil définie. L'élimination de la donnée D2 entraîne automatiquement l'élimination de la donnée D10 et D6. Cependant, en partant des données D1, D3 et D4, les données D5 et D6 sont identifiées comme des données impactées par la modification de la donnée D9. Ainsi, les données

identifiées sur le 2^{ème} niveau sont D5 et D6. La propagation de l'impact de la modification de la donnée D9 est appliquée à tous les niveaux.

Disposer des données liées à la solution par des dépendances dont le degré est au minimum modéré (cf. **Tableau 10**) permet de ne se concentrer que sur les données nécessitant une attention particulière, par exemple les itérations de conception dues à la variabilité et la sensibilité des données en entrée et en sortie ou le temps d'attente d'une donnée liée à la complétude requise en entrée pour réaliser une autre. Cette diminution du nombre de nœuds permet ainsi d'optimiser la gestion des impacts en réduisant le coût et le délai d'intégration des modifications requises. La **Figure 43** illustre le réseau de dépendances des données critiques obtenu à partir du réseau initial présenté dans la **Figure 42**.

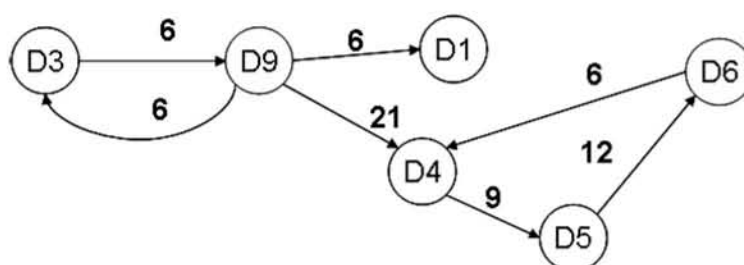


Figure 43. Exemple théorique du réseau de dépendances de données critiques

La suite de cette section est consacrée à l'illustration de cette approche de propagation par le réseau critique sur le cas d'étude présenté dans le paragraphe 1 du chapitre 2. En éliminant du réseau de dépendances initial les liens de dépendances faibles (degré de dépendance inférieur à 4) nous obtenons le réseau de dépendances de données critiques présenté dans la **Figure 44**.

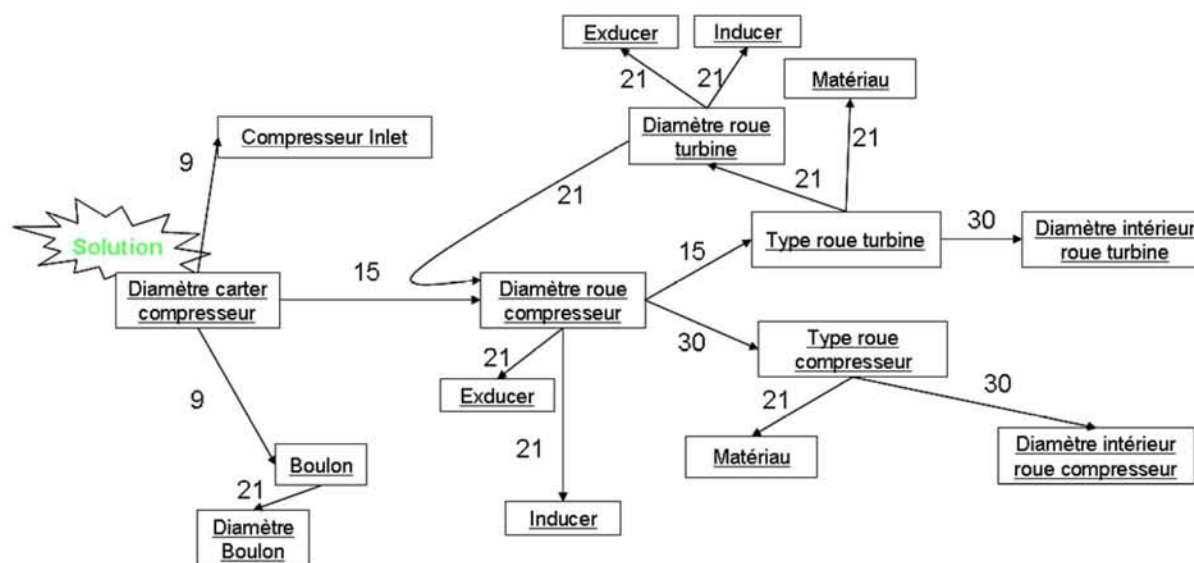


Figure 44. Réseau de dépendances critiques relatif au cas d'étude Turbocompresseur

Nous constatons que le nombre des données impactées par la modification a nettement diminué (16 au lieu de 33) tout en gardant la cohérence de l'ensemble des données produit. Par exemple, l'impact de la modification du paramètre « Diamètre carter compresseur » est faible sur la donnée « Rivet ». En effet, les caractéristiques de la donnée produit « Rivet » sont définies par le nombre, le positionnement et la longueur des rivets. Ces caractéristiques sont calculées à partir des données produit « Matériau carter compresseur », « Matériau carter Core-product », « surface de contact carter compresseur/carter Core-product » et autres. Afin de les valider, le concepteur carter consulte la donnée produit « Diamètre carter compresseur ». Ainsi, la modification de la donnée produit « Diamètre carter compresseur » ne nécessite pas la modification de la donnée « Rivet ».

3.1.4 Synthèse

La solution choisie à un conflit consiste souvent à modifier une ou plusieurs donnée(s) produit dont dépend la donnée source de conflit ; c'est-à-dire une donnée qui a été utilisée pour l'élaboration de celle qui est la source de conflit. Cependant, modifier une donnée produit préalablement définie implique souvent une cascade de modifications des données dépendantes. Afin de maintenir la cohérence de l'ensemble des données produit, il est nécessaire de gérer l'impact de ces modifications.

La gestion d'impacts d'une solution sur les données produit revient à identifier les liens entre les différents composants d'un produit pour ensuite propager la modification de la donnée représentant la solution sur les données dépendantes. Ainsi, nous avons proposé une approche pour la propagation d'une modification sur l'ensemble des données produit. Le réseau de dépendances de données, généré à partir de l'instanciation du modèle de traçabilité, permet d'identifier l'ensemble des données produit susceptibles d'être concernées par une modification. Cette approche est indépendante du contexte de l'élaboration et de l'utilisation de ces données. Elle peut être appliquée durant les différentes phases de développement du produit, telles que la pré-conception, la conception détaillée, le prototypage ou la production. Cette approche peut être utilisée également dans le cas de produit complexe à l'aide du réseau de dépendances de données critiques.

Outre l'identification des données produit impactées, l'analyse d'impact consiste à déterminer la nature d'une modification et l'estimation de son degré d'importance pour faciliter son intégration. L'approche que nous proposons présente un certain nombre d'éléments qui permettent d'apporter un support aux responsables du processus de gestion de conflits ainsi

que les ressources déployées pour l'intégration des modifications, tels que le degré de granularité de la donnée produit à modifier, son type, son format, la logique de conception support à sa réalisation et les trois attributs complétude, variabilité et sensibilité.

À l'issue de la propagation de la modification, une liste des données produit à modifier est établie. Les ressources identifiées pour mettre en œuvre ces modifications disposent d'un ensemble d'informations qui leur permettent de bien mener l'intégration des modifications en déterminant son type et en estimant son degré d'importance. L'intégration d'une modification nécessite cependant la ré-exécution de l'action de conception où la donnée produit à modifier a été réalisée. Une liste d'actions de conception à réaliser est ainsi établie. Il convient donc de planifier et de coordonner ce nouveau processus. La section suivante traite de ces aspects.

3.2 Impact sur la coordination du processus de conception

Rappelons que suite à la résolution de conflits, la solution choisie consiste à modifier une donnée produit dont dépend la donnée source de conflit. Cette modification implique souvent une cascade de modifications de certaines données précédemment définies. À partir de la liste de données établie suite à la propagation des modifications, il nous est possible de déterminer la liste des actions de conception responsable pour la redéfinition des données produit identifiées. En effet, toute donnée produit est le résultat d'une action de conception. Ainsi, à partir des informations tracées à l'aide du modèle de traçabilité du processus de conception (présenté dans le chapitre 2), une requête sur le lien « donnée en sortie », entre les classes « donnée produit » et « action de conception », permet de retrouver les actions de conception qui ont produit les données figurant dans la liste de données produit à modifier. Le résultat de cette requête est une liste des actions de conception à ré-exécuter.

Cependant, le processus de gestion de conflits, et plus précisément la phase de gestion des impacts, est un processus non planifié et qui doit être mené le plus rapidement possible afin de respecter les contraintes auxquelles est soumis le processus de conception (délai, qualité, coût). Pour ce faire, nous proposons d'organiser les actions à ré-exécuter en organisant le flux de données qui les relie pour prendre en compte les contraintes du processus de conception global. Autrement dit, la coordination du processus de conception reviendra à organiser la diffusion des données produit échangées entre les différentes actions de conception. Avant de présenter les stratégies de coordination que nous proposons pour coordonner le processus (§3.2.2), nous passons en revue les travaux de recherche qui se sont focalisés sur le problème de coordination des activités de conception (§3.2.1).

3.2.1 Coordination du processus de conception : Etat de l'art

Il nous apparaît important, avant d'aborder les travaux qui se sont intéressés à la coordination du processus de conception, de définir ce qu'est coordination en conception.

La coordination est définie dans le Petit Robert comme « des règles et des procédures qui assurent le fonctionnement d'un groupe (gestion de flux de tâches) ». La coordination est également définie comme : « l'agencement des parties d'un tout selon un plan logique, pour une finalité déterminée » (David 2004) (Rose 2004). Plus encore, Jeantet (Jeantet *et al.* 1996) définit la coordination comme étant l'organisation de la « concurrence » des actions pour assurer non seulement la cohérence, mais l'optimisation globale de leurs résultats. Cette organisation est souvent guidée par le flux de données échangées entre les différentes activités du processus de conception. C'est en se basant sur ce constat que différents travaux de recherche proposent de coordonner le processus de conception. Toutes les démarches proposées dans ces travaux œuvrent pour l'amélioration de la performance du processus de conception ; en proposant une organisation des échanges des informations entre activités qui réduise les coûts et les délais et augmente la qualité. Dans ce qui suit nous présentons certaines de ces démarches de coordination.

Les travaux les plus prometteurs, et qui ont fortement influencé les travaux émergents sur la modélisation du processus de conception concourant guidé par l'échange de données, sont ceux de Krishnan (Krishnan *et al.* 1997) qui ont proposé un modèle déterministe pour le recouvrement des activités séquentielles afin de réduire la durée de développement. Ce modèle permet de déterminer quand et comment deux activités peuvent se chevaucher (c'est-à-dire la période de concurrence pendant laquelle les activités s'échangent les informations) en se basant sur les concepts : *probabilité d'évolution* et *degré de sensibilité*. L'*évolution* est définie comme étant la vitesse à laquelle l'intervalle de valeurs converge vers une solution finale de l'activité amont. La *sensibilité* est définie comme étant la durée d'itération de l'activité aval pour incorporer les changements de la solution fournie par l'activité amont. Les auteurs proposent d'étudier les possibilités de recouvrement entre deux activités selon les quatre cas extrêmes identifiés pour la coordination du processus de conception ; pour l'évolution : rapide et lente et pour la sensibilité : forte et faible.

À l'aide d'un programme mathématique, Krishnan étudie l'impact des propriétés « évolution » et « sensibilité » sur le temps global de développement. Par exemple, plus l'activité aval est sensible aux changements des informations fournies par l'activité amont,

plus le temps nécessaire aux retraitements de l'activité aval ainsi que le temps de réalisation du processus sont importants. En fonction des résultats obtenus grâce au programme mathématique, une stratégie de recouvrement (date d'échange des informations) des activités amont et aval est proposée aux acteurs, permettant de réaliser le minimum d'itérations et donc le minimum de temps de réalisation des activités.

Les travaux de Krishnan (Krishnan *et al.* 1997) ont été complétés par ceux de Loch et Terwiesch (Loch et Terwiesch 1998) en proposant un modèle analytique pour la gestion des modifications en conception. Cependant, les auteurs conceptualisent autrement les informations préliminaires, elles sont précises dès le départ et sont modifiées au cours de l'évolution de la conception. Ces modifications sont intégrées par l'activité aval, durant la durée de recouvrement entre les activités, par le biais des demandes de modifications. Ces modifications engendrent des risques élevés d'itération de l'activité aval, plus particulièrement dans le cas où les conditions d'incertitude (définies par l'évolution et la sensibilité) sont élevées. Pour cela, Loch et Terwiesch favorisent les interactions entre les acteurs durant la durée de recouvrement des deux activités. Ces interactions sont un facteur de réduction des effets des itérations en aval, mais en même temps peuvent être coûteux en temps et en argent. La stratégie de recouvrement proposée consiste à propager les modifications sur les informations en amont, le plus rapidement et le plus tôt possible, vers l'activité aval. Plus tard les changements surviennent dans le processus, plus difficile est leur traitement et moindre est la contribution de l'interaction entre les acteurs à la réduction des itérations.

Dans les travaux de Yassine (Yassine *et al.* 1999a ; Yassine *et al.* 1999b), un modèle probabiliste de décision a été également proposé pour traiter les changements durant le processus de conception. Les auteurs proposent trois différentes stratégies pour coordonner les activités de conception : *séquentielle*, *recouvrement partiel* et *parallèle*. Ces stratégies se basent sur le type de dépendances entre les activités à coordonner (indépendance, dépendance et interdépendance) et qui sont définies en fonction des concepts évolution et sensibilité proposés dans (Krishnan *et al.* 1997). Dans le cas où deux activités sont indépendantes, c'est-à-dire il n'y a pas d'échange d'information entre elles, la stratégie appliquée est la parallélisation. Le transfert séquentiel des informations est appliqué pour les activités dépendantes, c'est-à-dire l'échange d'information entre les deux activités se fait dans un seul sens (de l'activité amont vers l'activité aval). La stratégie de recouvrement partiel est déployée dans le cas d'activités interdépendantes (c'est-à-dire l'échange d'informations entre

les activités se fait dans les deux sens, de l'activité amont vers l'activité aval et vice versa). L'échange d'information dans ce cas doit, toutefois, minimiser le risque d'itération de l'activité aval quand un changement survient durant l'activité amont.

En plus de la réduction du temps de développement, Yassine s'est intéressé à l'optimisation des efforts déployés durant la réalisation des activités de conception. Afin de minimiser ces efforts, Yassine propose de décomposer l'information échangée entre les activités en informations plus élémentaires. Cette décomposition permet d'identifier avec plus de précision les informations critiques, c'est-à-dire celles qui ont une évolution ou une sensibilité importante. La combinaison d'une décomposition des informations avec une stratégie de coordination est étudiée et modélisée de façon probabiliste. À travers cette étude Yassine conclue que pour réduire les retards, tout en gardant un effort de coordination acceptable, il est essentiel de combiner une stratégie de coordination avec une décomposition des informations échangées.

Enfin, Bhuiyan (Bhuiyan *et al.* 2004) propose un modèle stochastique permettant d'atteindre les performances de délai et d'effort optimales du processus de conception. Elle met l'accent sur la nécessité de la collaboration entre les différents participants. Pour ce faire, Bhuiyan a étudié les liens entre les itérations en conception et les performances du processus. Deux types d'itérations sont distingués : les itérations de conception (*design version*) qui correspondent aux remises en cause des informations déjà communiquées à une activité aval et aux modifications effectuées par l'activité amont, et les itérations de type « *churn* » qui correspondent aux itérations effectuées au sein d'une même activité par des changements incrémentaux informels.

En utilisant un modèle stochastique, Bhuiyan examine sous différentes conditions d'incertitude (définies par l'évolution et la sensibilité) l'influence du taux de *recouvrement* et du taux d'*interaction multifonctionnelle* sur les performances du processus de conception. Le taux d'interaction fonctionnelle entre deux activités dépendantes correspond à la durée nécessaire à la coopération entre les responsables de chacune des deux activités afin de produire une donnée. Ce taux est exprimé en fonction de la durée de l'une des deux activités. Les liens entre les taux de *recouvrement* et d'*interaction multifonctionnelle* sont examinés à travers les risques d'itérations de conception et celles de type « *churn* ». Les résultats de cette étude montrent qu'avec ou sans recouvrement, l'augmentation des interactions multifonctionnelles peut impliquer soit un temps de développement important (avec des efforts faibles) ou des efforts importants (avec une durée faible). Ainsi, l'approche de

recouvrement des activités sans interactions multifonctionnelles est déconseillée pour n'importe quelle condition d'incertitude. En outre, l'augmentation du recouvrement entre les activités avec des interactions multifonctionnelles est appropriée pour le cas d'une faible évolution et d'une faible sensibilité ; et est déconseillée pour de fortes conditions d'incertitude.

En résumé, afin d'assurer une coordination optimale du processus de conception, l'ensemble des propositions présentées ci-dessus s'accorde sur l'importance de maîtriser l'échange des informations entre les activités pour réduire les risques d'itérations dues aux conditions d'incertitude (évolution et sensibilité dans le cas de ces travaux), mais aussi dues aux interdépendances entre les activités tel que vue par Yassine (Yassine *et al.* 1999a).

Des stratégies de coordination par recouvrement des activités sont proposées dans ces travaux. Elles se basent sur l'organisation de la diffusion des informations entre les activités, en estimant la durée de recouvrement ou les dates de diffusion. Nous notons par ailleurs que l'ensemble des travaux passés en revue souligne l'importance des interactions entre les acteurs afin de traiter le cas d'interdépendance entre activités. Dans la littérature cette interaction est désignée par « interaction multifonctionnelle » (Bhuiyan *et al.* 2004) ou « coopération » (Grebici 2007). Ces interactions permettent de diminuer le risque des itérations de conception qui se manifestent sous forme d'itération formelle et d'itération informelle. Les itérations formelles correspondent aux demandes de modification suite à une activité décisionnelle. Selon Grebici (Grebici 2007), ces itérations correspondent aux remises en cause d'une donnée produit déjà diffusée dans un espace planifié : espace projet ou espace public⁵⁴. Les itérations informelles correspondent aux intégrations incrémentales des modifications au cours de l'exécution d'une action de conception. Elles sont souvent désignées par « design churn » (Yassine et Braha 2003) (Bhuiyan *et al.* 2004) (Grebici 2007).

Dans la section suivante, nous présentons des stratégies pour la coordination des actions de conception à ré-exécuter, identifiées suite à la propagation des modifications imposées par la solution au conflit. Ces stratégies présentent des modes de diffusion des données entre les activités en prenant en compte les conditions d'incertitude (complétude, variabilité et sensibilité). Elles permettent de diminuer les risques d'itérations afin de respecter les contraintes du processus de conception global.

⁵⁴ Grebici définit quatre types d'espace de travail selon la maturité de la donnée produite : privé, proximité, projet et public.

3.2.2 Des stratégies pour la ré-organisation des actions de conception

L'objectif ici est de proposer un ensemble de stratégies pour coordonner les actions de conception identifiées suite à la résolution de conflit tout en réduisant les itérations. Ces stratégies consistent à proposer des approches de diffusion de données produit entre les différentes actions de conception, et ce en se basant sur les attributs de « complétude », « variabilité » et « sensibilité » (définis dans le chapitre 2 – §3.2.2). En effet, selon les valeurs de ces différents attributs, nous proposons une stratégie différente de diffusion de données.

Nous commençons tout d'abord par discuter le cas des actions de conception dépendantes (sans lien de retour entre elles). Ensuite, nous abordons les cas les plus complexes, c'est-à-dire, les actions de conception interdépendantes (faiblement ou fortement).

3.2.2.1 Coordination des actions de conceptions dépendantes

Afin de présenter les différentes stratégies de coordination, nous considérons tout le long de ce paragraphe un exemple simple de dépendance : un lien de dépendance entre deux actions de conception (AC1 et AC2), qui produisent respectivement deux données produit (DP1 et DP2). Un lien de dépendance entre deux actions de conception exprime un échange de données dans un seul sens. Dans le cas de la **Figure 45**, AC2 est dépendante de AC1, vu que AC2 utilise la donnée DP1 fournie par AC1 pour produire DP2.

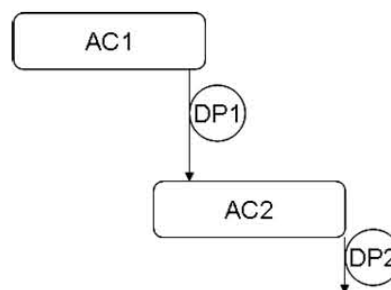


Figure 45. Exemple de deux actions de conception dépendantes

Les stratégies proposées sont définies en fonction de la valeur des attributs complétude, variabilité et sensibilité. Pour chaque cas d'analyse, un mode de diffusion des données produit est suggéré afin d'organiser les actions de conception responsables de leur production. Avant de présenter ces divers cas, nous soulignons que dans le cas particulier où la complétude de DP1 est « non utilisée » ($C_{DP1} = 0$), les données DP1 et DP2 sont indépendantes (degré de dépendance égale à 0). Quelles que soient les valeurs de la variabilité et de la sensibilité, les actions de conception associées (AC1 et AC2) peuvent être lancées simultanément sans risque d'itérations et la stratégie appliquée correspond à ce qu'on appelle le « *recouvrement total* ».

Dans le cas où la complétude de DP1 est non nulle ($C_{DP1} \geq 1$), plusieurs cas se présentent :

Cas 1 : la variabilité de DP1 est « pas variable » ($V_{DP1} = 0$)

La donnée DP1 une fois produite est stable et il est par conséquent possible d'anticiper sa valeur ainsi que ses dates de production et d'utilisation par l'action de conception AC2. En effet, dans le cadre de la ré-exécution de l'action de conception AC1, l'acteur responsable dispose des informations nécessaires pour la réalisation de DP1 à partir de la trace du processus de conception. À cela se rajoute le fait que la donnée DP1 ne varie pas, l'acteur est donc capable à partir de son expertise d'estimer la durée nécessaire pour la réaliser. Ainsi, la date de l'échange entre les deux actions de conception AC1 et AC2 peut être déterminée selon la valeur requise de la complétude de DP1. Indépendamment des valeurs de l'attribut sensibilité et de l'attribut complétude, la diffusion de la donnée DP1 entre les actions de conception AC1 et AC2 est organisée selon la stratégie dite de « *recouvrement anticipé*⁵⁵ ».

Cas 2 : la sensibilité de DP2 est « pas sensible » ($S_{DP2} = 0$)

La donnée DP2 n'est pas sensible aux changements de la donnée DP1. C'est-à-dire que pour toute valeur de variabilité l'impact de modification de la donnée DP1 sur la donnée DP2 est négligeable, et donc les itérations de conception le sont également. La diffusion de la donnée DP1 ne dépend ainsi que de la complétude de DP1 requise par DP2, et la stratégie à adopter est un recouvrement du type dit « donnée jetée par dessus le mur »⁵⁶. Cette stratégie permet à l'action de conception aval (AC2) de commencer son travail avec une valeur immature de la donnée en entrée (DP1), vu que AC2 n'est pas sensible aux modifications de DP1. L'action de conception AC1 diffuse la donnée DP1 selon la complétude requise par l'action de conception AC2 afin de produire DP2. Cependant, selon la valeur de la complétude requise de DP1, les durées des itérations de conception peuvent être importantes, essentiellement dans le cas où la complétude requise est « totalement utilisée ».

Cas 3 : la variabilité de DP1 et la sensibilité de DP2 ne sont pas nulles ($V_{DP1} \geq 1$, $S_{DP2} \geq 1$). Deux sous-cas se présentent, en fonction de la valeur de la complétude C_{DP1} .**Cas 3.1 : la complétude de DP1 est « peu utilisée » ($C_{DP1} = 1$)**

La diffusion de la donnée DP1 dépend des valeurs des attributs variabilité de DP1 et la sensibilité de DP2. Dans ce cas, nous reprenons certaines stratégies proposées dans la littérature par Yassine (Yassine *et al.* 1999b) qui à l'origine sont basées sur l'évolution des

⁵⁵ Cette stratégie est présentée dans le cas 3.1

⁵⁶ Plus souvent connu sous le vocable anglo-saxon « Thrown over the wall overlapping ».

attributs variabilité et sensibilité associés aux actions de conception mais que nous adoptons au cas de variabilité et sensibilité associées aux données produit. Le **Tableau 11** suivant résume les différentes stratégies de diffusion des données en fonction des valeurs de la variabilité de DP1 et de la sensibilité de DP2. Une définition est présentée pour chacune de ces stratégies après le **Tableau 11**.

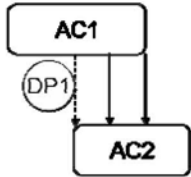
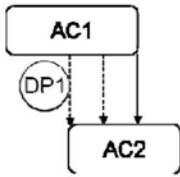
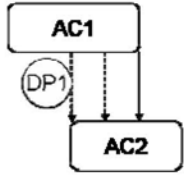
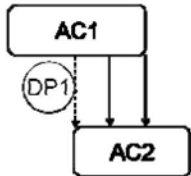
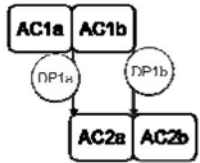
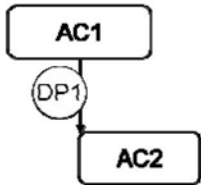
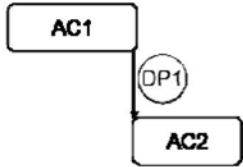
		Variabilité		
		Faible (V = 1)	Modérée (V = 2)	Elevée (V = 3)
Sensibilité	Faible (S = 1)	<ul style="list-style-type: none"> - Risque faible d'itérations informelles - Risque faible d'itération de conception  <p>Recouvrement Distributif</p> <ul style="list-style-type: none"> - Risque faible d'itérations informelles - Risque faible d'itération de conception 	<ul style="list-style-type: none"> - Risque plus ou moins important d'itérations informelles - Risque faible d'itérations de conception  <p>Recouvrement Itératif</p> <ul style="list-style-type: none"> - Risque d'itérations de conception et d'itération informelles modéré : difficulté d'établir une stratégie 	<ul style="list-style-type: none"> - Risque important d'itérations informelles - Risque faible d'itérations de conception  <p>Recouvrement Itératif</p> <ul style="list-style-type: none"> - Risque important d'itération informelle - Risque plus ou moins important d'itération de conception
	Modérée (S = 2)	 <p>Recouvrement Distributif</p> <ul style="list-style-type: none"> - Risque faible d'itérations informelles - Risque fort d'itération de conception 	<p>Redéfinition des actions de conception et des liens de dépendances</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas d'optimisation de la durée de projet - Itérations amont modérées et itérations aval importantes. - Diffusion finale 	 <p>Recouvrement Divisif</p> <ul style="list-style-type: none"> - Risque important d'itérations informelles - Risque important d'itération de conception - possibilité d'une stratégie de conception séquentielle mais pas d'optimisation de la durée de projet
	Elevée (S = 3)	 <p>Recouvrement Anticipé</p>	 <p>Conception Séquentielle</p>	<p>Equipe Multidisciplinaire</p>

Tableau 11. Stratégies de coordination des actions de conception dépendantes

Définitions des stratégies :

- *Recouvrement distributif (distributive overlapping)*: ce cas correspond à une *faible* variabilité de la donnée DP1 ($V_{DP1} = 1$) et une sensibilité *faible* ou *modérée* de la donnée DP2 ($S_{DP2} = 1$ ou 2). Cette stratégie consiste à commencer l'action de conception AC2 avec une valeur immature de la donnée DP1 (puisque la sensibilité en aval est faible) et à *anticiper* les changements futurs sur cette dernière (puisque la variation est faible). L'impact d'un tel changement est de *fréquence faible à modérée*, dû à la sensibilité faible ou modérée de la donnée DP2) et d'*amplitude faible* vu que la complétude requise de DP1 pour réaliser la donnée DP2 est faible. Le nom "recouvrement distributif" est dû au fait que l'impact d'un tel changement peut être distribué entre l'amont et l'aval⁵⁷.
- *Recouvrement itératif (iterative overlapping)*: lorsque la sensibilité de la donnée DP2 aux modifications de DP1 est *faible* ($S_{DP2} = 1$), cela veut dire que l'utilisation de DP1 en état variable ($V_{DP1} = 2$ ou 3) impacte faiblement l'exécution de l'action de conception aval AC2. Dans ce cas, les changements survenant sur DP1 sont dus à sa *variabilité* et à la *complétude* de la donnée dont elle dépend. Ces changements sont effectués dans des itérations amont dans l'action de conception AC1. Cela dit, ces itérations amont peuvent être *nombreuses* car la variabilité est élevée ($V_{DP1} = 2$ ou 3) et sont d'*amplitude faible* car la complétude requise de la donnée DP1 pour réaliser la donnée DP2 est faible ($C_{DP1} = 1$). La diffusion recommandée pour la donnée DP1 est *itérative* où chaque changement est incorporé dans l'action de conception AC2 avec une fréquence d'itération de conception *faible*.
- *Recouvrement anticipé (pre-emptive overlapping)*: Ce cas correspond à une *faible* variabilité de DP1 ($V_{DP1} = 1$) et une donnée produit aval dont la sensibilité varie de *modérément sensible* à *sensible* ($S_{DP2} = 2, 3$). Les itérations en amont sont rares mais peuvent avoir un impact important sur les itérations de conception car la sensibilité de la donnée DP2 est importante ($S_{DP2} = 2, 3$). Une diffusion *anticipée* de la donnée DP1, à un état finalisé, est recommandée dans ce cas.
- *Recouvrement divisif (divisive overlapping)*: quand la donnée DP2 est *modérément sensible* ($S_{DP2} = 2$) aux modifications de DP1 qui est instable ($V_{DP1} = 3$), il n'est pas recommandé de commencer tôt l'action de conception aval AC2 avec des valeurs

⁵⁷ Un changement de la donnée produit amont est d'abord supporté par l'amont (itérations informelles) et ensuite pris en charge par l'aval (itération de conception)

immatures de DP1 car cela risque d'engendrer des itérations de conception importantes à cause de la forte sensibilité ($S_{DP2} = 2$), ni d'anticiper les changements futurs de DP1 et de geler ce dernier plus tôt que prévu car DP1 est fortement variable ($V_{DP1} = 3$) et les itérations amont sont importantes. Dans un tel cas, la donnée DP1 est désagrégée en des données plus élémentaires (DP1a et DP1b dans le **Tableau 11**) de sorte que ces dernières aient des variations faibles (itération amont faible) ou de faibles impacts sur l'action de conception aval (itération aval faible).

- *Redéfinition des actions de conception en amont et/ou en aval* : le recouvrement peut s'avérer insuffisant pour réduire les risques d'itération de conception quand la variabilité et la sensibilité sont modérées ($V_{DP1} = 2$ et $S_{DP2} = 2$). Une approche alternative serait de redéfinir l'une des actions de conception ou les deux en même temps de sorte à obtenir des résultats amont moins variables et des sensibilités en aval plus faibles par rapport aux valeurs originelles. La stratégie de redéfinition consiste à désagréger la donnée produit amont (DP1) en plusieurs fragments. Ces données plus élémentaires doivent être diffusées plus tôt, et dans des états immatures sans que cela n'implique des itérations de conception importantes. Par conséquent, l'action de conception aval (AC2) est aussi fragmentée en plusieurs sous actions de conception, où chacune d'elles utilise un fragment de la donnée produit DP1. Il n'existe pas de règle générale pour fixer le nombre optimal des fragments de donnée produit ou pour définir le nombre de sous actions de conception. Cela dépend du contexte de conception qui doit être profondément analysé.
- *Équipe multidisciplinaire* : ce cas correspond à une donnée DP2 sensible au moindre changement de la donnée DP1. Le risque inhérent dans ce cas est une fréquence importante des itérations de conception aval. Une stratégie qui permettrait de diminuer cette fréquence serait de garantir que les contraintes en aval soient considérées en amont en favorisant les retours immédiats en arrière de l'aval vers l'amont. Cela est possible en formant une équipe multidisciplinaire dédiée à ces actions de conception et où le flux de données échangées est interne. En effet, cette stratégie permet de réduire la variabilité des données produit amont puisque les acteurs de l'action de conception amont travaillent en simultané et en étroite collaboration avec les acteurs de l'action de conception aval. Aussi, cette stratégie permet de diminuer la sensibilité de l'action de conception aval car les retours en arrière sont instantanément accomplis par l'équipe multidisciplinaire. Ainsi, les itérations de conception (itérations informelles) sont réduites au détriment des itérations informelles.

- *Conception séquentielle* : une stratégie alternative à la conception concourante est la conception séquentielle. En effet, beaucoup de travaux (Yassine et Braha 2003 ; Bhuiyan *et al.* 2004) préconisent qu'en cas d'incertitude élevée, les risques d'itération (informelles et de conception) sont plus conséquents en cas de recouvrement des actions de conception et une manière adéquate pour organiser ces activités serait une conception séquentielle. L'action de conception en amont diffuse les données, une fois finalisées, pour que celle en aval puisse s'en saisir et commencer son travail.

Cas 3.2: La complétude de la donnée DP1 est au moins « très utilisée » ($C_{DP1} \geq 2$).

