

# THESE

présentée en vue de  
l'obtention du titre de

**DOCTEUR**

de

**L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE  
DE L'AERONAUTIQUE ET DE L'ESPACE**

**ECOLE DOCTORALE : Systèmes  
SPECIALITE : Systèmes industriels**

par

**Nicolas PARROD**

**Analyse d'un processus de coopération entre donneur d'ordres et sous-traitant  
au sein d'une chaîne logistique projet : Une approche par simulation.**

Soutenue le 2 septembre 2005 devant le jury :

<b>MM.</b>	<b>H. PINGAUD</b>	<b>Président</b>
	<b>J.P. CAMPAGNE</b>	<b>Rapporteur</b>
	<b>J.B. CAVAILLE</b>	<b>Directeur de Thèse</b>
<b>MMES.</b>	<b>H. FARGIER</b>	
	<b>C. THIERRY</b>	
<b>M.</b>	<b>A. THOMAS</b>	<b>Rapporteur</b>







## **Remerciements**

Je tiens à remercier tout particulièrement Caroline Thierry pour sa disponibilité sans faille, sa rigueur et son investissement quotidien dans son rôle d'encadrement scientifique et de formateur au cours de ma thèse. Cette étroite collaboration et la relation qui s'est établie entre nous m'a énormément apporté tant sur le plan professionnel que personnel. J'ai vraiment pris plaisir à travailler avec Caroline.

Je remercie également Hélène Fargier et Jean-Bernard Cavaillé pour leur réactivité, leurs jugements et leur gentillesse en toutes circonstances.

Merci aussi aux membres du centre Génie Industriel de l'Ecole des Mines d'Albi avec qui j'ai aimé travailler.

J'ai apprécié l'environnement serein de travail qui règne au sein de l'ONERA-DCSD Toulouse, la disponibilité de l'ensemble des chercheurs et l'ambiance conviviale qui règne entre les thésards. Je remercie notamment Sontsada Valentin pour son aide et son amitié sincère tissée par notre cohésion face aux tourments thésardesques, Fabrice Demourant pour son amitié et sa sage'asse' et Elodie Chanthery qui a fortement contribué à la convivialité du DCSD par sa bonne humeur en partageant fréquemment son bureau avec les thésards en déperdition temporaire.

Je n'aurais jamais pu réaliser cette thèse sans la compréhension et la gentillesse de Céline, mon amour qui a su me soutenir, me garder les pieds sur terre et m'éclairer au quotidien, tout en m'offrant les premiers sourires de notre petite Anaëlle pour me soutenir lors de la finalisation du manuscrit.

Merci beaucoup à mes parents qui ont su me soutenir et me conseiller tout au long de mes études et encore aujourd'hui.

Merci enfin à toutes les personnes et amis qui ne sont pas cités mais avec qui j'ai collaboré, partagé mon quotidien et mes temps libres.



# Table des matières

<b>INTRODUCTION</b>	<b>11</b>
<b>PARTIE 1 CONTEXTE ET POSITION DU PROBLEME</b>	<b>13</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>15</b>
<b>CHAPITRE 1. RELATION DONNEUR D'ORDRES / SOUS-TRAITANT DE SPECIALITE AU SEIN D'UNE CHAINE LOGISTIQUE PROJET</b>	<b>17</b>
1.1 INTRODUCTION	17
1.2 CHAINE LOGISTIQUE PROJET	18
1.2.1 <i>Notion de projet</i>	18
1.2.2 <i>Chaîne logistique d'un projet</i>	18
1.3 RELATION DO/ST AU SEIN DE LA CHAINE LOGISTIQUE PROJET	19
1.3.1 <i>Point de vue relation donneur d'ordres / sous-traitant.</i>	19
1.3.2 <i>La relation donneur d'ordres / sous-traitant de spécialité</i>	21
1.4 CONCLUSION	23
<b>CHAPITRE 2. ANALYSE DU PROCESSUS D'ALLOCATION DE RESSOURCE STRATEGIQUE AU SEIN D'UNE RELATION DO/ST.</b>	<b>25</b>
2.1 INTRODUCTION	25
2.2 RETOUR D'EXPERIENCES INDUSTRIELLES	25
2.2.1 <i>Sous-traitant : Soufflerie aéronautique de l'ONERA-Fauga</i>	26
2.2.2 <i>Projets de donneur d'ordres en relation avec une soufflerie</i>	27
2.3 BILAN DE L'ANALYSE DU PROCESSUS	34
2.3.1 <i>Objectifs de la relation de sous-traitance</i>	34
2.3.2 <i>Fonctionnement</i>	36
2.3.3 <i>Résultats d'analyses</i>	38
2.4 CONCLUSION	39
<b>CONCLUSION</b>	<b>41</b>

<b>PARTIE 2 ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	<b>43</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>45</b>
<b>CHAPITRE 3. CHAINE LOGISTIQUE PROJET ET APPROCHES COOPERATIVES</b>	<b>47</b>
3.1 LA CHAINE LOGISTIQUE ET SA GESTION	47
3.1.1 <i>Chaîne logistique produit</i>	48
3.1.2 <i>Chaîne logistique entreprise</i>	49
3.1.3 <i>Gestion de chaîne logistique : Approche collaborative</i>	50
3.2 CHAINE LOGISTIQUE PROJET ET APPROCHES COOPERATIVES	51
3.3 GESTION DE CHAINES LOGISTIQUES ET ENTENTES	52
3.3.1 <i>Tour d’horizon des notions de Collaboration, Coopération et autres Co-xx</i>	52
3.3.2 <i>Proposition de référentiel et caractérisation des ententes industrielles</i>	59
3.4 CONCLUSION	62
<b>CHAPITRE 4. GESTION DE PROJET ET GESTION DES RISQUES</b>	<b>65</b>
4.1 GESTION DE PROJET	65
4.1.1 <i>Structure projet</i>	65
4.1.2 <i>Analyse de projet</i>	66
4.1.3 <i>Gestion de projet et démarche P.D.C.A.</i>	67
4.1.4 <i>Ordonnancement de projet</i>	68
4.2 TECHNIQUES D’ORDONNANCEMENT DE PROJET	72
4.2.1 <i>Ordonnancement de projets sans ressource</i>	72
4.2.2 <i>Ordonnancement de projets avec ressource</i>	73
4.2.3 <i>Ordonnancement avec incertitudes</i>	75
4.3 GESTION DE PROJET ET RISQUES	77
4.3.1 <i>Gestion des risques dans les projets</i>	77
4.3.2 <i>Démarches de gestion des risques</i>	82
4.4 CONCLUSION	84
<b>PARTIE 3 COOPERATION ENTRE DONNEUR D’ORDRES ET SOUS-TRAITANT : UNE APPROCHE PAR SIMULATION.</b>	<b>87</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>89</b>
<b>CHAPITRE 5. AIDE A LA DECISION : UNE APPROCHE PAR SIMULATION.</b>	<b>91</b>
5.1 EVALUATION DE PERFORMANCE DE LA RELATION DE SOUS-TRAITANCE AU SEIN DE LA CHAINE LOGISTIQUE PROJET	91
5.1.1 <i>Relation coopérative de sous-traitance</i>	92
5.1.2 <i>Aide à la coopération</i>	93
5.1.3 <i>Evaluation de performance</i>	94
5.2 L’APPROCHE PAR SIMULATION A EVENEMENTS DISCRETS	95
5.2.1 <i>Evénements de la simulation</i>	96
5.2.2 <i>Déroulement de la simulation</i>	98
5.3 CONCLUSION : UNE APPROCHE EVALUATIVE PAR SIMULATION	100

<b>CHAPITRE 6.</b>	<b>MODELE DE LA RELATION DE SOUS-TRAITANCE ET STRUCTURE DE L'OUTIL.</b>	<b>101</b>
6.1	L'OUTIL DE SIMULATION	101
6.1.1	<i>Objectifs</i>	101
6.1.2	<i>Structure générale</i>	102
6.2	MODELE DE LA RELATION	103
6.2.1	<i>Caractéristiques de la relation</i>	103
6.2.2	<i>Modèle du processus de réservation de créneau</i>	104
6.3	MODELE DU DONNEUR D'ORDRE	109
6.3.1	<i>Modèle d'interprétation du comportement du sous-traitant</i>	109
6.3.2	<i>Modèle de re-planification et comportement coopératif</i>	111
6.3.3	<i>Modèle de communication</i>	124
6.3.4	<i>Structure globale du modèle du donneur d'ordres</i>	126
6.3.5	<i>Environnement dynamique du donneur d'ordre</i>	128
6.4	MODELE MACROSCOPIQUE DU SOUS-TRAITANT	130
6.4.1	<i>Modèle de (re-)planification</i>	130
6.4.2	<i>Modèle de la communication du sous-traitant</i>	132
6.4.3	<i>Structure globale du sous traitant</i>	132
6.4.4	<i>Modélisation des aléas ressource (dérive)</i>	133
6.4.5	<i>Comportement optimiste ou pessimiste du sous-traitant</i>	134
6.5	CONCLUSION	136
<b>CHAPITRE 7.</b>	<b>DEMARCHE D'UTILISATION DE L'OUTIL</b>	<b>139</b>
7.1	UTILISATION COOPERATIVE DE L'OUTIL DE SIMULATION	139
7.2	GESTION DES RISQUES (ETAPE 6)	144
7.2.1	<i>AMDEC Délais pour la relation Donneur d'ordres / Sous-traitant</i>	144
7.2.2	<i>Actions en réduction de risque</i>	147
7.3	CONCLUSION	149
<b>CHAPITRE 8.</b>	<b>EXEMPLE D'UTILISATION DE L'OUTIL DE SIMULATION</b>	<b>151</b>
8.1	PRESENTATION DU CAS D'ETUDE	151
8.1.1	<i>Projet du donneur d'ordre</i>	151
8.1.2	<i>Ressource du sous traitant</i>	153
8.2	SIMULATIONS DE COMPORTEMENTS DE PLANIFICATION PLUS OU MOINS OPTIMISTE DU SOUS TRAITANT	155
8.2.1	<i>Objectifs de la simulation</i>	156
8.2.2	<i>Définition des paramètres de simulation</i>	156
8.2.3	<i>Simulations</i>	159
8.2.4	<i>Risques liés à une politique de coopération</i>	167
8.3	CONCLUSION	170
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES</b>		<b>173</b>
CONCLUSION		173
PERSPECTIVES		175
<b>REFERENCES</b>		<b>177</b>



## ***INTRODUCTION***

L'industrie adopte de plus en plus une organisation de type projet y compris lors des phases de production. Ces différents projets partagent des ressources (matérielles, humaines...) et sont fortement contraints en terme de délais avec des processus de production souvent complexes et dépendants des fournisseurs et sous-traitants.

De plus, depuis plusieurs années, on assiste à une mutation des relations entre entreprises. Pour faire face à la concurrence, les entreprises se recentrent sur leur savoir-faire et confient les activités relevant de métiers particuliers (essais, tests, traitement de surface...) à des entreprises spécialisées, plus efficaces. Pour rester compétitifs, les donneurs d'ordres ont ainsi augmenté le nombre de fournisseurs et de sous-traitants de spécialités en charge d'exécution de certaines activités spécifiques. L'amélioration des relations entre ces deux types d'entreprises (donneur d'ordres et sous-traitants) est donc devenue un enjeu industriel majeur.

La gestion de projet est alors confrontée à une augmentation du nombre de contraintes à gérer et on parle alors de gestion de la chaîne logistique du projet. Les acteurs de la chaîne (notamment les donneur d'ordres) sont alors amenés à essayer d'établir des relations de coopération.

La coopération entre deux entreprises se situe à l'intersection des problématiques de la :

- gestion de projet,
- planification des ressources,
- gestion de relations entre acteurs au sein de chaînes logistiques,

Ces problématiques sont interconnectées lorsqu'on aborde l'étude de la coopération entre donneur d'ordres et sous-traitant au sein d'une chaîne logistique projet.

Dans ce contexte, la thèse se focalise sur l'étude des interactions entre la gestion des ressources chez le sous-traitant et la gestion de projet chez le donneur d'ordres, au sein de la chaîne logistique projet. Le cadre applicatif de l'étude concerne plus particulièrement le cas d'un sous-traitant de spécialité réalisant une (des) phase(s) d'un processus de production pour le compte de différents donneurs d'ordres (tests par exemple).

Nous avons identifié que les donneurs d'ordres ont parfois besoin de convaincre les fournisseurs et les sous-traitants de l'intérêt de la mise en place de ces relations coopératives. Cette analyse nous a amené à proposer un outil de simulation dédié.

Plus précisément l'objectif est de spécifier et d'étudier des méthodes et outils d'aide à la décision mis à disposition du donneur d'ordres et permettant à ce donneur d'ordres et au sous-traitant de mesurer l'impact d'une dérive sur le respect des délais (de la part des donneurs d'ordres ou du sous-traitant). Il s'agit donc de permettre au donneur d'ordre de tester plusieurs scénarii et donc par une évaluation de performance de lui permettre d'améliorer la maîtrise des risques encourus par son projet.

Le manuscrit se décompose en trois parties. La première permet de préciser le contexte de l'analyse et la position du problème au sein du tissu industriel. Elle regroupe deux chapitres qui ont pour objectifs :

- de positionner la relation donneur d'ordres / sous traitant de spécialité au sein de la chaîne logistique projet (chapitre 1) ;
- d'analyser le processus d'allocation d'un créneau de ressource au sein de la relation à travers l'étude d'expériences industrielles (chapitre 2).

La deuxième partie traite de l'état de l'art concernant les notions de chaîne logistique, d'approches coopératives, de gestion de projets et de risques. Nous présenterons tout d'abord les approches « produits » et « entreprises » de la chaîne logistique. Par la suite, nous étudierons différentes approches coopératives au sein de la chaîne logistique et leur synthèse autour d'un référentiel (chapitre 3). Le domaine de la gestion de projet est ensuite présenté à travers la planification et les techniques d'ordonnancement de projet, puis il est associé à la démarche de gestion des risques (chapitre 4).

La troisième partie concerne l'approche que nous proposons pour mettre en place une coopération entre donneur d'ordres et sous-traitant. Cette approche s'appuie sur la simulation à événements discrets pour apporter une aide à la décision par évaluation de performance de la relation de sous-traitance au sein de la chaîne logistique projet (chapitre 5). L'outil de simulation développé se base sur des modèles de comportements du donneur d'ordres et du sous traitant et un modèle de simulation (chapitre 6). La démarche de mise en œuvre coopérative de l'outil est ensuite présentée chapitre 7 avant d'illustrer la démarche d'utilisation de l'outil de simulation sur un exemple (chapitre 8).

# PARTIE 1

## Contexte et position du problème



## ***Introduction***

Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes plus spécifiquement intéressés à l'étude d'une relation donneur d'ordres / sous-traitant au sein d'une chaîne logistique projet et notamment au processus d'allocation de créneaux de ressources chez le sous-traitant (créneaux de temps) pour la réalisation de certaines tâches du projet du donneur d'ordres.

Dans le premier chapitre, nous allons présenter rapidement la notion de chaîne logistique projet et sa gestion en termes de flux. La relation donneur d'ordres / sous-traitant de spécialité considérée sera ensuite positionnée au sein d'une chaîne logistique projet.

Dans le deuxième chapitre, nous appréhenderons la problématique liée à l'allocation d'un créneau de ressource au cours du temps, en présentant l'étude de projets ayant recours à des souffleries. Le processus de réservation de ressource au sein de la relation entre le donneur d'ordres et le sous-traitant sera ensuite analysé.



## **Chapitre 1.**

### ***Relation donneur d'ordres / sous-traitant de spécialité au sein d'une chaîne logistique projet***

#### **1.1 Introduction**

La gestion d'une entreprise passe désormais par la prise en compte de l'environnement industriel dans laquelle elle est impliquée. En effet, la rentabilité ne passe plus uniquement par l'amélioration des processus internes de l'entreprise ou par son positionnement sur le marché, mais également par la gestion de processus extérieurs à la structure de l'entreprise. Cette gestion passe par une meilleure connaissance des entreprises qui interagissent avec les activités de l'entreprise.