Pour une valeur de la complétude de DP1 *très utilisé* ou *totalemment utilisée*, il est nécessaire d'éviter les remises en cause des valeurs de la donnée DP1 car les itérations risquent non seulement d'être de longue durée mais aussi très fréquentes (variabilité de DP1 élevée). Ainsi par rapport au cas de complétude faible (présenté dans Cas 3.1), les stratégies de diffusion des données doivent prendre en considération le facteur risque de retard encouru en amont⁵⁸. Par conséquent, à titre d'exemple, quand la sensibilité en aval est faible (première ligne du **Tableau 11**), et la variabilité amont est modérée ou élevée (colonnes 2 et 3 du **Tableau 11**), il est plus intéressant d'éviter une diffusion de données préliminaires et adopter ainsi une stratégie de recouvrement distributif plutôt qu'une diffusion itérative. Cependant, si la variabilité est faible (première colonne du **Tableau 11**) et la sensibilité est modérée ou élevée (2^{ème} et 3^{ème} colonne du **Tableau 11**), la diffusion anticipée semble être une meilleure stratégie afin d'éviter les itérations des actions de conception amont et aval.

3.2.2.2 Coordination des actions de conceptions interdépendantes

Lors du déroulement du processus de conception, les échanges de données entre deux actions de conception peuvent se faire dans les deux sens, l'action de conception amont fournit une donnée entrée à l'action aval qui elle-même fournit une donnée entrée à l'action amont. Ces actions de conception sont dites *interdépendantes*. Une interdépendance est caractérisée par des liens de retours en arrière qui engendrent souvent un risque d'itération. Selon le degré de dépendance des données échangées entre les actions de conception, nous distinguons deux types d'interdépendance (cf. **Figure 46** et **Figure 47**) :

- *Faible*, si un des liens entre les données échangées a un degré de dépendance ≤ 8 .
- *Forte*, si les liens entre les données échangées ont un degré de dépendance ≥ 9 .

⁵⁸ Une complétude élevée implique des itérations amont longues et ainsi un retard de retraitement considérable de l'action de conception amont.

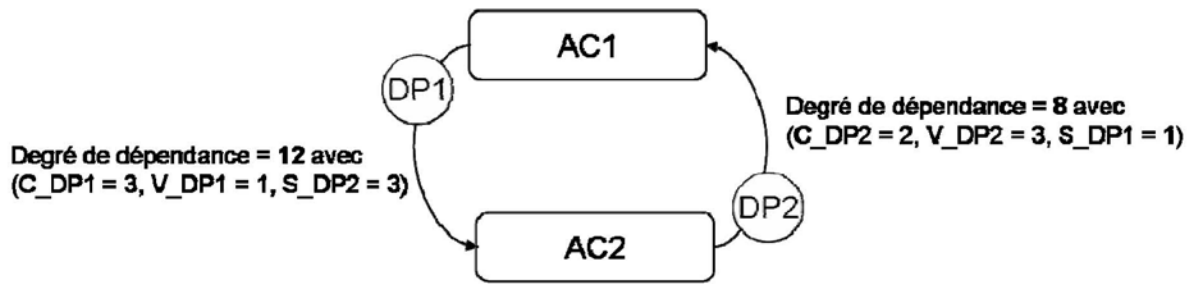


Figure 46. Interdépendance faible

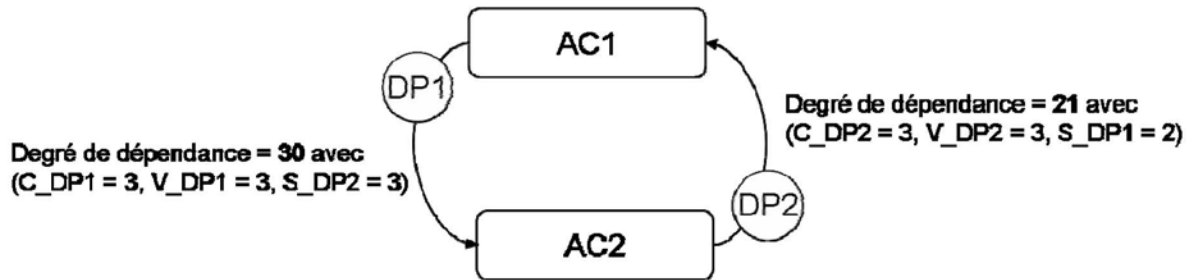


Figure 47. Interdépendance forte

Comme exemple d'illustration prenons la situation d'interdépendance entre AC1 et AC2 de la **Figure 46** ci-dessus. D'un point de vue organisation de la diffusion des données échangées entre actions de conception faiblement interdépendantes, il s'agit de considérer cette tâche en deux temps ; d'abord la diffusion des données impliquées dans les liens directs (AC1 vers AC2) et ensuite la diffusion des données impliquées dans les liens de retours en arrière (AC2 vers AC1).

En appliquant ces deux étapes à l'exemple de la **Figure 46**, il convient d'après le **Tableau 11** d'organiser la diffusion de la donnée DP1 selon un *recouvrement anticipé* (cf. **Figure 48**) car la variabilité de la donnée DP1 est faible ($V_{DP1} = 1$), la complétude de DP1 requise par la donnée DP2 est forte ($C_{DP1} = 3$) et la sensibilité de la donnée aval DP2 est élevée ($S_{DP2} = 3$). Ensuite, dans l'autre sens, il convient d'organiser la diffusion de la donnée DP2 selon un *recouvrement itératif* (cf. **Figure 48**) car la variabilité de la donnée DP2 est élevée ($V_{DP2} = 3$), la complétude de DP2 requise pour produire DP1 en amont est forte ($C_{DP2} = 2$) et la sensibilité de la donnée DP1 est faible ($S_{DP1} = 1$).

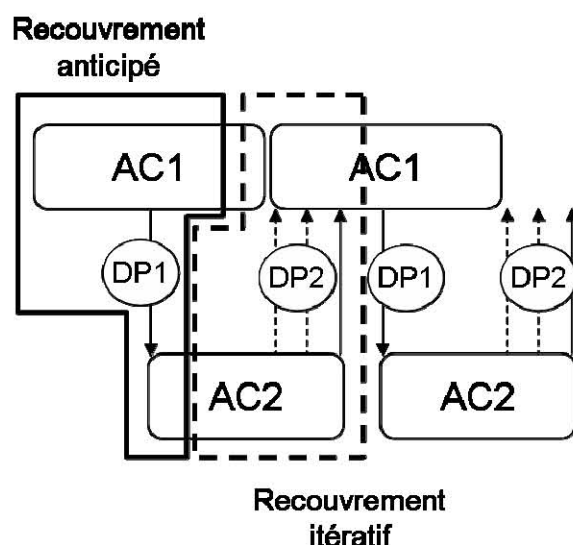


Figure 48. Exemple de stratégie de diffusion dans le cas de l'interdépendance faible

Dans le cas de l'interdépendance forte (degré de dépendance du lien de retour fort), le risque d'avoir des itérations de longue durée est important. En effet, toute modification d'une donnée entraîne une itération importante étant donné les complétudes élevées des données consommées par chaque action de conception et les sensibilités élevées de chaque donnée en sortie. Afin de prendre en considération les contraintes fortes de la donnée aval, la stratégie de diffusion consiste soit à mettre en place une *équipe multidisciplinaire*, soit à appliquer une *conception séquentielle*. Adopter l'une ou l'autre des stratégies de diffusion dépend de l'objectif visé par le chef de projet global, à savoir diminuer le temps de conception (*conception concourante*) ou diminuer les efforts déployés durant les actions à organiser (*conception séquentielle*).

Cependant, une question logique se pose lors de l'organisation de diffusion des données entre actions de conception interdépendantes : quelle est la donnée qui sera réalisée et diffusée en premier ? D'autant plus qu'une donnée peut être impliquée dans plusieurs interdépendances durant le processus de conception. Dans le cas de la **Figure 48**, nous n'avons étudié que le cas de deux actions de conception, avec l'hypothèse que c'est la donnée DP1 qui est diffusée en premier et donc c'est l'action de conception AC1 qui commence à travailler en premier.

Afin de répondre à cette question, nous proposons une démarche qui nous permet en premier lieu de détecter les interdépendances entre les actions de conception et ensuite organiser l'ensemble des actions (dépendantes et interdépendantes) à ré-exécuter. Cette démarche repose sur le principe suivant : organiser les actions de conception revient à organiser le flux de données échangées entre elles, et donc le réseau de dépendances de données, en

minimisant les interdépendances entre les données. Nous notons que l'objectif principal de cette démarche est de minimiser le risque d'itérations dû aux interdépendances et aux cycles. Pour des raisons de simplicité, considérons le réseau de dépendances de données de la **Figure 49** afin de présenter cette démarche. Dans ce réseau nous représentons les cas d'interdépendances entre actions de conception (par exemple, DP2-DP4), mais aussi le cas où un cycle existe entre différentes données. Un cycle représente des liens de dépendances entre plusieurs données (le nombre de données est strictement supérieur à deux, le cas de deux données est considéré comme une interdépendance), de façon que lorsqu'on parcourt le réseau à partir d'une donnée de départ il y a un chemin qui nous ramène à cette donnée. Par exemple sur la **Figure 49**, lorsqu'on parcourt le réseau à partir de la donnée DP3, le chemin DP3-DP6-DP7-DP3 nous ramène à la donnée de départ DP3. Dans les deux cas, la question se pose quant au choix de la donnée produit qui doit être réalisée en premier.

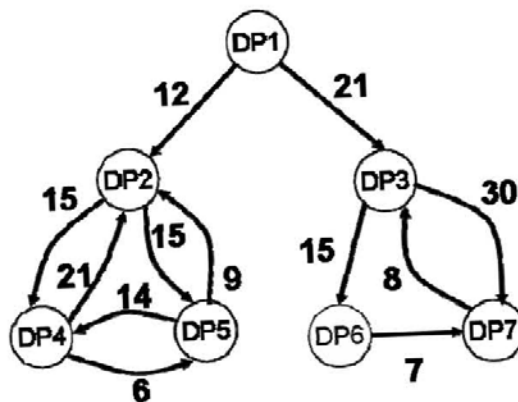


Figure 49. Exemple théorique de réseau de dépendances de données

La **première étape** de la démarche proposée consiste à identifier les nœuds (donnée produit) dont le nombre d'arcs entrant est nul. Les données identifiées seront les premières à être réalisées. Pour ce faire, il s'agit de parcourir le réseau à partir d'un nœud (le choix du nœud est arbitraire) et ensuite identifier les données qui sont indépendantes, c'est-à-dire leurs réalisations ne dépendent d'aucune autre donnée. Dans le cas du réseau de la **Figure 49**, seul le nœud DP1 est identifié comme étant indépendant. La donnée DP1 est, ainsi, la première donnée à réaliser.

Une fois les données de départ identifiées, la **deuxième étape** consiste à identifier les interdépendances et les cycles. Il s'agit de parcourir le réseau à partir d'un nœud jusqu'à ce qu'un nœud soit rencontré pour la deuxième fois. Tous les nœuds visités pendant le parcours entre deux rencontres du même nœud constituent un cycle. Ainsi, les interdépendances et les

cycles sont identifiés. Dans le cas de la **Figure 49**, en parcourant le réseau à partir d'un nœud donné (le choix est arbitraire), nous rencontrons les cycles (DP2-DP4-DP5-DP2) et (DP3-DP6-DP7-DP3). Outre ces deux cycles, en parcourant le réseau nous identifions les interdépendances suivantes (DP2-DP4) (DP2-DP5) (DP4-DP5) et (DP3-DP7). Les nœuds identifiés sont ensuite respectivement regroupés en blocs d'interdépendances (exemple : DP2 et DP4) et des blocs de cycles (DP3, DP6 et DP7). La **Figure 50** illustre ce raisonnement.

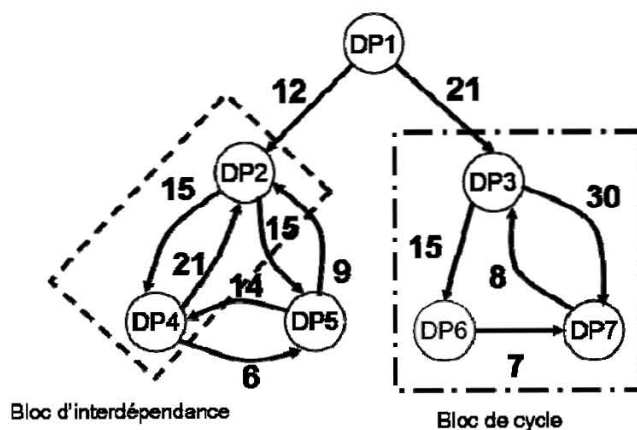


Figure 50. Identification des blocs d'interdépendances et de cycles

Nous notons que l'objectif du regroupement des données, appartenant à des interdépendances et/ou des cycles, est de prendre en compte les contraintes de la donnée aval lors de la réalisation de la donnée amont. Ceci est favorisé par la coopération des acteurs responsables respectivement des données amont et aval. Un bloc de plusieurs données peut ainsi être considéré comme une seule donnée qui sera réalisée par plusieurs acteurs avec une coopération forte entre eux.

La **troisième étape** de la démarche proposée consiste à minimiser le nombre de blocs identifiés. Il s'agit de regrouper en un seul et même bloc les interdépendances et/ou les cycles qui partagent au moins un nœud. En appliquant ce raisonnement au réseau de la **Figure 49**, nous identifions les blocs suivants (cf. **Figure 51**).

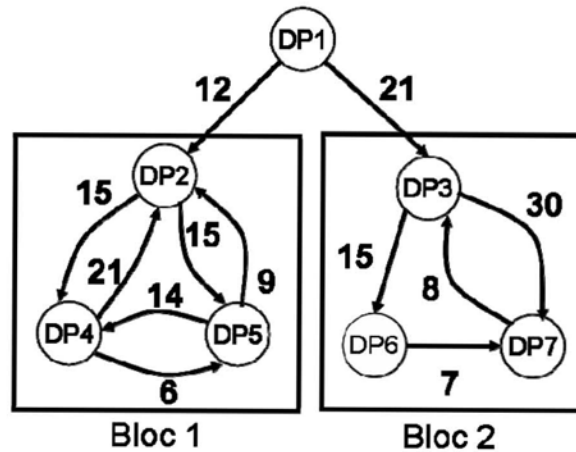


Figure 51. Minimiser le nombre de blocs d'interdépendances et de cycles

La **dernière étape** de la démarche d'organisation du réseau de dépendances de données consiste à organiser les données produit au sein des cycles identifiés. L'objectif est d'identifier la donnée à élaborer en premier lieu. Cette donnée est ensuite communiquée aux autres données dépendantes afin de réaliser l'ensemble des données appartenant à un même cycle. Pour ce faire, nous commençons tout d'abord par identifier le lien de dépendance ayant le plus faible degré de dépendance (par exemple : le lien DP4-DP5 du bloc 1 de la **Figure 51**). Le nœud de départ de ce lien représente la première donnée à élaborer (DP4). En effet, le degré de dépendance le plus faible représente le plus faible risque d'itération. Une fois cette donnée élaborée, elle est communiquée aux autres données dépendantes, c'est-à-dire DP2 et DP5. Cependant, étant donné que DP2 et DP5 sont deux données interdépendantes, il convient de les organiser afin de choisir celle qui sera élaborée en premier. Pour ce faire, nous comparons le degré de dépendance des liens entre les données DP2 et DP5, c'est-à-dire les liens DP2-DP5 et DP5-DP2. La donnée qui dépend le moins de l'autre est celle qui sera réalisée en premier. Dans le cas de la **Figure 51**, c'est la donnée DP5 qui sera réalisée en premier et ensuite communiquée à DP2. Cette procédure d'organisation est ensuite relancée pour toutes les données appartenant aux différents blocs identifiés.

En appliquant la démarche d'organisation de flux de données sur le réseau de la **Figure 49**, l'organisation finale est illustrée par la **Figure 52**. À partir de cette organisation du flux de données, l'ordre de réalisation des données est déterminé, en prenant en compte les risques liés aux modifications des données. Ces risques sont mis en évidence à travers les degrés de dépendances entre les données du réseau. Ainsi, l'ordre de réalisation des activités à ré-exécuter est déterminé.

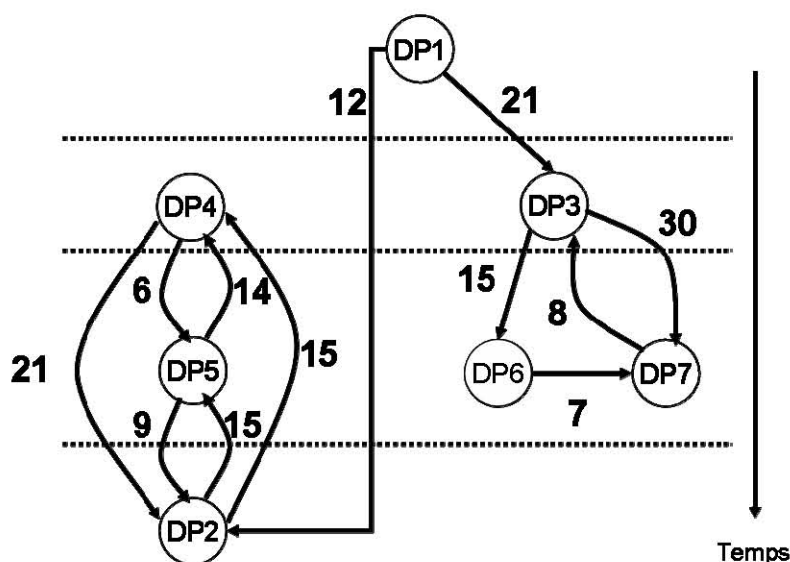


Figure 52. Organisation finale du flux de données

3.2.3 Synthèse

Afin d'organiser au mieux la ré-exécution des actions de conception nécessaires à la mise en place des modifications engendrées par la solution retenue à l'issue de la résolution de conflits, nous avons défini, pour chaque couple d'actions de conception dépendantes ou interdépendantes et pour chaque donnée produite échangée, une stratégie de diffusion de données entre les deux actions. L'intérêt majeur de ces stratégies est de réduire les itérations de conception et par conséquent réduire la durée de ré-exécution du processus. En effet, la plupart des stratégies proposées dans ce travail de thèse correspondent à des approches de recouvrement.

Cependant, organiser le processus de conception selon le critère de recouvrement et de diffusion de donnée préliminaires ne permet pas aux décideurs d'estimer les performances du processus de ré-exécution des actions de conception. En effet, le processus de mise en place des modifications est émergent et non planifié et par conséquent peut engendrer des retards du processus de conception global. Il est alors nécessaire de prendre en compte lors de la coordination de la ré-exécution du processus de conception d'autres critères pour satisfaire les performances globales attendues. Ces critères, que nous proposons d'étudier dans ce travail, sont le *taux de recouvrement* et le *taux d'interaction multifonctionnelle*. Des études montrent que le taux de recouvrement joue un rôle primordial dans la réduction de la durée du processus de conception (Cooper et Kleinschmidt 1995), (Joglekar *et al.* 2001). Cependant, proposer une stratégie de diffusion basée sur le critère de recouvrement peut avoir des effets

négatifs sur les efforts⁵⁹ déployés durant le processus. Les études menées dans (Swink *et al.* 1996 ; Bhuiyan *et al.* 2004) montrent l'importance des interactions multifonctionnelles, c'est-à-dire les coopérations entre des acteurs de différentes disciplines, pour réduire les risques d'itération de conception et donc réduire la durée du processus de conception. Cela est dû au fait que ces interactions permettent de prendre en compte au plus tôt les contraintes des actions de conception aval et ainsi diminuer les itérations de conception. Cependant, favoriser les interactions multifonctionnelles peut également être accompagné de l'augmentation des efforts. Au-delà d'un certain seuil d'interaction, les effets négatifs des interactions sur les efforts et le temps l'emportent sur l'effet positif qui consiste à réduire les itérations de conception (Bhuiyan *et al.* 2004).

Un compromis entre le taux de recouvrement et le taux d'interaction multifonctionnelle est nécessaire. C'est l'objectif du paragraphe suivant qui propose des éléments méthodologiques pour l'optimisation des performances du processus de conception.

3.3 Vers l'optimisation de l'organisation du processus de conception

Nous nous intéressons dans ce paragraphe à l'optimisation de la ré-exécution des actions de conception identifiées suite à la résolution de conflit. Pour ce faire, nous étudions l'échange des données entre les actions de conception, qui est un facteur important pour satisfaire les critères de performances du déroulement d'un processus de conception (Vajna, 2005). Cette étude concerne essentiellement l'analyse de l'impact des conditions d'incertitude (définies par les attributs complétude, variabilité et sensibilité) sur la diffusion des données. En effet, outre la fréquence des itérations de conception (due à la sensibilité de la donnée aval), la fréquence des itérations amont (due à la variabilité de la donnée amont), il y'a l'amplitude des itérations amont (due à la complétude de la donnée amont requise pour produire la donnée aval) à considérer. Nous introduisons deux paramètres qui sont le *taux de recouvrement relatif* et le *taux d'interaction multifonctionnelle relative*.

Dans ce qui suit, nous exposons, dans un premier temps, les principaux objectifs à atteindre en termes d'optimisation de la ré-exécution des actions de conception. Ensuite, nous présentons les différents paramètres étudiés dans ce travail de thèse pour la gestion de la

⁵⁹ L'effort de conception peut être mesuré en hommes*jour ou en hommes*mois etc. seuls les efforts de coordination interne (par opposition aux coordinations inter organisations) sont considérés.

coordination, leur évolution et leur interaction. Enfin, nous discutons notre analyse de l'impact de tels paramètres sur les objectifs visés dans le processus de conception.

3.3.1 Objectifs à atteindre

Pendant la phase d'organisation du processus de conception, les décideurs sont souvent préoccupés par plusieurs critères de décision, tels que les triptyques « coût-délai-qualité » (Lorino 2003), « moyens-objectifs-résultats » (Mathe et Chague 1999) (Hazebroucq 1999), ou encore « produit-processus-organisation » (Christofol *et al.* 2006). Dans ce travail, nous avons choisi deux critères de décision qui sont la durée du projet (T) et l'effort⁶⁰ de conception (E). L'optimisation de ces deux critères requiert certaines connaissances sur la définition et l'organisation du projet, c'est-à-dire sur les objectifs de conception à atteindre, les phases et activités planifiées associées, les liens entre ces activités et les ressources allouées. De telles informations sont disponibles dans le cadre de notre travail de thèse. En effet, suite à la phase de propagation des modifications engendrées par la solution choisie au conflit, une liste des actions de conception à refaire est établie avec l'ensemble des données produit entrées/sorties ainsi que les ressources nécessaires pour l'intégration de ces modifications. Notre objectif est donc, à partir de ces informations et sur la base des stratégies de diffusion de données proposées, d'optimiser l'exécution des différentes actions de conception identifiées. Cet objectif passe par une optimisation du taux d'interaction multifonctionnelle déployée durant chaque action de conception ainsi que du taux de recouvrement entre chaque couple d'actions. Nous considérons que la diminution de la durée et des efforts de la conception au niveau de chaque collaboration entre deux actions de conception permet la réduction de la durée et de l'effort du processus global. En plus de cette hypothèse, nous supposons que les efforts mobilisés pendant une activité planifiée⁶¹ du processus correspondent aux efforts de résolution de problème de conception, aux efforts dus aux coopérations multidisciplinaires et aux efforts de traitements des itérations de conception.

3.3.2 Paramètres d'optimisation

Cinq paramètres sont considérés pour optimiser la ré-exécution du processus de conception : les attributs variabilité, sensibilité et complétude (qui définissent les conditions d'incertitude), le taux d'interaction multifonctionnelle et le taux de recouvrement.

⁶⁰ L'effort de conception est représenté par le nombre de ressources nécessaires pour l'exécution d'une activité planifiée pendant une unité de temps : jour, semaine ou mois.

⁶¹ Ces activités correspondent à celles identifiées lors de la propagation d'impact de la solution choisie au conflit.

Le taux d'interaction multifonctionnelle (noté α dans la **Figure 53**) est le pourcentage défini par le rapport entre *la durée nécessaire pour la coopération entre les acteurs responsables des actions de conception dépendantes (en aval) et la durée totale de l'action de conception amont*.

Le taux de recouvrement (noté β dans la **Figure 53**) est le pourcentage défini par le rapport entre *la durée nécessaire pour que les actions de conception amont et aval travaillent de manière parallèle et la durée de l'action de conception amont*.

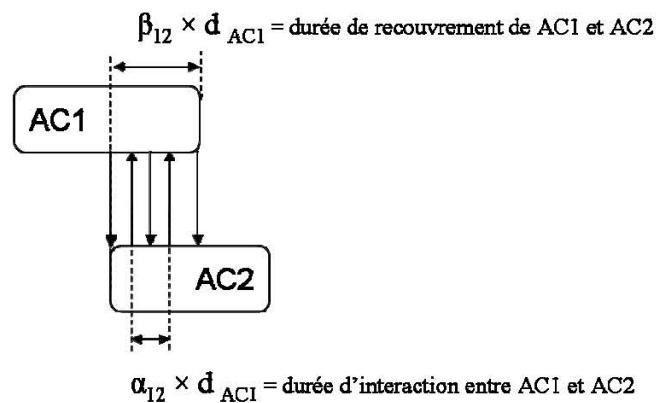


Figure 53. Taux de recouvrement et taux d'interaction multifonctionnelle entre actions de conception dépendantes.

L'estimation des valeurs des paramètres (taux d'interaction multifonctionnelle et taux de recouvrement) est néanmoins problématique. Selon le point de vue du responsable de l'activité amont ou le responsable de l'activité aval, les taux d'interaction multifonctionnelle et de recouvrements sont variables. Certains auteurs proposent des méthodes qualitatives, basées sur des questionnaires structurés des experts afin d'estimer les taux d'interaction multifonctionnelle et le taux de recouvrement (Swink *et al.* 1996) (Bhuiyan *et al.* 2004). D'autres proposent de mener une négociation entre les différents responsables pour fixer ces valeurs (Vajna *et al.* 2005). Dans le cas des travaux de Bhuiyan (Bhuiyan *et al.* 2004), plusieurs projets ont été analysés au sein de différentes entreprises⁶² afin de déterminer les interactions multifonctionnelles à partir d'un ensemble de questionnaires. Des tables extraites de ces questionnaires indiquent les fonctions avec lesquelles les acteurs de conception doivent interagir (au sein de chaque activité) ainsi que le type et la fréquence de communication entre les acteurs. Les mêmes tables sont remplies pour indiquer le taux de recouvrement nécessaire.

⁶² Une collecte de données a été faite chez au moins cinq entreprises, dont Boeing's Commercial Aircraft division, Cummins Engine, Texas Instruments, Thomson Consumer Electronics and Red Spot Paint and Varnish.

A partir de ces analyses, Bhuiyan propose une échelle de valeurs arbitraires pour qualifier les paramètres recouvrement et interaction fonctionnelle :

- *nul (0%), faible (25%), moyen (50%) et dédié (100%)* sont les différents niveaux dédiés à l'interaction multifonctionnelle (α), et
- *nul (0%), faible (33%), moyen (66%) et élevé (100%)* sont les différentes valeurs associées au recouvrement (β) entre actions de conception.

Notons que chaque couple (α , β) est associé à deux activités planifiées ou deux phases dépendantes sans prendre en compte le nombre de données échangées (cf. **Figure 54**).

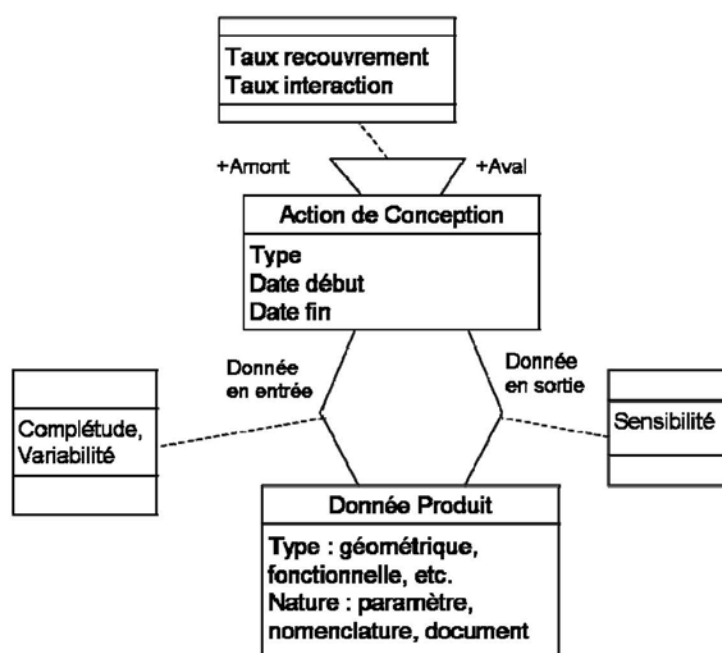


Figure 54. Taux de recouvrement et taux d'interaction relatifs aux diffusions des données

Étant donné que deux actions dépendantes peuvent échanger plus qu'une donnée, nous reprenons dans ce qui suit la même échelle de valeur présentée dans (Bhuiyan *et al.* 2004) et nous proposons de calculer le taux de recouvrement *relatif* et le taux d'interaction multifonctionnelle *relative* à chaque donnée échangée, en fonction des conditions d'incertitude et le nombre de données en entrée des actions de conception. Mais avant de présenter comment nous calculons les taux d'interaction fonctionnelle relative et de recouvrement relatif, nous introduisons le concept de poids de donnée (**Figure 55**). Étant donné que chaque action de conception peut avoir une ou plusieurs données en entrée, le degré d'importance, de chacune d'elles par rapport à celles produites, diffère d'une donnée à une autre. Ainsi, toute donnée consommée possèdera un poids, noté « η », qui permet à

l'acteur de conception d'estimer son importance. L'ensemble des données en entrée se partage 100% d'importance (**Équation 2**) (Vajna *et al.* 2005).

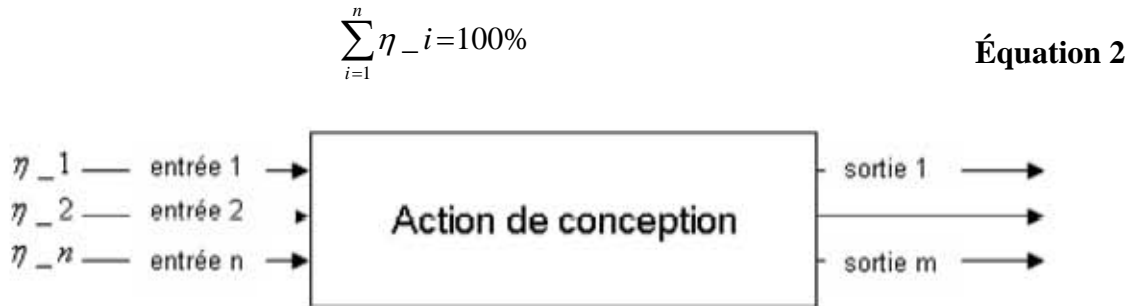


Figure 55. Les données en entrée et leurs poids pour une action de conception

Afin de mesurer le poids de chaque donnée en entrée d'une action conception, nous reprenons le concept de degré de dépendance présenté dans la section 3.2.2.3 du chapitre 2. Comme le montre l'**Équation 3**, le poids d'une donnée est calculé en fonction de son degré de dépendance qui est divisé par la somme des degrés de dépendances de l'ensemble des données en entrée de l'action de conception.

$$\eta_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_{k=1}^n d_{kj}} \quad \text{Équation 3}$$

d_{ij} est le degré de dépendance entre la donnée en entrée i et la donnée en sortie j

n est le nombre de données en entrée de l'action de conception pour produire la donnée j .

À partir du poids des données en entrée, du taux d'interaction multifonctionnelle et du taux de recouvrement (α , β), nous calculons respectivement le taux d'interaction multifonctionnelle TIF_{ij} relative et le taux de recouvrement relatif TR_{ij} . Les deux équations (**Équation 4** et **Équation 5**) illustrent ces deux mesures respectivement.

$$TIF_{ij} = \eta_{ij} \times \alpha \quad \text{Équation 4}$$

TIF_{ij} est le Taux d'Interaction multiFonctionnelle relative à la donnée i , entre l'action de conception qui a produit la donnée i et l'action de conception qui consomme cette donnée pour produire la donnée j .

α est le taux d'interaction multifonctionnelle choisi parmi l'échelle de valeur proposée dans (Bhuiyan *et al.* 2004).

$$TR_{ij} = (1 - \eta_{ij}) \times \beta \quad \text{Équation 5}$$

TR_{ij} est le Taux de Recouvrement relatif à la donnée i , entre l'action de conception qui a produit la donnée i et l'action de conception qui consomme cette donnée pour produire la donnée j .

β est le taux de recouvrement choisi parmi l'échelle de valeur proposée dans (Bhuiyan *et al.* 2004).

L'analyse des équations (**Équation 4** et **Équation 5**) présentent les principaux résultats suivant :

- Le taux d'interaction multifonctionnelle relative et le taux de recouvrement relatif dépendent du degré de dépendance entre les actions de conception et donc des conditions d'incertitude. En effet, ce degré est déduit du lien de dépendance entre les données produites par l'action de conception amont et qui sont consommées par l'action de conception aval pour en produire d'autres. Or le degré de dépendance entre données est mesuré en fonction des conditions d'incertitude définies par les attributs complétude, variabilité et sensibilité.
- Dans le cas de dépendance forte, le recouvrement entre les actions de conception à réorganiser se fait au plus tard avec un maximum d'interaction fonctionnelle nécessaire à la coopération entre les deux actions de conception. Dans le cas de dépendance forte, les conditions d'incertitude sont fortes et donc les risques d'itération sont aussi forts. Il est donc préférable de commencer l'action de conception aval au plus tard avec des données stables et en même temps avoir le maximum de coopération, pour prendre en compte les contraintes de l'action de conception aval durant celle en amont.
- Dans le cas de dépendance faible, le recouvrement entre les actions de conception se fait au plus tôt avec un minimum d'interaction fonctionnelle. Le cas de dépendance faible se traduit par de faibles conditions d'incertitude et donc les risques d'itération sont minimes. Ainsi, l'action de conception aval peut démarrer son activité au plus tôt sans se soucier des risques d'itération qui, avec un minimum d'interaction multifonctionnelle, seront évitées.

Dans ce qui suit, une analyse plus fine des liens entre les différents paramètres présentés ci-dessus est présentée. Cette analyse, inspirée des travaux conduits en partie en collaboration

avec K. Grebici (Grebici 2007 ; Ouertani *et al.* 2007), permettra de proposer une nouvelle échelle de valeurs des indices d'interaction multifonctionnelle et de recouvrement.

3.3.3 Liens entre les paramètres de gestion

Des liens existent entre l'ensemble des paramètres présentés ci-dessus : conditions d'incertitude (complétude, variabilité et sensibilité), taux de recouvrement et taux d'interaction multifonctionnelle. Dans ce paragraphe, nous décrivons ces liens afin de réaliser l'objectif de réduire la durée et/ou l'effort de conception. Pour ce faire, nous nous basons sur des études d'observation et de simulation menées par d'autres auteurs pour consolider notre proposition d'éléments méthodologiques pour optimiser la ré-exécution du processus. Plusieurs auteurs tels que (Burton et Obel 1995 ; Carley 1996 ; Swink *et al.* 1996 ; Bhuiyan 2001 ; Bhuiyan *et al.* 2004 ; Schabacker *et al.* 2006) préconisent l'effet du taux de recouvrement et du taux d'interaction multifonctionnelle sur l'effort et la durée d'un projet de conception. Gerwin et Barrowman proposent un état de l'art et une excellente étude scientifique de ces travaux (Gerwin et Barrowman 2002).

Les principaux résultats d'analyse des liens entre les paramètres étudiés dans ce travail de thèse sont présentés ci-dessus :

1- Augmenter le taux d'interaction multifonctionnelle relative (TIF_{ij}) permet de considérer plus de contraintes aval en amont et donc diminuer le nombre d'itérations de conception. Une augmentation du TIF_{ij} diminue l'effort et la durée de conception. Cependant, cette augmentation du taux d'interaction multifonctionnelle peut être accompagnée par une augmentation des efforts de conception dans certains cas d'incertitude ($TIF_{ij} \geq 25\%$ pour une variabilité élevée et $TIF_{ij} \geq 50\%$ pour une variabilité faible). En effet, augmenter TIF_{ij} implique une augmentation des *itérations informelles* dans l'action de conception amont, c'est-à-dire des itérations entre les différentes ressources pendant les coopérations en amont. Par conséquent, l'effort et éventuellement le temps de conception augmentent.

Il est donc recommandé de ne pas dépasser un taux d'interaction multifonctionnelle de 25% dans le cas de forte variabilité et de ne pas dépasser un taux d'interaction multifonctionnelle 50% dans le cas de variabilité faible à modérée.

2- Une augmentation du taux de recouvrement relatif (TR_{ij}), pour un taux d'interaction multifonctionnelle relative TIF_{ij} « nul », n'est pas recommandée car cela n'induit aucun

changement sur le temps de développement mais peut par contre augmenter les efforts. Ceci s'explique par le fait que le risque d'itérations de conception est plus grand s'il n'y a pas de coopération entre les ressources des actions de conception respectives, vu que les contraintes de l'action de conception aval ne sont pas prises en amont.

3- L'effet du taux de recouvrement relatif (TR_{ij}), pour un taux d'interaction multifonctionnelle relative non nul ($TIF_{ij} \neq 0$), dépend des paramètres : Variabilité (V) et Sensibilité (S). En effet, pour une condition d'incertitude faible à modérée, une augmentation du TR_{ij} entraîne une diminution des efforts et de la durée de conception. Ceci est dû à un faible risque d'itérations informelles et d'itérations de conception tout en ayant une exécution partiellement ou totalement simultanée des actions de conception. Cependant, pour une incertitude élevée, un taux de recouvrement relatif TR_{ij} élevé risque fortement d'induire des itérations de conception combinées à des fortes probabilités de la variabilité de la donnée en entrée et de la sensibilité de la donnée en sortie. Il en résulte donc des efforts de conception supplémentaires et une durée de conception plus grande.

Ainsi, il est recommandé d'avoir un fort taux de recouvrement relatif TR_{ij} pour des conditions d'incertitude faibles à modérées et d'avoir un TR_{ij} faible pour des conditions d'incertitude fortes. Ces conclusions concordent avec le constat fait par des auteurs comme (Smith et Eppinger 1997 ; Terwiesch *et al.* 2002) sur le fait que les stratégies de recouvrement sont encouragées pour les conditions d'incertitude faibles, alors que pour des conditions d'incertitude fortes, il est recommandé d'avoir une organisation séquentielle.

Les trois constats et résultats cités ci-dessus ne sont vérifiés que dans le cas où la complétude est faible ($C = 1$) ; c'est-à-dire seules la variabilité et la sensibilité comptent parmi les conditions d'incertitude.

Les taux d'interaction multifonctionnelle et de recouvrement (α , β) relatifs à ce cas sont présentés dans le **Tableau 12** selon le critère de performance à optimiser.

Minimiser la durée	V = 1	V = 2	V = 3
S = 1	$\alpha = 50\%$ $\beta = 66\%$	$\alpha = 50\%$ $\beta = 66\%$	$\alpha = 25\%$ $\beta = 66\%$
S = 2	$\alpha = 100\%$ $\beta = 66\%$	–	$\alpha = 100\%$ $\beta = 0\%$
S = 3	$\alpha = 100\%$ $\beta = 66\%$	$\alpha = 100\%$ $\beta = 0\%$	$\alpha = 100\%$ $\beta = 0\%$

Minimiser l'effort	V = 1	V = 2	V = 3
S = 1	$\alpha = 50\%$ $\beta = 66\%$	$\alpha = 50\%$ $\beta = 66\%$	$\alpha = 25\%$ $\beta = 0\%$
S = 2	$\alpha = 100\%$ $\beta = 66\%$	–	$\alpha = 100\%$ $\beta = 0\%$
S = 3	$\alpha = 50\%$ $\beta = 33\%$	$\alpha = 25\%$ $\beta = 0\%$	$\alpha = 100\%$ $\beta = 0\%$

Tableau 12. Impact de la combinaison des indices de recouvrement et d'interaction en cas de complétude « non utilisée » adapté de (Bhuiyan *et al.* 2004)

Dans le cas où la complétude des données en entrée de l'action de conception amont est différente de *partiellement utilisée* ($C \neq 1$), les itérations en amont sont d'une amplitude plus importante. Une donnée de complétude *très utilisée* ou *totalement utilisée* nécessite une durée de travail plus importante. Ainsi, une itération de conception peut induire un retard dans l'action de conception amont d'une amplitude plus ou moins importante. En effet, selon la variabilité de la donnée amont et donc l'incidence des itérations amont, l'impact de la complétude devient plus ou moins important. Donc plus la variabilité et la complétude sont élevées, plus les risques de retard et d'effort d'itération sont importants dans l'action de conception amont.

Il est recommandé dans ce cas (complétude *très utilisée* à *totalement utilisée*) d'avoir des taux d'interaction multifonctionnelle relative TIF_{ij} plutôt faible en cas de forte variabilité. Par ailleurs, plus la sensibilité de l'action de conception en aval est élevée, plus elle sera impactée par le retard amont en cas de forte complétude. Il est recommandé dans ce cas de diminuer le taux de recouvrement relatif TR_{ij} si la sensibilité de la donnée en sortie est élevée.

Les indices d'interaction multifonctionnelle et de recouvrement (α , β) relatifs à ce cas sont présentés dans le **Tableau 13** selon le critère de performance à optimiser.

Minimiser la durée ou (effort) pour C = 2	V = 1	V = 2	V = 3
S = 1	$\alpha = 50\%$ $\beta = 66\%$	$\alpha = 25\%$ $\beta = 66\%$	$\alpha = 25\%$ $\beta = 60\% (\beta = 0\%)$
S = 2	$\alpha = 100\%$ $\beta = 33\%$	–	$\alpha = 50\%$ $\beta = 0\%$
S = 3	$\alpha = 100\% (\alpha = 50\%)$ $\beta = 33\%$	$\alpha = 50\%$ $\beta = 0\%$	$\alpha = 50\%$ $\beta = 0\%$

Minimiser la durée ou (effort) pour C = 3	V = 1	V = 2	V = 3
S = 1	$\alpha = 25\%$ $\beta = 66\%$	$\alpha = 25\%$ $\beta = 66\%$	$\alpha = 25\%$ $\beta = 66\% (\beta = 0\%)$
S = 2	$\alpha = 100\%$ $\beta = 33\%$	–	$\alpha = 25\%$ $\beta = 0\%$
S = 3	$\alpha = 50\%$ $\beta = 33\%$	$\alpha = 25\%$ $\beta = 0\%$	$\alpha = 25\%$ $\beta = 0\%$

Tableau 13. Impact de la combinaison des indices de recouvrement et d'interaction en cas de complétude « très utilisée » ou « totalement utilisée »

Nous soulignons le fait, que contrairement aux résultats du **Tableau 12**, les résultats présentés dans le **Tableau 13** n'ont pas fait l'objet d'une simulation du processus de développement de produit. Ces résultats représentent une analyse théorique effectuée par analogie aux résultats simulés. Par le **Tableau 13**, nous voulons simplement montrer des tendances de stratégies de coordination en cas de forte incertitude. En effet, ces conditions d'incertitudes n'ont jamais fait l'objet d'étude ou de simulation auparavant.

En conclusion, les conditions d'incertitude (complétude, variabilité et sensibilité) jouent un rôle important pour la détermination des taux de recouvrement relatif TR_{ij} et d'interaction multifonctionnelle relative TIF_{ij} . D'autant plus qu'il a été vérifié qu'augmenter TR_{ij} pour un TIF_{ij} donné peut avoir des effets autant positifs que négatifs sur les critères de performances étudiés : Effort et Durée de conception.

Par ailleurs, pour des conditions d'incertitude faible (degré de dépendance faible), augmenter TR_{ij} (avec TIF_{ij} donné) induit une faible réduction de l'effort et une réduction du temps de conception. Par contre, pour des conditions d'incertitude élevée (degré de dépendance élevé), une augmentation de TR_{ij} (avec TIF_{ij} donné), implique une augmentation de l'effort et une faible réduction du temps de développement.

4 Conclusion

Nous avons présenté, dans ce chapitre, les différentes utilisations du réseau de dépendances de données pour supporter le processus de gestion de conflits. Dans un premier temps, le réseau de dépendances a été déployé pour l'identification de l'équipe de négociation afin de mener à bien la phase de résolution du conflit. Ensuite, nous avons proposé d'étendre le protocole CO2MED (Rose 2004) pour la gestion de la négociation et la génération de solution. Durant cette phase, les négociateurs peuvent se baser sur le réseau de dépendances de données pour évaluer les solutions qu'ils proposent au conflit détecté. Enfin, nous avons analysé l'impact que peut avoir la solution choisie sur un environnement de conception. Trois aspects d'un environnement de conception (Produit-Processus-Organisation) ont été étudiés.

Partant du fait qu'une solution consiste en la modification d'une ou plusieurs données produit qui ont été déjà validées auparavant, cette étude a porté, premièrement, sur l'analyse d'impact des modifications sur l'ensemble des données validées. Nous avons proposé d'évaluer et de propager l'impact d'une modification à l'aide du réseau de dépendances de données. La première étape consiste à identifier une liste des données impactées (à l'aide du réseau de dépendance, ou le réseau de dépendances de données critiques dans le cas d'un nombre volumineux de données). Ensuite, nous proposons d'estimer la nature et le degré d'importance de la modification afin de faciliter son intégration. Ceci correspond au constat que l'évaluation et la propagation de l'impact d'une modification sont essentiellement basées sur l'identification des liens entre les différents composants d'un produit.

La deuxième partie de notre étude de l'analyse d'impact a porté sur la coordination du processus de conception. Étant donné que modifier une donnée revient à ré-exécuter l'action de conception responsable de sa réalisation, une liste des actions de conceptions à redéployer est établie, à partir de la liste des données identifiées auparavant. Cette ré-exécution nécessite une nouvelle coordination du processus de conception afin de répondre aux impératifs managériaux de coût et de délai. Pour ce faire, un ensemble de stratégies de recouvrement pour la coordination d'actions de conception a été présenté. Ces stratégies se basent essentiellement sur l'organisation des diffusions des données entre les actions, selon les conditions d'incertitude définies par les attributs complétude, sensibilité et variabilité.

Enfin, la troisième partie de notre étude traite l'analyse d'impact sur l'organisation. Pour ce faire, nous avons proposé d'étudier quelques indicateurs de performances afin d'aider les décideurs, lors du processus de prise de décision sur l'organisation de l'environnement de conception. Cette étude s'est intéressée essentiellement à l'optimisation du processus de conception lors de la ré-exécution des actions de conception. Nous avons présenté des éléments méthodologiques pour optimiser les critères de performances de conception, durée et effort, par la parallélisation des actions de conception à ré-exécuter. Cette optimisation se base sur l'étude des paramètres : conditions d'incertitude, taux de recouvrement et taux d'interactions fonctionnelles, ainsi que les différents liens existants entre eux.

Chapitre 4:
Prototype d'un outil support à l'approche DEPNET

1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons l'outil DEPNET support à la traçabilité du processus de conception et la génération du réseau de dépendances de données présentées et discutées dans les chapitres 2 et 3. Cet outil se compose de deux modules : le premier concerne la traçabilité de l'évolution du processus de conception et le second permet de générer le réseau de dépendances pour l'identification des négociateurs et la gestion d'impacts.

La suite de ce chapitre est organisée comme suit. La section 2 présente l'analyse de besoins menée pour identifier les acteurs qui utilisent l'outil DEPNET et décrire les fonctionnalités attendues de cet outil. La section 3 décrit la phase de conception et de développement de DEPNET. L'architecture ainsi que les différentes étapes de conception et d'implémentation de l'outil y sont présentées. Enfin, la section 4 illustre l'application de l'outil DEPNET sur le cas d'étude du processus de conception d'un turbocompresseur, présenté dans le chapitre 2 (section 1).

2 Analyse des besoins

Pour définir le cahier des charges de l'outil DEPNET et afin de proposer une solution simple et efficace, nous avons décomposé les objectifs à atteindre en deux : (1) traçabilité de la progression du processus de conception, (2) gestion de conflits. Par conséquent, l'outil proposé se compose principalement de deux modules répondant respectivement aux objectifs définis.

2.1 Module de traçabilité

La fonctionnalité principale du module de traçabilité est de sauvegarder les informations relatives au déroulement réel du processus de conception. Comme décrit dans la section 4 du chapitre 2, ce sont les acteurs de conception qui, lors de la réalisation de leurs différentes actions de conception, sont chargés de tracer le processus. Cependant, ces différents acteurs peuvent avoir différents rôles quant à l'utilisation du module de traçabilité.

Nous tenons tout d'abord, avant de présenter les différents cas d'utilisation du module de traçabilité du processus de conception, à présenter les différents utilisateurs ainsi que leurs différents rôles définis dans l'outil. Dans ce travail de thèse, nous distinguons quatre types d'utilisateurs du module de traçabilité (cf. **Figure 56**) : *administrateur*, *chef de projet*, *acteur de conception* ou *invité*.

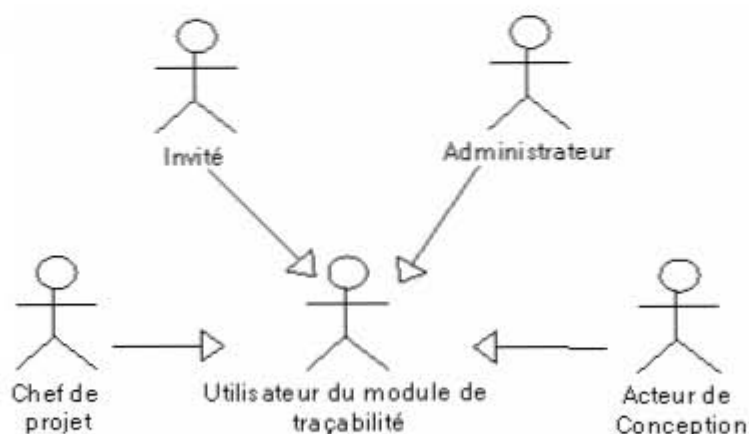


Figure 56. Les différents utilisateurs du module traçabilité de l'outil DEPNET

Le rôle de l'utilisateur *administrateur* consiste à gérer les autorisations et les droits d'utilisation du module traçabilité (cf. **Figure 57**). Pour ce faire, suite à la déclaration du processus de conception (décrit dans le rôle du chef de projet), il déclare les membres qui participeront aux processus. Ensuite, selon le rôle de l'utilisateur (chef de projet, acteur de conception et invité) il attribue les droits d'utilisation du module de traçabilité. Par exemple, l'acteur invité ne peut en aucun cas modifier les informations déclarées par les auteurs utilisateurs.



Figure 57. Rôle de l'utilisateur administrateur

Le rôle de l'utilisateur *chef de projet* consiste à déclarer d'abord le processus de conception et ensuite les différentes phases à réaliser (cf. **Figure 58**). Les phases sont ensuite décomposées en activités planifiées, auxquelles des *acteurs de conception* sont affectés pour les réaliser. L'ensemble des acteurs participant à une phase forme un groupe de travail. Une fois que les

phases sont créées et les activités planifiées⁶³, le chef de projet précise quelles sont les données produit à utiliser en entrée de chaque phase et celles que les acteurs de conception doivent livrer à la fin de chaque phase. Plus précisément, le chef de projet déclare le livrable à produire ainsi que les informations relatives à cette donnée (complétude, variabilité et sensibilité).

Suite à la réalisation des différentes activités composant une phase, le chef de projet a pour rôle de clôturer la phase en validant, avec l'ensemble des acteurs concernés, le ou les livrables produits. Enfin, le chef de projet sauvegarde l'ensemble des informations déclarées et exporte ces différentes informations vers une base de données afin de garder tracer de l'évolution du processus de conception. Il est aussi possible au chef de projet (dans le cas où il est désigné comme *responsable du processus de gestion de conflits*) d'importer des informations stockées dans la base de données afin de les traiter par le module d'identification des négociateurs et gestion d'impacts.

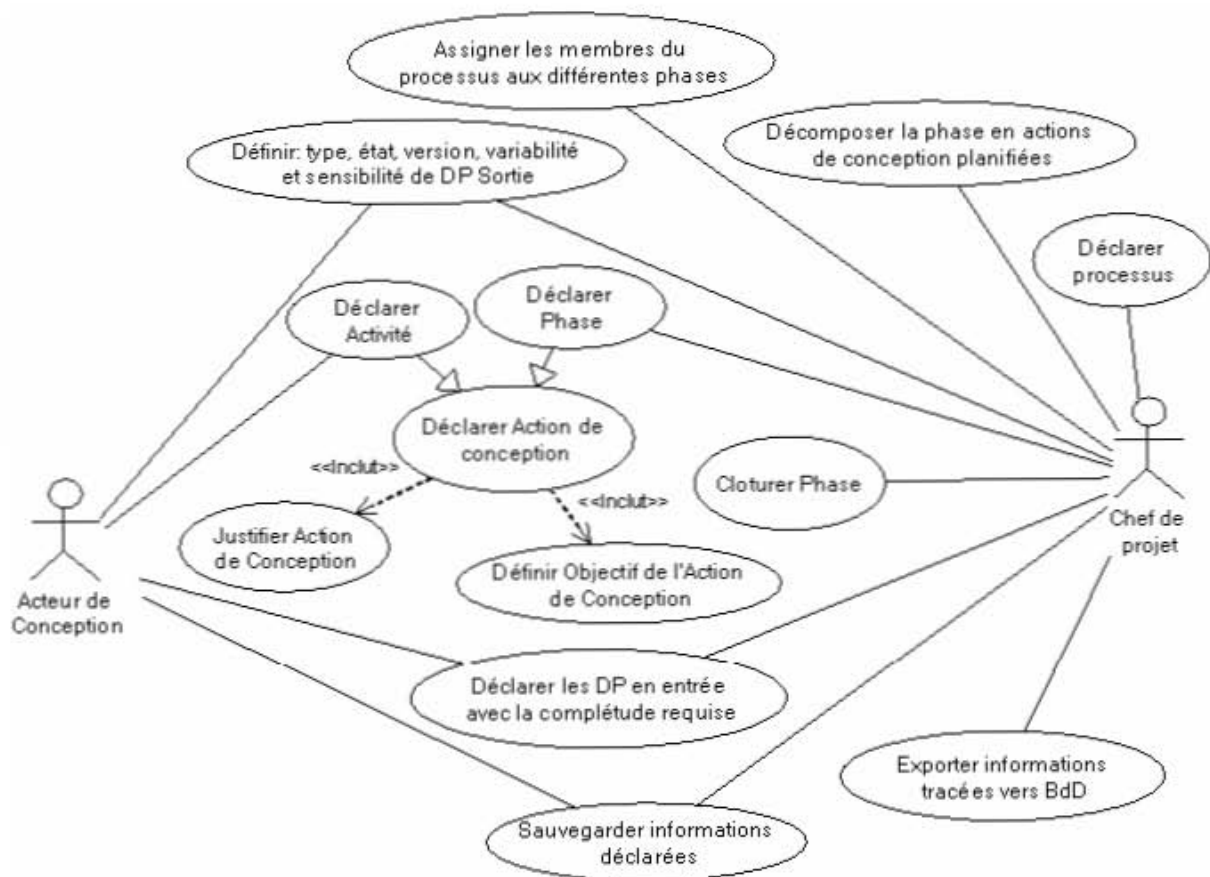


Figure 58. Rôles des utilisateurs chef de projet et acteur de conception

⁶³ Le chef de projet ne déclare pas les activités planifiées mais communique les informations nécessaires aux acteurs de conception.

Une fois les acteurs de conception désignés⁶⁴, ces derniers lors de la réalisation des actions de conception, doivent tout d'abord déclarer les informations concernant leur métier, domaine et compétence. Ensuite ils procèdent à la déclaration des informations relatives à l'activité planifiée à réaliser. Ces informations sont : l'objectif de l'activité, le type d'activité (transformation, contrôle, décision), la logique de conception déployée durant l'activité, les données produit Entrée/Sortie ainsi que les différents attributs : état (brouillon, pièce à conviction, trace-habilité ou livrable), type (géométrique, fonctionnelle, structurelle ou comportementale), degré de granularité (paramètre, document, modèle CAO ou autre), version, complétude (non utilisée, partiellement utilisée, très utilisée, totalement utilisée), sensibilité (non sensible, faiblement sensible, modérément sensible et très sensible), et variabilité (instable, faiblement variable, modérément variable et très variable).

Outre les activités planifiées, les acteurs de conception sont parfois amenés à faire face à des situations émergentes et effectuer une activité non planifiée (par exemple : une modification qui vient d'être validée par la hiérarchie et qui doit être intégrée). Ainsi, l'acteur est tenu de préciser le type de l'action de conception réalisée en spécifiant qu'elle est non planifiée. Le diagramme de cas d'utilisation UML de la **Figure 58** illustre le rôle de l'utilisateur acteur de conception lors de la traçabilité du processus de conception.

Afin de présenter une vue temporelle du cas d'utilisation du module de traçabilité, des diagrammes de séquence UML sont proposés (cf. **Figure 59** et **Figure 60**). Cependant, pour alléger la lecture, seuls les cas d'utilisation *déclarer phase* (**Figure 59**) et *justifier action de conception* (**Figure 60**) sont illustrés.

⁶⁴ A chacun des acteurs de conception est assigné une ou plusieurs actions de conception planifiées, un acteur de conception peut avoir un rôle différent pour chacune des actions affectées.

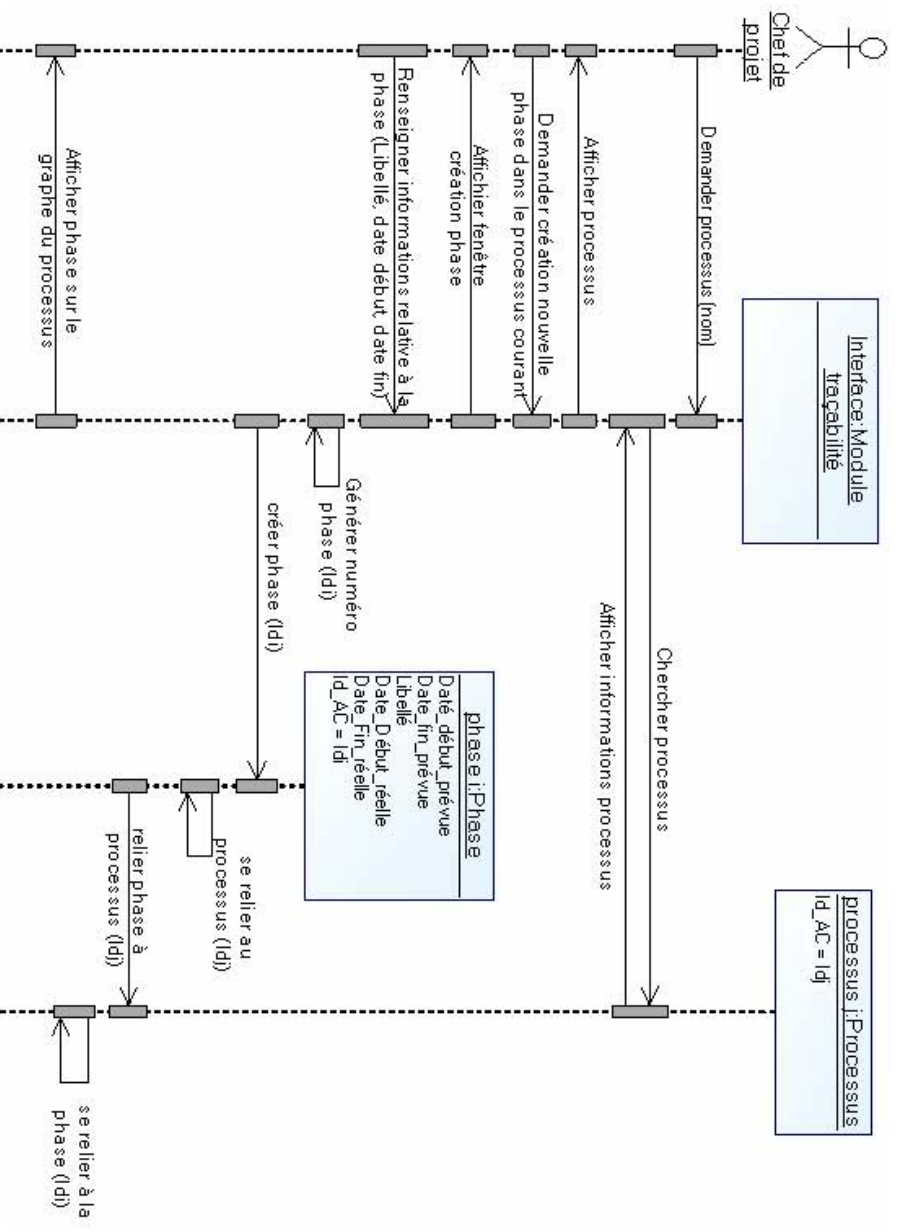


Figure 59. Diagramme de séquence du cas d'utilisation *déclarer phase*

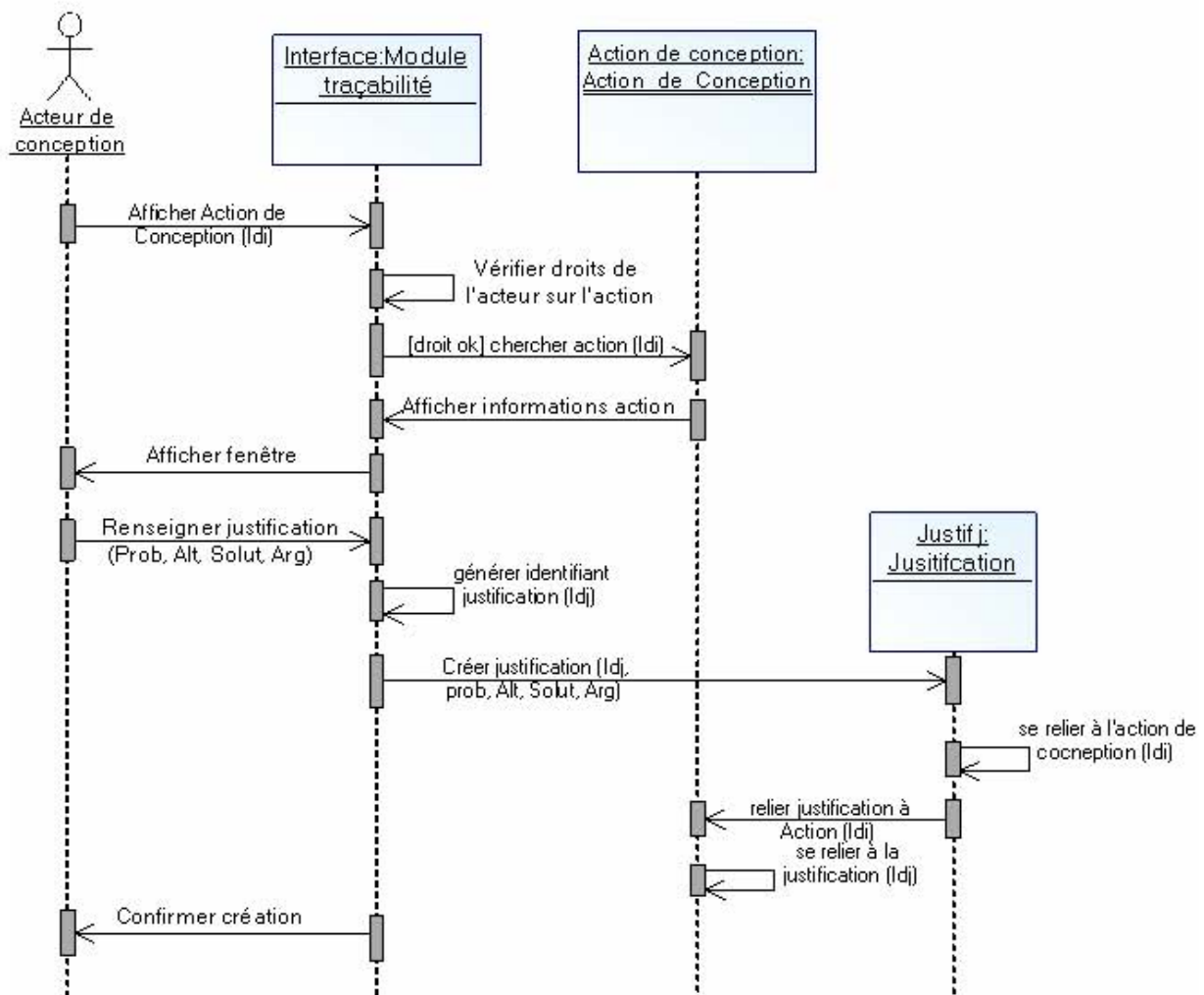


Figure 60. Diagramme de séquence du cas d'utilisation *justifier action de conception*

2.2 Module gestion de conflits

Ce module est utilisé dès qu'un conflit est détecté et qu'une phase de négociation entre les acteurs de conception est nécessaire pour le résoudre. L'objectif de ce module est en effet, (1) de permettre l'identification de l'équipe de négociation pour la résolution de conflit détecté, (2) d'aider les négociateurs durant la phase de résolution, et (3) de propager l'impact de la solution retenue après la phase de résolution de conflit. L'utilisateur principal du module de gestion de conflits est le *responsable du processus de gestion de conflits*.

Comme présenté dans la section 4 du chapitre 1, le concept de base de l'approche DEPNET est l'identification du réseau de dépendances de données manipulées durant le processus de conception. À partir de ce réseau, il nous est possible d'une part d'identifier l'équipe de négociation composée des ressources responsables des données identifiées dans le réseau et qui sont à même de résoudre le conflit détecté. D'autre part, ce module offre aux négociateurs

une aide lors de la phase de résolution de conflits. Enfin, ce module nous permet d'évaluer l'impact de la solution choisie au conflit en :

- Identifiant les données impactées par la solution choisie – Impact sur le produit.
- Identifiant les activités, responsables des données impactées, afin de les ré-exécuter et d'intégrer les modifications nécessaires – Impact sur le processus.

La **Figure 61** représente un diagramme de cas d'utilisation du module de gestion de conflits. Les fonctionnalités de ce module sont présentées dans ce qui suit en fonction des objectifs à atteindre.