Si on se place dans une approche globale, l'entreprise est au sein d'un processus complexe constitué d'entreprises liées les unes aux autres par des intérêts industriels ou commerciaux. Ces liaisons se traduisent par l'émergence de relations entre les différentes entreprises. « *La notion de relation désigne un ensemble de liaisons et d'accords, plus ou moins formel, plus ou moins durable et plus ou moins intense, que deux entreprises ou acteurs de ces entreprises nouent entre eux.* » [Lauras-Parrod-Telle, 03] [Voisin et al., 00]

L'environnement d'une entreprise peut alors être modélisé comme une succession de relations, de maillons, constituant une chaîne. Or la solidité d'une chaîne est limitée par la solidité de chacun de ses maillons et son amélioration passe par l'amélioration de l'ensemble des maillons. De façon analogue, la performance industrielle d'entreprises liées entre elles par des relations est conditionnée par la performance de chacun de ses membres.

L'amélioration de la performance d'une entreprise, à long terme, passe donc nécessairement par l'amélioration de la performance de chaque membre de la chaîne [Mentzer et al., 01] et la mise en œuvre de relations spécifiques élaborées pour atteindre un objectif partagé par les deux acteurs.

Dans ce chapitre, nous allons présenter la notion de chaîne logistique projet et à sa gestion en termes de flux. Le positionnement de la relation donneur d'ordres / sous-traitant de spécialité au sein d'une chaîne logistique projet sera ensuite présentée.

## 1.2 Chaîne logistique projet

### 1.2.1 Notion de projet

Selon la norme X50-105 de l'AFNOR, « un projet se définit comme une démarche spécifique, qui permet de structurer méthodiquement et progressivement une réalité à venir ». Et ce projet est « défini et mis en œuvre pour élaborer la réponse au besoin d'un utilisateur, d'un client ou d'une clientèle et il implique un objectif et des actions à entreprendre avec des ressources données » [AFITEP – AFNOR, 92].

Un projet est donc vu comme une organisation qui doit s'appuyer sur les compétences de l'entreprise pour répondre à un besoin spécifique et ponctuel. Pour cela, le projet est décomposé en un ensemble de tâches, chacune caractérisée par une durée, un coût, et les ressources (quantité, nature) qu'elle nécessite. Le succès du projet repose sur la bonne réalisation de ces tâches tout en respectant les contraintes technologiques, temporelles, et liées à l'utilisation des ressources. Le suivi des tâches et la prise en compte des modifications de contraintes s'effectue par l'intermédiaire de la gestion de projet. Le projet du donneur d'ordres est sous la responsabilité d'un responsable de projet en charge des décisions de planification et de suivi. Une approche bibliographique de cette activité est présentée partie 2.

### 1.2.2 Chaîne logistique d'un projet

Nous définissons la notion de chaîne logistique projet en la situant par rapport à la notion traditionnelle de la chaîne logistique (ou chaîne logistique produit) au chapitre 3.

On peut néanmoins dire ici que la chaîne logistique d'un projet (*Figure 1.1*) intègre les relations directes entre le projet d'un donneur d'ordres et en amont ses fournisseurs et ses sous-traitants, et en aval ses clients. Les maillons en amont du projet, constitués de deux acteurs dont l'un est le donneur d'ordres, correspondent chacun au dernier maillon d'une chaîne logistique produit composée d'une succession de relations clients / fournisseurs. Et l'ensemble de ces chaînes logistiques produits couplées au donneur d'ordres et à ses clients forment la chaîne logistique du projet.

La chaîne logistique d'un projet est constituée de l'ensemble des chaînes logistiques « produit » correspondant aux approvisionnements et aux livrables du projet. [Parrod et al., 04] (Cf chapitre 3)

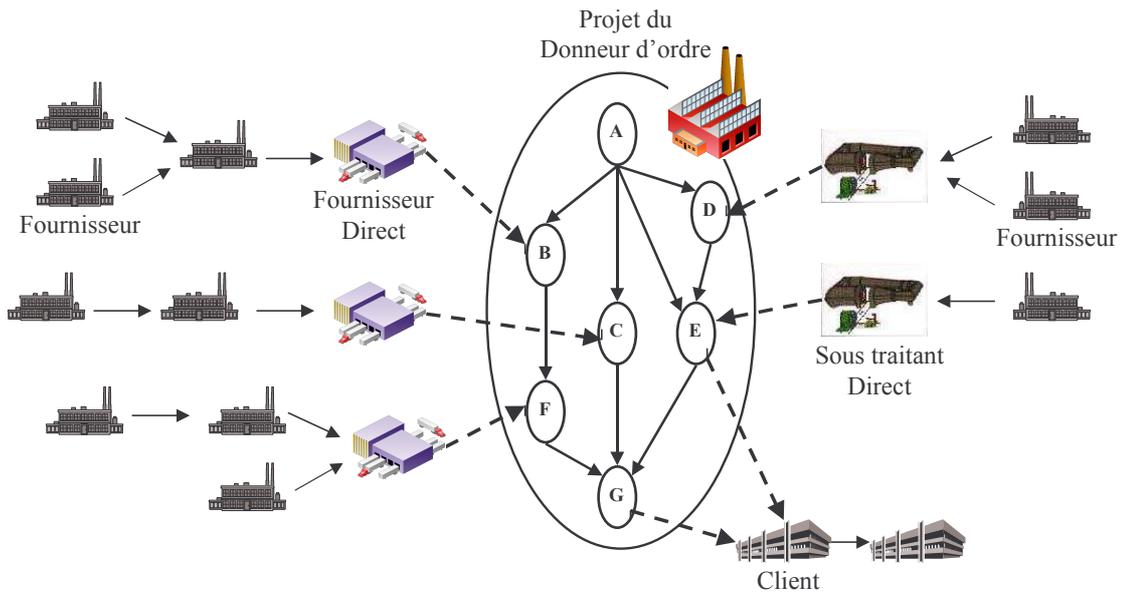


Figure 1.1. Représentation de la chaîne logistique d'un projet.

### 1.3 Relation DO/ST au sein de la chaîne logistique projet

Pour rester compétitifs, les donneurs d'ordres ont dû se recentrer sur leurs savoir-faire et ont confié l'exécution de certaines activités à des sous-traitants de spécialités, en charge d'activités spécifiques sur des ressources dédiées (tests par exemple). Pour le donneur d'ordres, cette externalisation du travail engendre une augmentation du nombre de contraintes à gérer pour planifier son projet, du fait de l'extension de la chaîne logistique dans laquelle il s'intègre.

Notre approche de la gestion de la chaîne logistique consiste à étudier une relation donneur d'ordres / sous-traitant (client-fournisseur) au sein de la (des) chaîne(s) logistique(s) à laquelle (auxquelles) elle appartient. Nous nous situons donc au niveau de l'approche dite gestion de chaîne logistique collaborative.

#### 1.3.1 Point de vue relation donneur d'ordres / sous-traitant.

Au sein de la chaîne logistique projet, nous allons focaliser ici sur une relation donneur d'ordres / sous-traitant (Figure 1.2). Il est en effet nécessaire que les acteurs de cette relation collaborent au même titre que l'ensemble des acteurs de la chaîne logistique.

La chaîne logistique est ici abordée à travers l'étude de la relation existant entre un donneur d'ordres et l'un de ses sous-traitants dans la mise en œuvre d'un grand projet de conception ou de production unitaire.

Deux grandes catégories de relations donneur d'ordres / sous-traitant dépendent de la position du sous-traitant par rapport au donneur d'ordres :

- Les relations de type externe (Figure 1.2) : Le sous-traitant est une entité indépendante par rapport au donneur d'ordre, par exemple la relation entre Airbus et les souffleries de l'Onera considérées comme une ressource externe,

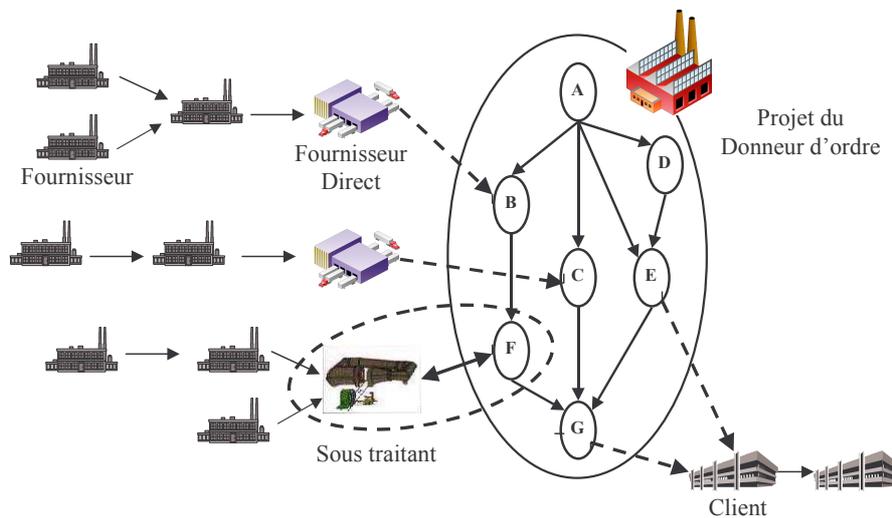


Figure 1.2. Relation externe donneur d'ordres / sous-traitant

- Les relations internes (Figure 1.3) : Dans ce cas le sous-traitant est une entité rattachée au donneur d'ordre, par exemple la relation entre un projet de recherche Onera et les souffleries de l'Onera est de type interne.

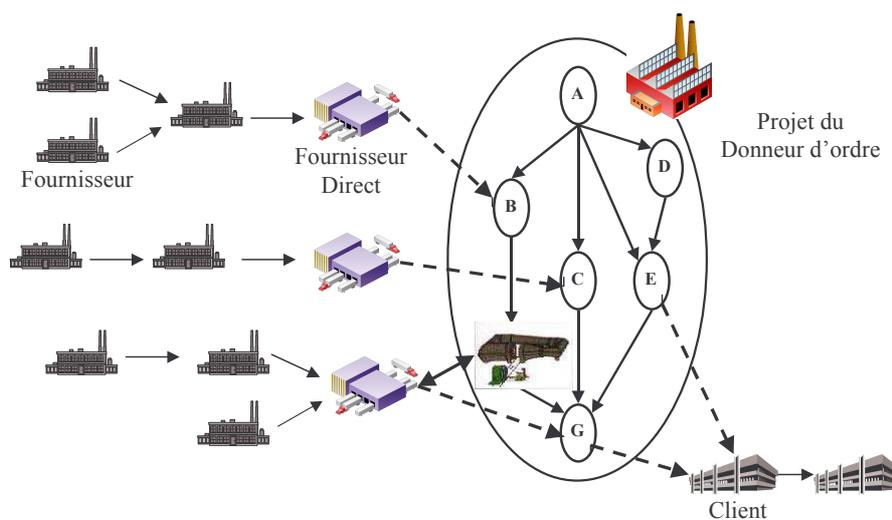
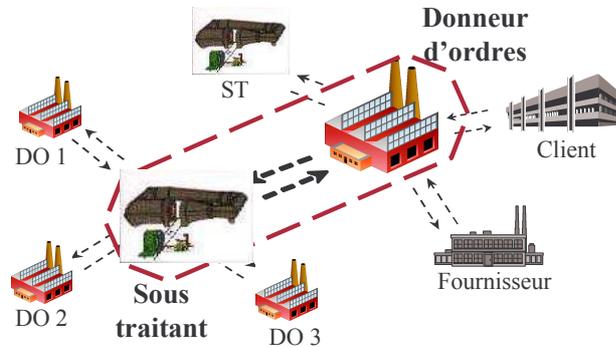


Figure 1.3. Relation interne donneur d'ordres / sous-traitant

La chaîne logistique est définie comme une succession de relations donneur d'ordres / sous-traitants qualifiés de maillons de la chaîne [Tayur et al., 99]. Du point de vue du maillon de la relation entre le donneur d'ordres et le sous-traitant, les deux acteurs appartiennent à plusieurs chaînes logistiques et ont donc respectivement de multiples relations avec de multiples donneurs d'ordres et divers fournisseurs, clients et sous-traitants comme illustré Figure 1.4.



*Figure 1.4. Relations interagissant avec le maillon donneur d'ordres / sous-traitant*

Au sein du maillon, le donneur d'ordres gère son projet en fonction de ses contraintes issues de ses clients, de ses sous-traitants et de ses fournisseurs (précédences, approvisionnements, jalons) ; quant au sous-traitant, il gère l'occupation de sa ressource selon ses contraintes issues des besoins de ses clients donneurs d'ordres.

Du point de vue de la relation entre le donneur d'ordres et le sous traitant, les contraintes extérieures à la relation du maillon étudié sont agrégées au sein de chacun des deux acteurs.

### **1.3.2 La relation donneur d'ordres / sous-traitant de spécialité**

Dans notre approche de la relation de sous-traitance, nous nous sommes particulièrement intéressés à un donneur d'ordres gérant un projet et à un sous-traitant de spécialité gérant sa ressource. Les processus de gestion du donneur d'ordres et du sous-traitant diffèrent par la nature de leurs activités. Notre étude porte d'une part sur un donneur d'ordres gérant un projet d'étude et de conception ou de production unitaire, et d'autre part sur un sous-traitant gérant l'occupation de sa ressource stratégique pour les projets de ces clients.

Par rapport à l'approche globale de la gestion de projet, notre approche se focalise sur l'étude des aspects de planification et de suivi des tâches au sein de la chaîne logistique du projet du donneur d'ordres et plus particulièrement au niveau de la relation entre le donneur d'ordres et le sous traitant.

La planification d'un projet consiste à déterminer ce qui doit être fait, quand et avec quelles ressources pour que le projet aboutisse. C'est la résolution du problème d'ordonnancement qui permet de trouver une adéquation entre un travail à effectuer, décrit sous la forme d'un ensemble de tâches interdépendantes, et les moyens disponibles pour sa réalisation. L'ordonnancement du projet vise généralement à minimiser la durée totale de celui-ci (minimiser le makespan) [Esquirol, 99]. Cet objectif se résume en fait à minimiser la date de fin de la dernière tâche du projet. Cet ordonnancement du projet doit considérer l'ensemble des contraintes issues des interactions existantes entre les différents acteurs de la production, qu'ils soient internes ou externes à l'entreprise.

Le suivi du projet consiste à modifier les paramètres des contraintes de planification en fonction de l'évolution du projet dans le temps et d'effectuer un nouvel ordonnancement.

Dans ce contexte, la ressource du sous-traitant peut s'avérer stratégique pour le projet. Cette ressource est considérée comme stratégique pour le projet si sa performance, en termes de planification, limite la performance globale du projet. Pour le projet du donneur d'ordre, la notion de performance de la ressource s'apparente ici à la notion de capacité de la machine goulot en gestion de production. [Goldratt, 93] Cet aspect stratégique est augmenté par la rareté de ce type de ressource, ce qui diminue les possibilités du donneur d'ordres en termes de choix du sous-traitant.

Entre le sous-traitant de spécialité et l'industriel donneur d'ordres s'initient alors, de manière plus ou moins anticipée, des échanges d'information, des accords de fonctionnement permettant de réserver un créneau de ressource en accord avec le déroulement de leurs activités. (Figure 1.5) Ce sont ces mécanismes de régulation des activités communes qui permettent de réserver un créneau de ressource.