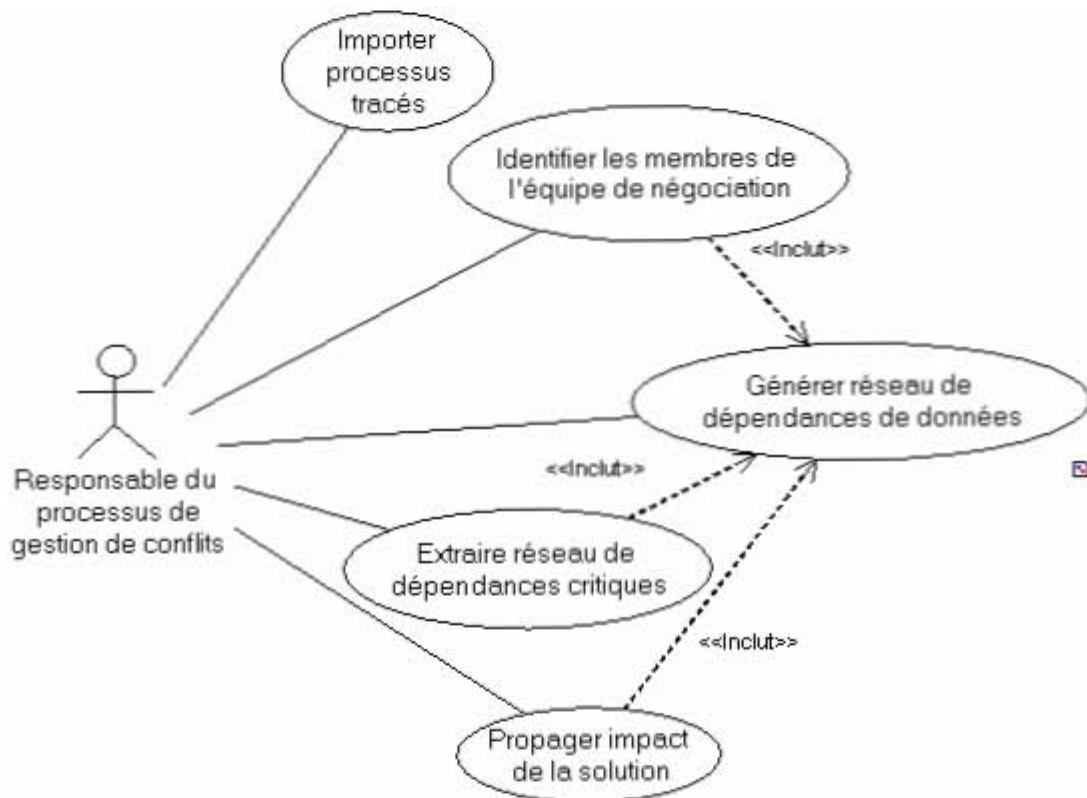


Figure 61. Diagramme de cas d'utilisation du module gestion de conflit

2.2.1 Importer les informations du processus tracé

Dès qu'un conflit détecté nécessite une phase de négociation pour le résoudre, le responsable du processus de gestion de conflits procède à l'identification des acteurs de conception qui seront invités pour la résolution du conflit formant ainsi une équipe de négociation. Pour ce faire, la première étape consiste à importer les informations relatives au processus où le conflit est apparu. Cette fonctionnalité permet à l'utilisateur d'importer les informations qui sont disponibles dans une base de données grâce au module de traçabilité du processus de

conception décrit dans le paragraphe ci-dessus. L'utilisateur se connecte au serveur de la base de données et choisit la base de données à exploiter. Suite à l'opération d'import des informations de la base de données, l'utilisateur peut vérifier les informations importées ou passer à la fonctionnalité suivante : Génération du réseau de dépendances des données.

2.2.2 Générer un réseau de dépendances de données

L'extraction du réseau de dépendances de données est la fonctionnalité principale de l'outil DEPNET. Une fois que les informations sont importées de la base de données, le responsable du processus de gestion de conflits extrait le réseau de dépendances de données en choisissant la donnée de départ. En effet, il est possible pour l'utilisateur de visualiser différents réseaux selon le choix de la donnée de départ et du sens de navigation dans le processus tracé. Pour identifier l'équipe de négociation, le nœud de départ est la donnée source de conflit. L'identification des données dont dépend la donnée de départ s'effectue en parcourant le processus de conception tracé vers l'arrière (de la donnée en sortie vers la donnée en entrée). Pour identifier l'impact d'une solution, le nœud de départ est la ou les données correspondant à la solution. L'identification des données dépendantes de la donnée de départ se fait en parcourant le processus de conception tracé vers l'avant (de la donnée en entrée vers la donnée en sortie). Le résultat est ensuite affiché sous forme de graphe représentant le réseau de dépendances de données.

Outre la visualisation du réseau de dépendances de données relatif à une donnée de départ spécifiée, l'utilisateur peut visualiser :

- Les degrés de dépendances sur chacun des liens du réseau extrait.
- Les activités consommatrices/productrices de chaque donnée identifiée.

Il peut également afficher la liste des acteurs responsables de l'exécution de chaque activité identifiée.

Le diagramme de séquence de la **Figure 62** présente une vue temporelle du cas d'utilisation *générer réseau de dépendances de données*.

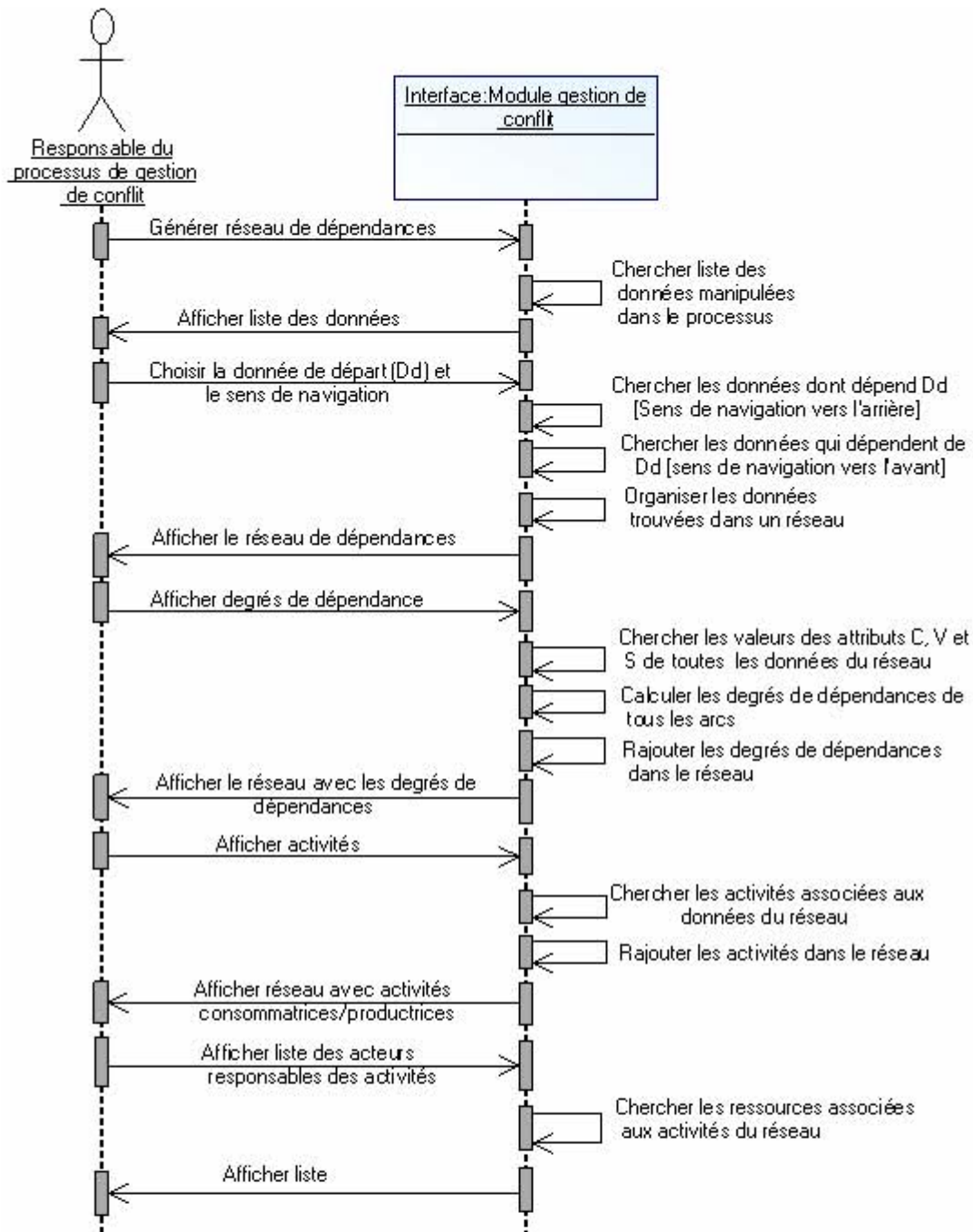


Figure 62. Diagramme de séquence du cas d'utilisation *générer réseau de dépendances de données*

2.2.3 Extraire le réseau de dépendances de données critiques

Une fois le réseau de dépendances de données extrait, le responsable du processus de gestion de conflits analyse l'ensemble des données identifiées ainsi que les degrés de dépendances. Ce dernier étudie essentiellement le nombre de données identifiées afin d'estimer l'ampleur du conflit détecté et quels sont les moyens à mettre en place en termes de ressources. Parmi

les données identifiées, il est possible que certaines n'aient pas une grande importance. Cette importance est déduite des degrés de dépendances entre les données. Dans ce cas, le responsable du processus de gestion de conflits peut décider de ne pas prendre en compte ces données et de ne pas impliquer leurs responsables (c'est-à-dire les acteurs de conception qui ont réalisé ces données) dans la phase de résolution du conflit (il peut toutefois leur notifier l'occurrence du conflit).

C'est dans ce sens que, la fonctionnalité *extraire du réseau de dépendances critiques* permet au responsable du processus de gestion de conflits d'éliminer d'un réseau de dépendances donné les nœuds estimés non importants. De plus, l'utilisateur peut choisir le seuil de degré de dépendance à partir duquel les données sont éliminées.

2.2.4 Identifier l'équipe de négociation

Dès qu'un conflit est détecté, le responsable du processus de gestion de conflits génère le réseau de dépendances de données pour l'identification des membres de l'équipe de négociation. Cette équipe est formée de l'ensemble des acteurs de conception qui participeront à la résolution du conflit. Pour ce faire, le responsable du processus de gestion de conflits fait appel à la fonctionnalité *générer un réseau de dépendances de données* en spécifiant comme nœud de départ la donnée source de conflit et comme sens de navigation vers l'arrière. Il peut également faire appel à la fonctionnalité *extraire le réseau de dépendances critiques* pour réduire le nombre de négociateurs. À partir de la liste de données identifiées, les acteurs responsables de leurs réalisations sont identifiés grâce aux informations tracées par le module de traçabilité. Après avoir établi la liste des négociateurs, le responsable du processus de gestion de conflits invite les différents membres à négocier pour trouver une solution pour le conflit. Les membres qui ne sont pas disponibles seront remplacés par des acteurs de conception du même métier.

C'est la fonctionnalité *Identifier l'équipe de négociation* qui permet de lister l'ensemble des acteurs de conception qui ont participé à la réalisation des données identifiées par le réseau de dépendances. Ce sont ces acteurs qui seront invités au processus de résolution de conflit correspondant aux phases de gestion de la négociation et de génération de solution.

2.2.5 Propager les impacts de la solution

La fonctionnalité *propager les impacts de la solution* a pour objectif de (1) propager l'impact d'une modification sur les données auparavant réalisées, et (2) identifier les activités à ré-

exécuter. En effet, après avoir résolu le conflit, le responsable du processus de gestion de conflits analyse l'impact de la solution retenue. Étant donné que la solution revient à modifier une ou plusieurs données déjà produites, le responsable étudie la propagation de cette modification sur l'ensemble des données dépendantes. Ce dernier génère tout d'abord le réseau de dépendances de données pour la gestion des impacts. Pour cela, il fait appel à la fonctionnalité *générer un réseau de dépendances de données* en spécifiant comme nœud de départ la ou les données correspondant à la solution retenue et comme sens de navigation vers l'avant.

En parcourant ce réseau à partir de la donnée solution et dans le sens des liens de dépendances, le responsable du processus de gestion de conflits identifie les données à changer en fonction des modifications engendrées par la solution. La fonctionnalité *extraire réseau de dépendances critiques* peut être utilisée pour permettre au responsable du processus de gestion de conflits de réduire la liste des données. Une fois que les données à modifier sont identifiées, une liste des activités à ré-exécuter ainsi que les acteurs de conception responsables est établie.

2.3 Diagramme de classe associé

Les diagrammes de séquence associés aux cas d'utilisation permettent l'identification des objets et donc des classes du système à construire. Les messages échangés et les paramètres qu'ils contiennent permettent d'identifier les attributs, les liens entre les objets et les méthodes de classes. Au fur et à mesure de la réalisation des diagrammes présentés ci-dessus, le diagramme de classe du système visé est ainsi construit (cf. **Figure 63**).

A partir de ce diagramme de classes, il s'agit de déduire les schémas relationnels de la base de données de l'outil DEPNET. Le schéma relationnel est représenté dans **Annexe C**.

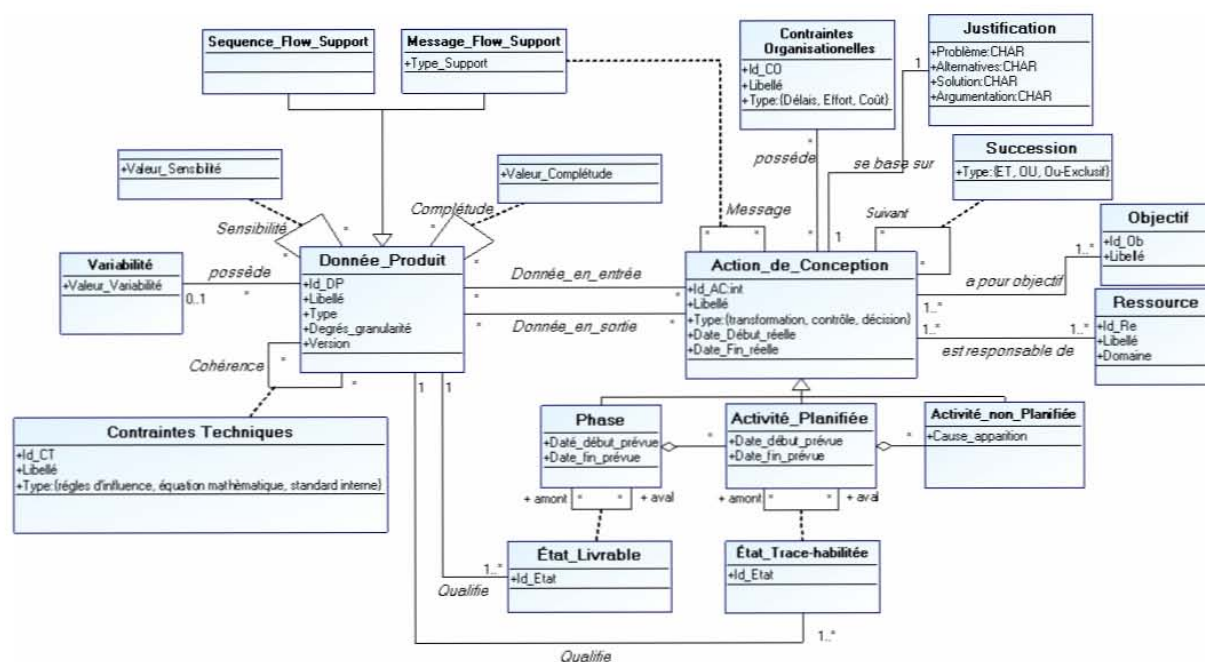


Figure 63. Diagramme de classe résultant des spécifications de l'outil DEPNET

3 Conception et développement de DEPNET

Après avoir présenté les différentes fonctionnalités de DEPNET (section 2), nous présentons brièvement dans cette section la démarche de conception et de développement de ce dernier. Ce travail de conception-développement a été effectué lors d'un stage de 2^{ème} année ESIAL (Mencarelli 2006). Avant de détailler les diverses étapes de conception-développement, nous exposons dans un premier temps les choix technologiques effectués pour implémenter DEPNET.

3.1 Choix technologiques

Lors de la réalisation de l'outil DEPNET, nous nous sommes imposés un certain nombre de critères et de contraintes. Nous avons tenu à respecter essentiellement un critère principal : proposer un outil facile d'utilisation et efficace. Pour cela, un des objectifs lors de la réalisation de l'outil était de proposer une solution qui offre une visualisation graphique des informations aux différents acteurs. Ceci permettra aux acteurs de conception, dans un premier temps, une meilleure collaboration en visualisant les différents projets et processus concurrents, de vérifier les informations saisies, et dans un second temps, une aide à la prise de décision lors de la résolution du conflit à l'aide du réseau de dépendances de données. En

effet, avec un volume important de données, le réseau est plus facile à exploiter sous forme graphique que sous forme de tableau ou de matrice par exemple.

Afin de proposer un outil qui intègre les deux modules présentés auparavant et qui répond à nos objectifs, trois solutions nous étaient possibles en fonction des logiciels disponibles :

- Utiliser Advitium⁶⁵, un outil de gestion de cycle de vie de produit (PLM⁶⁶) et plus particulièrement la fonction « workflow », pour le module de traçabilité, et la fonction « base de données », pour l'extraction et l'affichage du réseau de dépendances de données.
- Utiliser MEGA Suite⁶⁷, un outil de modélisation d'entreprise, pour la traçabilité du processus de conception, et le coupler à une base de données externe pour le module de gestion de conflits.
- Réaliser une solution spécifique « Web » utilisant des pages HTML facilement accessibles via un navigateur Internet et la relier à une base de données.

L'outil Advitium est un progiciel de gestion de cycle de vie de produit et de son processus de développement. Cet outil fournit plusieurs fonctionnalités importantes telles que la gestion des données techniques, la gestion des modifications, la gestion des processus, etc. Cependant, face aux objectifs que nous nous sommes fixés, les fonctionnalités proposées par l'outil Advitium ne sont pas adaptées. En effet, lors de l'étude de faisabilité de l'outil DEPNET à l'aide d'Advitium, nous avons rencontré quelques problèmes concernant :

- La gestion de l'évolution du processus de conception : Advitium propose de gérer les processus de conception avec des workflows prescrits, ce qui n'est pas le cas avec un processus de conception qui se construit au fur et à mesure de sa progression.
- La difficulté d'accéder au noyau d'Advitium afin de l'adapter à nos besoins, tel que rajouter une barre d'outils pour les fonctionnalités décrites ci-dessus.

Le second outil auquel nous nous sommes intéressés est *MEGA Suite* qui est une suite logicielle pour la modélisation d'entreprise : modélisation et analyse des processus métier, architecture d'entreprise, gestion des risques en entreprise, etc. L'outil MEGA s'articule autour d'un référentiel qui regroupe trois produits d'analyse et de conception : MEGA Process

⁶⁵ <http://fr.lascom.com/>

⁶⁶ PLM – Product Lifecycle Management

⁶⁷ www.mega.com

(cartographier les chaînes de valeur de l'organisation), MEGA Architecture (cartographier et urbaniser les systèmes d'information) et MEGA Designer (réaliser la conception détaillée des systèmes et applications informatiques). Pour l'implémentation de l'approche DEPNET nous sommes intéressés à la composante MEGA Process, dont la fonction principale est d'assister les organisateurs dans l'amélioration ou la conception des processus de l'entreprise. MEGA Process permet notamment de

- décrire les processus, ainsi que les principaux acteurs de l'entreprise, et de les évaluer.
- décrire la séquence détaillée des opérations réalisées lors de l'exécution des procédures.

L'étude de faisabilité du développement de l'outil DEPNET à l'aide de la composante MEGA Process a montré quelques avantages de cette solution. MEGA fournit un environnement qui se caractérise par son extensibilité et la possibilité d'intégration des concepts présentés auparavant pour la traçabilité du processus de conception. En effet, il intègre un méta-modèle personnalisable pour s'adapter aux besoins spécifiques des utilisateurs. Ce méta-modèle est compatible avec les principaux standards du marché. De plus, MEGA intègre plusieurs outils d'import/export nécessaires à l'échange d'information avec des applications externes.

Les résultats de cette étude comparative concernant le choix d'une solution pour le développement de l'outil DEPNET sont synthétisés dans le **Tableau 14** ci-dessous.

Critères	Advitium	Mega Suite	Développement spécifique
Faisabilité	+	++	+
Temps de développement	-	+	-
Visualisation graphique	+	++	+
Gestion des workflows	++	+	-
Gestion des données techniques	++	+	-
Gestion des ressources	+	+	-
Facilité de déploiement	+	+	+
Fonctionnement multiutilisateurs	++	++	++
Simplicité d'utilisation	-	+	+
Flexibilité	-	+	++
Echange d'informations	++	++	++

Tableau 14. Tableau comparatif des solutions envisageables

L'analyse de cette étude comparative affirma le choix de la solution *MEGA Suite* comme le support qui répond au mieux à nos besoins et à nos objectifs. Outre son extensibilité, parmi les critères qui ont favorisé ce choix nous notons la visualisation graphique et le temps de développement. Ainsi, nous nous basons sur MEGA Process pour développer le module de traçabilité du processus de conception. Quant au module de gestion de conflits, une application spécifique sera développée se basant sur les outils d'import/export d'informations que propose MEGA. L'architecture de l'outil DEPNET est présentée dans la **Figure 64**. La section suivante développera les différentes phases de réalisation de l'outil DEPNET.

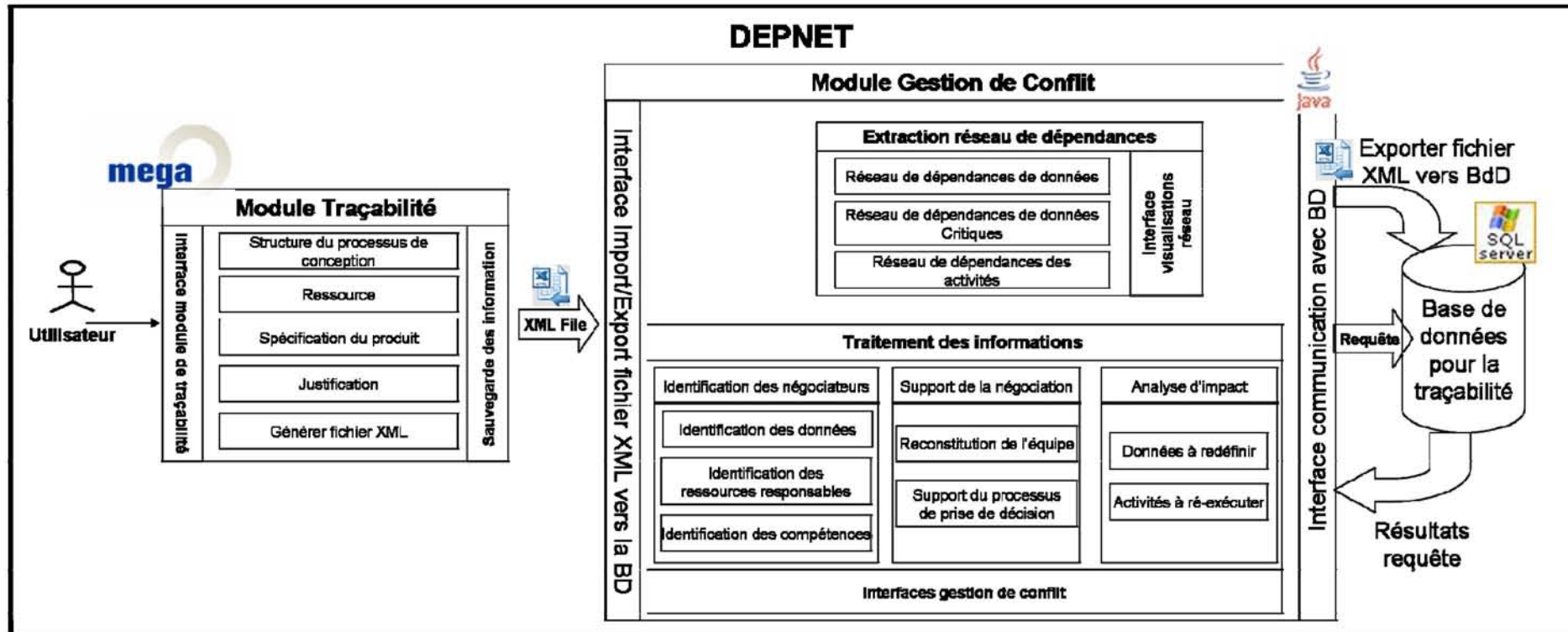


Figure 64. Architecture de l'outil DEPNET

3.2 Conception et développement

La conception et le développement de l'outil DEPNET se sont déroulés sur deux étapes selon le choix des technologies. Premièrement, le méta-modèle MEGA a été modifié afin de prendre en compte nos spécifications pour la traçabilité du processus de conception. Ensuite, une application spécifique a été développée pour le module gestion de conflits.

Le diagramme de processus de *MEGA Suite* est le plus apte pour tracer la progression d'un processus et les différents échanges entre processus, nous décidons alors d'y intégrer les différents concepts proposés dans les chapitres précédents afin de tracer le processus de conception.

L'intégration des concepts de base de l'approche DEPNET consistait tout d'abord à prendre en compte la décomposition d'un processus de conception telle qu'elle a été définie auparavant. Un processus est décomposé en phases qui sont à leurs tours décomposées en activités. Ces activités peuvent être de deux types : activité planifiée (prédéfinie avant le lancement du processus) ou activité non planifiée (émergente au cours de la progression du processus de conception). Cette intégration se traduit par l'ajout de la méta-classe « Action » qui représente les différents types de décomposition d'un processus de conception.

Dans un second temps, nous avons rajouté la méta-classe « Donnée » afin de prendre en compte les entrées/sorties d'une action. En effet, une action de conception consiste à transformer une donnée entrée en une donnée sortie avec accroissement progressif de la valeur ajoutée. Ces données peuvent être des données produites par des actions qui se sont déroulées en amont ou bien des contraintes imposées aux acteurs de conception telles que les normes internes de l'entreprise ou les standards.

La **Figure 65** illustre une vue simplifiée du méta-modèle réalisé. La relation des méta-classes « Processus » et « Phase » et la méta-classe « Diagramme » permet d'exprimer le fait qu'un élément de la nouvelle classe peut être créé dans un diagramme standard de MEGA. Ainsi, si un processus est composé de plusieurs phases, qui à leurs tours sont composées de plusieurs activités, notre processus de conception à tracer sera la résultante de l'intégration de plusieurs diagrammes.

L'intégration des méta-classes, méta-attributs et méta-associations dans le méta-modèle est illustrée dans **Annexe D**.

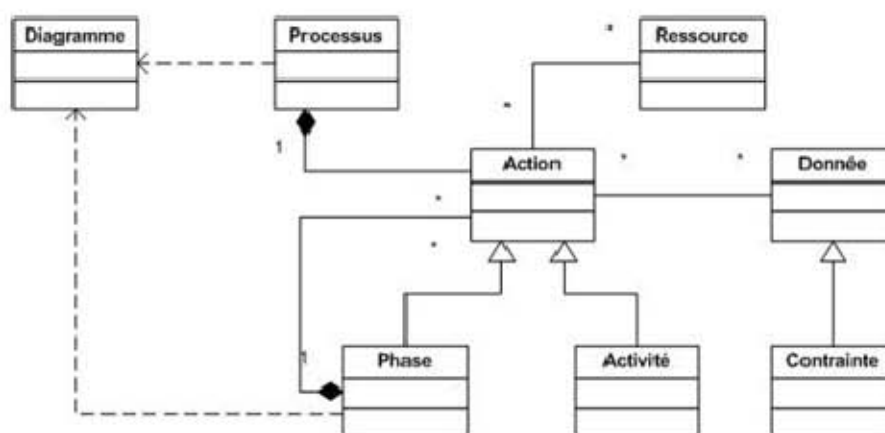


Figure 65. Vue simplifiée du méta-modèle intégré dans l'environnement Mega

Une fois le méta-modèle défini, les différents diagrammes permettront de modéliser la progression du processus de conception afin de tracer son déroulement. L'utilisateur a donc la possibilité de :

- modéliser les phases et de décrire leurs caractéristiques ;
- modéliser les différentes activités à exécuter et de décrire leurs caractéristiques ;
- modéliser les données et contraintes et de décrire leurs caractéristiques ;
- modéliser les ressources et de décrire leurs caractéristiques ;

mais aussi, de :

- spécifier les données entrée/sortie de chaque activité et chaque phase ;
- spécifier les responsabilités et les rôles de chaque ressource pour chaque activité et chaque phase.

Cependant, ces informations ne permettent pas à elles seules de tracer le processus de conception tel qu'il a été spécifié auparavant. En effet, cette phase de modélisation ne permet qu'une prise en compte individuelle de ce qu'un acteur de conception doit tracer. Les liens entre les différentes activités, les liens entre les différentes données utilisées et produites ainsi que les liens entre les différentes phases ne sont pas considérés. Pour ce faire, nous avons rajouté des macros (réalisées en Visual Basic Script) permettant la prise en compte des informations suivantes, qui sont importantes afin de décrire un processus :

- La macro « *séquençage des activités et des phases* » permet de générer les liens de workflow existant entre les activités, ce qui permet de retrouver l'ordre d'exécution des activités et des phases.

- La macro « *liens de dépendances* » permet de générer les liens de dépendances entre les données entrée/sortie d'une activité. Cette macro a pour objectif de fournir une première visualisation des relations entre ce qui est utilisé et ce qui est produit par une activité. Ainsi l'acteur de conception est capable de vérifier « localement » les différents liens de dépendances entre les données manipulées par l'activité exécutée.
- La macro « *messages échangés* » permet d'afficher les données échangées entre deux différentes phases en le visualisant à l'intérieur de chaque phase comme étant des données en entrée de la phase, mais aussi au niveau supérieur : le processus composé de ces phases.

Une fois l'ensemble des informations requises déclarées, elles sont exportées vers une base de données SQL server (la base de données est détaillée dans **Annexe B**). Pour ce faire, un descripteur spécifique a été développé qui permet de générer un fichier XML⁶⁸ contenant l'ensemble des informations déclarées. En effet, MEGA offre la possibilité de construire des fichiers décrivant les objets définis dans un environnement MEGA avec une structure spécifique définie auparavant. Le schéma de construction des fichiers générés est formalisé dans MEGA par des *descriptions*. Nous avons ainsi défini la structure permettant de représenter un modèle réalisé sous MEGA à l'aide du modèle de traçabilité. Le format du fichier XML est détaillé dans **Annexe E**. Ensuite, c'est le chef de projet qui se charge d'enregistrer le fichier XML dans un répertoire dédié à la traçabilité du processus de conception (cf. **Figure 57**). Afin de réaliser cette opération, une application spécifique a été développée en langage Java en utilisant des composants externes :

- *JDom* qui est une librairie permettant de lire des fichiers XML
- *Pilotes JDBC Microsoft* pour SQL Server afin d'accéder à la base de données.

Pour sauvegarder les informations tracées dans la base de données, le chef de projet doit se connecter au serveur de la base de données avec son nom d'utilisateur et son mot de passe, le nom du serveur, ou son adresse IP et le port sur lequel écoute le serveur (par défaut le port est 1433 pour SQL Server). Ensuite, il sélectionne le fichier XML à exporter vers la base de données et choisit la base de données dans laquelle les informations seront stockées. Durant l'opération d'exportation, le chef de projet a la possibilité de vérifier l'ensemble des informations tracées. Une vue détaillée des différentes phases et activités tracées est

⁶⁸ XML : eXtensible Markup Language

disponible ainsi que les données entrée/sortie, les justifications, les ressources, la ou les activités amont/aval et la ou les phases amont/aval.

Nous notons que cette application de transfert du fichier XML vers une base de données a été intégrée avec le module *gestion de conflits*. Ce module fait l'objet d'un développement spécifique afin de prendre en compte toutes les spécifications ressorties suite à la phase d'analyse de besoin. Le langage de développement choisi est le Java. Ensuite des requêtes sont appliquées sur la base de données SQL Server afin de récupérer les informations nécessaires relatives au réseau de dépendances de données, les acteurs de conception et les actions de conception réalisées. Nous notons que pour la visualisation du réseau de dépendances de données (avec ou sans affichage des degrés de dépendances), du réseau de dépendances de données critiques et du réseau de dépendances avec les activités, l'application utilise une composante externe *JGraph* qui est une librairie permettant d'afficher des graphes.

Dans la section suivante, nous présentons l'outil DEPNET à travers un certain nombre d'Interfaces Hommes Machine (IHM) suite à l'application de l'outil sur le cas d'étude industriel de développement d'un turbocompresseur.

4 Scénario d'application de l'outil DEPNET : cas du développement d'un turbocompresseur

Après avoir décrit les différentes spécifications de l'outil DEPNET, nous présentons dans cette section les différentes IHM à l'aide d'une illustration sur un cas d'application : le processus de développement d'un turbocompresseur décrit dans la section 1 du chapitre 2. L'utilisation de l'application se déroule en deux phases distinctes. Une phase de traçabilité du processus de conception du turbocompresseur, ensuite une phase de gestion de conflits qui consiste premièrement à identifier l'équipe de négociation et ensuite à analyser l'impact de la solution retenue suite à la résolution d'un conflit.

4.1 Module traçabilité du processus de conception

Nous nous sommes focalisés durant l'étude menée chez le partenaire industriel sur *les projets d'adaptation* qui ont pour objectif de proposer un turbocompresseur répondant aux exigences

des clients à partir des résultats de *l'équipe innovation*. Un projet d'adaptation se compose de quatre phases principales :

Phase 1 : Etude de faisabilité technico-économique de la demande du client

Phase 2 : Préparation des plans 2D et 3D du turbocompresseur

Phase 3 : Fabrication des prototypes pour validation

Phase 4 : Production et suivi des turbocompresseurs

Nous nous sommes intéressés plus particulièrement à la phase de préparation des plans 2D et 3D, étant donné que c'est la phase la plus critique durant la réalisation d'un turbocompresseur. Afin de mieux comprendre les IHM que nous présentons dans ce qui suit, la **Figure 66** présente une légende du module de traçabilité décrit ci-dessous.

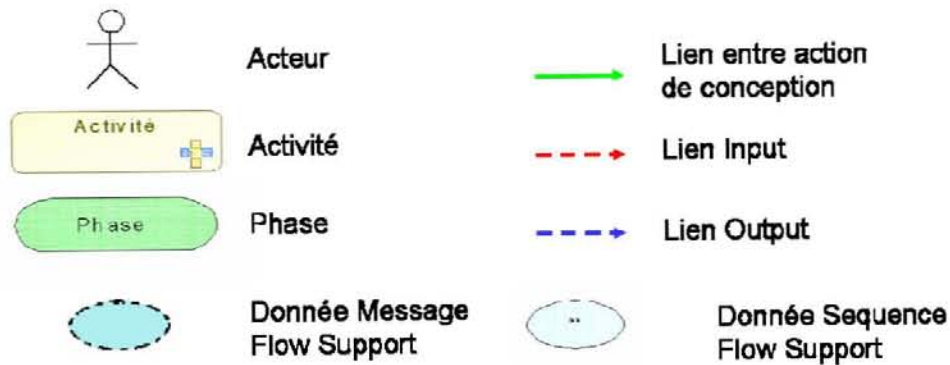


Figure 66. Légende du module de traçabilité

La première étape pour la traçabilité consiste à déclarer le processus de conception à tracer. C'est le chef de projet qui se charge de cette action et qui par la suite déclare les différentes phases qui composent ce processus. Ensuite, l'administrateur déclare les acteurs de conception qui participeront au processus de conception et leur attribue les droits d'utilisation (cf. **Figure 67**). Le processus de conception d'un turbocompresseur étant composé de quatre phases, le chef de projet crée donc un *diagramme processus* « processus turbocompresseur » et ensuite quatre *diagrammes phases* pour « phase conception compresseur », « phase conception turbine », « phase conception carter » et « phase conception core-product »

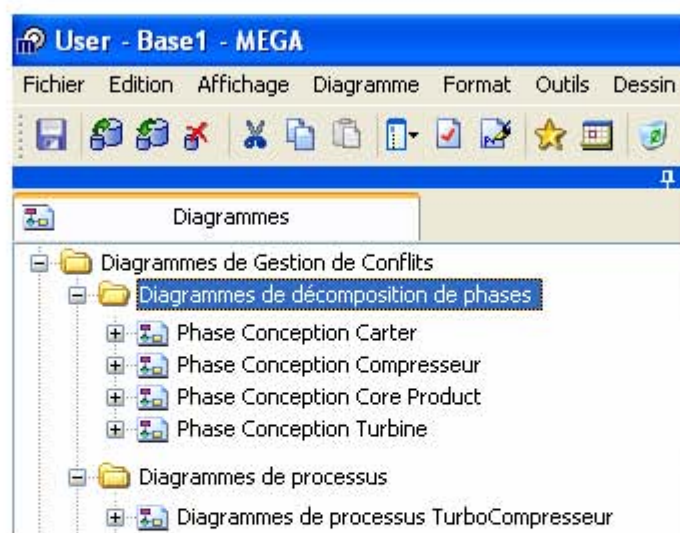


Figure 67. IHM pour la création de processus et des phases qui le composent

Lors de la création des diagrammes de phases le chef de projet décrit les phases à réaliser en précisant les objectifs, les dates début et fin, les livrables à fournir à la fin de chaque phase et peut rajouter des commentaires si nécessaire pour le bon déroulement du projet. Pour ce faire, il a à sa disposition les IHM des **Figure 68** et **Figure 69** respectivement.



Figure 68. IHM pour définir les dates début fin

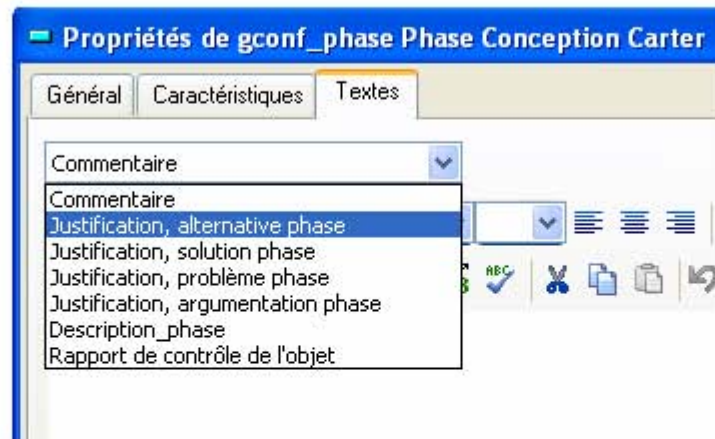


Figure 69. IHM pour rajouter des commentaires

Une fois que les diagrammes processus et phases sont créés, les acteurs de conception peuvent commencer à renseigner leurs tâches de conception afin de tracer le déroulement de la conception.

Avant la réalisation des différentes phases, une étude de faisabilité technico-économique est réalisée par le chef de projet. Cette étude permet de décider du type de turbocompresseur à fournir au client. Ce choix porte sur les performances du turbocompresseur à livrer en fonction du type de moteur sur lequel il sera monté. Ainsi, une première spécification du produit est faite. Selon cette spécification, les concepteurs responsables de concevoir le turbocompresseur commencent leurs tâches respectives.

Afin de tracer cette activité d'étude de faisabilité, le chef de projet dispose des IHM suivants pour renseigner les informations nécessaires à la traçabilité de son action de conception.

L'IHM de la **Figure 70** permet au chef de projet de renseigner des informations concernant son nom, son code ainsi que son domaine de compétence. Si nécessaire, une ressource peut rajouter une description détaillée de sa fiche dans la rubrique *Textes*.

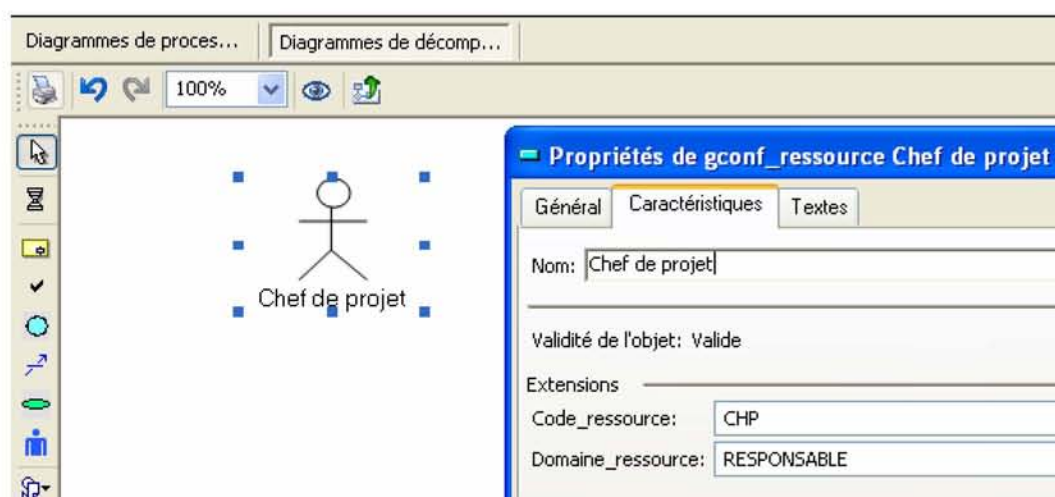


Figure 70. IHM pour décrire une ressource

Une fois que la ressource est déclarée, le détail des informations à saisir, qui sont relatives à l'action de conception à réaliser, sont disponibles à l'aide de l'IHM de la **Figure 71**. Le chef de projet doit spécifier l'objectif et les dates début/fin de l'action à réaliser. De plus, l'utilisateur doit préciser (1) le type de l'action de conception qui peut être « activité planifiée » ou « activité non planifiée », et (2) si l'action de conception est une « activité de contrôle », une « activité de transformation » ou une « activité de décision ».

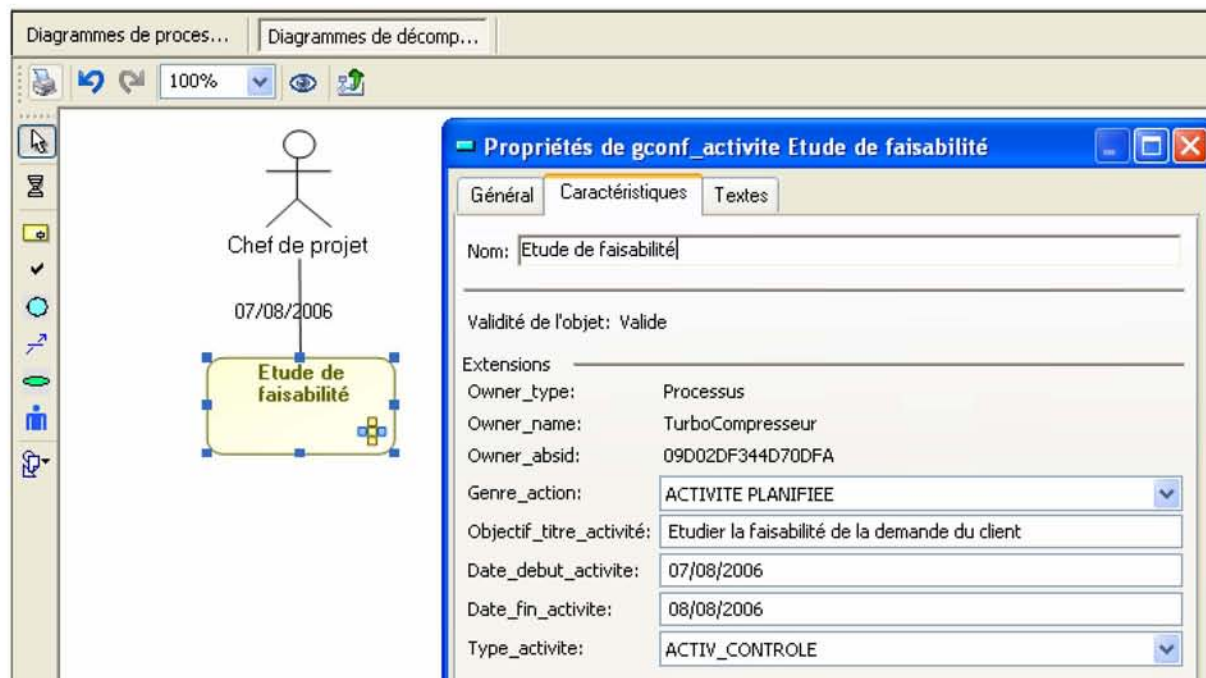


Figure 71. IHM pour décrire une activité

Pour compléter la description de cette situation de conception, le chef de projet doit préciser les données d'entrée et de sortie de l'action de conception à réaliser. L'utilisateur commence

par saisir les informations relatives aux caractéristiques des données entrée/sortie (cf. **Figure 72**) telles que le nom, l'état, le type, le fichier joint, la variabilité et le degré de granularité⁶⁹. Ensuite, une fois la ou les données sorties déclarées, l'utilisateur termine la description de la situation de conception par la spécification des informations relatives à la complétude et la sensibilité de ces données (IHM **Figure 73**). Cette IHM est lancée automatiquement dès que les données entrée/sortie sont complétées à l'aide d'une macro spécifique.

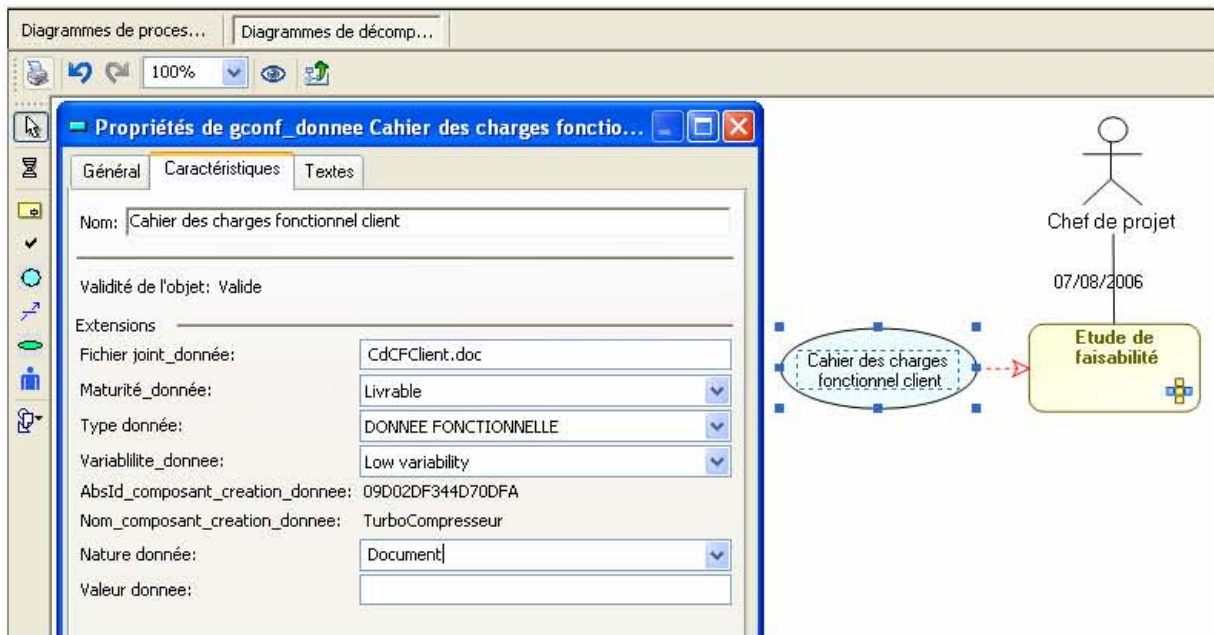


Figure 72. IHM pour la saisie des informations relatives aux données produit

⁶⁹ Dans la Figure 72, le degré de granularité est décrit par l'attribut « nature »

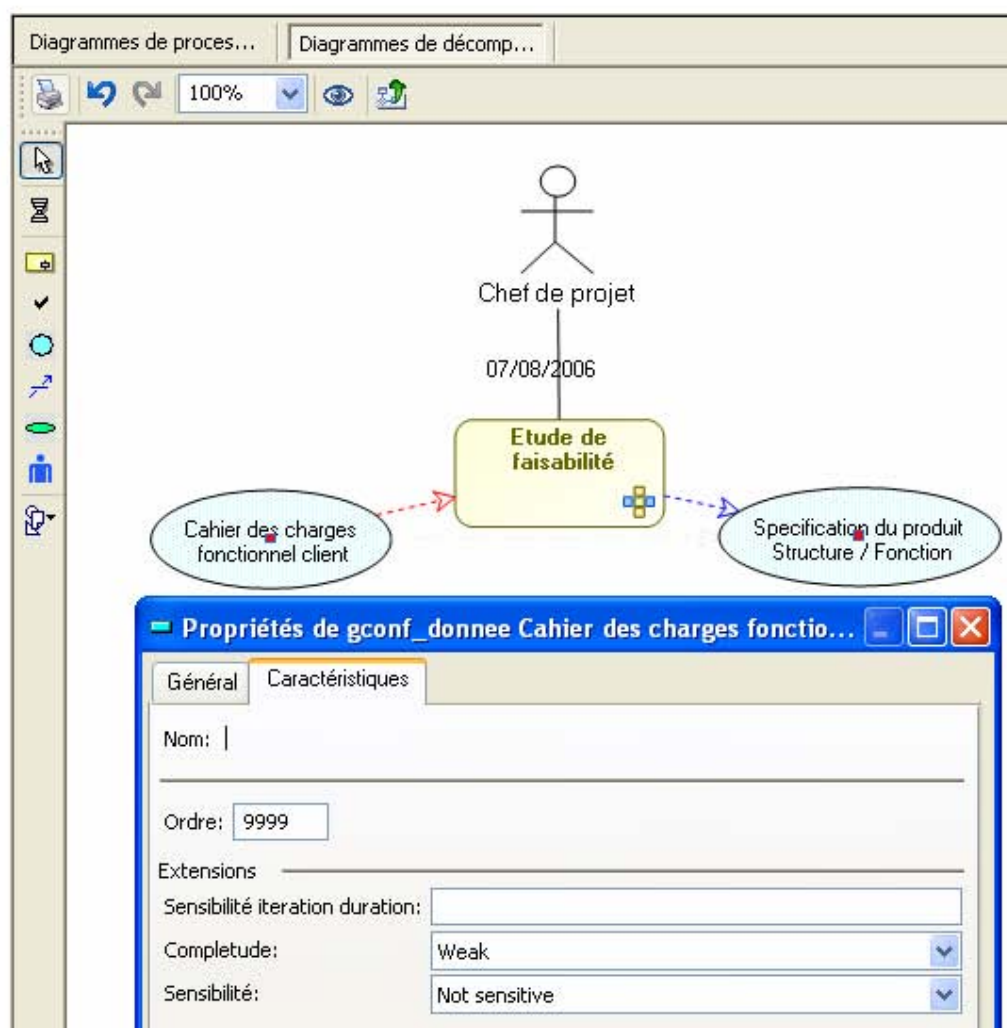


Figure 73. IHM pour la saisie des informations complétude et sensibilité

Cette étape marque la fin de la traçabilité de l'action de conception du chef de projet, qui consistait à faire une étude technico-économique pour définir les spécifications fonctionnelles et structurelles du turbocompresseur à fournir au client. Notons que cette action est menée en collaboration avec les ressources « business manager » et « experts ».

Une fois que les spécifications du turbocompresseur à concevoir sont disponibles, les acteurs de conception responsables des différentes phases commencent leurs activités respectives. Afin de tracer ces activités, les utilisateurs suivent les mêmes étapes telles qu'elles ont été décrites pour l'utilisateur « chef de projet ». Afin d'alléger la présentation de l'outil DEPNET, seule une vue d'ensemble du processus de conception du turbocompresseur est présentée dans la **Figure 74**. Les IHM relatives aux différentes phases de conception sont présentées dans l'**Annexe F**.

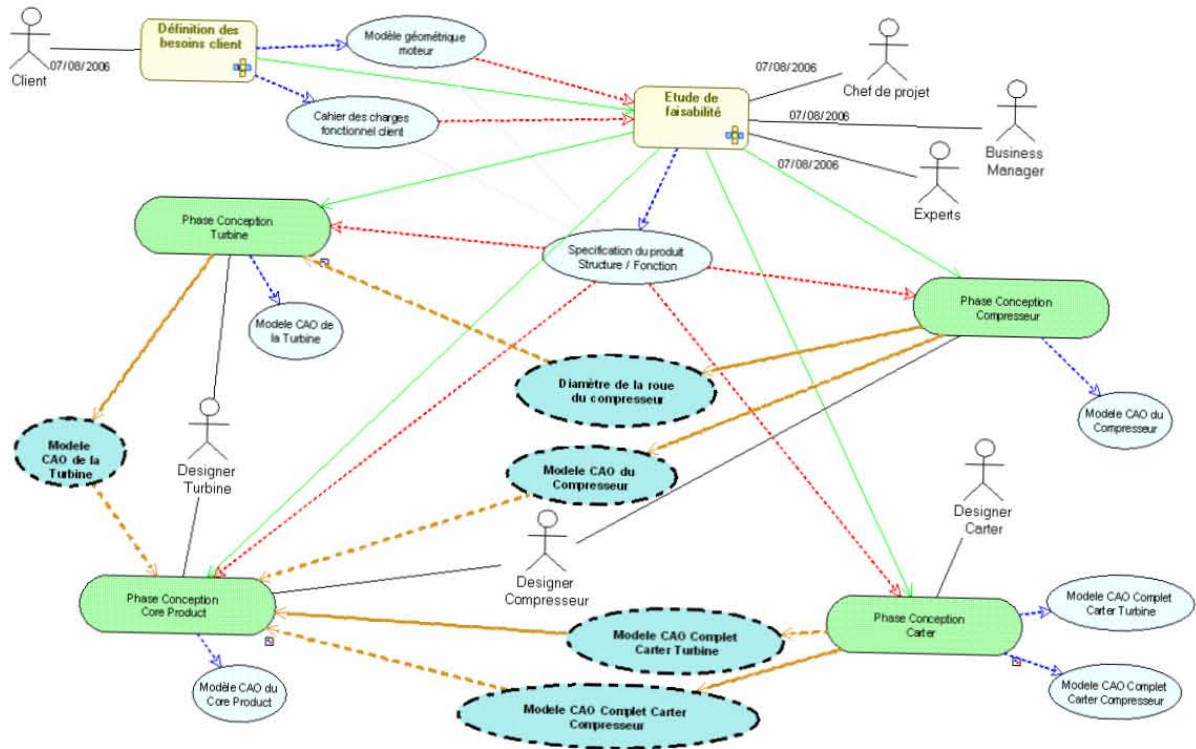


Figure 74. Vue d'ensemble du processus de conception d'un turbocompresseur

Après que l'ensemble des acteurs de conception aient déclaré leurs actions de conception respectives, le chef de projet se charge de stocker les informations relatives à cette situation de conception dans une base de données dédiée. Pour ce faire, il génère un fichier XML (dont la structure est illustrée dans la **Figure 75**) à partir des informations déclarées et ensuite il l'enregistre dans un répertoire dédié. La deuxième étape consiste à charger le fichier XML, en se connectant au serveur de la base de données, et ensuite exporter les informations du fichier XML vers la base de données (cf. **Figure 76**).


```

<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" ?>
- <processus absId="09D02DF344D70DFA">
  <nom>TurboCompresseur</nom>
  <description />
- <activites>
+ <Activite absId="09D02E3344D70E91">
- <Activite absId="09D02ED744D70F25">
  <nom>Etude de faisabilité</nom>
  <datedebut>07/08/2006</datedebut>
  <datefin>08/08/2006</datefin>
  <description />
  <genre>ACTIVITE PLANIFIEE</genre>
  <type>ACTIV_CONTROLE</type>
  <objectif>Etudier la faisabilité de la demande du client</objectif>
- <justification>
  <probleme>quelles spécifications répondent aux besoins client</probleme>
  <solution>La configuration XXA</solution>
  <argumentation>Le produit propose des performances qui répondent aux attentes du client, de plus le produit avec
  la configuration XXA a été testé dans de pareils conditions que celles du client</argumentation>
  <alternatives>La configuration XXB avec modification des diamètres Turbine et Compresseur</alternatives>
  </justification>
- <ressources>
+ <ressource absId="09D02F1744D70F6D" dateAssociation="07/08/2006">
- <ressource absId="09D02F0244D70F51" dateAssociation="07/08/2006">
  <code>CHP</code>
  <domaine>RESPONSABLE</domaine>
  <nom>Chef de projet</nom>
  </ressource>
+ <ressource absId="09D02F3344D70F8B" dateAssociation="07/08/2006">
  </ressources>
- <donneesInput>
+ <donnee absId="09D02E8344D70ECA" isContrainte="false">
+ <donnee absId="09D02EAE44D70EF9" isContrainte="false">
  </donneesInput>
- <donneesOutput>
+ <donnee absId="09D02F8044D70FC7" isContrainte="false">
  </donneesOutput>
+ <activitesPrecedentes>
  <phasesPrecedentes />
  </Activite>
</activites>
+ <phases>
</processus>

```

Figure 75. Schéma XML simplifié correspondant aux déclarations du chef de projet

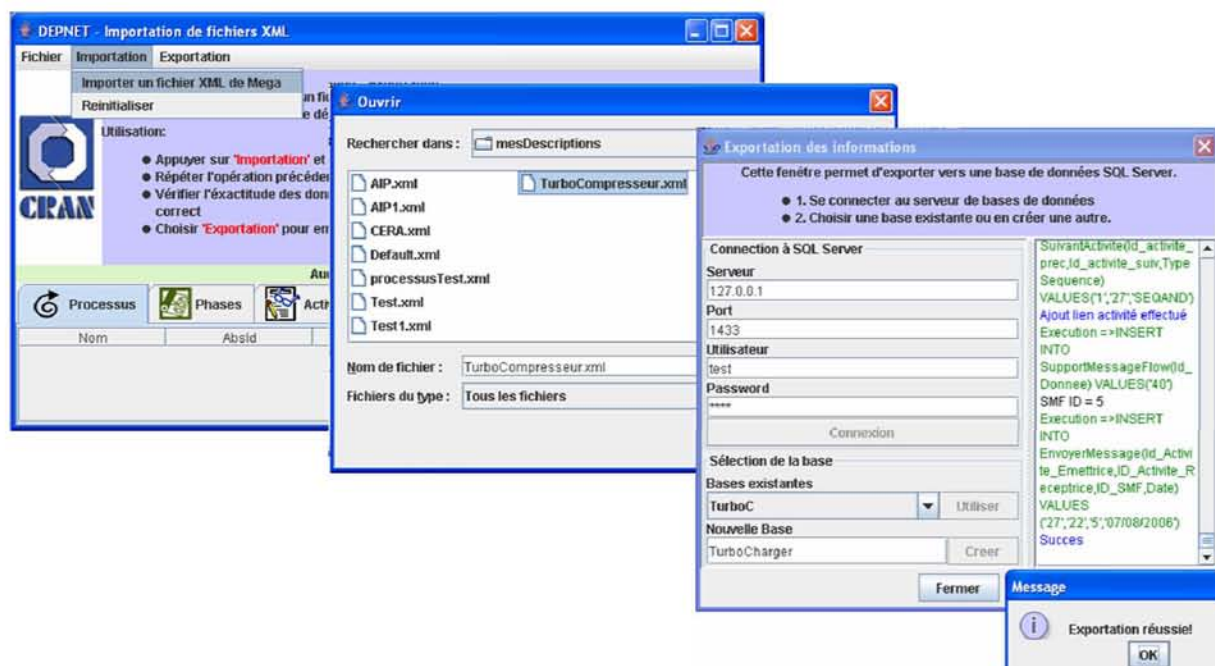


Figure 76. IHM pour exporter un fichier XML vers la base de données

En suivant cette démarche, toutes les informations relatives aux différentes situations de conception du développement d'un turbocompresseur sont stockées dans une base de données. Si un conflit apparaît, le processus de gestion de conflits peut être initié. Dans ce qui suit, nous présentons les différentes IHM relatives à la gestion de conflits et plus particulièrement à l'identification des négociateurs et à l'analyse d'impact de la solution retenue au conflit.

4.2 Module gestion de conflit

Pour illustrer les différentes IHM qui sont à disposition de l'équipe de négociation, nous avons simulé un conflit avec comme donnée source de conflit le « Modèle CAO de la turbine ». Lors de la spécification des caractéristiques du sous ensemble « core-product », le concepteur core-product a rencontré un problème avec la donnée « Modèle CAO de la turbine ». Ce dernier était dans l'impossibilité de définir les caractéristiques d'un des composants de son ensemble : « coche de protection thermique ».

4.2.1 Identification de l'équipe de négociation

La première phase de gestion du conflit consiste à identifier les négociateurs qui participeront à la résolution du conflit. Pour ce faire, le responsable du processus de gestion de conflits génère le réseau de dépendances avec comme donnée de départ le « Modèle CAO de la turbine ». Il commence tout d'abord par se connecter au serveur de la base de données et ensuite importer le processus de conception en question. Une fois les informations relatives au processus chargées, l'utilisateur génère le réseau de dépendances en spécifiant la donnée « Modèle CAO de la turbine » comme nœud de départ ainsi que le sens de navigation (vers l'arrière pour l'identification des négociateurs). Lors de la visualisation de ce réseau, l'utilisateur a le choix de visualiser le réseau de dépendances de données, le réseau de dépendances de données avec les degrés de dépendances, le réseau de dépendances de données avec les activités productrices/conso-matrices ou bien le réseau de dépendances de données critiques en précisant la valeur seuil de criticité. Pour cela, il a à sa disposition l'IHM de la **Figure 77**.



Figure 77. Choix du mode de visualisation du réseau

L'utilisateur dispose ensuite de l'ensemble des données dépendantes qui ont été manipulées durant le processus de conception. Par exemple : « Circulation Air Gaz dans Carter Turbine », « Diamètre de connexion axe turbine », « Diamètre de la roue du compresseur », « Exducer : Roue Turbine », etc. Le réseau résultant est illustré dans la **Figure 78**.

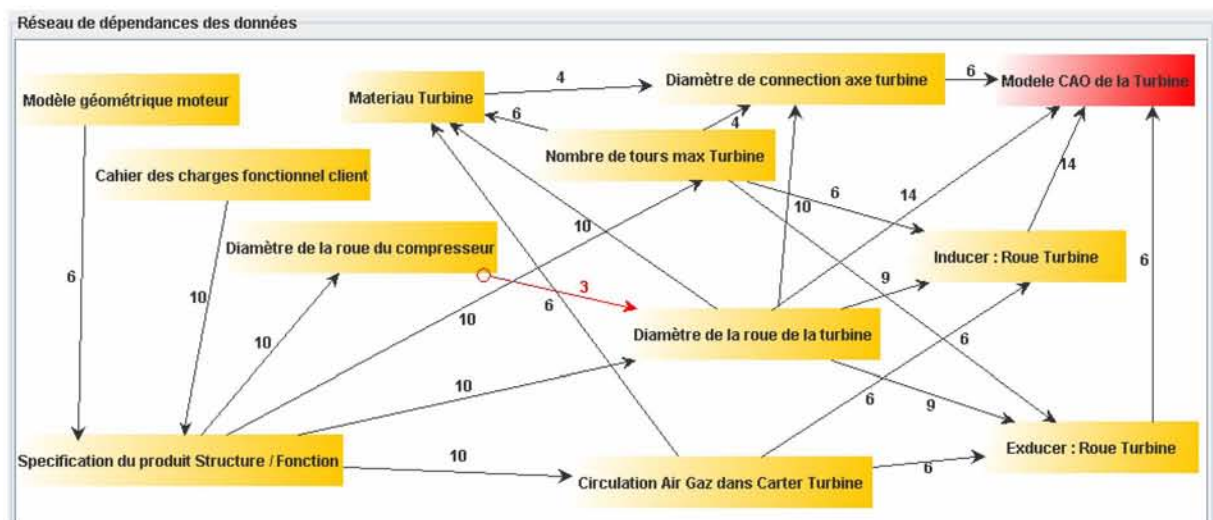


Figure 78. IHM Réseau de dépendances de données

Ce sont les responsables de la réalisation de ces données qui seront invités pour participer à la phase de négociation afin de résoudre le conflit détecté. Une liste des responsables est alors disponible au responsable du processus de gestion de conflits afin de les inviter à la négociation et à la génération d'une solution (cf. **Figure 79**).

Acteurs concernés		
Donnée	Ressource	Type Responsabilité
Cahier des charges fonctionnel client	Client	Associé à l'activité Définition des besoins client
Circulation Air Gaz dans Carter Turbine	Designer Turbine	Associé à l'activité Définition des performances de la turbine
Diamètre de connexion axe turbine	Designer Turbine	Associé à l'activité Définition caractéristiques de l'axe de liaison
Diamètre de la roue du compresseur	Responsable équilibrage et usinage	Associé à l'activité Définition caractéristiques de l'axe de liaison
Exducer : Roue Turbine	Designer Compresseur	Associé à l'activité Définition des caractéristiques du Compresseur
Inducer : Roue Turbine	Designer Turbine	Associé à l'activité Calcul des paramètres de la Turbine
		Associé à l'activité Calcul des paramètres de la Turbine

Figure 79. IHM liste des acteurs à inviter à la négociation

L'équipe de négociation étant dynamique, il est possible d'inviter de nouveaux négociateurs afin d'avoir les acteurs de conception les plus à même et compétents pour la résolution du

conflit. Pour ce faire, le responsable du processus de gestion de conflits extrait un nouveau réseau de dépendances avec comme donnée de départ cette fois-ci la nouvelle donnée qui pose un problème. Par exemple, un problème survient lors de la phase de négociation concernant la donnée « Modèle CAO carter Turbine ». Le menu *choix de donnée à extraire* permet de choisir cette donnée comme étant le nœud de départ et ensuite choisir le sens de navigation⁷⁰ pour identifier le réseau de dépendances correspondant (cf. **Figure 80**). À partir de ce réseau une nouvelle liste d'acteurs est établie et de nouveaux négociateurs peuvent intégrer l'équipe pour la résolution du conflit.



Figure 80. IHM choix de la donnée à extraire

Lors de la phase de négociation, parmi les fonctionnalités que propose le module de gestion de conflits, nous retrouvons l'« aide à la décision ». L'équipe de négociation peut à tout moment visualiser la logique de conception qui a été déployée lors de la réalisation des données identifiées dans le réseau de dépendances. Les négociateurs peuvent, pour toute donnée, consulter l'activité productrice, le problème de conception qui a été résolu, les différentes alternatives possibles à ce problème, la solution qui a été choisie et enfin l'argumentation du responsable de la réalisation de cette donnée. Le module de gestion de conflits propose une IHM, illustrée par la **Figure 81**, pour consulter ces informations.