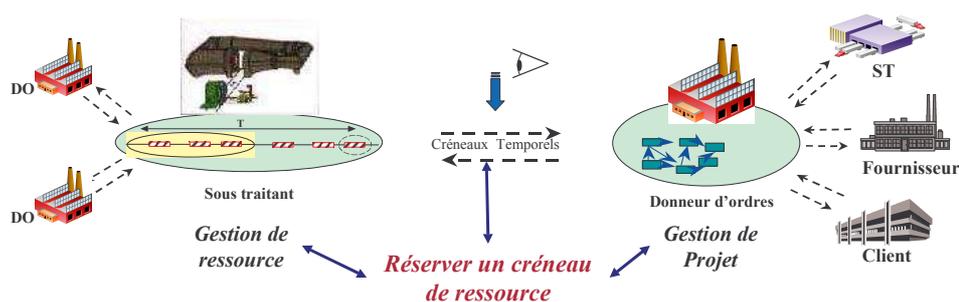


Figure 1.5. Relation au sein du maillon étudié

Par la suite, nous développerons le cas d'une relation donneur d'ordres / sous-traitant de spécialité dans le secteur aéronautique et plus particulièrement dans le domaine de l'aérodynamique. Une relation de type partenariat entre le donneur d'ordres et le(s) sous-traitant(s) est particulièrement étudiée.

## **1.4 Conclusion**

Ce chapitre a permis d'introduire la notion de chaîne logistique projet et de positionner la relation de sous-traitance entre un donneur d'ordres et un sous traitant de spécialité dans son environnement logistique.

Nous avons ensuite positionné notre étude sur l'aspect planification et coordination d'activités. Les chapitres 2 et 4 porteront plus précisément sur la relation permettant de coordonner, en termes de planification, les activités du projet avec le créneau de ressource. La réalisation des activités sous traitées peuvent s'avérer stratégique en termes de planification de projet. En effet, c'est le contrôle direct et la maîtrise de l'activité qui échappe au donneur d'ordres avec les conséquences associées en termes de risques qui peuvent se matérialiser sous formes de coûts, de retards, de manque de flexibilité, de dépendance logistique ou de qualité inégale.



## **Chapitre 2.**

### ***Analyse du processus d'allocation de ressource stratégique au sein d'une relation DO/ST.***

#### **2.1 Introduction**

Lorsqu'un donneur d'ordres en charge d'un projet a besoin de réserver un créneau de temps sur une ressource stratégique d'un sous-traitant de spécialité, le donneur d'ordres et le sous-traitant établissent une relation dite relation donneur d'ordres / sous-traitant.

Cette relation de sous-traitance sera analysée dans un premier temps à travers les activités de gestion de ressource d'un sous-traitant et l'étude de deux projets ayant recours à l'allocation d'un créneau de ressource.

Nous dresserons dans un second temps le bilan de cette analyse à travers les enjeux de la relation de sous traitance.

La thèse s'étant déroulée au sein l'ONERA, les cas industriels analysés et traités correspondent aux problématiques aéronautiques traitées par ce centre d'études et de recherches.

#### **2.2 Retour d'expériences industrielles**

Dans le cadre de l'étude du maillon donneur d'ordres / sous-traitant dans le secteur aéronautique, nous nous sommes intéressés tout particulièrement à l'étude du processus de réservation de créneau existant entre :

- Un sous-traitant de spécialité : l'ONERA-Fauga, centre spécialisé dans les études aérodynamiques en soufflerie. Ses ressources, les souffleries, sont demandées entre plusieurs donneurs d'ordres.
- Des donneurs d'ordres en charge des projets nécessitant l'utilisation de cette ressource lourde et y faisant réaliser des essais pour leurs projets (ONERA, Airbus).

### 2.2.1 Sous-traitant : Soufflerie aéronautique de l'ONERA-Fauga

L'ONERA-Fauga gère une soufflerie commerciale subsonique pressurisée, la soufflerie F1, qui a été prise comme exemple de ressource sous traitant des essais aérodynamiques. Elle a entre autre pour clients Airbus, Casa, Embraer, Bombardier ou Snecma.

Cette soufflerie, de 4.5\*3.5 m de section d'essai, permet de tester l'aérodynamique des maquettes d'aéronefs (ou de structures) et d'étudier tout particulièrement l'hypersustentation des ailes d'avion. (Figure 2.1)

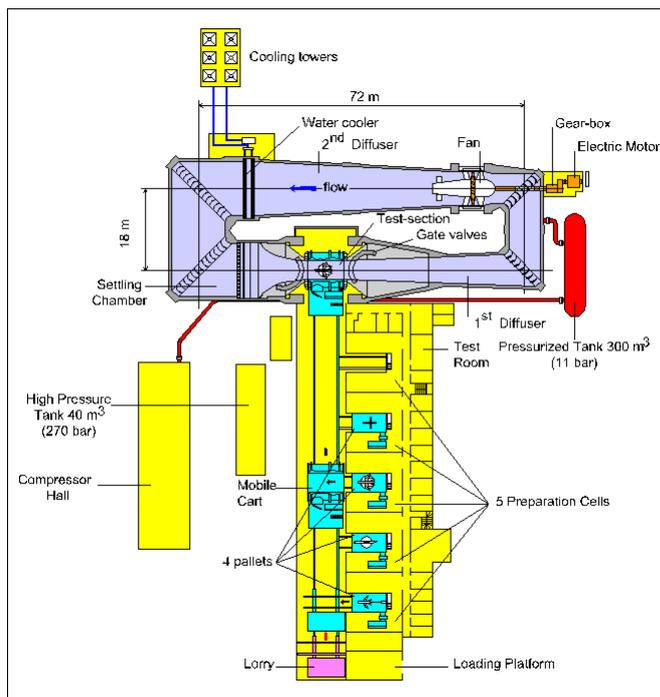


Figure 2.1. Schéma de la soufflerie F1 et Installation d'une maquette dans la veine d'essai

L'étude de cette configuration particulière est due à l'évolution des caractéristiques des avions de transport qui se traduit notamment par une augmentation de leur masse. Ainsi, pour une même longueur de piste, c'est à dire à vitesse de décollage et d'atterrissage donné, la portance de la voilure doit être augmentée proportionnellement. De plus, les constructeurs tendent à diminuer la surface de voilure pour réduire la traînée, donc la consommation, et pour augmenter la vitesse. L'accroissement de la charge ailaire induite par ses modifications impose finalement de développer l'hypersustentation.

Du fait de la complexité de l'écoulement aérodynamique sur une voilure hypersustentée, les avancées technologiques de calcul et de simulation ne sont pas assez précises pour représenter

correctement cet écoulement. (effet tridimensionnel, sillages de volets, ondes de chocs locales) [Pierre, 78]. D'autre part, la mise au point expérimentale de dispositifs hypersustentateurs ne peut pas se faire complètement en vol (problèmes de coût, sécurité, résistance des structures).

Les essais en souffleries complètent donc les résultats théoriques et expérimentaux et permettent d'apporter des réponses localisées pour la vérification de calculs ou des réponses globales pour l'extrapolation au vol.

Les contraintes de disponibilité de cette ressource partagée et leurs impacts sur les projets des donneurs d'ordres en font une ressource stratégique à leurs yeux. Chaque donneur d'ordres souhaite donc obtenir (idéalement) une fenêtre d'utilisation de la soufflerie au moment exact où il doit effectuer ses essais afin de valider la configuration aérodynamique de l'aéronef en cours de conception ou de modification, et ce, sans retarder le déroulement de ses activités liées à l'exploitation des résultats d'essais.

## **2.2.2 Projets de donneur d'ordres en relation avec une soufflerie**

Pour analyser les activités d'allocation de ressources du donneur d'ordres et du sous-traitant, nous avons étudié la relation de sous-traitance au sein de deux projets ayant recours à une soufflerie pour réaliser une partie de leurs activités: les projets SACSO et C-WAKE.

### **2.2.2.1 *Projet Sacso : « Suspension Active pour essais en SOufflerie »***

Le projet de recherche SACSO s'inscrit dans le contexte de la prévision du comportement des aéronefs et plus particulièrement dans celui de l'identification des paramètres instationnaires des modèles de mécanique du vol. L'idée est d'étudier le mouvement réel d'une maquette d'aéronef en soufflerie tenue par un nouveau type de suspension, directement issu des techniques les plus récentes de robotique.

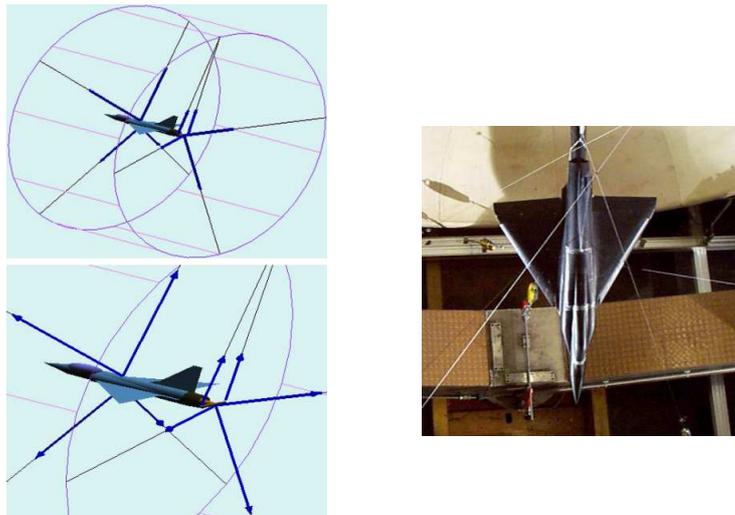
#### ***A- Description du projet***

Ce projet interne à l'Onera est centré sur l'étude, l'analyse, la conception et le développement d'outils méthodologiques et de moyens expérimentaux permettant d'améliorer les techniques d'essais en soufflerie. La vocation majeure de ce projet est d'anticiper les besoins futurs et de préparer les équipes pour qu'elles puissent répondre aux nouvelles demandes concernant les futurs concepts d'aéronefs: avion souple, aile volante, drone, ...

L'étude s'attache tout particulièrement à concevoir les nouveaux systèmes de fixation de maquettes dans une veine de soufflerie permettant de simuler le vol libre (en fonction des efforts aérodynamiques) tout en découplant toute interaction avec la suspension de la maquette.

Les essais dynamiques actuels nécessitent d'avoir recours à des mouvements prédéterminés, "mouvements forcés", afin de réaliser des essais aérodynamiques. Dans ce contexte, la maquette est contrainte par le dard (vibrations) et elle n'est pas libre d'évoluer naturellement sous l'effet des forces aérodynamiques exercées. Les mouvements libres sont donc traditionnellement simulés par une succession d'essais statiques réalisés point par point afin de reproduire la trajectoire étudiée.

L'intérêt de la suspension active (Figure 2.2) réside dans sa non interaction avec la maquette lors des essais aérodynamiques. La suspension serait alors totalement transparente et laisserait la maquette répondre aux forces aéronautiques qui lui sont appliquées.



*Figure 2.2. Suspension active à neuf câbles et maquette de mirage 2000 en présence de câbles*

Les avantages de ces nouveaux moyens résident dans leurs capacités à :

- modifier rapidement les conditions des essais, sans contrainte en ce qui concerne la durée des essais,
- faciliter les essais dans des conditions de vols limités en toute sécurité pour les maquettes,
- réduire la durée et donc le coût des essais.

Le projet est décomposé en quatre phases ou lots de travaux (Figure 2.3). Chaque lot de travaux est décomposé en macro-tâches qui emploient des ressources spécifiques.

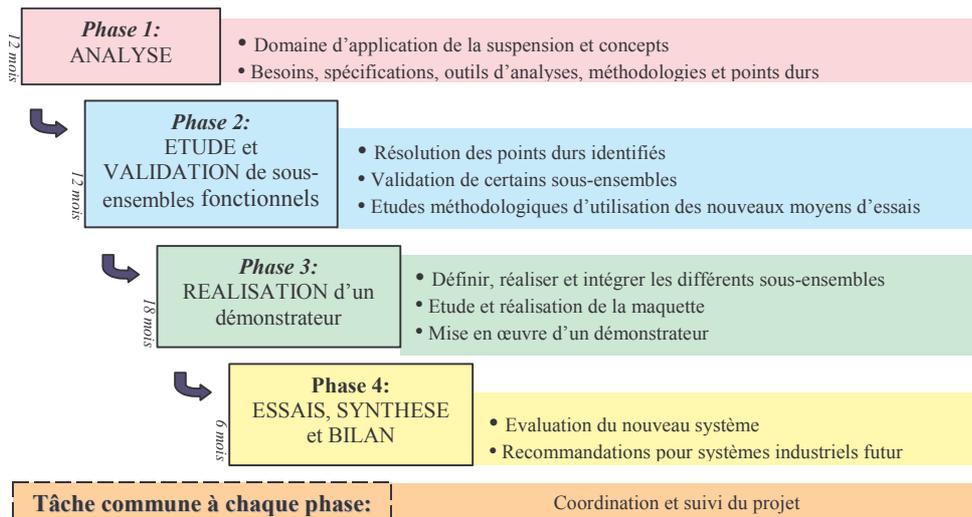


Figure 2.3. Déroulement du projet [Reboulet 99]

### B- Relation de sous-traitance

Pour implanter le nouveau système, la soufflerie a été choisie en fonction de sa faible occupation prévisionnelle. Ce choix du donneur d'ordres a été déterminant pour le bon déroulement du projet et la réservation du créneau.

Lorsqu'un retard d'approvisionnement est survenu, le plan du projet a été remis en cause et le créneau de ressource a dû être modifié. Le donneur d'ordres s'est alors appuyé sur son comportement de planification pour déterminer un nouveau plan valide intégrant les contraintes de disponibilités du sous traitant.

Ainsi, malgré un retard de quelques mois imputable à un retard d'approvisionnement, la modification du créneau de réservation de ressource n'a pas généré de nouvelles contraintes chez le donneur d'ordres et a été acceptée par le sous-traitant.

De son côté, le sous-traitant a été amené à modifier son plan tout en préservant le créneau du donneur d'ordres grâce aux marges que lui procure sa faible occupation. Les principales actions que peut effectuer le sous-traitant sur ses activités planifiées sont :

- Décaler d'une certaine durée un, plusieurs ou tous les créneaux déjà réservés,
- Inverser deux créneaux de ressources,
- Réduire la durée d'une campagne de tests (passage en 2/8, suppression de tests).

La relation entre le sous-traitant et le donneur d'ordres s'est établie autour d'une communication importante. Ce dialogue permet à chacun de s'assurer régulièrement, par d'éventuelles négociations, que le créneau alloué respecte ses contraintes malgré les dérives éventuelles. Cette communication dure du premier contact à la date de début des essais, soit un an en moyenne.



L'ONERA travaille activement sur ce sujet depuis plus de 10 ans et est aujourd'hui impliqué dans plusieurs projets européens :

- la plate-forme technologique AWIATOR, qui a pour objectif de sélectionner puis vérifier expérimentalement l'efficacité de différents concepts de voilure;
- le projet C-Wake, sur le mécanisme de formation et le contrôle des tourbillons ;
- le projet S-Wake, sur l'évaluation de la sécurité liée à la présence de tourbillons de sillage.

### ***B- Projet C-Wake***

C-Wake est un projet de recherche Européen impliquant entre autre EADS, Airbus, British Aerospace, DLR et ONERA. Ses objectifs industriels sont :

- Obtenir des données décrivant les caractéristiques physiques des sillages d'avions de transports, et plus particulièrement ceux d'Airbus (Figure 2.5),
- Conduire la modélisation des sillages, prévoir leur création avec suffisamment de précision et chercher les moyens de les diminuer,
- Synthétiser les résultats et valider une méthode de prévision des tourbillons de sillage avec suffisamment de précision, afin que l'industrie européenne puisse concevoir des avions qui ne soient pas pénalisés par la taille de leurs tourbillons.