⁷⁰ Le sens de navigation pour générer le réseau de dépendances support à l'identification des négociateurs est représenté par le bouton « extraire ». Quant à la gestion des impacts, le sens de navigation est représenté par le bouton « impacter »

Donnée	Activité Génératrice	Probleme	Alternative(s)	Solution	Argumentation
Modèle géométrique moteur	Définition des beso...				
Materiau Turbine	Calcul des paramè...				
Nombre de tours max Turbi...	Définition des perf...				
Specification du produit Str...	Etude de faisabilité	quelles spécifications r...	La configuration ...	La configuration XXA	Le produit propose ...
Diamètre de la roue de la tu...	Définition du diamè...				
Exducer : Roue Turbine	Calcul des paramè...				
Circulation Air Gaz dans Ca...	Définition des perf...				
Cahier des charges functio...	Définition des beso...				

Fermer

Figure 81. IHM aide à la décision

Pour un souci de clarté de l’IHM de la **Figure 81**, seule la justification relative à l’étude de faisabilité est déclarée. Nous retrouvons que le **problème** qui a été résolu lors de cette action de conception est : « *quelles sont les spécifications qui répondent aux besoins du client* ». Le chef de projet avait deux **alternatives** : « *La configuration XXA du turbocompresseur* » et « *La configuration XXB avec modification des diamètres Turbine et Compresseur* ». Ce dernier a préféré la **solution** « *La configuration XXA du turbocompresseur* » et son **argumentation** pour ce choix était « *Le produit propose des performances qui répondent aux attentes du client, de plus le produit avec la configuration XXA a été testé dans de pareilles conditions que celles du client* »

4.2.2 Gestion d’impacts de la solution retenue

Une fois qu’une solution est choisie, le module de gestion de conflits permet d’évaluer cette solution en identifiant les données impactées. En effet, une solution à un conflit consiste à modifier une ou plusieurs données identifiées dans le réseau de dépendances, qui a permis l’identification de l’équipe de négociation. Cependant, cette modification implique une cascade de modifications d’un ensemble de données réalisées auparavant. Cette liste de données peut être différente de celle établie pour l’identification de l’équipe de négociation. Il est donc primordial d’établir une nouvelle liste afin d’intégrer correctement les modifications nécessaires. Pour illustrer l’utilisation des fonctionnalités nécessaires à la gestion d’impacts sur le cas d’étude, supposons que la solution au conflit détecté auparavant (la donnée source du conflit étant le « *Modèle CAO de la turbine* ») consiste à modifier la donnée « *Exducer : Roue compresseur* ». L’IHM de la **Figure 82** illustre la propagation de la modification de la donnée « *Exducer : Roue compresseur* » sur l’ensemble des données réalisées durant le déroulement du processus de conception. La donnée en rouge est la donnée de départ pour la propagation de modification et les flèches en rouge indiquent que les deux données sont de

type *message_flow_supported*, c'est-à-dire réalisées durant des phases de conception différentes.

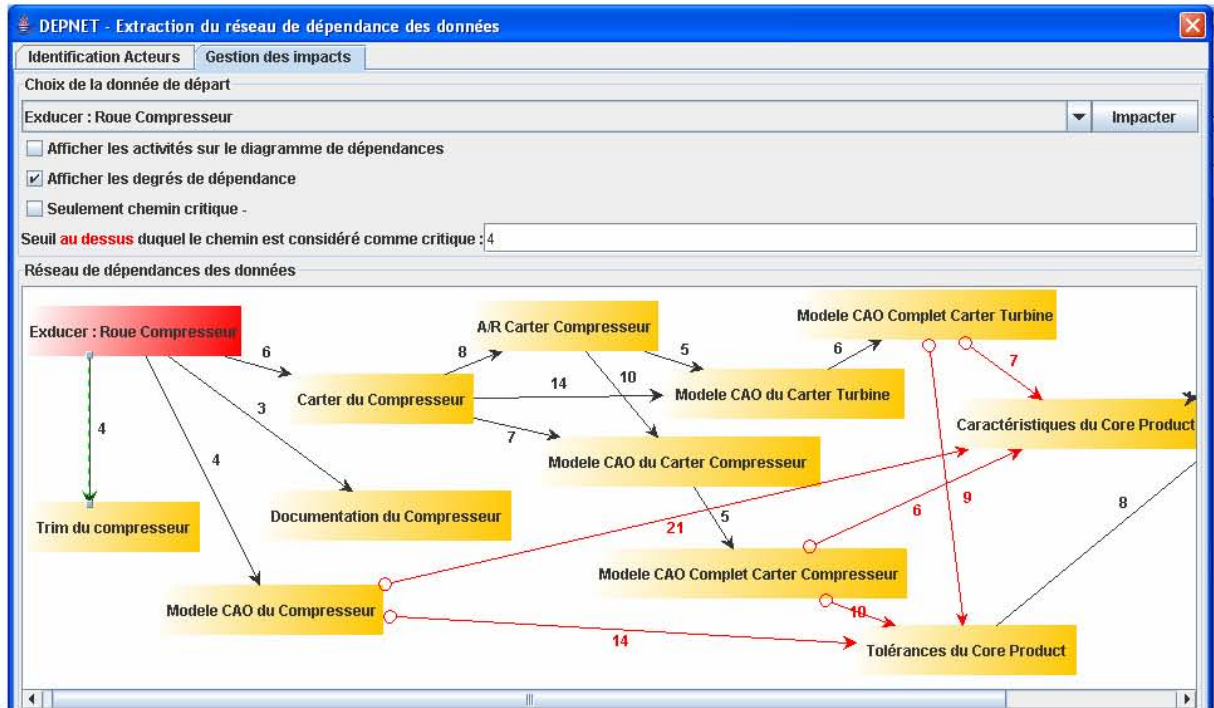


Figure 82. Gestion d'impact de la solution retenue : propagation de modification

Cette IHM montre le réseau de dépendances de données pour la propagation de modification. Une liste des données impactées est ensuite établie afin de procéder aux modifications nécessaires (cf. **Figure 83**). Comme lors de la visualisation du réseau de dépendances pour l'identification des négociateurs, l'utilisateur a la possibilité de visualiser les degrés de dépendances (comme le montre la **Figure 82** ci-dessus), les activités productrices/consommatrices de chaque donnée du réseau (cf. **Figure 84**) ainsi que le réseau de dépendances de données critiques, si le responsable du processus de gestion de conflits juge que certaines données ne nécessitent aucune modification. Cette estimation est souvent faite en collaboration avec des experts, en se basant sur leurs savoir faire ou des cas similaires. Outre la liste des données à modifier, la fonctionnalité gestion d'impacts permet aussi d'établir la liste des activités à ré-exécuter ainsi que les ressources responsables (cf. **Figure 83**).

Acteurs concernés		
Donnée	Ressource	Type Responsabilité
A/R Carter Compresseur	Designer Carter	Associé à la Phase Conception Carter : Carter Turbine et Compresseur contenant l'activité Définition
Caractéristiques du Core Product	Experts	Associé à l'activité Spécification des caractéristiques du core product
Caractéristiques du Core Product	Designer Compresseur	Associé à l'activité Spécification des caractéristiques du core product
Caractéristiques du Core Product	Designer Turbine	Associé à l'activité Spécification des caractéristiques du core product
Carter du Compresseur	Designer Carter	Associé à l'activité Définition du carter du Compresseur
Documentation du Compresseur	Designer Compresseur	Associé à la Phase Phase Conception Compresseur contenant l'activité Concevoir Plan2D et 3D du

Figure 83. IHM liste des données à modifier, ressources responsables et activités à ré-exécuter.

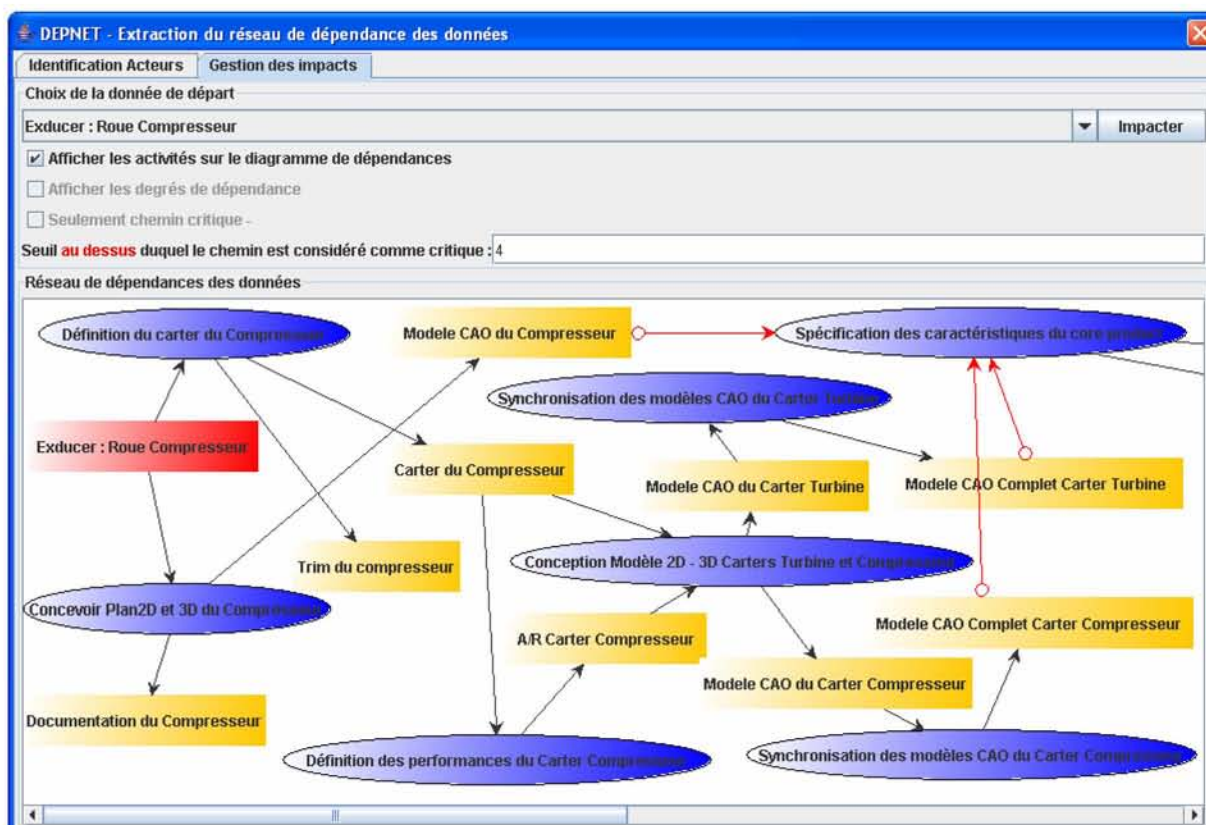


Figure 84. IHM réseau de dépendances avec activités consommatrices/productrices

Notons que la fonctionnalité de propagation de modification du module de gestion de conflits peut fournir un support aux négociateurs lors de la phase de négociation. Ces derniers peuvent se servir de cette fonctionnalité afin d'avoir une première évaluation de l'impact que peut avoir une solution/alternative sur les données auparavant réalisées. Ceci permet d'éviter l'apparition de nouveaux conflits et la ré-exécution d'activités qui risquent de prolonger la durée du développement de produit. Pour ce faire, l'utilisateur de l'outil choisit une donnée à vérifier qui est disponible dans le menu déroulant « choix de la donnée de départ » comme le montre la **Figure 85**. Une liste des données impactées ainsi que les activités à ré-exécuter est alors établie. En fonction de ces résultats, les négociateurs peuvent statuer entre deux alternatives.



Figure 85. IHM menu déroulant pour le choix de la donnée de départ

5 Conclusion

Nous avons présenté, dans ce chapitre, l'outil DEPNET qui est un prototype d'application informatique d'assistance aux acteurs de conception pour la traçabilité du processus de conception et la gestion des conflits. Nous nous sommes appuyés sur des modèles UML pour définir l'ensemble des éléments qui devaient apparaître par la suite au niveau des Interfaces Homme Machine (IHM). Les diagrammes de cas d'utilisation fournissent le cadre général de développement et d'utilisation du prototype, ils représentent les fonctions du système d'un point de vue utilisateur. Les diagrammes de cas d'utilisation sont ensuite complétés par des diagrammes de séquence qui permettent de décrire la vue temporelle de l'utilisation du prototype. La structure statique du prototype est quant à elle décrite par un diagramme de classe. Les classes du diagramme décrivent les objets à mettre en place pour assurer le fonctionnement du prototype. Les classes définies dans le diagramme et les attributs associés sont présents dans la base de données.

Sur la base des spécifications des diagrammes de cas d'utilisation, des diagrammes de séquence et des objets définis dans le diagramme de classe, les IHM ont été conçues. Le premier module du prototype présenté ci-dessus permet de tracer le déroulement d'un processus de conception, et ce dans un cadre intra-entreprise ou inter-entreprise vu que la base de données SQL server peut être accessible à partir de différents sites. Ce qui permettra de prendre en compte les informations relatives aux différentes composantes d'une entreprise, sur un seul site ou distribuées, ainsi que ses sous-traitants et fournisseurs. Le deuxième module de l'outil DEPNET permet d'identifier l'équipe de négociation qui participera à la

résolution d'un conflit, et d'évaluer l'impact de la solution choisie au conflit sur le produit et l'organisation du processus.

Cependant, des développements supplémentaires sont nécessaires et qui n'ont pas été abordés dans ce travail de thèse. Par exemple, l'intégration de l'outil DEPNET avec l'outil CO²MED (Rose 2004) support à la gestion de négociation pour générer une solution. Une telle intégration permettra d'avoir un seul outil support au processus de gestion des conflits dès leurs détection.

Conclusion générale

Bilan

La conception collaborative est un processus relativement complexe, où les interactions entre différents acteurs, ne partageant pas les mêmes points de vue, les mêmes connaissances et les mêmes préférences, n'aboutissent souvent pas à un compromis. Des *conflits* peuvent ainsi apparaître entre ces derniers. C'est à la gestion de ce phénomène critique du processus de conception que nous nous sommes intéressés et plus particulièrement à l'approche de gestion de conflits par négociation. L'objectif de ce travail de thèse, qui s'est fait en continuité des travaux de B. Rose (Rose 2004), était de proposer une approche pour la gestion de conflits.

À travers ce travail de thèse, nous avons effectué un état des lieux des différents travaux qui ont abordé la problématique de gestion de conflits en conception. Cette analyse nous a permis d'identifier les différentes phases qui composent le processus de gestion de conflits par négociation : la détection de conflits, l'identification de l'équipe de négociation, la gestion de la négociation pour générer une solution et la gestion des impacts. Une étude comparative a été ensuite conduite au regard de l'apport de chacun de ces travaux aux principales phases qui composent un processus de gestion de conflits. De cette étude découle la problématique abordée dans ce travail de thèse et qui porte sur les phases d'identification de l'équipe de négociation et la gestion des impacts.

Après avoir défini la problématique à résoudre, le travail de thèse présenté dans ce mémoire a permis de mettre en place l'approche **DEPNET** pour la gestion de conflits. Cette approche est basée sur :

- une démarche pour l'identification des négociateurs à inviter au processus de résolution de conflit,
- un ensemble de mécanismes pour propager l'impact des modifications sur l'ensemble des données produit, et

- un ensemble de stratégies de coordination et de diffusion de données afin de permettre l'exécution du processus de modification induit par la solution retenue tout en respectant certaines contraintes du processus de développement de produit.

L'idée principale sur laquelle se base notre approche est l'identification et la qualification du réseau de dépendances des données manipulées durant le processus de conception. Ce réseau est un graphe orienté composé de nœuds et d'arcs. Les nœuds correspondent aux données manipulées durant le processus de conception et les arcs correspondent aux dépendances qui relient les données entre elles. Une étude des travaux proposés dans la littérature sur la gestion des dépendances de données nous a permis de qualifier et de quantifier ces liens de dépendances entre les données. Quant à l'identification de ce réseau, nous avons proposé un modèle de traçabilité du processus de conception. Ceci constitue la première partie de notre contribution.

Disposer d'un tel réseau répondait aux deux premiers objectifs de base de l'approche proposée, à savoir l'identification de l'équipe de négociation et la propagation des modifications suite à la résolution d'un conflit.

La deuxième contribution de ce travail de recherche est la proposition d'un ensemble de stratégies pour la réorganisation du processus de conception afin de mettre en place les modifications requises ; des modifications qui sont engendrées par la solution retenue suite à la phase de négociation. Ces stratégies consistent à optimiser la diffusion des données entre les activités dépendantes et à coordonner l'enchaînement des activités.

Enfin, la dernière contribution de ce travail de thèse concerne le développement d'un outil support à l'approche **DEPNET**. Ce prototype, via le module de traçabilité, offre la possibilité de tracer le processus de conception. Puis, à travers le module de gestion de conflits, il permet l'identification de l'équipe de négociation pour la résolution de conflit et la propagation des impacts de la solution retenue à l'issue de la résolution. L'application du prototype **DEPNET** sur un cas d'étude industriel nous a servi pour expérimenter et valider les apports conceptuels proposés dans ce mémoire.

Perspectives

Ce travail ouvre la voie à notre sens vers diverses perspectives de validation et d'approfondissement du travail réalisé ainsi que de l'extension du domaine de recherche.

Dans un premier temps, il serait intéressant de valider les résultats dont on dispose sur un projet industriel réel. Cette validation pourrait être réalisée par l'utilisation de l'outil DEPNET pour tracer d'autres situations de conception dans le contexte soit de développement d'un turbocompresseur, soit un autre produit. Ceci nous permettra d'optimiser l'utilisation de l'outil en prenant en compte les contraintes en temps réel des utilisateurs. Il s'agit de détecter les problèmes d'acceptabilité de l'outil par des utilisateurs soumis à des contraintes de temps de livraison. Par ailleurs, une intégration avec l'outil CO2MED est envisageable et techniquement réalisable. Ceci nous permettra de disposer d'un seul outil pour la gestion de conflits par négociation qui prend en compte les phases d'identification de l'équipe de négociation, de gestion de négociation et de gestion des impacts. Quant à la détection des conflits *a priori*, un module de vérifications des contraintes pourrait être envisagé. Ce module serait cependant dédié à un domaine d'expertise précis.

Dans un second temps, il s'agit d'enrichir l'outil DEPNET en intégrant un système d'optimisation de la ré-exécution du processus de conception, basé sur les éléments méthodologiques proposés dans le chapitre 3. Ceci nous permettra d'effectuer des simulations du processus de conception et ainsi valider les résultats énoncés. Cependant, dans ce travail de thèse, seuls les critères de performances *durée* et *effort* ont été pris en compte lors de la proposition des éléments méthodologiques d'optimisation du processus de conception. Il serait alors intéressant d'étendre ce travail en prenant en compte d'autres critères tels que le *coût* ou la *qualité*, en proposant plus d'indicateurs de performances qui permettent des les évaluer.

Nous notons qu'au-delà de la traçabilité du processus de conception et la génération du réseau de dépendances, l'outil DEPNET pourrait évoluer vers un outil de capitalisation de la logique de conception déployée durant la conception. En effet, à partir de la trace des justifications des actions de conception, il s'agit de doter DEPNET d'un moteur de fouilles textuelles⁷¹ afin d'extraire de nouvelles connaissances à partir des cas enregistrés.

Par ailleurs, l'outil DEPNET, via la fonctionnalité de génération du réseau de dépendances, pourrait être utilisé comme un outil d'aide à la décision pour contrôler la complexité de produits. Il s'agit de tester différentes configurations de produit en éliminant des liens de dépendances entre les données, et ensuite analyser l'impact des différentes alternatives proposées. L'utilisation de la théorie de graphe pourrait nous permettre d'atteindre cet

⁷¹ Plus connu avec le terme anglo-saxon « Data Mining »

objectif. Cependant, il est nécessaire d'établir une liste de critères d'analyse des configurations de produit. Les attributs *cohérence* et *redondance* sembleraient être les critères les plus adaptés (Bronsvoort et Noort 2004) (Lindemann et Maurer 2007) et une étude plus approfondie de ces critères est alors nécessaire. Il s'agit alors de disposer d'une base de données de contraintes et de définir des mécanismes de vérification.

Ces pistes d'approfondissement et d'extension de ce travail nous mènent sur la voie d'utiliser DEPNET pour générer des nouveaux modes de travail et d'organisation au sein d'une entreprise. À partir de la capitalisation des situations de conception et à l'aide de réseau de dépendances pour l'aide à la décision, une entreprise s'offre une flexibilité dans la configuration de ses produits ainsi que pour l'organisation du processus de conception. Ceci ouvre les portes à plus d'innovation.

Références bibliographiques

- (Adelson 1999) **Adelson, B.** (1999). "Developing Strategic Alliances: A Framework for Collaborative Negotiation in Design". *Research in Engineering Design*. London : Springer-Verlag. **11** (3). 133-144.
- (Afnor 1995) **Afnor** (1995). "Analyse de la Valeur et de l'Analyse Fonctionnelle, Gérer et assurer la qualité". Paris.
- (Akinci *et al.* 1998) **Akinci, B., M. Fischer et T. Zabelle** (1998). "Proactive Approach for Reducing Non-Value Adding Activities Due to Time-Space Conflicts". 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-6). Guarujá, São Paulo : Brazil.
- (Badke-Schaub et Stempfle 2003) **Badke-Schaub, P. et J. Stempfle** (2003). "Analysis of solution finding processes in teams". *Human Behaviour in Design: Individuals, Teams, Tools*. U. Lindemann (*Eds.*). London, Springer. pp. 121-130.
- (Barker *et al.* 2001) **Barker, R., L. P. Holloway et A. Meehan** (2001). "Supporting Negotiation in Concurrent Design Teams". *The Sixth International Conference on CSCW in Design*, Z. Lin, J. P. Barthès et W. Shen (*Eds.*). IEEE.
- (Beck 2000) **Beck, S. E.** (2000). "The Good, the Bad & the Ugly. Teaching Students to Evaluate Internet Resources". Ed. Trudi Jacobson. Pittsburg:Library Instruction Publications, pp. 159-174.
- (Benjamins 1993) **Benjamins, R.** (1993). "Problem Solving Methods for Diagnosis". PhD Thesis, Department of Social Science Informatics, University of Amsterdam. Amsterdam, The Netherlands.
- (Bernard 1999) **Bernard, A.** (1999). "Modèles de produit et de processus". Groupement AIP-PRIMCA - Université d'automne "Modélisation des processus de conception". Nancy, France. 20-22 Aout.
- (Bernus *et al.* 1996) **Bernus, P., L. Nemes et T. J. Williams** (1996). "Architecture for enterprise integration". Chapman & Hall, London.
- (Bettaieb 2005) **Bettaieb, S.** (2005). "Contribution à la spécification d'un environnement de conception collaborative intégreur d'expertises métier hétérogènes". Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble. Grenoble, France.
- (Bhuiyan 2001) **Bhuiyan, N.** (2001). "Dynamic Models of Concurrent Engineering Processes and Performance". PhD dissertation, McGill University. Montreal, Canada.
- (Bhuiyan *et al.* 2004) **Bhuiyan, N., D. Gerwin et V. Thomson** (2004). "Simulation of the New Product Development Process for Performance Improvement". *Management Science*. **50** (12). 1690-1703.
- (Bidarra *et al.* 2002) **Bidarra, R., N. Kranendonk, A. Noort et W. F. Bronsvort** (2002). "A collaborative framework for integrated part and assembly modeling ". *Proceedings of the seventh ACM symposium on Solid modeling and applications*.
- (Bigand 2005) **Bigand, M.** (2005). "Intégration de modèles pour l'ingénierie des systèmes de conception". Habilitation à diriger des recherches (HDR) de l'Ecole Centrale de Lille. Lille, France.
- (Bigand *et al.* 2006) **Bigand, M., M. Mekhilef et J. P. Bourey** (2006). "Traçabilité des justifications de décisions en conception de produit". Chapitre 13. *Évaluation et décision dans le processus de conception*. B. Yannou et E. Bonjour (*Eds.*). Paris, Hermès. pp. 207-218.

- (Bobroff *et al.* 1993) **Bobroff, J., C. Caro, C. Divry et C. Midller** (1993). "les formes d'organisation des projets". *Ecosip: Pilotage de projet et entreprises, diversité et convergences. Economica (Eds.)*. pp.
- (Bocquet 1998) **Bocquet, J. C.** (1998). "Ingénierie simultanée, conception intégrée". Chapitre 1. *Conception de produits mécaniques Méthodes, modèles et outils. M. Tollenaere (Eds.)*. Paris, Hermés. pp. 29-52.
- (Boy *et al.* 2003) **Boy, J., C. Dudek et S. Kuschel** (2003). "Management de projet Fondements, méthodes et techniques". DeBoeck Université, Paris Bruxelles. 2-7445-0074-7.
- (BPMN 2004) **Bpmn** (2004). "Business Process Management Notation Specification, Version 1.0". OMG/BPMI Report. <http://www.bpmn.org/>
- (Bronsvoort et Noort 2004) **Bronsvoort, W. F. et A. Noort** (2004). "Multiple-view feature modelling for integral product development". *Computer Aided Design*. **36** (10). 929-946.
- (Browning et Eppinger 2002) **Browning, T. R. et S. D. Eppinger** (2002). "Modelling Impacts of Process Architecture on Cost and Schedule Risk in Product Development". *IEEE Transactions on Engineering Management*. **49** (4). 428-442.
- (Burgess et Burgess 1999) **Burgess, G. et H. Burgess** (1999). "International Online Training Program on Intractable Conflict". Conflict Research Consortium. <http://www.colorado.edu/conflict/peace/index.html>
- (Burton et Obel 1995) **Burton, R. M. et B. Obel** (1995). "The validity of computational models in organization science: From model realism to purpose of the model". *Computational & Mathematical Organization Theory*. **1** (1). 57-71.
- (Cantzler 1997) **Cantzler, O.** (1997). "Une architecture conceptuelle pour la pérennisation d'historiques globaux de conception de produits industriels complexes". Thèse de l'Ecole Centrale de Paris. Paris.
- (Caplat 2002) **Caplat, G.** (2002). "Modélisation cognitive et résolution de problèmes". Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne.
- (Carley 1996) **Carley, K. M.** (1996). "Validating computational models". The Heinz School, Carnegie Mellon University. Pittsburgh, PA, USA.
- (Carte *et al.* 2006) **Carte, T. A., L. Chidambaram et A. Becker** (2006). "Emergent Leadership in Self-Managed Virtual Teams A Longitudinal Study of Concentrated and Shared Leadership Behaviors ". *Group Decision and Negotiation*. **15** (4). 323-343.
- (Castelfranchi 2000) **Castelfranchi, C.** (2000). "Conflict Ontology". *Computational Conflicts, Conflict Modelling for Distributed Intelligent Systems. H. J. Müller et R. Dieng (Eds.)*, Springer. pp. 21-40.
- (Castelfranchi *et al.* 1992) **Castelfranchi, C., A. Cesta et M. Miceli** (1992). "Dependence Relations in Multi-Agent Systems". *Decentralized AI - 3. Y. Demazeau et E. Werner (Eds.)*. North-Holland, Elsevier. pp.
- (Chandrasekaran 1994) **Chandrasekaran, B.** (1994). "Functional Representation and Causal Processes". *Advances in Computer*. **38**. 73-143.
- (Christofol *et al.* 2006) **Christofol, H., A. Delamarre, R. Lupan, M. Barreau et C. Robledo** (2006). "Système d'évaluation de la performance en conception collaborative". Chapitre 5. *Evaluation et décision dans le processus de conception. B. Yannou et E. Bonjour (Eds.)*. Paris, France, Hermés. pp. 85-96.
- (Clark et Fujimoto 1991) **Clark, K. B. et T. Fujimoto** (1991). "Product development performance. Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry". Harvard Business Scholl Press, Boston, Massachusetts.
- (Clarkson *et al.* 2001) **Clarkson, P. J., C. S. Simons et C. M. Eckert** (2001). "Predicting change management in complex design". DTEC01, EIM 21698.

- (Clarkson *et al.* 2004) **Clarkson, P. J., C. S. Simons et C. M. Eckert** (2004). "Predicting change propagation in complex design". *ASME Journal of Mechanical Design*. **126** (5). 788-797.
- (Clautrier 1991) **Clautrier, M.** (1991). "Difficultés de nouvelles approche de conception dans le spacial". Séminaire GSIP, La conduite de projet pour méthodes et outils. Grenoble.
- (Clermont et Aldanondo 1999) **Clermont, P. et M. Aldanondo** (1999). "Développement de produits industriels, Organisations séquentielle et parallèle: comparaison de coûts et des délais". *APII-JESA*. **33** (4). 387-412.
- (Cointe 1998) **Cointe, C.** (1998). "Aide à la gestion de conflits en conception concurrente dans un système distribué ". Thèse de Doctorat Montpellier II : Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Montpellier.
- (Cointe *et al.* 1997) **Cointe, C., N. Matta et M. Ribièrè** (1997). "Design Proposition Evaluation: using Viewpoints to Manage Conflicts in CREoPS2". In *Proceedings of the 4th ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications*. August 19-21.
- (Collaine 2001) **Collaine, A.** (2001). "Une méthode d'évaluation de l'impact des évolutions du produit sur le système de production et la performance de l'entreprise". Thèse de Doctorat de l'Ecole Normale Supérieure de Cachan.
- (Cooper et Kleinschmidt 1995) **Cooper, R. G. et E. J. Kleinschmidt** (1995). "New Product Performance: Keys to Success, Profitability and Cycle Time Reduction". *Journal of Marketing Management*. **11**. 315-337.
- (Cooper et Taleb-Bendiab 1998) **Cooper, S. et A. Taleb-Bendiab** (1998). "CONCENSUS: multi-party negotiation support for conflict resolution in concurrent engineering design". *Journal of Intelligent Manufacturing*. **9**. 155-159.
- (Culley *et al.* 2005) **Culley, S. J., S. Davies, B. J. Hicks et C. A. McMahon** (2005). "An assessment of quality measures for engineering information sources". 15th International Conference on Engineering Design (*Eds.*). Melbourne, Australia. August 15-18.
- (Cutkosky et Mori 1998) **Cutkosky, M. et T. Mori** (1998). "Agent-base Collaborative Design of Parts in Assembly." *Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conferences, DETC98/CIE-5697*. Atlanta, Georgia, USA. 13-16 September.
- (David 2004) **David, M.** (2004). "Définition d'un cadre pour l'organisation et l'évaluation des activités du travail coopératif". Thèse de Doctorat de l'Université Henri Poincaré Nancy I. Nancy, France.
- (Decreuse et Feschotte 1998) **Decreuse, C. et D. Feschotte** (1998). "Ingénierie Simultanée". *Techniques de l'ingénieur*, référence A5310.
- (Dong et Agogino 1998) **Dong, A. et A. M. Agogino** (1998). "Managing design information in enterprise-wide CAD using 'smart drawings'". *Computer-Aided Design*. **30** (6). 425-435. May 1998.
- (Dureigne 2004) **Dureigne, M.** (2004). "Collaborative large engineering : from IT dream to reality". *Methods and Tools for Co-operative and Integrated Design*. S. Tichkiewitch et D. Brissaud (*Eds.*), Kluwer Academic Publishers. pp.
- (Easterbrook *et al.* 1993) **Easterbrook, S. M., E. E. Beck, J. S. Goodlet, L. Plowman, M. Sharples et C. C. Wood** (1993). "A Survey of Empirical Studies of Conflict ". *CSCW: Cooperation or Conflict?* S. M. Easterbrook (*Eds.*). London, Springer-Verlag. pp.
- (El Hadj Mimoune 2004) **El Hadj Mimoune, M.** (2004). "Contribution à la modélisation explicite et à la représentation des données de composants industriels : application au modèle PLIB". Thèse de doctorat de l'Université de Poitiers. Poitiers, France.

- (Eynard 1999) **Eynard, B.** (1999). "Modélisation du produit et des activités de conception – Contribution à la conduite et à la traçabilité du processus d'ingénierie". Thèse de Doctorat de l'Université Bordeaux 1. Bordeaux, France.
- (Fenves 2001) **Fenves, S. J.** (2001). "A core product model for representing design information". National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6736. Gaithersburg, MD 20899, USA.
- (Fenves *et al.* 2003) **Fenves, S. J., Y. Choi, B. Gurumoorthy, G. Mocko et R. D. Sriram** (2003). "Master product model for the support of tighter design-analysis integration". National Institute of Standards and Technology, NISTIR 7004. Gaithersburg, MD, 20899, USA.
- (Finger *et al.* 1995) **Finger, S., S. L. Konda et E. Subrahmanian** (1995). "Concurrent Design Happens at the Interfaces". *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*. **9**. 89-99.
- (Fink 1968) **Fink, C. F.** (1968). "Some conceptual difficulties in the theory of social conflict". *Journal of Conflict Resolution*. **12**. 412-460.
- (Freisleben et Vajna 2002) **Freisleben, D. et S. Vajna** (2002). "Project Navigation – Modelling, Improving and Review of Engineering Processes". Proceedings of 2002 ASME, Design Engineering Technical Conferences, DETC2002/DAC34132. Montreal, Canada. September 29 - October 2.
- (Fricke *et al.* 2000) **Fricke, E., B. Gebhard, H. Negele et E. Igenbergs** (2000). "Coping with changes – causes, findings and strategies". *Journal on Systems Engineering*, Wiley and Sons Inc. **3** (4).
- (GAMA 1998) **Gama** (1998). "Modélisation par entités". Chapitre 14. Conception de produits mécaniques. M. Tollenaere (*Eds.*). Paris, Hermès. pp. 323-346.
- (Gebala et Eppinger 1991) **Gebala, D. A. et S. D. Eppinger** (1991). "Methods for Analyzing Design Procedures". Proceedings of the ASME Third International Conference on Design Theory and Methodology. Miami, FL, USA. 22-25 September.
- (Gero *et al.* 1991) **Gero, J. S., K. W. Tham et H. S. Lee** (1991). "Behaviour: a link between function and structure in design". *IntCAD'91 Preprints* D. C. Brown, H. Yoshikawa et M. Waldron (*Eds.*). Ohio, IFIP. pp. 201-230.
- (Gerwin et Barrowman 2002) **Gerwin, D. et N. J. Barrowman** (2002). "An Evaluation of Research on Integrated Product Development". *Management Science*. **48** (7). 938-953.
- (Ghodous 2002) **Ghodous, P.** (2002). "Modèles et architectures pour l'Ingénierie Coopérative". Habilitation à diriger des recherches, Université Claude Bernard - Lyon1. Lyon, France.
- (Giguère *et al.* 2002) **Giguère, F., L. Rivest, A. Desrochers et R. Maranzana** (2002). "Les caractéristiques contextuelles : une solution pour accroître la productivité en CAO". *Revue internationale de CFAO et d'informatique graphique*. **17** (1-2). 105-122.
- (Girard et Doumeingts 2004) **Girard, P. et G. Doumeingts** (2004). "Modelling of the engineering design system to improve performance". *International Journal of Computers & Industrial Engineering*. **46** (1). 43-67.
- (Girard *et al.* 2003) **Girard, P., V. Robin et D. Barandiaran** (2003). "Analysis of collaboration for design coordination". 10th ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications, CE'03. Madeira, Portugal. 26-30 July.
- (Gorti et Sriram 1993) **Gorti, S. et D. Sriram** (1993). "CONGEN: An Integrated Approach to Conceptual Design". *Revue international de CfAO et d'infographie (International Journal for CAD/CAE)*. **18** (2). 35-150.

- (Gotel et Finkelstein 1994) **Gotel, O. C. Z. et A. C. W. Finkelstein** (1994). "An analysis of requirements traceability problem". The IEEE International Conference on Requirements Engineering(*Eds.*). Colorado Springs.
- (Grebici 2007) **Grebici, K.** (2007). "La Maturité de l'Information et le Processus de Conception Collaborative". Thèse de doctorat de l'INP Grenoble. Grenoble, France.
- (Grebici *et al.* 2006) **Grebici, K., M. Z. Ouertani, E. Blanco, L. Gzara-Yesilbas et D. Rieu** (2006). "Conflict Management in Design Process: Focus on Changes Impact". 13th ISPE International Conference on CERA, CE'06. Antibes, France.
- (Gruhn 1995) **Gruhn, V.** (1995). "Business process modelling and workflow management". International Journal of Cooperative Information Systems. **4**. 145-164.
- (Gzara 2000) **Gzara, L.** (2000). "Les patterns pour l'ingénierie des systèmes d'information produit". Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble. Grenoble.
- (Harani 1997) **Harani, Y.** (1997). "Une approche Multi-Modèles pour la capitalisation des connaissances dans le domaine de la conception." Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble. Grenoble.
- (Harrington *et al.* 1995) **Harrington, J. V., H. Soltan et M. Forskitt** (1995). "Negotiation in a Knowledge-Based Concurrent Engineering Design Environment". Expert Systems. **12** (2). 139-147. May.
- (Hazebroucq 1999) **Hazebroucq, J. M.** (1999). "La nouvelle conception de la performance : être efficace oui, mais aussi efficient". Revue Gestion 2000.
- (Hennessy et Murphay 1999) **Hennessy, S. et P. Murphay** (1999). "The potential for collaborative problem solving in Design and Technology". International Journal of Technology and Design Education. **9**. 1-36.
- (Hong *et al.* 2005) **Hong, P., M. A. Vonderembse, W. J. Doll et A. Y. Nahm** (2005). "Role change of design engineers in product development". Journal of Operations Management. **24** (1). 63-79. December 2005.
- (Hu 2000) **Hu, X., Pang, J., Pang, Y., Atwood, M., Sun, W., Regli, W. C.,** (2000). "A survey on design rationale: representation, capture and retrieval". The ASME Design Engineering Technical Conferences(*Eds.*). Baltimore, Maryland.
- (Huang et Mak 1999) **Huang, G. Q. et K. L. Mak** (1999). "Current practices of engineering change management in UK manufacturing industries". International Journal of Operations & Production Management. **19** (1). 21-37.
- (Huang *et al.* 2003) **Huang, G. Q., W. Y. Yee et K. L. Mak** (2003). "Current practice of engineering change management in Hong Kong manufacturing industries". Journal of Materials Processing Technology. **139** (1-3). 481-487. 20 August 2003.
- (ISO10303-105 1996) **Iso10303-105** (1996). "Industrial automation systems and integration-product data representation and exchange—part 105: integrated application resource: kinematics". International Organization for Standardization (ISO). Geneva, Switzerland.
- (ISO10303-108 2003) **Iso10303-108** (2003). "Product data representation and exchange: integrated application resource: parameterization and constraints for explicit geometric product models". International Organization for Standardization (ISO). Geneva, Switzerland.
- (Jacobson et Cohen 1996) **Jacobson, T. et L. Cohen** (1996). "Evaluating Internet Resources". [<http://library.albany.edu/usered/eval/eresources.html>], accès en novembre 2006.
- (Janssen 1990) **Janssen, P.** (1990). "Aide à la conception : une approche basée sur la satisfaction de contraintes". Thèse de doctorat de l'Université de Montpellier II. Montpellier, France.

- (Jarratt 2004) **Jarratt, T. A. W.** (2004). "A model-based approach to support the management of engineering change". PhD Thesis at the Engineering Department, Cambridge University. Cambridge, UK.
- (Jeantet 1998) **Jeantet, A.** (1998). "Les objets intermédiaires dans la conception Eléments pour une sociologie des processus de conception". *Sociologie du travail*. **3**. 291-316.
- (Jeantet *et al.* 1996) **Jeantet, A., H. Tiger, D. Vinck et S. Tichkiewitch** (1996). "La coordination par les objets dans les équipes intégrées de conception de produit ". *Coopération et conception*. G. deTerssac et E. Friedberg (*Eds.*). Toulouse, Octares. pp.
- (Joglekar *et al.* 2001) **Joglekar, N. R., A. A. Yassine, S. D. Eppinger et D. E. Whitney** (2001). "Performance of Coupled Product Development Activities with a Deadline". *Management Science*. **47** (12). 1605-1620.
- (Karlsson *et al.* 2005) **Karlsson, L., T. Larsson, A. Larsson, P. Törlind, M. Löfstrand, B. O. Elfström et O. Isaksson** (2005). "Information Driven Collaborative Engineering: Enabling Functional Product Innovation". *Challenges in Collaborative Engineering, CCE'05 Workshop(Eds.)*.
- (Katz 1990) **Katz, R. H.** (1990). "Toward a Unified Framework for Version Modeling in Engineering Databases". *ACM Computing Surveys*. **22** (4). 375-408.
- (Keeney 1992) **Keeney, R. L.** (1992). "Value-Focused Thinking: A Path to Creative Decision making". Published by Harvard University Press.
- (King et Banares-Alcantara 1997) **King, J. M. P. et R. Banares-Alcantara** (1997). "Extending the scope and use of design rationale". *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*. **11** (2). 155-167.
- (Klein 1993a) **Klein, M.** (1993a). "Supporting Conflict Management in Cooperative Design Teams". *Journal on Group Decision and Negotiation. Special Issue on the 1992 Distributed AI Workshop*. **2**. 259-278.
- (Klein 1993b) **Klein, M.** (1993b). "Supporting conflict resolution in cooperative design systems". *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* **21** (6). 1379-1390.
- (Klein 1995) **Klein, M.** (1995). "iDCSS: Integrating Workflow, Conflict and Rationale-Based Concurrent Engineering Coordination Technologies". *Concurrent Engineering: Research and Applications*. **3** (1). 21-27.
- (Klein 1996) **Klein, M.** (1996). "Core services for coordination in concurrent engineering". *Computers in Industry*. **29** (1-2). 105-115. July 1996.
- (Klein 2000) **Klein, M.** (2000). "Toward a systematic repository of knowledge about managing collaborative design conflicts". *6th Artificial Intelligence in Design (AID'00)(Eds.)*. Kluwer Academic Publishers.
- (Klein et Dellarocas 2000) **Klein, M. et C. Dellarocas** (2000). "A Knowledge-Based Approach to Handling Exceptions in Workflow Systems". *Journal of Computer-Supported Collaborative Work*. **9** (3-4). 399-412.
- (Krishnan *et al.* 1997) **Krishnan, V., S. D. Eppinger et D. E. Whitney** (1997). "A Model-Based Framework for Overlapping Product Development Activities". *Management Science*. **43** (4). 437-451.
- (Kunz et Rittel 1970) **Kunz, W. et W. Rittel** (1970). "Issues as elements of information systems". Working paper 131, Center for Planning and Development Research, University of California. Berkley.
- (Kusiak *et al.* 1994) **Kusiak, A., N. Larson et J. Wang** (1994). "Reengineering of Design and Manufacturing Processes". *Computers and Industrial Engineering*. **26** (3). 521-536.
- (Kusiak et Wang 1995) **Kusiak, A. et J. Wang** (1995). "Dependency analysis in constraint negotiation". *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. **25**. 1301- 1313.

- (Labrousse 2004) **Labrousse, M.** (2004). "Proposition d'un modèle conceptuel unifié pour la gestion dynamique des connaissances d'entreprise". Thèse de Doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes et l'Université de Nantes. Nantes.
- (Lander et Lesser 1993) **Lander, S. et V. Lesser** (1993). "Understanding the Role of Negotiation in Distributed Search Among Heterogeneous Agents". Proceedings of the 13th International Joint Conference on Artificial Intelligence. Chambéry, France.
- (Lara et Nof 2003) **Lara, M. A. et S. Y. Nof** (2003). "Computer-supported conflict resolution for collaborative facility designers". *International Journal of Production Research*. **41** (2). 207-234.
- (Laureillard 2003) **Laureillard, P.** (2003). "The Role of Graphical Representations in Inter-Professional Cooperation". *Everyday engineering: An ethnography of design and innovation*. D. Vinck (*Eds.*), MIT Press. pp. 178-202.
- (Lee 1997) **Lee, J.** (1997). "Design Rationale Systems: Understanding the Issues". *IEEE Expert*. **12** (3). 78-85.
- (Lee et Lai 1996) **Lee, J. et K. Y. Lai** (1996). "What's in design rationale?" *Design rationale: Concepts, techniques, and use* (Chapter 2). T. P. Moran et J. M. Carroll (*Eds.*). New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates. pp.
- (LeMoigne 1995) **Lemoigne, J. L.** (1995). "If you do believe that your industrial system really is complex, then...". *Operations Research journal*. **29** (3). 225-243.
- (Li *et al.* 2004) **Li, Y., X. Shao, P. Li et Q. Liu** (2004). "Design and implementation of a process-oriented intelligent collaborative product design system". *Computers in Industry*. **53** (2). 205-229.
- (Lindemann et Maurer 2007) **Lindemann, U. et M. Maurer** (2007). "Facing multi-domain complexity in product development". *The future of product development, proceedings of 17th CIRP International Design Seminar*, F. L. Krause (*Eds.*). Berlin, Germany. 26-29 March. Springer-Verlag.
- (Loch et Terwiesch 1998) **Loch, C. H. et C. Terwiesch** (1998). "Communication and Uncertainty in Concurrent Engineering". *Management Science*. **44**. 1032-1048.
- (Loch et Terwiesch 1999) **Loch, C. H. et C. Terwiesch** (1999). "Accelerating the process of engineering change orders : capacity and congestion effects". *Journal of Product Innovation Management*. **16**. 145-159.
- (Lorino 2003) **Lorino, P.** (2003). "Méthodes et pratiques de la performance". Editions d'Organisation, Paris.
- (Lu *et al.* 2002) **Lu, S. C. Y., F. Udwadia, W. B. Cai et M. P. Case** (2002). "Conflict Management in Collaborative Engineering Design : Basic Research in Fundamental Theory, Modeling Framework, and Computer Support for Collaborative Engineering Activities". Impact Final Report, <http://stinet.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA408525&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf>
- (Macabies *et al.* 2000) **Macabies, L., A. Desrochers, L. Rivest et R. Maranzana** (2000). "Liens multi-modèles en CAO - Application au rivetage en aéronautique". 3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering (IDMME). Montréal, Québec. May 16-19.
- (March et Simon 1958) **March, J. et H. Simon** (1958). "Organisations". Wiley, New York.
- (Mathe et Chague 1999) **Mathe, J. C. et V. Chague** (1999). "L'intention stratégique et les divers types de performance de l'entreprise". *Revue française de Gestion*.
- (Matta et Corby 1996) **Matta, N. et O. Corby** (1996). "Modèles génériques de gestion de conflits dans la conception concurrente". INRIA.
- (Maurino 1995) **Maurino, M.** (1995). "La gestion des Données Techniques : technologie du concurrent engineering". Editions Masson. ISBN 2-225-84518-2.

- (McCall 1991) **McCall, R. J.** (1991). "PHI: A conceptual foundation for design hypermedia". *Design Studies*. **12** (1). 30-41.
- (McGinnis et Ullman 1992) **McGinnis, B. D. et D. G. Ullman** (1992). "The Evolution of Commitments in the Design of a Component". *Journal of Mechanical Design*. **114** (1). 1-7.
- (Mencarelli 2006) **Mencarelli, D.** (2006). "Développement d'un outil workflow pour tracer les processus de conception et application à la gestion de conflits". Rapport de stage ESIAL, UHP Nancy 1. Nancy, France.
- (Minel 2003) **Minel, S.** (2003). "Démarche de conception collaborative et proposition d'outils de transfert de donnée métier : Application à un produit mécanique "le siège d'automobile"". Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers. Centre de Paris.
- (Mokhtar *et al.* 2000) **Mokhtar, A., C. Bedard et P. Fazio** (2000). "Collaborative Planning and Scheduling of Interrelated Design Changes". *Journal of Architectural Engineering*. **6** (2). 66-75.
- (Nicholls 1990) **Nicholls, K.** (1990). "Getting engineering changes under control". *Journal of Engineering Design*. **1** (1). 5-15.
- (Noel *et al.* 2004) **Noel, F., L. Roucoules et D. Teissandier** (2004). "Specification of product modelling concept dedicated to information sharing in a collaborative design context". IDMME'04. Bath, UK. 5-7 April.
- (Nowak *et al.* 2004) **Nowak, P., B. Rose, L. Saint-Marc, M. Callot, B. Eynard, L. Gzara-Yesilbas et M. Lombard** (2004). "Towards a design process model enabling the integration of product, process and organisation". 5th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, IDMME 2004, April 5-7(Eds.). Bath, Royaume Uni.
- (Nuseibeh *et al.* 2001) **Nuseibeh, B., S. Easterbrook et A. Russo** (2001). "Making inconsistency respectable in software development". *Journal of Systems and Software*. **58** (2). 171-180.
- (Ollinger et Stahovich 2004) **Ollinger, G. A. et T. F. Stahovich** (2004). "Redesign IT- a Model-Based Tool for Managing Design Changes". *Journal of Mechanical Design*. **126**. 208-213.
- (Omri *et al.* 2004) **Omri, H., L. Berrah, M. Tollenaere et V. Cliville** (2004). "Amélioration des processus de gestion des modifications de produits : Etude de cas industriel". Colloque IPI 22 - 23 janvier(Eds.). Autrans, France.
- (Ouazzani *et al.* 1997) **Ouazzani, A., A. Bernard et J. C. Bocquet** (1997). "Design Process Management System : SAGEP". International Conference on Engineering Design, ICED 97, August 19-21(Eds.). Tampere.
- (Ouertani *et al.* 2006a) **Ouertani, M. Z., K. Grebici, L. Gzara-Yesilbas, D. Rieu et E. Blanco** (2006a). "A product data dependencies network to support conflict resolution in design processes". CESA'06. Beijing, China.
- (Ouertani *et al.* 2007) **Ouertani, M. Z., K. Grebici et L. Gzara** (2007). "A framework to re-organize design activities during engineering change process". International Conference on Engineering Design, ICED'07. Paris, France. 28-31 August (Soumis).
- (Ouertani *et al.* 2004) **Ouertani, M. Z., L. Gzara-Yesilbas et L. Lossent** (2004). "Engineering change process: state of the art, a case study and proposition of an impact analysis method". 5th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering (IDMME). Bath, UK. April 5-7.
- (Ouertani *et al.* 2006b) **Ouertani, M. Z., L. Gzara-Yesilbas et G. Ris** (2006b). "A Process Traceability Methodology to Support Conflict Management". 10th International Conference on CSCW in Design, 3-5 May. Nanjing, China.

- (Ouertani et Gzara 2007) **Ouertani, M. Z. et L. Gzara** (2007). "Tracking Product Specifications Dependencies in Collaborative Design for Conflict and Change Management". Computer Aided Design. En cours de révision.
- (Pahl et Beitz 1996) **Pahl, G. et W. Beitz** (1996). "Engineering Design – A Systematic Approach". Springer-Verlag, New York, USA.
- (Panteli et Sockalingam 2005) **Panteli, N. et S. Sockalingam** (2005). "Trust and conflict within virtual inter-organizational alliances: a framework for facilitating knowledge sharing". Decision Support Systems. **39** (4). 599-617. June 2005.
- (Pickoz et Malmqvist 1998) **Pickoz, P. et J. Malmqvist** (1998). "A comparative study of engineering change management in three Swedish engineering companies". The ASME DETC98, EIM 5684(Eds.).
- (Pimmler et Eppinger 1994) **Pimmler, T. U. et S. D. Eppinger** (1994). "Integration Analysis of Product Decompositions". The ASME Design Theory and Methodology Conference (DTM'94).
- (Pondy 1967) **Pondy, L. R.** (1967). "Organizational conflict: concepts and models". Administrative Science Quarterly. **12**. 296-320.
- (Prasad 1997) **Prasad, B.** (1997). "Concurrent engineering fundamentals: integrated product development". Prentice-Hall, New Jersey, USA 0-13-396946-0.
- (Pruitt 1981) **Pruitt, D. G.** (1981). "Negotiation Behavior". Academic Press, New York.
- (Putnam et Poole 1987) **Putnam, L. L. et M. S. Poole** (1987). "Conflict and Negotiation". Handbook of Organizational Communication: an Interdisciplinary Perspective. F. Jablin, L. Putnam, K. Roberts *et al.* (Eds.). Beverly Hills, CA, Sage Publications. pp. 549-599
- (Raghothama et Shapiro 2000) **Raghothama, S. et V. Shapiro** (2000). "Consistent updates in dual representation systems". Computer Aided Design. **32** (8-9). 463–477.
- (Regli *et al.* 2002) **Regli, W. C., X. Hu, M. Atwood et W. Sun** (2002). "A Survey of Design Rationale Systems: Approaches, Representation, Capture and Retrieval". Design Rationale Seminar 2002.(Eds.).
- (Riviere *et al.* 2003) **Riviere, A., M. Tollenaere et F. Feru** (2003). "Vers une gestion optimisée des modifications au cours du développement de produits aéronautiques". 8ème Colloque AIP-PRIMECA(Eds.). La Plagne.
- (Robin 2005) **Robin, V.** (2005). "Evaluation de la performance des systèmes de conception pour la conduite de l'ingénierie des produits ; prototype logiciel d'aide aux acteurs". Thèse de Doctorat de l'Université Bordeaux 1. Bordeaux, France.
- (Rose 2004) **Rose, B.** (2004). "Proposition d'un référentiel support à la conception collaborative : CO²MED (Collaborative CONflict Managemnt in Engineering Design), Prototype logiciel dans le cadre du projet IPPOP." Thèse de Doctorat de l'Université Henri Poincaré Nancy 1. Nancy, France.
- (Rouibah et Caskey 2003a) **Rouibah, K. et K. R. Caskey** (2003a). "Change management in concurrent engineering from a parameter perspective". Computers In Industry. **50** (1). 15-34. Jan. 2003.
- (Rouibah et Caskey 2003b) **Rouibah, K. et K. R. Caskey** (2003b). "A workflow system for the management of inter-company collaborative engineering processes". Journal of Engineering Design. **14** (3). September 2003.
- (Saint-Marc *et al.* 2006) **Saint-Marc, L., J. C. Deschamps, M. Callot, V. Robin et P. Girard** (2006). "Caractérisation des états standards des données échangées en conception collaborative". Chapitre 7. Évaluation et décision dans le processus de conception. B. Yannou et E. Bonjour (Eds.). Paris, Hermés. pp. 119-134.
- (Salomons *et al.* 1995) **Salomons, O. W., F. V. Slooten, F. J. A. M. Vanhouten et H. J. J. Kals** (1995). "Conceptual Graphs in Constraint Based Re-Design". SMA '95:

- TheThird ACM Symposium on Solid Modeling and Applications(*Eds.*). Utah, United States.
- (Schabacker *et al.* 2006) **Schabacker, M., H. Guo et S. Vajna** (2006). "Definition and research Focus in Product Development Processes". International Design Conference – DESIGN 2006. Dubrovnik, Kroatien. 15-18 May.
- (Sebesta 2006) **Sebesta, W. R.** (2006). "Concepts of Programming Languages, seventh edition". Pearson/Addison-Wesley, Boston, Massachusetts. ISBN: 0-303-33025-0.
- (Sellini 1999) **Sellini, F.** (1999). "Contribution à la représentation et à la vérification des modèles de connaissances en ingénierie d'ensembles mécaniques". Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Paris. Paris, France.
- (Shah *et al.* 1996) **Shah, J. J., D. K. Jeon, S. D. Urban, P. Bliznakov et M. Rogers** (1996). "Database infrastructure for supporting engineering design histories". Computer Aided Design. **28** (5). 347-360.
- (Sichman et Conte 2002) **Sichman, J. S. et R. Conte** (2002). "Multi-agent dependence by dependence graphs". AAMAS'02. Bologna, Italy. July 15-19.
- (Sichman *et al.* 1994) **Sichman, J. S., R. Conte, C. Castelfranchi et Y. Demazeau** (1994). "A Social Reasoning Mechanism Based on Dependence Networks". The 11th European Conference on Artificial Intelligence, A. G. Cohn (*Eds.*). Baffins Lane, England. John Wiley & Sons.
- (Slimani *et al.* 2006) **Slimani, K., C. F. Dasilva, L. Médini et P. Ghodous** (2006). "Conflict mitigation in collaborative design". International Journal of Production Research. **44** (9). 1681-1702. 1 May.
- (Smith 2004) **Smith, P. G.** (2004). "Concurrent product development teams". (Chapter 35) Field Guide to Project Management, 2nd Edition. D. I. Cleland (*Eds.*), John Wiley & Sons. pp.
- (Smith et Eppinger 1997) **Smith, R. P. et S. D. Eppinger** (1997). "Deciding between Sequential and Concurrent Tasks in Engineering Design". Concurrent Engineering : Research and Applications. **6** (1). 15-25.
- (Soufi *et al.* 2006) **Soufi, K., J. F. Chatelain et R. Maranzana** (2006). "A Product Change Management System Based on Smart Entities". The 16th CIRP International Design Seminar, 16-19 July(*Eds.*). Kananaskis, Alberta, Canada.
- (Sowa 1984) **Sowa, J. F.** (1984). "Conceptual Structures, information processing in mind and machine". Addison–Wesley.
- (Sperber et Wilson 1986) **Sperber, D. et D. Wilson** (1986). "Relevance: Communication and Cognition". Blackwell Publishing, Oxford, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- (Sriram 2002) **Sriram, R.** (2002). "Distributed and Integrated Collaborative Engineering Design". Gaithersburg. USA-NIST: National Institute of Standards and Technology. Chapter 8 (*Eds.*), Glenwood : Sarven Publishers. pp. 433-498.
- (Steward 1981a) **Steward, D. V.** (1981a). "The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems". IEEE Transactions on Engineering Management. **28** (3). 71-74.
- (Steward 1981b) **Steward, D. V.** (1981b). "System Analysis and Management: Structure, Strategy and Design". New York: Petrocelli Books, NY, USA.
- (Štorga 2004) **Štorga, M.** (2004). "Traceability in product development". Design 2004, M. Dorian (*Eds.*). Glasgow. The Design Society.
- (Sudarsan *et al.* 2005) **Sudarsan, R., S. J. Fenves, R. D. Sriram et F. Wang** (2005). "A product information modeling framework for product lifecycle management". Computer-Aided Design. **37** (13). 1399-1411.

- (Sudarsan *et al.* 2003) **Sudarsan, R., Y. H. Han, S. Feng, U. Roy, F. Wang, R. D. Sriram et L. Kevin** (2003). "Object-Oriented Representation of Electro-Mechanical Assemblies Using UML". NIST:National Institute of Standards and Technology, NISTIR 7057. <http://www.nist.gov/msidlibrary/doc/nistir7057.pdf>. Gaithersburg, MD, 20899, USA.
- (Suh 2001) **Suh, N. P.** (2001). "Axiomatic Design: Advances and Applications". Oxford University Press, New York.
- (Swink *et al.* 1996) **Swink, M., J. Sandvig et V. Mabert** (1996). "Customizing Concurrent Engineering Processes: Five Case Studies". *Journal of Product Innovation Management*. **13** (3). 229-244.
- (Sycara 1991) **Sycara, K. P.** (1991). "Cooperative Negotiation in Concurrent Engineering Design". Proceedings of MIT-JSME workshop : Computer aided cooperative product development. D. Sriram, R. logcher, S. Fukada (Eds). Cambridge, MA.
- (Terwiesch *et al.* 2002) **Terwiesch, C., C. H. Loch et A. Demeyer** (2002). "Exchanging Preliminary Information in Concurrent Engineering: Alternative Coordination Strategies". *Organization Science*. **13** (4). 402 - 419.
- (Tollenaere 1998) **Tollenaere, M.** (1998). "Modélisation de données Gestion des données techniques". Chapitre 17. Conception de produits mécaniques Méthodes, modèles et outils. M. Tollenaere (Eds.). Paris, Hermès. pp. 413-434.
- (Umeda *et al.* 1990) **Umeda, Y., T. Tomiyama et H. Yoshikawa** (1990). "Function, Behavior and Structure". Applications of Artificial Intelligence in Engineering V, Vol 1: Design. J. S. Gero (Eds.). Berlin, Springer-Verlag. pp. 177-193.
- (Vajna *et al.* 2005) **Vajna, S., H. Guo et M. Schabacker** (2005). "Optimize Engineering Processes with Simultaneous Engineering (SE) and Concurrent Engineering (CE)". ASME DETC2005-84389. Long Beach, California, USA. 24-28 September.
- (Vareilles 2005) **Vareilles, E.** (2005). "Conception et approches par propagation de contraintes : contribution à la mise en oeuvre d'un outil d'aide interactif". Thèse de Doctorat de l'Ecole des Mines d'Albi-Carmaux. Albi.
- (Vernadat 1996) **Vernadat, F.** (1996). "Enterprise Modeling and Integration : principes and applications". Chapman & Hall.
- (Vernadat 1999) **Vernadat, F.** (1999). "Techniques de Modélisation en Entreprise : Application aux Processus Opérationnels". Ed. Economica.
- (Wall et Callister 1995) **Wall, J. A. et R. R. Callister** (1995). "Conflict and Its Management". *Journal of Management*. **21** (3). 515-558.
- (Wang *et al.* 2003) **Wang, F., S. J. Fenves, R. Sudarsan et D. Sriram** (2003). "Towards modeling the evolution of product families". International design engineering technical conferences and computers and information in engineering conference. Chicago, Illinois. September 2–6.
- (Wang et Jin 1999) **Wang, K. L. et Y. Jin** (1999). "Modelling dependencies in engineering design". The ASME Design Theory and Methodology Conference, DETC99/DTM-8778, September 12-15(Eds.). Las Vegas, Nevada.
- (Wang et Jin 2000) **Wang, K. L. et Y. Jin** (2000). "Managing dependencies for collaborative design". The ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. September 10–13(Eds.). Baltimore, MA.
- (Wang *et al.* 2002) **Wang, L. H., W. M. Shen, H. Xie, J. Neelamkavil et A. Pardasani** (2002). "Collaborative conceptual design - state of the art and future trends". *Computer-Aided Design*. **34** (13). 981–996.
- (WfMC 2006) **Wfmc** (2006). "Employing workflow to drive a comprehensive audit of enterprise identity management. By Rami Elron. Chapter". *Workflow Handbook including Business Process Management*. L. Fisher (Eds.). pp.

- (Wright 1997) **Wright, I. C.** (1997). "A review of research into engineering change management: implications for product design". *Design Studies*. **18** (1). 33-42. January 1997.
- (Xue et Yang 2004) **Xue, D. et H. Yang** (2004). "A concurrent engineering-oriented design database representation model". *Computer Aided Design*. **36** (10). 947-965. September.
- (Yang *et al.* 2004) **Yang, J., M. Goltz et S. Han** (2004). "Parameter-based Engineering Changes for a Distributed Engineering Environment". *Concurrent Engineering Research and Applications*. **12**. 275-286.
- (Yannou 1998) **Yannou, B.** (1998). "Les apports de la programmation par contraintes en conception". Chapitre 19. *Conception de produits mécaniques Méthodes, modèles et outils*. M. Tollenaere (*Eds.*). Paris, Hermès. pp. 455-486.
- (Yassine et Braha 2003) **Yassine, A. et D. Braha** (2003). "Four Complex Problems in Concurrent Engineering and the Design Structure Matrix Method". *Concurrent Engineering: Research and Applications*. **11** (3). 165-176.
- (Yassine *et al.* 1999a) **Yassine, A., K. Chelst et D. R. Falkenburg** (1999a). "A Decision Analytic Framework for Evaluating Concurrent Engineering". *IEEE Transactions on Engineering Management*. **46** (2). 144-157.
- (Yassine *et al.* 1999b) **Yassine, A., D. R. Falkenburg et K. Chelst** (1999b). "Engineering Design Management: An Information Structure Approach". *International Journal of Production Research*. **37** (13). 2957- 2975.
- (Yassine *et al.* 2001) **Yassine, A., D. Whitney et T. Zambito** (2001). "Assessment of Rework Probabilities for Design Structure Matrix (DSM) Simulation in Product Development Management". *Proceedings of the 13th International Conference on Design Theory and Methodology (DTM 2001)*. Pittsburgh, Pennsylvania, USA. 9-12 September.
- (Zachman 1987) **Zachman, J. A.** (1987). "A Framework for Information Systems Architecture". *IBM Systems Journal*. **26** (3). 276-292.
- (Zigurs 2003) **Zigurs, I.** (2003). "Leadership in virtual teams: oxymoron or opportunity?" *Organizational Dynamics*. **31** (4). 339-351.

Annexe A

La capture de la logique de conception

Lee et Lai (Lee et Lai 1996) définissent le concept de justification, appelé aussi Logique de Conception, comme étant une explication du choix de conception. Lee (Lee 1997) exprime clairement l'utilité de tracer le processus de prise de décision : « La capture des raisons des choix de conception est un travail important parce qu'elle inclut non seulement les raisons derrière une décision de conception mais également leurs justifications, les autres alternatives considérées, les écarts évalués entre les différentes alternatives et l'argumentation qui a mené à la décision finale. L'utilisation d'un système de capture des raisons des choix – un outil pour capturer et rendre les raisons des choix de conception facilement accessibles – peut ainsi améliorer la gestion des dépendances, la collaboration, la réutilisation, l'entretien, l'étude, et la documentation relatifs à un projet ».

Nous considérons que, dans la perspective de résolution des conflits, la capture des raisons des choix de conception peut être utile. Les informations contenues dans cette structure doit pouvoir être dépliée et confrontée aux experts en cas de nécessité pour la résolution d'un conflit. Ces informations facilitent la négociation menée pour aboutir à une solution au conflit détecté.

Plusieurs travaux ont proposé des méthodes et systèmes pour la capture des choix de conception. Nous retrouvons les travaux de (Klein 1995) avec le système *iDCSS* ou le système *SHARED-DRIMS* proposé par (Sriram 2002). Ces propositions se basent sur des schémas de représentation pour la capture de la logique de conception. Citons parmi ces schémas : *IBIS*⁷² (Kunz et Rittel 1970), *PHI*⁷³ (McCall 1991), *DRL*⁷⁴ (Lee et Lai 1996) et

⁷² **IBIS:** The key issues of the Issue-Based Information System (IBIS) are usually articulated as questions, with each issue followed by one or more positions that respond to the issue. Each position can potentially resolve or be rejected from the issue. Arguments either support or object to a position.

⁷³ **PHI:** The procedural Hierarchy of Issues (PHI) extends IBIS by broadening the scope of the concept issue and by altering the structure that relates issues, answers and argumentations. First, it simplifies relations among issues by using the serve relationship only. Secondly, it provides two methods to deal with design issues: deliberation and decomposition. Comparing to IBIS, PHI provides dependency relationships between issue resolutions and considers the pros and cons of alternative answers.

⁷⁴ **DRL:** The Decision Rationale Language (DRL) is an expressive language which represents the space around decisions, which can be maintained independently or integrated with traditional design representation. It allows recording design rationale by describing how an artifact serves or satisfies expected functionalities.