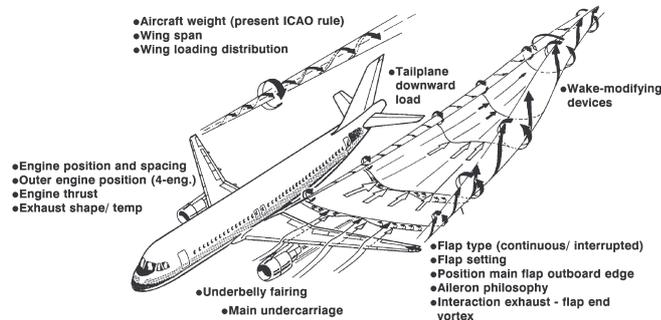


Figure 2.5. Origines du sillage d'un avion

Le projet est décomposé en trois lots de travaux associés à ces trois thèmes complémentaires (Figure 2.6). Chaque lot est décomposé en macro-tâches qui emploient des moyens de tests ou des outils dédiés.

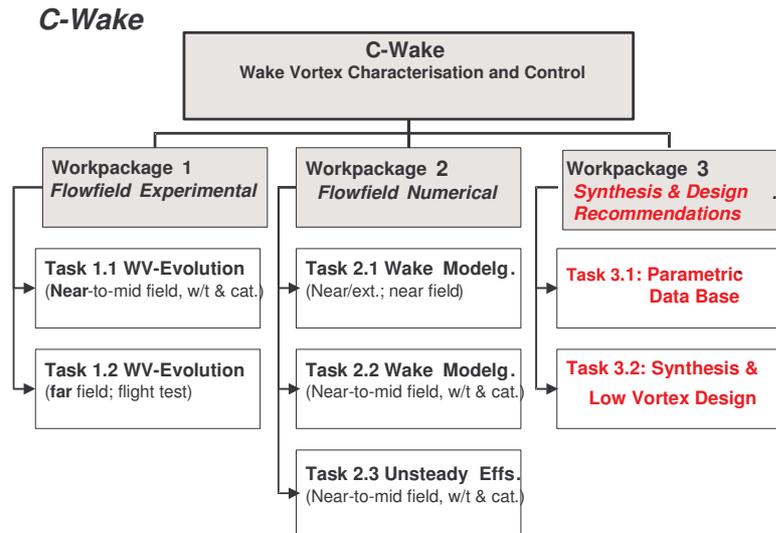


Figure 2.6. Lots de travaux et macro-tâches du projet [Dziomba, 00]

Dans le cadre du projet C-Wake, l’Onera est plus particulièrement responsable de la coordination du lot de travaux 1 et maître d’œuvre de la macro-tâche 1.1. Il fournit également une partie des moyens d’essais nécessaires à la réalisation de certaines tâches du projet.

Les moyens d’essais utilisés par la macro-tâche 1.1 sont les souffleries, la catapulte (vol libre), le bassin de traction et une station de mesure au sol pour des essais grandeur nature. Les données recueillies lors des tests seront exploitées par les lots de travaux 2 et 3 pour effectuer la modélisation et constituer la base de données.

Dans le cadre de notre étude, nous nous intéressons particulièrement à un sous-traitant spécialisé dans les essais en veine de soufflerie. Au sein du projet, nous avons étudié en détail cette relation au sein la macro-tâche 1.1 du projet ainsi que les comportements d’échanges et de planifications mis en œuvres par les deux acteurs de la relation pour réserver un créneau de ressource.

### **C- Relation de sous-traitance au sein de la macro-tâche 1.1**

La relation étudiée au sein de la macro-tâche 1.1, entre la soufflerie et le projet, est d’une nature particulière car elle n’implique qu’un organisme (l’Onera) mais des centres de décisions différents et autonomes qui correspondent au projet (donneur d’ordre) et à la soufflerie (sous-traitant). C’est une relation de type interne.

Au sein d’une relation donneur d’ordres / sous-traitant, il est courant que le donneur d’ordres ait une emprise sur la relation de par sa position de client. Dans le cas présenté ici, la nature

spécifique du sous-traitant couplée à la relation interne inhibe les leviers d'actions du donneur d'ordres et permet au sous-traitant de dominer la relation.

Cette particularité a des conséquences sur le choix des politiques de planification des acteurs et sur les comportements qu'ils mettent en œuvre au sein de la relation.

- Nous avons ainsi pu constater que, en période de surcharge, le sous-traitant (souffleries de l'Onera) choisit d'appliquer une politique de planification basée sur la priorité accordée à la demande des donneur d'ordres en fonction de l'objectif de satisfaction client de chaque donneur d'ordres.  
Ainsi le sous-traitant a pris la décision de privilégier ses clients « extérieurs » afin de répondre favorablement à leurs demandes (nouveaux contrats, modifications d'essais, retards...). Le responsable de la macro-tâche *1.1* est un membre de l'Onera et il a donc été considéré comme un client interne par le sous-traitant. L'évolution des demandes couplée au comportement du sous-traitant l'ont alors conduit à différer plusieurs fois le créneau de ressource alloué au projet C-Wake.
- Du point de vue du projet, le retard accumulé s'est répercuté sur les tâches du lot de travaux *2* qui avaient besoin des résultats de ces tests en soufflerie pour commencer. Malgré l'importance des retards engendrés par le comportement du sous-traitant, le responsable est resté impuissant face au sous-traitant qui ne modifiait pas la priorité du projet par rapport aux autres clients. Le donneur d'ordres a donc mis en œuvre une politique de planification sous contrainte de ressource afin de retarder la date de début planifiée des tâches du projet succédant l'activité sous traitée.

Cependant, C-Wake est un projet européen et à ce titre, les responsables de macro-tâches doivent présenter les résultats intermédiaires et rendre des comptes à une commission européenne. Face à la persistance des retards, la commission a envisagé d'écarter le sous-traitant si les essais n'étaient pas effectués rapidement.

Le rapport de forces entre le donneur d'ordres et le sous-traitant s'est ainsi inversé et le sous-traitant a dû effectuer les essais du projet en priorité afin de préserver son contrat.

Ces événements impliquent des modifications de comportement de planification chez le sous-traitant qui a dû faire passer de façon très prioritaire un client jusqu'alors considéré comme mineur. Cette modification des priorités s'est effectuée au détriment des demandes et de la satisfaction des autres donneur d'ordres devenus temporairement moins prioritaires mais revêtant une importance toujours aussi importante pour les activités du sous traitant.

Finalement, ni le donneur d'ordres ni le sous-traitant n'ont été satisfaits par le créneau utilisé.  
En effet :

- Le sous-traitant a dû faire un effort très important vis à vis de ses clients « externes » pour arriver à planifier les essais du projet en urgence,
- Le donneur d'ordres a dû décaler son projet, justifier ces retards et contraindre les tâches de son projet qui dépendaient des résultats issus des souffleries.

Dès lors chacun des deux acteurs exprime le besoin de diminuer ses efforts liés aux comportements de planification sous contraintes leur permettant de coordonner leurs activités autour de l'allocation d'un créneau de ressource dans le cadre de la relation de sous-traitance.

## **2.3 Bilan de l'analyse du processus**

Les projets, les comportements des acteurs et les contraintes induites par les relations de sous-traitances présentées illustrent l'activité d'allocation de ressource et la présentent comme stratégique pour le donneur d'ordres en termes d'impacts sur la gestion de son projet.

Les comportements de planification des deux acteurs et leurs interactions au sein de la relation ont également été identifiés comme l'un des facteurs clés de l'allocation d'un créneau de ressource. Ces comportements sont également influencés par les enjeux et les rapports de forces qui s'exercent entre les deux acteurs.

Nous allons donc approfondir l'analyse de la relation et détailler les objectifs de la relation de sous-traitance, le fonctionnement de la relation permettant d'aboutir à l'allocation d'un créneau de ressource, et aborder la dynamique de cette relation.

### **2.3.1 Objectifs de la relation de sous-traitance**

Au sein de la relation, le donneur d'ordres et le sous-traitant coordonnent leurs activités sur le créneau de réservation. Les objectifs des acteurs de cette relation sont abordés selon trois points de vue différents : celui du donneur d'ordre, celui du sous-traitant et celui du maillon donneur d'ordres / sous-traitant.

#### **2.3.1.1 Pour le sous-traitant**

L'objectif d'un sous-traitant de spécialité gérant une ressource lourde telle qu'une soufflerie est d'obtenir une occupation maximale de celle-ci, en optimisant l'utilisation de ses ressources humaines tout en satisfaisant au mieux ses clients.

Le nombre réduit de clients conduit le sous-traitant de spécialité à développer une relation durable et coopérative avec ses clients réguliers représentant une charge de travail importante pour la ressource.

L'activité spécifique du sous-traitant de spécialité lui permet de faire preuve d'innovation pour devancer des besoins, d'assurer une veille permanente et d'introduire de nouvelles techniques et/ou technologies pour en faire bénéficier ses clients et s'adapter à des variations du marché. Dans le cas des souffleries aéronautiques, l'innovation se traduit par de nouveaux moyens de tests, l'évolution technologique des maquettes passées en souffleries ou la réalisation de projets de recherches fédérateurs (SACSO).

### **2.3.1.2 Pour le donneur d'ordre**

La planification et le suivi de la tâche ayant recours à la soufflerie revêtent une importance particulière pour le succès du projet en termes de délais.

En effet, la réservation d'un créneau de ressource impose au projet de respecter une date de début et une durée. La remise en cause de cette réservation peut avoir d'importantes conséquences sur la réalisation du projet du fait de la non disponibilité de la ressource en dehors de l'intervalle de temps initialement réservé.

De plus, les spécificités de la ressource et des essais, qui sont couplés à une maquette et des moyens de tests dédiés, interdisent tout changement de ressource en phase de réalisation de projet. La réservation du créneau de ressource est donc stratégique pour le bon déroulement du projet du donneur d'ordres.

Les activités du donneur d'ordres vont également le conduire à utiliser régulièrement cette ressource. L'aspect durable de la relation est donc couplé à son aspect stratégique.

### **2.3.1.3 Pour le maillon**

L'aspect relationnel relève du comportement et ne répond pas aux orientations strictement stratégiques mais repose sur l'homogénéité des attentes des deux acteurs, la conception des finalités attendues, la distance culturelle, le degré de confiance mutuelle.

« L'objet d'une relation inter ou intra entreprises se réduit à la mise en œuvre d'une association, objet qui n'offre pas le moyen d'explicitier la diversité des échanges et partages existants. En particulier, rien ne permet de distinguer les caractéristiques intrinsèques d'une relation client/fournisseur ordinaire, de celles d'une relation donneur d'ordres/sous-traitant ou d'une relation producteur/distributeur. De plus, les entreprises sont contraintes par l'existence d'événements imprévisibles liés aux caractéristiques des processus qu'elles mettent en œuvre et qu'elles doivent gérer » [Lauras et al., 03].

Dans le cas d'un sous-traitant de spécialité gérant une ressource stratégique et d'un donneur d'ordres gérant un projet, la relation de sous-traitance désigne l'action collective de ces deux

acteurs par laquelle ils contribuent, par des échanges et des négociations tout au long de la relation, à satisfaire leurs objectifs.

Les activités de chaque acteur sont centrées sur leurs savoir-faire, ce qui correspond à une perte d'autonomie et de maîtrise concernant les activités sous traitées, tout en permettant de combiner des efforts bien maîtrisés pour satisfaire leurs objectifs individuels au sein de la relation.

La relation est alors de type gagnant / gagnant si les deux acteurs améliorent leurs performances individuelles avec la perspective de gagner plus et de partager leurs bénéfices au sein de la relation.

Cette approche de la relation, de type coopérative, permet de minimiser les facteurs d'incertitude sur la tâche à réaliser et les perturbations sur les activités de chacun, en gérant conjointement les aléas potentiels et en réduisant leurs impacts (par anticipation).

Nous définissons ainsi une relation de sous traitance ou entente industrielle (cf chapitre 3.2) entre acteurs par :

- une action collective et conjointe qui dépasse les limites individuelles ;
- la définition d'un besoin commun : la réalisation de la tâche ;
- un dispositif de rapprochement des acteurs;
- la prise en compte des aléas rencontrés.

### **2.3.2 Fonctionnement**

Au sein du maillon, la relation de coopération entre le donneur d'ordres et le sous-traitant est établie dans le but d'aboutir à la réservation d'un créneau de ressource. Pour atteindre cet objectif, tout en gérant au mieux leurs activités propres, les deux acteurs de la relation négocient la date de début et la durée du créneau de réservation de la ressource.

Ce créneau de ressource est réservé à un instant donné et est susceptible d'être remis en cause avant son utilisation effective.

#### **2.3.2.1 Réserve d'un créneau de ressource**

Pour négocier, les deux acteurs se basent sur l'état de leurs activités et plus précisément sur leurs planifications. A partir du plan, ils sont en mesure d'identifier leur besoin et d'exprimer un souhait au partenaire de la relation.

Dès lors, entre le sous-traitant de spécialité et l'industriel donneur d'ordres, des échanges de données plus ou moins formalisés et des accords de fonctionnement s'instaurent et permettent d'aboutir à un accord sur le créneau de réservation de ressource : un processus d'échange de données s'établit entre le donneur d'ordres et le sous-traitant. (Figure 2.7)

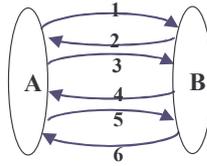


Figure 2.7. Processus d'échange de données

Les données échangées sont des créneaux temporels qui correspondent à des demandes (DO), des disponibilités (ST) ou des contractualisations (DO et ST).

Ces échanges de créneaux temporels peuvent être enrichis d'informations complémentaires portant par exemple sur les comportements des acteurs, leurs processus de gestion ou leurs croyances.

La richesse des données transmises permet de caractériser la relation car elle est liée au degré de proximité, de transparence et de confidentialité que s'accordent les deux acteurs.

La relation entre le donneur d'ordres et le sous-traitant s'appuie sur l'existence d'un plan actualisé chez chaque acteur. Lorsque le processus d'échange de données aboutit à un accord sur un créneau de ressource réservé, la planification des activités de chaque acteur est actualisée pour tenir compte du créneau réservé. (Figure 2.8)

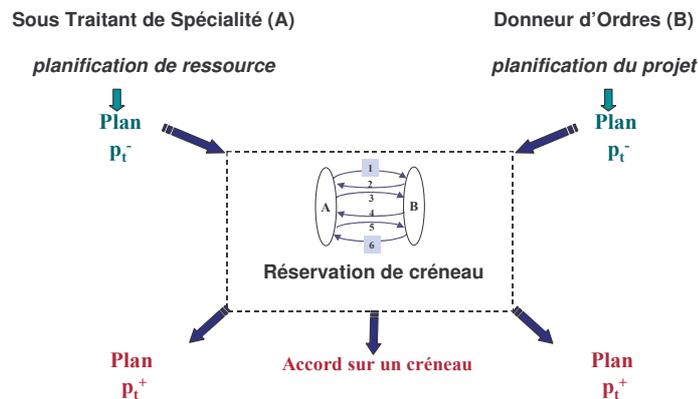


Figure 2.8. Réservation de créneau

Ainsi, à partir des plans actualisés  $P_t^-$  en cours de validité chez chaque acteur juste avant l'instant  $t$ , la démarche de réservation de créneau permet de trouver un créneau accepté par chacun à l'instant  $t$ . Chaque acteur re-planifie et établit un plan  $P_t^+$  de ses activités juste après l'instant  $t$  en tenant compte du créneau précédemment établi. La démarche de réservation de créneau correspond à un problème de prise de décision distribuée interentreprises ou inter-centre de décision (dans le cas intra entreprise) [Monteiro, 01].

### 2.3.2.2 Processus de réservation de créneau

Entre la réservation du créneau au cours du projet et son occupation effective, des perturbations impactent le déroulement des activités des acteurs et peuvent rendre inutilisable le créneau réservé. Pour gérer ces dérives, les deux acteurs s'appuient sur un second processus de réservation de créneau (Figure 2.9). Celui-ci désigne l'action collective des deux acteurs par laquelle ils s'assurent de la mise en adéquation de leurs activités et de la validité du créneau réservé tout au long du projet.