QOC⁷⁵ (King et Banares-Alcantara 1997) qui proposent de formaliser le processus de prise de décision afin de faciliter sa traçabilité. Ces systèmes gardent le même modèle formel et ont tous les mêmes propriétés, à savoir naviguer dans une représentation argumentative des procédures, construite par les acteurs. C'est ce qui a conduit Regli *et al.* à proposer un méta-modèle générique de cinq entités (But, Hypothèse, Justifications, Décision et Artefact) et quatre primitives de raisonnement permettant de générer successivement chacun des types d'entités (dans le même ordre, position du problème, analyse, évaluation des solutions puis résolution du problème de conception) (Regli *et al.* 2002).

Exemple de Justification pour la traçabilité du processus de prise de décision comme elle est vue dans ce travail de thèse : *lors de la phase de conception du sous-ensemble turbine, le concepteur turbine doit résoudre le problème « définir diamètre roue turbine afin d'atteindre les performances requises du turbocompresseur ». Différentes alternatives sont possibles, par exemple, un grand diamètre de roue turbine avec un minimum d'ailettes ou un petit diamètre de roue turbine avec un maximum d'ailettes. Le concepteur turbine choisit la deuxième solution. En effet, ce dernier est contraint par le diamètre de la roue compresseur et la longueur de l'axe de liaison. Un grand diamètre de roue turbine risque de créer des problèmes de flexion sur l'axe de liaison.*

⁷⁵ **QOC:** The Question, Option and Criteria (QOC) is one semi-formal of design space analysis which places an artifact in the space of possibilities and seeks to explain why the particular artifact was chosen from these possibilities. QOC represents the design space using three components: questions identify key issues for structuring the space alternatives; options provide possible answers to the questions; criteria are the bases for evaluating and choosing from among the options.

Annexe B

Requête 1 : DBReader: Récupération des liens Activités avec les données en entrée

Execution =>select id_donnee, id_activite from EntreeActivite where id_activite IN (Select id_activite From Operation)

Résultats Requête 1

DBReader: Lien Activite Définir roue turbine data In: diamètre roue compresseur effectué

DBReader: Lien Activite Définir roue turbine data In: spécification T/C effectué

DBReader: Lien Activite Définir roue turbine data In:Standard interne effectué

Requête 2 : DBReader: Récupération des données OUT

Execution =>select s.Id_donnee, s.Id_activite, s.variabilite, d.libelle_donnee, d.description_donnee,d.fichier, d.type_donnee, d.maturite, d.valeur, d.nature from SupportSequenceFlow s, Donnees_produit d where s.id_donnee = d.id_donnee

Résultats Requête 2

DBReader: Donnée OUT récupérée: type roue turbine[3]

DBReader: Donnée OUT récupérée: spécification T/C[1]

DBReader: Donnée OUT récupérée: diamètre roue compresseur[2]

DBReader: Donnée OUT récupérée: diamètre roue turbine[4]

Requête 3 : DBReader: Récupération des corrélations entre Donnée In et OUT

Execution =>select sf.id_donnee, c.id_donnee_entree, c.completude, c.sensibilite, c.sensibilite_it from correlationDonnee c, SupportSequenceFlow sf where c.id_SSF = sf.Id_ssf

Résultats Requête 3

DBReader: Lien Correlation DIN 1 data out:type roue turbine effectué

DBReader: Lien Correlation DIN 2 data out: type roue turbine effectué

DBReader: Lien Correlation DIN 4 data out: type roue turbine effectué

DBReader: Lien Correlation DIN 3 data out: diamètre roue compresseur effectué

Les requêtes 1 et 2 permettent à l'initiateur du processus de gestion de conflits d'identifier l'ensemble des données mis en œuvre durant le déroulement de l'activité « définir roue turbine ». Une fois ces données identifiées, la requête 3 permet d'identifier les liens de corrélation existant entre ces différentes données et ainsi identifier l'ensemble des liens de

dépendances. A partir de ces résultats, l'initiateur dispose de la liste des données dont dépend la donnée source de conflit. Cependant, ces requêtes ne sont appliquées que sur les activités intra-phase, c'est-à-dire sur des activités appartenant à une seule phase. Afin de ne pas oublier les données échangées entre des activités appartenant à différentes phases, nous proposons à l'initiateur la requête 4 qui permet d'identifier les données « message_flow_support », correspondant aux données échangées entre les phases.

Requête 4 : DBReader: Récupération des messages_flow

Execution =>select Id_Activite_emettrice, Id_activite_Receptrice,d.Id_donnee,Date from EnvoyerMessage e, donnees_produit d, SupportMessageFlow smf where e.id_SMF = smf.id_SMF and d.id_donnee = smf.id_donnee

La requête 5 quant à elle permet de vérifier les résultats des requêtes 1, 2, 3 et 4 par l'identification des liens de séquençement entre les activités consommatrices et productrices des données identifiées.

Requête 5 : DBReader: Récupération des liens activités_prec / activité_suiv

Execution =>select id_activite_prec, id_activite_suiv , typeSequence from SuivantActivite

Requête 6 : DBReader: Récupération des activités

Execution =>select id_activite, nom, date_debut , date_fin, planifiee, type, description from activite a where id_activite IN (Select id_activite From Operation)

Requête 7 : DBReader: Récupération des liens activités / ressources

Execution =>select id_activite, id_ressource, date from RessourceActivite Where id_activite IN (Select id_activite From Operation)

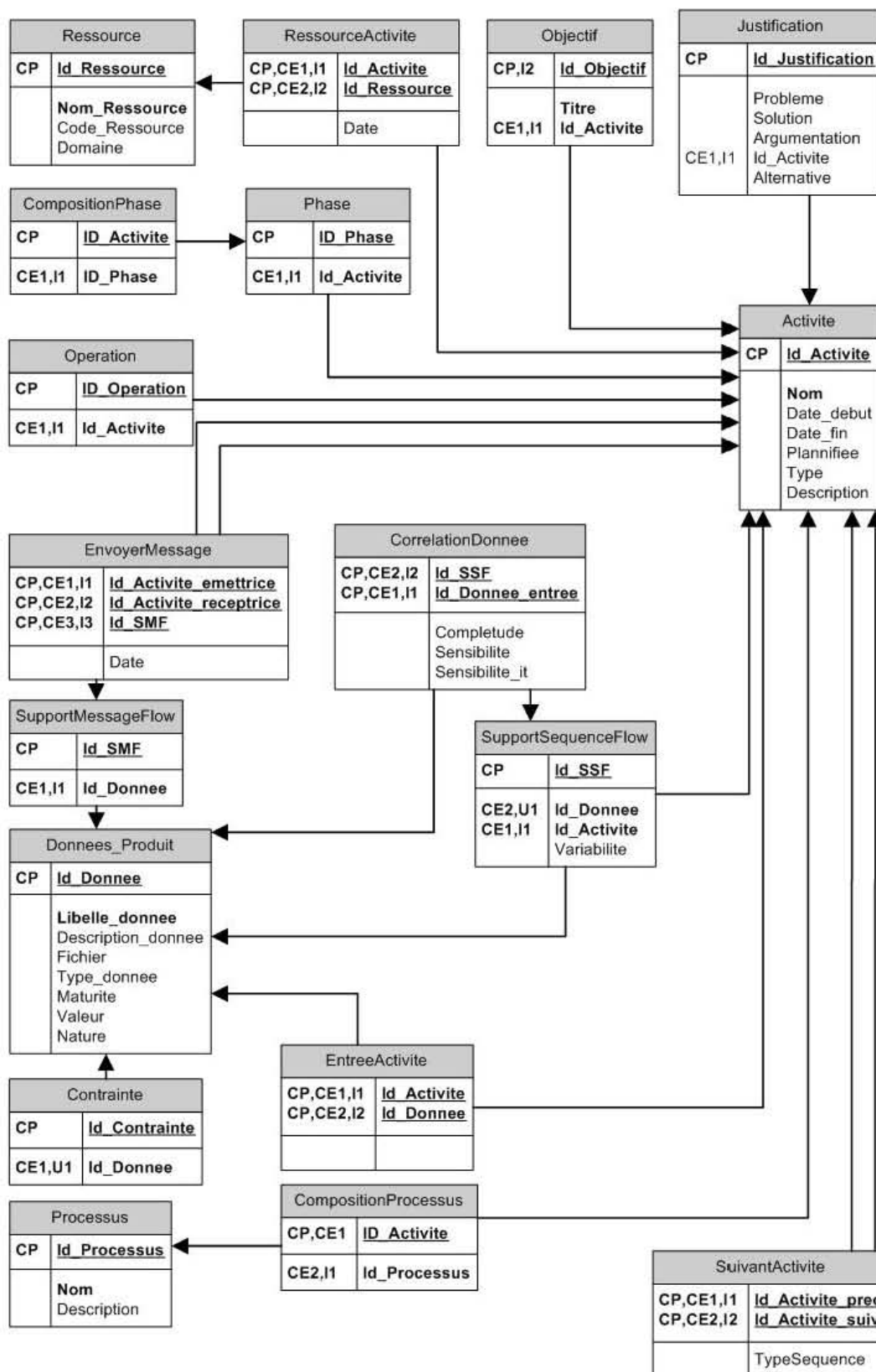
Annexe C

Schémas relationnel de la base de données

La base de données est constituée de 18 tables différentes :

- **Activité**, qui représente une activité qu'elle soit un processus ou une opération.
- **CompositionPhase**, qui permet de représenter les activités (phases ou opérations) qui composent une phase.
- **CompositionProcessus**, qui permet de représenter les activités composant un processus. Les activités qui apparaissent ici sont les activités de base du processus, c'est-à-dire celles qui ne font pas partie d'une phase sous-jacente.
- **Contrainte**, qui permet de représenter une contrainte, qui est un type de donnée particulier.
- **CorrelationDonnee**, qui permet de représenter les liens entre les données d'entrée et de sortie d'une activité avec les valeurs de sensibilité et de complétude associées.
- **Donnees_Produit**, qui permet de représenter l'ensemble des données.
- **EntreeActivite**, qui permet de représenter les données qui sont utilisées en entrée d'une activité.
- **EnvoyerMessage**, qui permet de représenter l'échange d'un message entre deux opérations n'appartenant pas au même processus.
- **Justification**, qui représente la justification qui est associée à chacune des activités
- **Objectif**, qui représente l'objectif associé à une activité.
- **Operation**, qui est un type particulier d'activité.
- **Phase**, qui est un type particulier d'activité pouvant être composé d'autres activités.
- **Processus**, qui est un ensemble d'activités.
- **Ressource**, qui est un acteur interagissant avec le processus.
- **RessourceActivite**, qui permet d'indiquer quels sont les acteurs qui participent aux différentes activités.
- **SuivantActivite**, qui permet de représenter l'enchaînement des activités.
- **SupportMessageFlow**, qui représente un message échangé entre deux activités.
- **SupportSequenceFlow**, qui représente une donnée générée par une activité, autrement appelée donnée de sortie.

Le schéma relationnel de la base de données :



Annexe E

Structure du fichier XML généré par MEGA

Un fichier XML généré par Mega est basé sur un processus. C'est-à-dire que le contenu du fichier décrit entièrement un et un seul processus. Ainsi, la balise <processus> est la racine de notre document XML.

```
<processus absId="CC66157B43070312">
  <!--Description du processus -->
</processus>
```

La valeur de l'attribut absId provient de Mega et correspond à un identifiant unique. Ce dernier nous permettra d'identifier de façon certaine notre processus parmi les autres. De plus, un processus possède un nom est un ensemble d'activités et de phases, on continue donc sa description de la façon suivante :

```
<processus absId="CC66157B43070312">
  <nom>gconf_processus-2</nom>
  <description> Description du processus </description>
  <activites>
    <!--Description des activités composant le processus -->
  </activites>
  <phases>
    <!--Description des phases composant le processus -->
  </phases >
</processus>
```

Une activité, est une entité particulière qui possède de nombreuses informations qui lui sont propres: son nom, ses dates de début et de fin, son type, sa justification,... ainsi que des liens avec des données (ce qui entre et ce qui sort de l'activité), avec des ressources (qui réalise cette activité ?) et avec d'autres activités (les activités qui précèdent). Ainsi lors de la description d'une activité, nous allons structurer ces informations de la façon suivante :

```
<Activite absId="CC6615FA43070466">
  <nom>correction</nom>
  <datedebut>20/06/2006</datedebut>
  <datefin>15/07/2006</datefin>
  <description>correction orthographique</description>
  <genre>ACTIVITE PLANIFIEE</genre>
  <type>ACTIV_CONTROLE</type>
  <objectif>Relire le livre et corriger les erreurs</objectif>
  <justification> <!-- Justification de l'activité --> </justification>
  <ressources> <!--Ensemble des ressources liées --> </ressources>
  <donneesInput> <!--Ensemble des données en entrée --> </donneesInput>
  <donneesOutput> <!--Ensemble des données en sortie--> </donneesOutput>
  <activitesPrecedentes> <!--Ensemble des activités précédentes -->
  </activitesPrecedentes>
  <phasesPrecedentes> <!--Ensemble des phases précédentes -->
  </phasesPrecedentes>
</Activite>
```

Une justification est elle-même décomposée en trois éléments : un problème, une solution, des alternatives et une argumentation. C'est pourquoi une justification est représentée de la façon suivante dans le XML :

```
<justification>
  <probleme>Il ne doit plus rester de fautes</probleme>
  <solution>Relire et corriger</solution>
  <argumentation>seule solution</argumentation>
  <alternatives>Alternative1 / Alternative 2</alternatives>
</justification>
```

Pour les ressources on dispose d'un nom, d'un domaine et d'un code ressource. De plus, on désire connaître la date d'association des ressources à l'activité, on représente donc les ressources ainsi :

```
<ressources>
  <ressource absId="CC66162E430704D6" dateAssociation="23/06/2006">
    <code>ECR</code>
    <domaine>Ecrivain</domaine>
    <nom>Ecrivain</nom>
  </ressource>
  <!--Eventuellement d'autres ressources -->
</ressources>
```

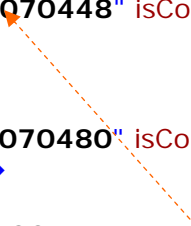
Pour les données le fonctionnement est le même, on utilise une balise <donnee> qui contient la description d'une donnée.

```
<donneesInput>
  <donnee absId="CC6615EB43070448" isContrainte="false">
    <nom>ouvrage</nom>
    <description>Le livre avant correction</description>
    <fichier>ouvrage.doc</fichier>
    <type>DONNEE COMPORTEMENTALE</type>
    <maturite>Pièce à conviction</maturite>
    <variabilite>3</variabilite>
    <composantPere composantAbsId="9761B22544B40246">
      Process</composantPere>
  </donnee>
</donneesInput>
```

Pour les données en sortie c'est la même chose sauf qu'en plus on indique les corrélations avec les données en entrée.

```
<donneesInput>
  <donnee absId="CC6615EB43070448" isContrainte="false">
</donneesInput>

<donneesOutput>
  <donnee absId="CC66160943070480" isContrainte="false">
    <!--Description de la donnée -->
    <correlations>
      <correlation dataAbsId="CC6615EB43070448"
        completude="2" sensibilite="1" sensibiliteDuration="" />
    </correlations>
  </donnee>
</donneesOutput>
```



Enfin, pour les activités et phases précédentes, on indique les identifiants absolus des activités et phases qui précèdent, ainsi que le type de séquence.

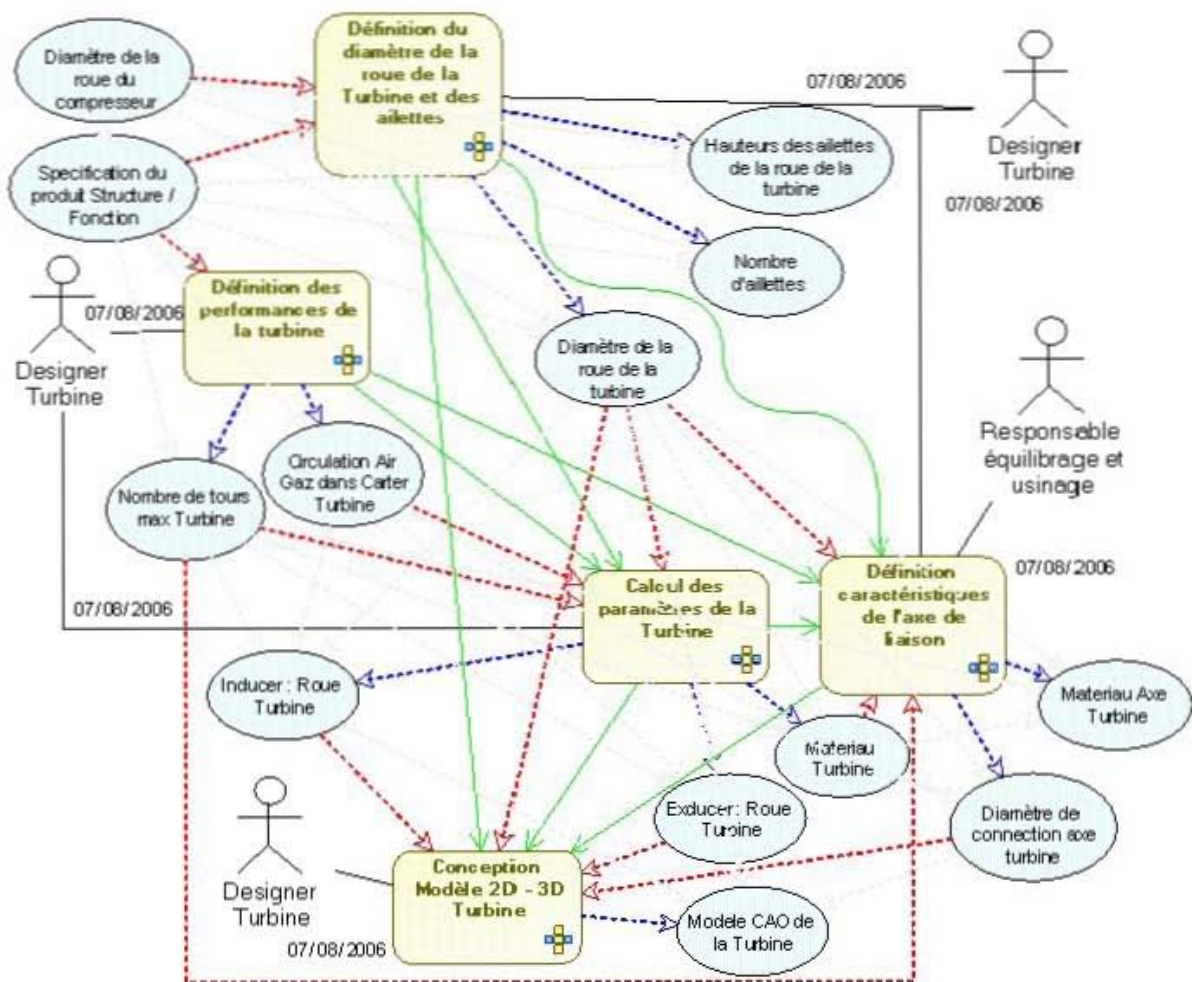
```
<activitesPrecedentes>  
  <activitePrecedente activiteAbsId="293E2B6744BB0777" sequenceType="SEQAND"  
    activite="Act2.2" />  
</activitesPrecedentes>  
<phasesPrecedentes>  
  <phasePrecedente phaseAbsId="293E29DA44BB04B0" sequenceType="SEQAND"  
    phase="Phase 2" />  
</phasesPrecedentes>
```

Annexe F

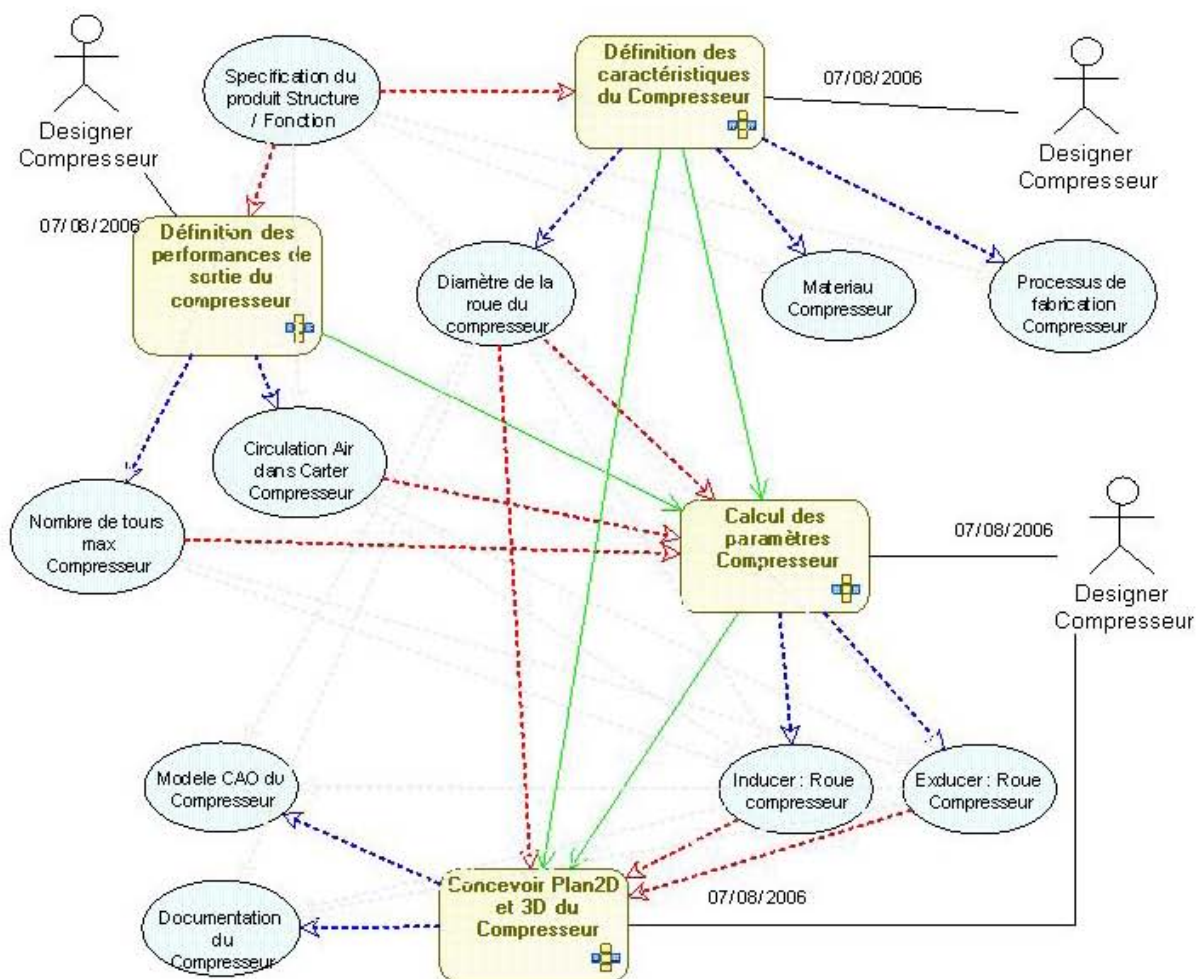
IHM traçabilité du processus de conception d'un turbocompresseur

Les différentes IHM relatives au processus de conception d'un turbocompresseur, tel que décrit dans la section 1 du chapitre 2, sont présentées ci-dessous. Chaque IHM illustre une phase suivant la décomposition énoncée du processus de conception.

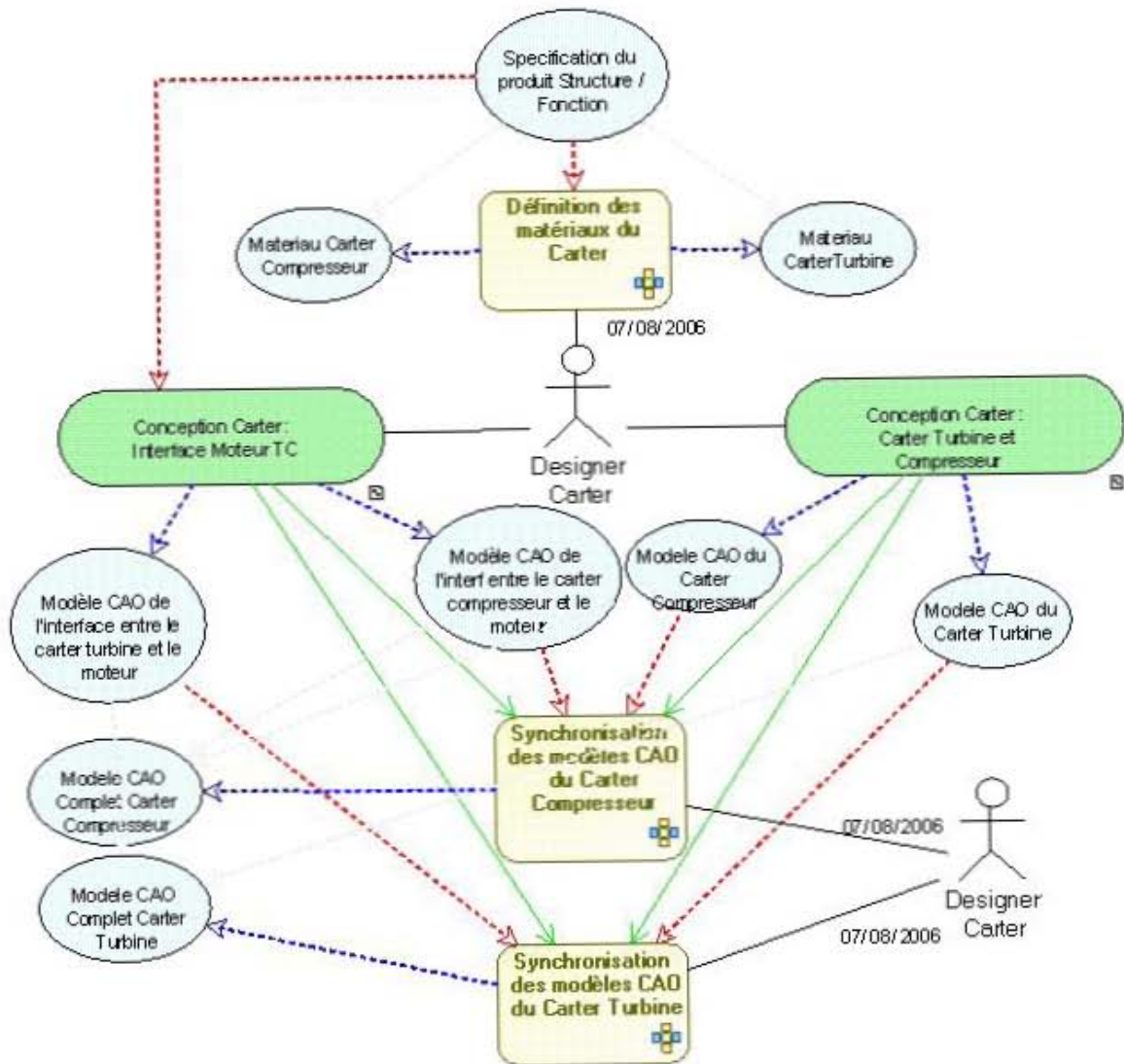
Phase de conception de la turbine



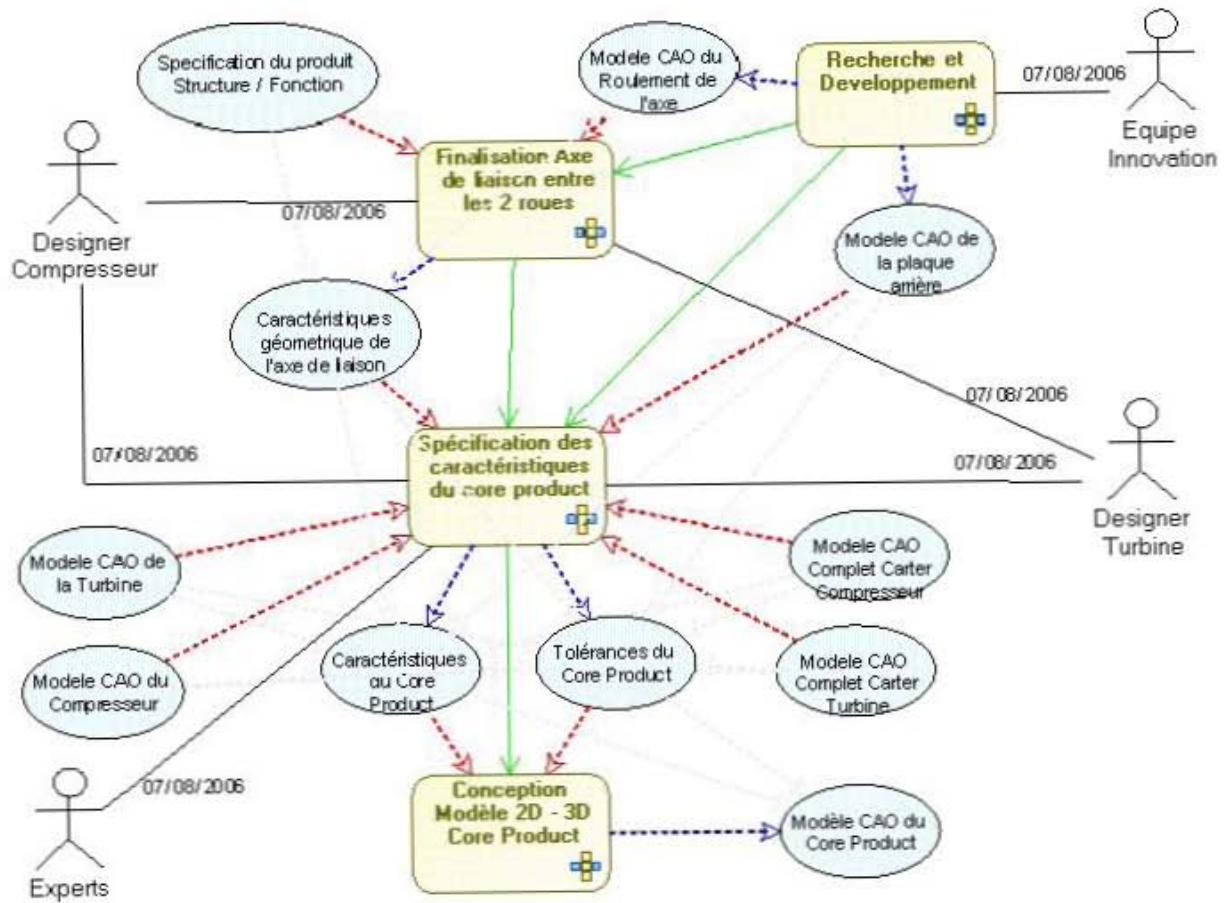
Phase de conception du compresseur



Phase de conception du carter



Phase de conception du core-product



Résumé :

Dans un contexte de performances de plus en plus exigeantes, la conception de produits est devenue une activité collaborative menée par des acteurs ayant différentes expertises. Une des caractéristiques de la conception collaborative est que les relations de précedence entre les activités créent des dépendances entre les données échangées. Dans un tel contexte, des conflits peuvent apparaître entre les acteurs lors de l'intégration de leurs propositions. Ces conflits sont d'autant plus amplifiés par la multiplicité des expertises et des points de vue des acteurs participant au processus de conception.

C'est à la gestion de ce phénomène, le conflit, que nous nous sommes intéressés dans le travail présenté dans ce mémoire, et plus particulièrement à la gestion de conflits par négociation. Nous proposons l'approche **DEPNET** (product **D**ata **dE**pendencies **NET**work identification and qualification) pour supporter au processus de gestion de conflits basée sur la gestion des dépendances entre les données. Ces données échangées et partagées entre les différents intervenants sont l'essence même de l'activité de conception et jouent un rôle primordial dans l'avancement du processus de conception.

Cette approche propose des éléments méthodologiques pour : (1) identifier l'équipe de négociation qui sera responsable de la résolution de conflit, et (2) gérer les impacts de la solution retenue suite à la résolution du conflit. Une mise en œuvre des apports de ce travail de recherche est présentée au travers du prototype logiciel **DEPNET**. Nous validons celui-ci sur un cas d'étude industriel issu de la conception d'un turbocompresseur.

Mots-clés :

Conception collaborative ; gestion de conflits ; réseaux de dépendances de donnée ; traçabilité ; équipe de négociation ; gestion de modifications ; optimisation de l'échange de données.

Abstract

Engineering design has increasingly become a collaborative endeavour carried out by multiple actors with diverse kinds of expertise. It is characteristic of collaborative engineering design that precedence relationships among design activities contain information flow dependencies. Due to multi-actors interaction, conflicts can emerge from disagreements between designers about proposed designs. Indeed, each actor works on different parts of the design, from different perspectives and towards fulfilling different functional criteria.

In this research work, we are indeed focussed on these conflicts, and in particular on conflict management through negotiation. We propose the **DEPNET** (product **D**ata **dE**pendencies **NET**work identification and qualification) approach to give support to the conflict management process; which is based on the management of the dependencies among the data handled during the design process. These shared and exchanged data between different actors are the essence of the design activity and play a significant role in the design process progress.

This approach brings in methodological elements to (1) identify the negotiation team to be responsible for conflict resolution, and (2) to manage the impact of the chosen solution after the conflict resolution phase. The implementation of the findings of this research work is represented through the **DEPNET** prototype software which is validated on an industrial case study resulting from the design of a turbocharger.

Keywords:

Collaborative design; conflict management; data dependencies network; traceability; negotiation team; change management; optimising data exchange.