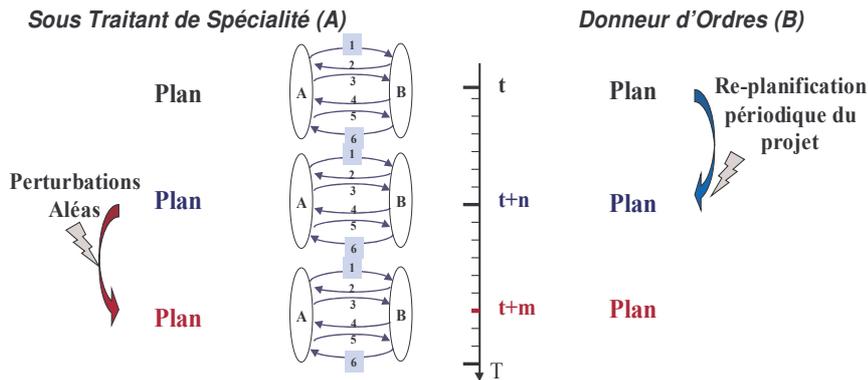


Figure 2.9. Processus de réservation

Le processus de réservation est donc constitué d'une succession de réservation. Les démarches de réservation de créneau interviennent soit à dates fixes (en fonction des périodes de re-planification des acteurs), soit lorsque des dérives importantes sont constatées chez l'un ou l'autre des acteurs.

### 2.3.3 Résultats d'analyses

L'analyse du processus de réservation de ressource et des activités de planification ont mis en évidence le caractère stratégique de la planification du créneau de ressource en termes d'impacts sur le respect des délais du projet du donneur d'ordres. Le rapport entre la capacité limitée de la ressource et la forte demande a également été identifié comme un vecteur perturbant et aggravant de la relation de sous-traitance.

L'objectif d'allocation d'un créneau de ressource est partagé par les deux acteurs, mais seul les besoins de réalisation de l'activité et de stabilité de la planification sont réellement communs aux acteurs. La relation leur permet de se coordonner par des transferts d'informations, mais les motivations individuelles sont différentes tout comme les gains attendus en retours.

Du point de vue de la relation entre les deux acteurs, la disparité des objectifs individuels risque d'agir comme un déstabilisateur de la relation consensuelle incarnée par l'objectif de la relation de coopération. Par contre, le renforcement de cet objectif en une volonté commune

de satisfaire un besoin partagé par les deux acteurs (utilisation d'un créneau de ressource) est potentiellement un facteur stabilisant de cette relation coopérative. L'objectif est alors d'augmenter la satisfaction des deux acteurs selon un rapport gagnant / gagnant à la fin du projet et sur le plus long terme.

Aucun des deux acteurs ne possède le pouvoir décisionnel suffisant à la réservation d'un créneau de ressource, c'est le processus de planification tactique instauré au sein de la relation qui va être le vecteur permettant de satisfaire le critère de performance de l'objectif global exprimé par les deux acteurs. De plus, le processus de réservation doit permettre de réagir aux perturbations créées par l'environnement. Ces perturbations sont le résultat des interactions entre les différents intervenants productifs internes ou externes à l'entreprise.

## **2.4 Conclusion**

Pour appréhender la problématique liée à l'allocation d'un créneau de ressource au cours du temps, nous avons étudié des projets ayant recours à des souffleries.

La relation coopérative entre un donneur d'ordres et un sous-traitant a ainsi été illustrée à travers deux projets ayant recours à l'allocation d'une ressource stratégique dans le secteur aéronautique.

A partir de ce retour d'expériences, nous avons approfondi l'analyse de la relation et détaillé les enjeux de la relation de sous-traitance. L'analyse de ces projets nous a permis de caractériser le processus de réservation (allocation) de ressource au sein de la relation entre le donneur d'ordres et le sous-traitant et d'aborder la dynamique de cette relation.

Par ailleurs cette étude nous a permis d'exhiber une problématique : la coopération au sein d'une chaîne logistique projet pour la gestion sous contraintes d'activité sous-traitée en environnement incertain.



## **Conclusion**

Dans cette partie, nous avons présenté le contexte dans lequel se situent les activités d'un donneur d'ordres et d'un sous-traitant de spécialité. Nous avons identifié la relation et les deux acteurs comme un maillon de la chaîne logistique projet du donneur d'ordre.

Puis nous avons décrit les activités du donneur d'ordres et du sous-traitant avant de présenter l'étude de deux projets aéronautiques qui nous ont permis d'exhiber la problématique abordée.

L'étude de ces deux projets et notamment l'analyse de la relation donneur d'ordres / sous-traitant et nous a permis de caractériser :

- les activités du donneur d'ordres et du sous-traitant en fonction de leurs contraintes, de leurs objectifs et des comportements qu'ils mettent en œuvre pour gérer leurs activités et réserver un créneau de ressource,
- les relations à travers les différents types de créneaux transférés de l'un à l'autre, les différents modes de transferts et leurs séquences,
- l'environnement de la relation,
- certains impacts des comportements et des jeux de pouvoirs exercés par les deux acteurs.

L'analyse de la relation a également mis en évidence le besoin réciproque des acteurs :

- de maintenir la stabilité du créneau réservé,
- de limiter les variations de créneau réservé.

La partie suivante va nous permettre de situer l'étude de l'approche coopérative de la gestion de projet sous contrainte d'activités sous traitées en environnement incertain par rapport à l'état de l'art sur les relations coopératives au sein de chaînes logistiques, la gestion de projet et la gestion des risques.



## PARTIE 2

### Etude Bibliographique



## **Introduction**

On utilise la terminologie de chaîne logistique « projet » qui nous intéresse ici pour la différencier de la chaîne logistique « produit » classiquement étudiée. La littérature concernant la chaîne logistique « produit » et sa gestion est abondante. On peut notamment faire référence à des articles d'état de l'art comme par exemple [Tan, 01], [Croom et al., 00], [Chen et al., 04], [Gunasekaran et al., 04], [Cheyroux et al., 04].

La notion de chaîne logistique « projet » est quant à elle beaucoup moins étudiée sauf dans le secteur du « bâtiment ». Elle est souvent assimilée à la chaîne logistique « produit » dans le cadre d'une production de fabrication à la commande. Néanmoins les travaux qui ont été menés dans le secteur de la construction montrent que la chaîne logistique projet a ses spécificités.

Par ailleurs, dans le domaine de la planification et de l'ordonnancement de projet, de nombreux travaux se sont intéressés au problème d'ordonnancement déterministe de projet avec contraintes de ressources ou (RCPSp). De nombreuses méthodes exactes et heuristiques ont été décrites dans la littérature et ont fait l'objet de recueils de synthèse ([Weglaarz, 98], [Kolisch et al., 01], [Kolisch, 01]). Plus récemment la « stabilité et la robustesse de la solution » sont apparus comme un point central en ordonnancement de projet [Herroelen et al., 04] : le problème de la dynamique liée à l'ordonnancement à horizon glissant devient alors essentiel.

Dans cette partie, nous situerons en premier lieu la notion de chaîne logistique à travers des approches « produits » et « entreprises ». Par la suite, nous présenterons différentes approches coopératives et leur synthèse autour d'un référentiel.



## Chapitre 3.

### Chaîne logistique projet et approches coopératives

#### 3.1 La chaîne logistique et sa gestion

La notion de chaîne logistique peut se définir de manière très générale comme « *un système de sous-traitants, de producteurs, de distributeurs, de détaillants et de clients entre lesquels s'échangent les flux matériels dans le sens des fournisseurs vers les clients et des flux d'information dans les deux sens* » [Tayur et al., 99]. Le point de vue extérieur de cette approche envisage la chaîne logistique dans sa globalité sans se focaliser sur les acteurs ou les opérations logistiques (achats, approvisionnements, production, vente, distribution).

[New et al., 95] représentent les activités et les entreprises impliquées dans cette chaîne qui commence à l'extraction de la matière première en passant par les entreprises de production, les grossistes, les détaillants etc (Figure 3.1).

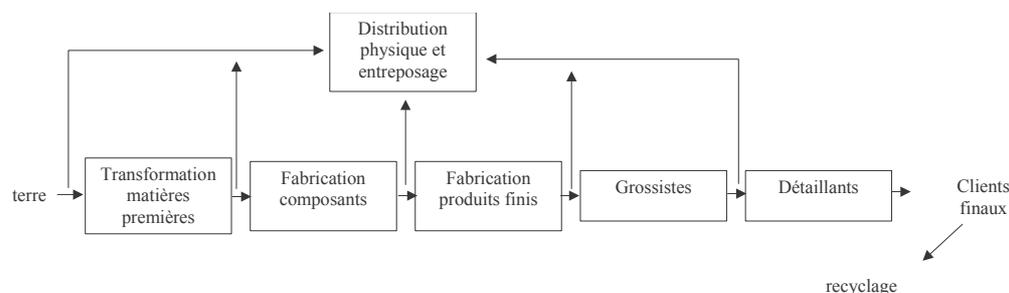


Figure 3.1. Activités et entreprises de la chaîne logistique

Pour illustrer la notion de chaîne logistique, il est possible de la comparer à une chaîne de production dont les éléments sont répartis sur différents sites et qui nécessite donc des opérations de transports entre sites. [Bel et al., 94]

Dans la suite de ce chapitre, nous montrerons comment les définitions proposées par la littérature sont significatives du point de vue pris par les auteurs :

- chaîne logistiques produit,
- chaîne logistique entreprise,

### 3.1.1 Chaîne logistique produit

La chaîne logistique est abordée par Lee et Billington par les fonctionnalités à l'origine des flux au sein d'un réseau d'installations. [Lee et al., 93] définissent ainsi la chaîne logistique d'un produit fini comme « *un réseau d'installations qui assure les fonctions d'approvisionnement en matières premières, de transformation de ces matières premières en composants puis en produits finis, et de distribution des produits finis vers le client* ». Cette définition adopte le point de vue central d'une installation qui manage ses opérations logistiques en fonction de son environnement proche. Dans cette vision, l'installation est choisie comme référence pour identifier les clients et les fournisseurs.

Si on limite le périmètre de la chaîne à une grande entreprise disposant de différentes entités de productions et de distributions, on parle de chaîne logistique interne. (Figure 3.2)

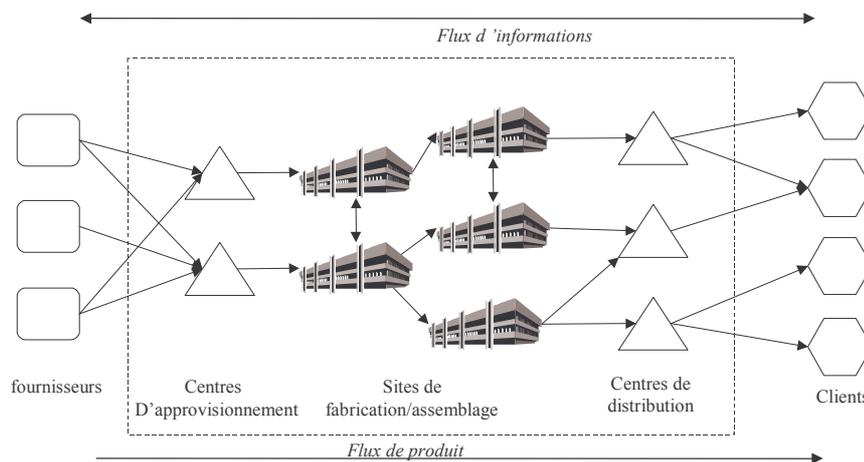


Figure 3.2. Exemple de chaîne logistique interne

De manière plus générale, [Rota et al., 99] définissent la chaîne logistique d'un produit ou d'une famille de produit fini comme « *l'ensemble des entreprises qui interviennent dans les processus de fabrication, de distribution et de vente du produit, du premier des fournisseurs au client ultime. Cette chaîne est donc très étendue car les fournisseurs ont eux-mêmes leurs propres fournisseurs et les clients sont souvent fournisseurs d'autres clients* ». La chaîne logistique d'un produit est alors constituée d'une succession de relations clients/fournisseurs qui assurent les fonctions d'approvisionnement (relation entre fournisseur et producteur), de transformation (par la production des biens), de distribution (du produit final vers le ou les clients) et est constitué de plusieurs entreprises. On parle alors de chaîne logistique étendue (Figure 3.3).

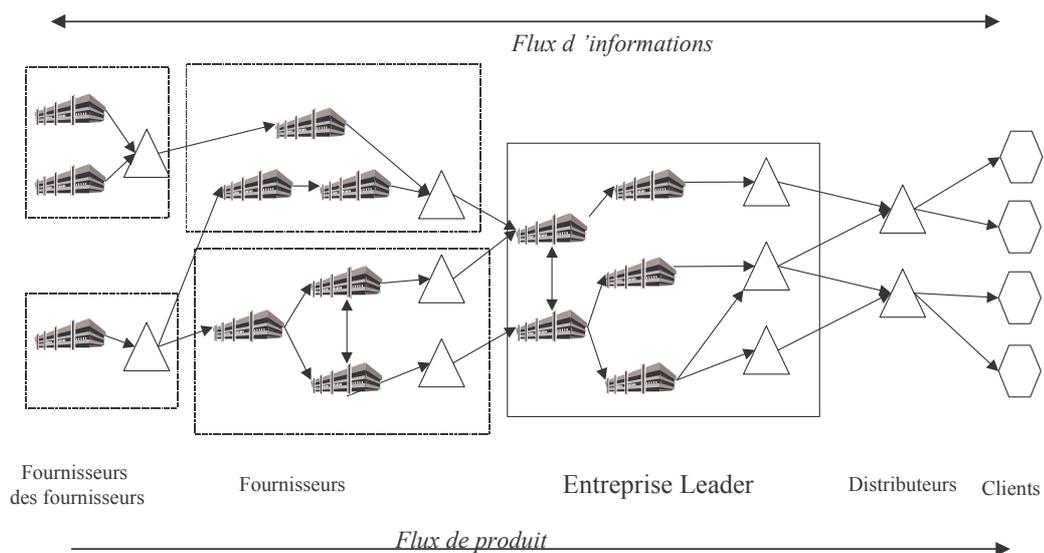


Figure 3.3. Exemple de chaîne logistique étendue

Les flux échangés résultent des opérations logistiques de chaque acteur et se coordonnent au sein de la chaîne logistique pour fournir le produit au client final.

### 3.1.2 Chaîne logistique entreprise

Une deuxième approche de la chaîne logistique se focalise sur une entreprise donnée et non plus sur le produit. On parle alors de la chaîne logistique de l'entreprise. [Poirier et al., 01] définissent une chaîne logistique comme « le système grâce auquel les entreprises amènent leurs produits et leurs services jusqu'à leurs clients ».

Dans cette optique des modèles de chaîne logistique ont été proposés dont le modèle de Supply Chain Operations Reference (SCOR), Figure 3.4.

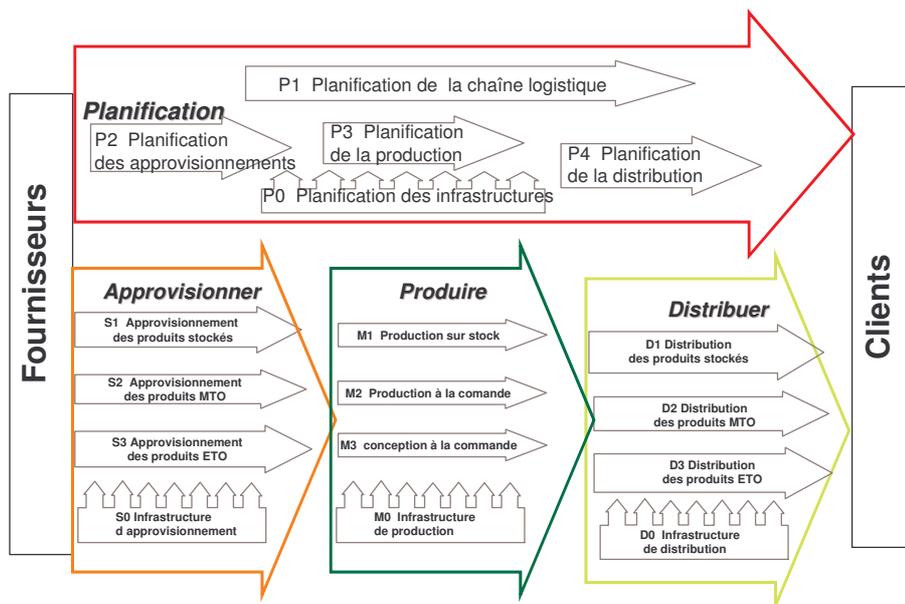


Figure 3.4. Modèle SCOR niveau 1 ; Quatre fonctions de base du SCM

Cette approche intègre l'ensemble des chaînes logistiques impliquant l'entreprise considérée et s'étend à ses relations avec ses clients et ses fournisseurs directs (rang 1). Les clients de ses clients et les fournisseurs de ses fournisseurs (rang2) ne sont donc pas souvent pris en compte.

### 3.1.3 Gestion de chaîne logistique : Approche collaborative

Le concept de gestion des chaînes logistiques ou Supply Chain Management (SCM) réside dans la coordination systémique et stratégique entre fonctions internes ou externes d'une ou de plusieurs entreprises. Le but de cette démarche réside dans « l'amélioration de la performance à long terme de chaque membre de la chaîne logistique et de ce fait, de l'ensemble de celle-ci » [Mentzen et al., 01].

Cet objectif logistique n'a de sens que si des relations existent entre les acteurs concernés. Or les acteurs d'une chaîne logistique sont souvent impliqués simultanément dans plusieurs chaînes logistiques et de multiples interactions doivent alors coexister entre les acteurs.

L'étendue du champ d'action des acteurs et leur niveau d'intégration caractérisent alors la structure de la chaîne logistique [Thierry, 03] et sa gestion :

- La gestion des problèmes locaux de production, d'approvisionnement et de distribution permettent d'optimiser le fonctionnement local de chaque entité à l'intérieur de l'entreprise. Ses activités son regroupées sous le terme générique de « logistique traditionnelle ».

- La gestion de la satisfaction des clients par une entreprise, en adoptant une approche globale et transversale incluant toutes les entités concernées de l'entreprise caractérise une structure logistique « fonctionnelle ».
- La gestion de la chaîne logistique interne d'une l'entreprise (« logistique intégrée ») correspond à la structure de chaîne logistique fonctionnelle étendue aux fonctions de coordination multisites de l'entreprise.
- La gestion, par les acteurs, des relations entre les entreprises constituant la chaîne logistique d'un produit ou d'un projet caractérise la « logistique collaborative ».

La structure, l'organisation et l'évolution de la chaîne logistique sont donc conditionnées par l'existence et la mise en œuvre de processus et de coordination et de coopération complexes entre les entreprises à travers les acteurs. Ce mode de gestion de la chaîne logistique correspond à une approche collaborative.

Cette approche collaborative est un paramètre indispensable de la logistique aujourd'hui. En effet, il faut se rappeler que la « *la qualité de service au client dépend de la coordination de plusieurs acteurs. Les distributeurs et les fabricants réalisent qu'un jeu coopératif ou intégratif peut-être plus favorable qu'un jeu conflictuel ou distributif* » [Fabbe-Costes et al., 99].

### **3.2 Chaîne logistique projet et approches coopératives**

La notion de chaîne logistique d'un projet a été très peu étudiée dans la littérature si ce n'est dans le secteur du bâtiment. Elle a été définie par [Siniharju, 00] comme « *le réseau global utilisé pour livrer un projet, de l'approvisionnement des matières premières jusqu'au client final du projet, à travers la gestion d'un flux d'information et de la distribution physique* ». Cette chaîne logistique est composée par le donneur d'ordres en charge du projet, ses clients et leurs clients, ses fournisseurs et leurs fournisseurs et sous-traitants, ses sous-traitants de spécialité et leurs fournisseurs et sous-traitants.

La plupart des études « *ont utilisé des méthodes qualitatives basées sur des modèles quantitatifs et des concepts tirés de la littérature en gestion de la production et des opérations* » et s'intéressent à la modélisation de la chaîne logistique essentiellement dans le domaine de la construction [O'Brien et al., 02-1], [Vrijhoef et al., 00] [Palanneeswaran et al., 03].

Comme dans le cadre de la chaîne logistique produit, la « collaboration au sein de la chaîne logistique a été un des thèmes les plus étudiés » [Siniharju, 00] même si d'autres travaux s'intéressent plus spécifiquement aux protocoles informatiques d'échanges d'informations au sein de la chaîne logistique [O'Brien et al., 01], [O'Brien et al., 02-2].

Les traits principaux qui caractérisent la notion de « collaboration » (terme anglais employé par l'auteur) pour la chaîne logistique projet sont pour [Siniharju, 00] :

- l'information qui peut être vue de plusieurs manières :
  - en focalisant sur la distorsion de l'information au sein de la chaîne logistique (effet bullwhip par exemple)
  - en s'intéressant à la « qualité » du flux d'information,
  - en identifiant les données qui sont nécessaires pour la gestion de projet,
  - en considérant la manière dont l'information peut être partagée au sein de la chaîne,
  - en s'attachant à comprendre les solutions en termes de technologie de l'information.
- la confiance entre les acteurs de la chaîne,
- les différents niveaux de collaboration,
- la mesure de la performance.

### **3.3 Gestion de chaînes logistiques et ententes**

Ce chapitre est le résultat d'un travail coopératif inter laboratoires avec notamment O. Telle [Telle, 03] et M. Lauras [Lauras, 04].

#### **3.3.1 Tour d'horizon des notions de Collaboration, Coopération et autres Co-xx**

La logistique et la gestion des chaînes logistiques supposent des relations transversales entre plusieurs centres de décision interdépendants tant sur le plan juridique, institutionnel que stratégique mais sans lien de subordination entre eux. Ces relations revêtent des formes multiples selon leur nature, leur structure (horizontale ou verticale), leur forme juridique ou les objectifs à atteindre [Sboui et al., 03], [Thomas et al., 96], [Huang et al., 03].

Différentes notions sont alors avancées pour justifier ou initier les rapprochements qui doivent être réalisés. On parle de communication, de coopération, de collaboration, de coordination ou encore de partenariat entre centres de décision. Pour situer ces notions dans le domaine de la gestion de chaînes logistiques, nous avons mis en place une coopération entre laboratoires [Telle, 01], [Lauras, 04] dans le but de proposer un cadre d'analyse en logistique tant sur le plan inter qu'intra entreprises.

Précisons en premier lieu que le système que nous considérons dans cette étude est composé de deux centres de décisions qui partagent un objectif commun sur un processus donné. La notion de centre de décision est définie comme un ensemble d'activités ayant même horizon de planification et période de remise en cause de celle-ci, devant être exécutées suivants les

mêmes objectifs donnés par un seul cadre de décision [Breuil, 84]. Ce cadre de décision est constitué classiquement d'un ensemble de relations d'entrées et de sorties, de variables de liaisons, de contraintes internes ou externes et bien sûr d'objectifs [Roboam, 93].

### **3.3.1.1 Vision industrielle**

Au-delà de la nécessité d'avoir de bonnes relations avec ses fournisseurs, la collaboration/coopération client/fournisseur est définie, dans les milieux du conseil industriel, comme « *l'établissement d'une méthode de travail connue, commune et optimisée entre un client et ses fournisseurs, permettant de réduire les coûts et d'augmenter le niveau de service à la clientèle. Cette méthode recherche l'optimisation des processus de transfert de l'information, la compréhension bilatérale des objectifs des deux entreprises, une planification de production synchronisée à travers la chaîne d'approvisionnement et un partage des risques reliés au développement de produit et au maintien d'inventaire* » [Rioux, 02].

De cette émergence du besoin de collaboration/coopération, est apparu sur le marché un ensemble de bonnes pratiques et de techniques permettant d'améliorer la relation entre des clients et des fournisseurs. On trouve notamment ([Seifert, 02], [Martin, 97]) :

- Le Collaborative Planning, Forecasting and Resplenishment (CPFR) qui vise à formaliser la conduite conjointe du processus d'élaboration des prévisions, de planification et de gestion des approvisionnements ;
- L'Efficient Consumer Response (ECR) qui a pour objectif d'assurer un flux de marchandises sans rupture ainsi que de fiabiliser et fluidifier les flux d'information correspondant ;
- La Gestion Partagée des Approvisionnements (GPA ou VMI pour Vendor Manage Inventory) qui consiste en la prise en charge par le fournisseur des approvisionnements des entrepôts et magasins du distributeur dans le cadre d'un contrat de coopération ;
- Le Co-Management Inventory (CMI), le Continuous Resplenishment Program (CRP), l'Efficient Resplenishment (ER), etc.

Toutes ces pratiques affichent une caractéristique *collaborative*, s'appuyant en réalité sur leur capacité à optimiser les processus de transfert de l'information en utilisant l'Echanges de Données Informatiques (EDI) et les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication (NTIC) avec notamment l'utilisation du commerce électronique.

### **3.3.1.2 Vision académique**

L'étude des définitions données par les auteurs de cultures scientifiques différentes montre qu'ils ont chacun des centres d'intérêt, des expériences diverses et des intentions non

nécessairement convergentes. Pourtant, parlant d'un sujet commun, nous avons cherché des complémentarités dans les points de vue avec le souci de rendre la perception du sujet aussi complète que possible.

Sans prendre parti ni prétendre être exhaustif, le tableau suivant regroupe les interprétations les plus représentatives de ces notions et de leurs satellites afin d'identifier les écarts qui les séparent.

[Reynaud, 89] (approche SPI)	« La <b>coopération</b> est le processus qui permet la mise au point de règles communes au travers d'une activité conjointe de régulation. »
[Erschler et al., 93] (approche SPI)	« La <b>coopération</b> est une (re)négociation de contraintes entre différents centres de décision. »
[Erschler, 96] (approche SPI)	« La <b>coopération</b> est le support à la mise en œuvre de décisions entre plusieurs centres de décisions. »
[Huguet et al 96] (approche SPI)	« La <b>coopération</b> est entendue comme une action collective orientée vers un même but. »
[Monteiro et al., 01] (approche SPI)	« La <b>coopération</b> est entendue comme la coordination et la synchronisation d'opérations effectuées par différents acteurs qui ne possèdent un pouvoir de décision que sur une partie seulement du système constitué. »
[Gavirneni, 99] (approche SPI)	« La <b>coopération</b> caractérise la mise à disposition d'une information qui peut être utilisée pour accroître la pertinence d'une décision. »
[Soubie et al., 96] (approche SHS)	« La <b>coopération</b> est une activité coordonnée visant à atteindre un objectif commun aux agents coopérants et pour laquelle le coût spécifique de la coordination est inférieur au bénéfice de celle-ci dans la poursuite de l'objectif. »
[Hatchuel, 96] (approche SHS)	« La <b>coopération</b> est la raison d'être des organisations. Coopérer n'est pas un ensemble d'actions tournées vers un objectif commun. Le processus de <b>coopération</b> s'appuie sur des apprentissages croisés afin de permettre à chaque acteur de construire ses propres objectifs tout en interagissant avec son partenaire. Coopérer c'est donc explorer ce qu'il peut y avoir comme coopération entre les partenaires. »
[Voisin et al., 00] (approche SHS)	« La <b>coopération</b> industrielle peut s'analyser comme un dispositif intentionnel de rapprochement (plus ou moins formel) entre des entreprises, juridiquement indépendantes, pour mettre en commun des ressources financières, humaines et de savoir-faire, dans le but de réaliser conjointement des activités créatrices de valeur, telles que la R&D, la production, la commercialisation. »
[de Terssac - Maggi, 96] (approche SHS)	« La <b>coopération</b> est le moyen de dépasser les limites individuelles. » « La <b>coopération</b> peut aussi être définie comme des actions collectives finalisées et développées pour dépasser les propres limites individuelles. »

[Kalafatis, 00] (approche SPI)	« La <b>collaboration</b> est vue comme des activités similaires ou complémentaires réalisées par des entreprises dans le cadre de relations visant à accroître la création de valeur commune. »
[Cullen, 99] (approche SHS)	« La <b>collaboration</b> se définit par le fait que deux entreprises partagent de l'information dans le cadre d'alliances coopératives. »
[Menachof - Son, 03] (approche SPI)	« La <b>collaboration</b> est un cadre permettant d'ordonner différentes formes coopératives entre des organismes indépendants. »
[Dillenbourg et al., 96] (approche SPI)	« La <b>collaboration</b> s'appuie sur un engagement mutuel des participants dans un effort coordonné pour résoudre ensemble un problème posé. »
[Burlat et al., 00] (approche SPI)	« La <b>coordination</b> d'activités dans une organisation en réseau s'appelle <b>coopération</b> . »
[Thomassen-Lorenzen, 01] (approche SPI)	« La <b>coordination</b> peut être vue comme une mise en cohérence des actions des agents qui entreprennent différentes activités, réduisant au minimum les coûts de division de travail. »
[Rose et al., 02] (approche SPI)	« La <b>coordination</b> est l'ensemble des règles et procédures qui assurent le fonctionnement d'un groupe. »
[de Banville, 89] (approche SHS)	« Le <b>partenariat</b> peut se définir comme l'établissement entre donneur et preneur d'ordres de relations d'une certaine durée, fondée sur une recherche en commun d'objectifs à moyen ou long terme dans des conditions permettant la réciprocité des avantages. »
[Poirier et al., 01] (approche SPI)	« Le <b>partenariat</b> est une association de parties agissant dans leur intérêt mutuel. »
[Neuville, 98] (approche SHS)	« Le <b>partenariat</b> s'apparente au contrat de travail. »
[Roboam, 93] (approche SPI)	« La <b>Communication</b> permet de consigner une information pour soi ou pour une tierce personne, de manière suffisamment complète, non ambiguë et sans contradiction. A l'activité de communication est associé un objectif, un but précis. »
[Rose et al., 02] (approche SPI)	« La <b>Communication</b> est définie comme l'action de transmettre quelque chose à quelqu'un, un résultat. Il s'agit d'un échange simple d'informations. »
[Roche, 00] (Approche SPI)	« La <b>Communication</b> ne se réduit pas à l'échange d'information. On doit y inclure les échanges de connaissances. »

Bien que les différentes interprétations laissent paraître de véritables désaccords, l'ensemble de ces définitions concordent sur quelques points majeurs qui seront synthétisés, après un court exposé de l'étymologie des mots les plus utilisés pour exprimer les notions d'ententes.

### 3.3.1.3 Analyse étymologique

Pour chacun des termes *Coopération*, *Collaboration*, *Communication*, *Coordination* et *Partenariat* une description de l'évolution du mot depuis ses racines latines jusqu'à sa définition contemporaine est proposée [Rey, 99] :

#### ◆ **Coopération**

Le nom est issu du latin chrétien *ccoperatio* (1430) signifiant « part prise à une œuvre commune ». Le nom *Coopération* est entré dans le langage courant en même temps que le verbe (1525), il a pris ultérieurement (1828) une spécialisation économique sur le calque

du mot anglais cooperation. Ce dernier terme est employé pour désigner une méthode de gestion des entreprises fondée sur la répartition du profit en fonction de la participation de chacun. Plus récemment, le mot s'entend aussi de la politique par laquelle un pays apporte sa contribution au développement d'un autre.

📖 : La définition contemporaine du Petit Robert est : action de participer à une œuvre commune

Le verbe est emprunté au latin chrétien cooperari « faire quelque chose conjointement avec quelqu'un » (en parlant de Dieu, de la prière), composé de cum (→co) et de operari forme déponente de operare (→opérer).

Le mot est passé dans l'usage commun au sens d'opérer conjointement avec quelqu'un.

📖 : La définition contemporaine du Petit Robert est : agir, travailler conjointement avec quelqu'un

#### ◆ **Collaboration**

Le nom est issu du latin collaborare (1753) signifiant « travaux d'un couple ». Issu du verbe collaborer avec le sens propre de « travailler avec », le mot collaboration a pris au XIXe siècle le sens de « travailler en commun pour gagner des bénéfices ». A noter qu'il a reçu sous l'occupation allemande (1940) sa spécialisation politique.

📖 : La définition contemporaine du Petit Robert est : travail en commun, action de collaborer avec quelqu'un

Le verbe associé est un emprunt tardif au latin collaborare « travailler avec quelqu'un » de cum (→co) et de laborare travailler (→labourer).

📖 : La définition contemporaine du Petit Robert est : Travailler en collaboration, travailler ensemble

#### ◆ **Communication**

Le nom est emprunté (fin XIIIe) au dérivé latin communicatio signifiant « mise en commun, échange de propos, action de faire part ». Le mot a connu un essor particulier dans le domaine de la publicité et des médias (techniques de communication), alors influencé par l'anglais communication. Dans l'entreprise, le mot concerne aussi la transmission d'informations entre service.

📖 : La définition contemporaine du Petit Robert est : le fait de communiquer, d'établir une relation avec quelqu'un

Le verbe associé est emprunté au latin communicare (1370) signifiant initialement « avoir part, partager » (→communiquer), puis « être en relation avec » de cum (→co) et de municus dérivé de munus (→commun).

Initialement, le sens est « participer à quelque chose » puis il prend une nouvelle forme (1548) au sens de transmettre, communiquer une nouvelle.

📖 : La définition contemporaine du Petit Robert est : Faire connaître (quelque chose) à quelqu'un

#### ◆ **Coordination**

Le nom est issu du latin *coordinatio* (XIV<sup>e</sup>) composé de *co-* et *ordinacio* (« mise en ordre »). Le mot qui désigne « l'agencement (des parties ou d'un tout) selon un plan logique pour une fin déterminée » est rare avant la fin du XVIII<sup>e</sup>. Par la suite, il entre spécialement dans les syntagmes *coordination des mouvements*.

📖 : La définition contemporaine du Petit Robert est : agencement des parties d'un tout selon un plan logique, pour une fin déterminée.

Le verbe associé résulte de la soudure de *co-ordonner* (1777) composé de *co* et *ordonner* d'après *coordination*. Le verbe signifie alors « disposer des éléments en vue d'une fin ».

📖 : La définition contemporaine du Petit Robert est : Disposer selon certains rapports en vue d'une fin.

#### ◆ **Partenariat**

Ce mot est un dérivé de *partenaire*, lui même apparu en France sous la forme anglaise de *partner* (1767), celui avec qui on danse et au sens général de « compagnon, associé ». Le *partner* est apparu (1297) au sens général de « personne qui partage une chose avec une ou plusieurs personnes ». *Partenaire* n'apparaît dans les dictionnaires français qu'en 1923 et *partenariat* en 1984.

📖 : La définition contemporaine du Petit Robert est : Association en vue d'un positionnement commun

D'après ces définitions, il apparaît que le terme *communication* correspond à un échange d'information relativement informel sans pré-requis important. Son utilisation dans le passé moderne le fait correspondre à un échange plutôt ponctuel et lié à une circonstance (transmission d'une nouvelle).

Le terme *coordination* est beaucoup plus utilisé pour déterminer un ordonnancement entre des échanges d'informations ou entre des processus.

Le terme *partenariat* fait référence à la reconnaissance d'un partenaire, personne ou entité avec laquelle on reconnaît une relation particulière et mutuelle.

Les termes *collaboration* et *coopération* sont souvent utilisés comme synonymes dans le corpus bibliographique : tous deux correspondent à une relation régulière et importante entre les acteurs. En termes étymologiques, le premier correspond à « travailler avec » et s'envisage ainsi principalement dans un cadre professionnel alors que le deuxième « opérer avec » fait beaucoup plus appel à une relation de partage équitable des droits et devoirs (notion de coopérative).

On peut ainsi noter que la distinction entre ces termes existe mais est difficile à relier à l'analyse d'un contexte logistique.

Afin de proposer un cadre délimitant les concepts de rapprochement au niveau industriel, en s'affranchissant de la polémique sur le choix des mots qui les qualifieront, la notion d'entente industrielle est précisée dans le paragraphe suivant.

### 3.3.1.4 *Notre vision de l'entente industrielle*

S'il est vrai que les notions de coordination, de partenariat et de communication sont relativement claires, aucune distinction partagée n'est faite à ce jour entre les notions de coopération et de collaboration.

Des trois analyses conduites (industrielle, académique, étymologique), il est possible de dégager, au-delà des divergences existantes, deux points communs relatifs à la notion d'entente industrielle. Elle est vue, en premier lieu, comme un moyen de dépasser les limites individuelles d'un centre de décision de la chaîne logistique par une action collective et conjointe entre plusieurs centres. Enfin, elle n'a de sens que dans le cadre d'un objectif commun.

Plusieurs auteurs ont précisé différentes formes d'objectifs recherchés au travers d'une entente industrielle :

- *Accroître et bénéficier d'une création de valeur* [Kalafatis, 00] [Campagne - Sénéchal, 02] : La création de valeur résulte d'une création brute ou d'un accroissement de la valeur d'une activité. Son bénéfice peut s'interpréter d'un point de vue financier, technologique, organisationnel ou informationnel, que ce soit au niveau individuel ou collectif.
- *Maîtriser les risques* [Courtot, 98] [Sardas et al., 02] : La gestion des risques s'attache à identifier et tenter de réduire l'existence d'événements perturbateurs, plus ou moins prévisibles selon qu'ils influent sur le comportement intrinsèque ou sur son équilibre vis-à-vis de l'environnement, au sens large. On parle d'analyse de risques et de maîtrise des risques.  
L'analyse des risques permet d'identifier des aléas possibles et de qualifier leurs effets. Cela consiste à déterminer la possibilité d'apparition d'un aléa et la gravité de son impact, puis à classer les aléas selon certains critères. La maîtrise des risques, s'attache à prévoir et mettre en place des actions permettant de réduire les probabilités d'occurrence des événements ou se protéger des effets.
- *Accroître les compétences* [Burlat, 02] [de Terssac & Maggi, 96] : La compétence se décline sous la forme des 'savoirs', des 'savoir-faire' et des 'avoirs', qu'ils soient technologiques ou organisationnels.

Abordé en ces termes, l'objet d'une entente inter. ou intra. entreprises se réduit à la mise en œuvre d'une association, objet qui n'offre pas le moyen d'explicitier la diversité des échanges et partages existants. En particulier, rien ne permet de distinguer les caractéristiques intrinsèques d'une relation client/fournisseur ordinaire, de celles d'une relation donneur d'ordres / sous-traitant ou d'une relation producteur / distributeur. De plus, les entreprises ne sont pas uniquement confrontées au dilemme faire ou faire-faire à partir d'un simple arbitrage coûts / avantages, mais elles sont également contraintes par l'existence d'événements

imprévisibles liés aux caractéristiques des processus qu'elles mettent en œuvre et qu'elles doivent gérer. Nous recherchons donc pourquoi différentes modalités d'échange et de partage coexistent.

Nous définissons ainsi une entente industrielle entre centres de décision par :

- une action collective et conjointe qui dépasse les limites individuelles,
- la définition d'un objectif commun,
- un dispositif de rapprochement de centres de décision,
- la prise en compte des aléas rencontrés.

Afin de clarifier les différentes formes d'entente, nous proposons un référentiel commun à l'ensemble des acteurs concernés par les travaux qui ont servi de source à cette étude.

### **3.3.2 Proposition de référentiel et caractérisation des ententes industrielles**

#### ***3.3.2.1 Le référentiel : espace, temps et nature des objets***

Les différents états de l'entente industrielle entre centres de décision se caractérisent, en fonction d'une part du point de vue temporel (échange ponctuel ou processus d'échange formalisé) et d'autre part, en fonction des objets manipulés et du mode de transfert utilisé (échange [sortie de A = entrée de B]/ partage [A et B utilisent la même information pour des usages différents]).

On distingue, dans les centres de décision, deux types d'objets manipulés, les données et les traitements :

- Le terme "données" est utilisé au sens large et englobe les notions d'informations, de paramètres fournis en entrée ou en sortie d'un centre de décision. La "donnée" fournie n'est pas contextualisée par rapport au processus de prise de décision.
- Le terme "traitement" englobe les notions de mode opératoire, de variable de décision, de contrainte prises en compte pour caractériser la manière de prendre une décision au sein d'un centre de décision indépendamment d'un contexte temporel défini par les "données".

Le référentiel vise à proposer une méthode d'identification et de diagnostic des différents états d'entente industrielle existants entre deux centres de décision intervenants dans un processus logistique. Cependant, le nom attribué à tel ou tel état de l'entente n'a pas de réelle importance et sert principalement de vecteur aux caractérisations qu'il véhicule.

### 3.3.2.2 Positionnement des ententes industrielles

La Figure 3.5 propose de caractériser les différents états élémentaires d'ententes industrielles entre deux centres de décision A et B selon la nature des informations transmises (données ou traitements) et leur mode de transmission (échange ponctuel ou processus d'échange ou partage).

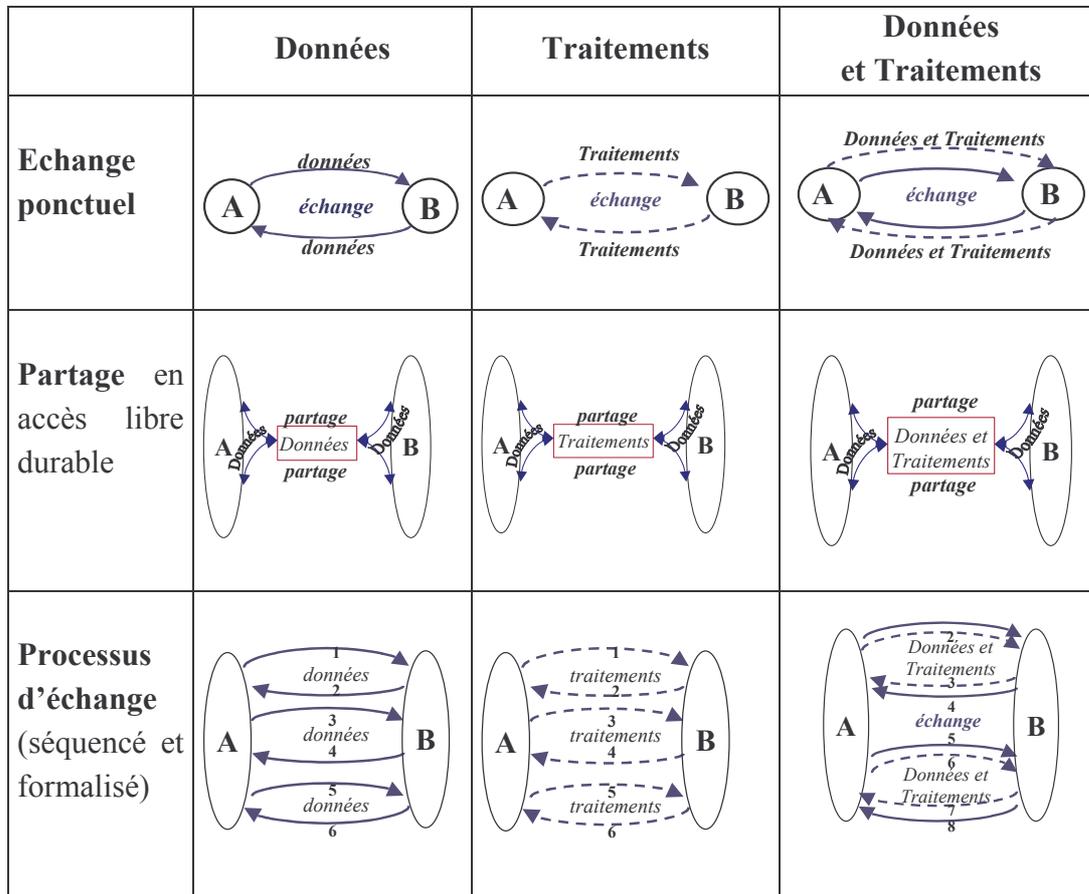


Figure 3.5. Illustration de la caractérisation des composantes élémentaires de l'entente industrielle

Ces états d'ententes industrielles sont qualifiés d'élémentaires car leurs associations permettent de caractériser les différents états d'ententes rencontrées, entre autres, au sein d'une chaîne logistique.

Les noms attribués aux différents états d'ententes sont limités aux termes communication, coordination, collaboration, coopération et partenariat. Ces termes sont associés aux caractérisations élémentaires des ententes industrielles (voir Figure 3.6).

Un consensus relatif est établi autour des notions incluses sous les termes communication et coordination. Selon notre référentiel, les caractérisations des ententes seront associées à ces notions de la manière suivante :

- ◆ Un échange ponctuel de données sera associé à la communication.

Donner des informations sur des retards d'expédition ou des erreurs de commandes correspond à un exemple de communication logistique entre deux centres de décision.

- ◆ Une entente régulière, durable dans le temps et structurée, établie soit par un échange formalisé de données soit par un partage de données, sera associée à la coordination.  
Créer une base de données commune entre les deux centres de décision pour des références de produits, par exemple, illustre la coordination.

En revanche, les termes collaboration et coopération sont régulièrement utilisés de manière quasi interchangeable.

Le terme collaboration regroupe les caractérisations suivantes :

- ◆ Un échange ponctuel de traitements ou de données et de traitements.  
Fixer des horizons et des fréquences d'approvisionnement d'un commun accord entre les deux centres de décision est un exemple d'échange ponctuel de traitements,
- ◆ Un partage de traitements.

Par contre, le terme coopération englobe plusieurs notions plus ou moins complexes selon l'association effectuée (entre les états élémentaires) pour caractériser l'état d'entente souhaité. La coopération est alors entendue comme régulière et durable dans le temps.

Elle peut être associée aux caractérisations suivantes :

- ◆ Une formalisation du processus d'échange de traitements,
- ◆ Une formalisation des processus d'échanges de données et de traitements,
- ◆ Un partage de données et de traitements,
- ◆ La combinaison des trois configurations précédentes.

Le partenariat, quant à lui, est vu comme une contractualisation plus ou moins formelle d'un des états d'entente (état élémentaire ou associations d'états élémentaires). Ce terme retrouve ainsi son caractère générique applicable à tous les états d'entente.

	Données	Traitements	Données et Traitements
<b>Echange ponctuel</b>	COMMUNICATION	COLLABORATION	COLLABORATION
<b>Partage en accès libre durable</b>	COORDINATION	COLLABORATION	COOPERATION
<b>Processus d'échange (régulier et formalisé)</b>	COORDINATION	COOPERATION	COOPERATION

Figure 3.6. Vocabulaire associé à la caractérisation des composantes élémentaires de l'entente industrielle

Les noms appliqués aux définitions, aux exemples ci-dessus et dans la Figure 3.6 n'ont pas de réelle importance et servent principalement de cadre à la caractérisation présentée. Il est notamment possible d'invertir les termes coopération et collaboration. Le terme collaboration est ainsi souvent utilisé en logistique pour caractériser une relation industrielle utilisant un outil informatique distant.

Nous n'identifions pas ainsi un état idéal d'entente industrielle ; une coordination peut être préférable à une coopération dès lors que le résultat escompté est atteint.

### 3.4 Conclusion

La chaîne logistique projet a été positionnée par rapport à la notion traditionnelle de chaînes logistiques. La notion de collaboration au sein d'une chaîne logistique a ensuite été abordée à travers les notions de communication, coordination, partenariat, coopération et collaboration.

Puis nous avons présenté notre approche et un référentiel pour caractériser les relations ou ententes industrielles. La caractérisation repose sur la nature des informations transmises (données ou traitements) et leur mode de transmission (échange ponctuel ou processus d'échange ou partage).

L'étude des ententes industrielles se rapproche des thèmes qui caractérisent la notion de « collaboration » pour la chaîne logistique projet selon [Siniharju, 00]. En effet, l'information et son mode de transmissions sont au centre des deux approches. La notion de performance est exprimée en termes d'objectif commun et de dépassement des limites individuelles. La qualité du flux d'information se retrouve au sein de la prise en compte des aléas rencontrés. Cependant, la confiance entre les acteurs n'est pas abordée en termes de comportement mais d'un point de vue global par un dispositif de rapprochement des centres de décision et la définition d'un objectif commun. De plus, notre référentiel permet de ne pas proposer différents niveaux de collaboration mais conduit à effectuer des caractérisations à travers les modes de transferts et la nature des informations transférées.

Dans le chapitre suivant, nous aborderons la gestion de projet et le problème d'ordonnancement associé avec ou sans ressource sous incertitudes. Les incertitudes, et particulièrement celles de la chaîne logistique du projet y seront également abordées, sous l'angle de la gestion des risques et donc de leurs impacts sur la planification du projet.



## **Chapitre 4.**

### **Gestion de Projet et Gestion des Risques**

#### **4.1 Gestion de projet**

##### **4.1.1 Structure projet**

La gestion de projet est une discipline du management qui revêt un intérêt croissant pour l'organisation et la structuration des entreprises. La raison d'être des structures projet est liée à la nécessité de décomposer un système complexe en éléments plus simples pour faciliter les estimations, le pilotage, le contrôle et le suivi des activités.

Un projet est vu comme une organisation qui doit s'appuyer sur les compétences de l'entreprise pour répondre à un besoin spécifique et ponctuel.

Pour cela, le projet est décomposé en un ensemble de tâches, chacune caractérisée par une durée, un coût, et la quantité et la nature des ressources qu'elle nécessite. Le succès du projet repose sur la bonne réalisation de ces tâches tout en respectant les contraintes technologiques, temporelles, et liées à l'utilisation des ressources. Le suivi des tâches et la prise en compte des modifications de contraintes s'effectue par l'intermédiaire de la gestion de projet.

La gestion de projet permet de structurer l'information, l'aide à la décision et les outils de communication. Elle présente les avantages d'être à la fois pluridisciplinaire et fédérateur en apportant tous les éléments nécessaires à la direction de projet, et permettant ainsi la prise de décision.

Les entreprises adhèrent de plus en plus à la notion de projet au point que leurs structures ont évoluées afin de répondre à l'organisation de leurs activités par projet. Plusieurs organisations d'entreprises orientées projet peuvent être envisagées :

- *Non structurée* : Ne transforme pas la structure et l'organisation de l'entreprise,
- *Structure en plateau* : Regroupement physique et à temps complet des acteurs du projet,

- *Structure matricielle* : Les personnes font partie d'une ou plusieurs équipes projets auxquelles ils répartissent leur temps, mais restent rattachées en services «métiers».

Quelle que soit la structure organisationnelle choisie par l'entreprise, il est important qu'elle soit adaptable et réactive aux évolutions de l'environnement du projet au cours du temps. Ces évolutions sont dues à des événements perturbateurs, aléas, qui sont prévisible ou imprévisibles. La réactivité organisationnelle du projet face à ces aléas est essentiellement basée sur les démarches suivantes :

- définition précise des rôles des intervenants et des responsabilités,
- mise en place d'outils et de procédures de suivi et de pilotage,
- instauration de relations de partenariat avec les fournisseurs,
- amélioration continue de la communication,
- décentralisation des décisions tout en gardant une cohérence globale,
- acquisition collective des compétences liées aux projets.

Cette organisation nécessite non seulement que chaque acteur ait une bonne connaissance de la structure du projet malgré son niveau de complexité, mais que cette modélisation du projet leur soit commune et leur serve de référentiel.

#### **4.1.2 Analyse de projet**

La première étape lors du lancement d'un projet dans une entreprise est d'établir la structure du projet qui servira de référentiel à tous les acteurs. La logique de décomposition hiérarchique du projet s'effectue par niveaux de plus en plus détaillés. A partir du projet, des groupes de travaux ou macro-tâches sont identifiées puis décomposés en tâches et en sous tâches jusqu'au niveau de détail (fonction de la complexité) nécessaire à la maîtrise du projet. La décomposition hiérarchique obtenue s'appelle l'organigramme des tâches (Work Breakdown Structure). Les éléments d'un même niveau de décomposition n'ont pas de précedence entre eux.

Cette approche fonctionnelle est complétée, selon la même démarche, par le Product Breakdown Structure qui définit les sous produits du projet, par l'Organisationnal Breakdown Structure qui définit les fonctions de chacun et leurs hiérarchies (ressource humaine), par le Ressource Breakdown Structure qui s'attache aux ressources matérielles et le Cost Breakdown Structure qui affecte des coûts aux tâches du WBS.

C'est à partir de cette analyse que le modèle du projet sera établi et permettra de trouver un ordonnancement des tâches.

### 4.1.3 Gestion de projet et démarche P.D.C.A.

La démarche de gestion de projet s'apparente à une démarche P.D.C.A., démarche d'amélioration continue ou roue de Deming (Figure 4.1). Cette méthode permet de maîtriser et d'améliorer un processus par l'emploi d'un cycle en quatre étapes :

- PLAN (planifier) - Cette étape de prévision définit l'objectif de résultat. Les besoins du bénéficiaire sont identifiés ainsi que les moyens nécessaires à sa réalisation (ressources), son coût et son planning (ordonnancement des activités du projet). Les aléas potentiels du projet et les actions permettant de réduire leurs impacts sont également identifiés (et planifiés) lors de cette étape.
- DO (réaliser) - C'est l'étape où les moyens sont mis en œuvre pour réaliser les tâches conformément au plan établi précédemment et visant à atteindre l'objectif.
- CHECK (contrôler) - Le suivi du projet est effectué à cette étape. Il permet d'évaluer la performance du projet. Le travail est confronté aux prévisions effectuées à PLAN afin d'identifier et de caractériser les écarts par rapport aux objectifs et aux actions, en termes de délais, de coûts ou de qualité.
- ACT (améliorer) - Les causes des écarts sont analysées pour identifier les améliorations à apporter au projet. Les actions correctives sont identifiées et mises en œuvre ou intégrées au plan ainsi mis à jour.

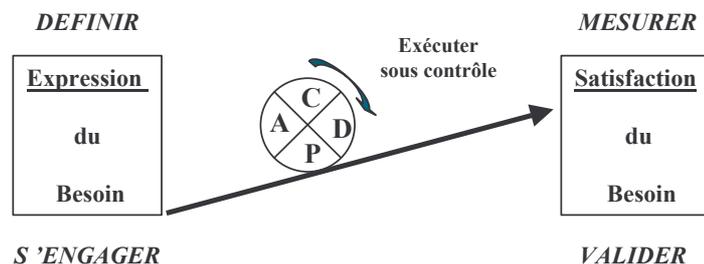


Figure 4.1. La gestion de projet : Une démarche P.D.C.A.

Ce tour de roue doit être suffisamment rapide pour que le référentiel considéré, idéalement l'instant t, soit conservé tout au long du cycle PDCA. Cette démarche permet de gérer l'évolution du projet en fonction du cadre de réalisation défini à travers les enjeux, les moyens humains, les matériels et services nécessaires et les contraintes (qualité, coût, délais, réglementations ...)

Cette démarche doit s'appliquer aux facteurs clés de succès du projet :

- Temps (Ordonnancement)
- Coût (Budget)
- Performances (Spécifications)

Ces trois facteurs semblent extrêmement liés les un aux autres, cependant [Goldratt, 97] montre que les gestionnaires de projet font plus attention aux délais qu'au coûts. Par exemple, pour un projet de conception de produit, il a été démontré par [Port et al., 90] qu'un apport financier supplémentaire n'engendre que peu de perte de revenu contrairement à une dérive des délais conduisant à une arrivée tardive du produit sur le marché.

#### **4.1.4 Ordonnancement de projet**

Au sein de la gestion de projet, l'ordonnancement s'intéresse tout particulièrement au plan d'exécution des tâches issues de la décomposition du projet et garantissant l'atteinte des objectifs. Il traite donc des problèmes de délais des projets. Le problème d'ordonnancement consiste à « *organiser dans le temps la réalisation de tâches, compte tenu de contraintes temporelles (délais, contraintes d'enchaînement,...) et de contraintes portant sur l'utilisation et la disponibilité des ressources requises.* » [Esquirol et al., 99]

##### **4.1.4.1 Enjeux**

L'ordonnancement d'un projet n'est pas seulement un outil de gestion des délais en termes d'exécution d'activités. C'est également une base à partir de laquelle les livrables sont fournis aux clients.

L'objectif de l'ordonnancement est donc non seulement d'organiser les activités dans le temps, mais également de permettre aux entreprises d'estimer les dates finales de livrables. Dès lors, l'ordonnancement revêt un intérêt capital pour le projet de par les estimations qu'il propose et qui servent de base à la prise de décision et à la coordination :

- des ressources internes,
- des approvisionnements,
- des relations de sous-traitance,
- du suivi du projet.

Par extension, au sein d'une entreprise organisée par projets de type « série unitaire », les ordonnancements deviennent la clef de voûte de l'entreprise qui s'articule autour de ce qui ne sont, il faut bien le rappeler, que des prévisions. Tout repose alors sur la capacité de l'entreprise à se projeter dans l'avenir et à définir correctement une date de livraison en fonction de sa programmation des ressources à mobiliser.

Avant de s'intéresser directement à la résolution d'un problème d'ordonnancement, nous allons aborder le problème de modélisation du projet.

#### 4.1.4.2 Modélisation

La modélisation du projet va permettre de le représenter par les liens entre les tâches identifiées lors de la phase d'analyse. Les différentes caractéristiques du projet ainsi établies seront conservées pour résoudre le problème d'ordonnement.

Les premières représentations de projets sont apparues dans les années 60 [Kelley, 61] avec les graphes potentiel-tâches et potentiel-étapes qui prenaient uniquement en compte les tâches du projet (activités) et les contraintes d'enchaînement qui les lient entre elles. D'autres modèles sont venus ensuite enrichir les capacités de représentations afin de proposer graphiquement différentes solutions potentielles au problème de planification de projet. (GAN, GERT, Q-GERT, VERT, RAIH) [Grunder, 98]

C'est pourtant majoritairement à partir des modèles potentiel-tâches et potentiel-étapes que des travaux sur les techniques d'ordonnement ont été développés.

En gestion de projets de fabrication unitaire ou de petite série, les modèles par dates de début de types make-to-order sont utilisés pour l'ordonnement ([Kolisch, 01]). La modélisation de ces projets utilise généralement la représentation potentiel-tâches basée sur :

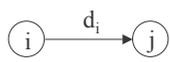
- les tâches présentées par le WBS et les contraintes temporelles liant ces tâches,
- les contraintes induites par l'utilisation de ressources pour réaliser le projet.

##### A- Tâches et contraintes temporelles

Chaque tâche  $i$  du projet est caractérisée par une durée  $d_i$ , une date de début  $t_i$  et une date de fin  $T_i$ , liées par la relation :  $T_i = t_i + d_i$ . Les dates de début des tâches  $t_i$  sont les variables de décision du modèle par date de début.

Les contraintes temporelles pesant sur les tâches d'un projet prises en compte par le modèle sont les contraintes de précédences entre deux tâches, d'approvisionnement de matières ou de sous-ensembles nécessaires à la réalisation d'une activité, de livraison de livrables à un client.

- Les contraintes de précedence, s'expriment entre les dates de début des deux tâches  $i$  et  $j$  par l'inégalité de potentiel suivante :  $t_j - t_i \geq d_i$

Cette inégalité est traduite en graphe potentiels-tâches par : 

- Les contraintes d'approvisionnement correspondent à une date minimale  $\alpha_i$ , « date de début au plus tôt », avant laquelle la tâche  $i$  ne peut pas commencer, soit :  
 $t_i \geq \alpha_i$
- Les contraintes de livrable (jalon) correspondent à une date maximale  $\beta_i$ , « date de début au plus tard », avant laquelle la tâche  $i$  doit être terminée :  $t_i + d_i \leq \beta_i$

Les contraintes portant sur les dates de début au plus tôt et au plus tard sont également appelées contraintes de localisations temporelles car elles permettent de situer la tâche dans le temps. [Giard, 97]

L'ensemble des contraintes temporelles du projet peut être représenté sur le graphe Figure 4.2. Les contraintes de précédences ont permis de créer le réseau du projet basé sur les tâches (graphe potentiels-tâches) et les contraintes de localisations temporelles ont été rajoutées aux tâches respectives pour représenter le problème d'ordonnancement (sans contraintes de ressources).

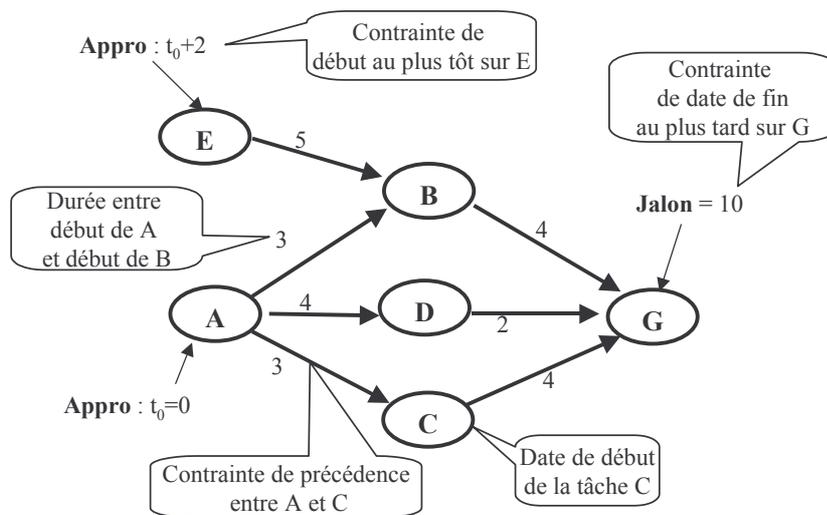


Figure 4.2. Graphique potentiels-tâches représentant un problème d'ordonnancement de projet.

### B- Contraintes de ressources

La notion de ressource va de pair avec la notion de capacité. La capacité caractérise la ressource et exprime le fait qu'un nombre limité de tâches peuvent être effectuées simultanément sur chaque ressource. On distingue les ressources renouvelables et cumulatives.

- Une ressource est dite renouvelable si on dispose à chaque instant du projet de la même capacité (machine par exemple).  
Les contraintes d'une ressource renouvelable de capacité unitaire s'expriment comme une disjonction de contraintes de précédence ; la contrainte de ressource est dite disjonctive.

Pour deux tâches  $i$  et  $j$  utilisant la même ressource disjonctive, les contraintes seront du type « (i avant j) ou (j avant i) » et se traduiront par :  $t_i + d_i \leq t_j$  si  $v_{i,j}=1$  et  $t_j + d_j \leq t_i$  si  $v_{i,j}=1$  avec  $v_{i,j}$  une variable booléenne représentant le choix (i avant j).

- Par opposition, une ressource est dite cumulative si sa capacité (non unitaire) est restreinte sur l'horizon temporelle du projet. (Matière première par exemple)

Les contraintes de ressources cumulatives agissent sur un certain horizon et s'assurent que la somme des consommations n'excède pas la capacité de la ressource.

Soit  $q_{i,t,r}$  la quantité de ressources utilisée pour l'exécution de la tâche  $i$  sur la ressource  $r$  à l'instant  $t$  et  $Q_r$  la capacité de la ressource consommable  $r$ , alors la

contrainte cumulative se traduit par :  $\forall r, \sum_t \sum_i q_{i,t,r} \leq Q_r$

#### 4.1.4.3 Objectifs et indicateurs de performance

L'ordonnancement d'un projet s'effectue en général sous un critère d'optimisation permettant d'atteindre un objectif particulier. Cependant, l'adéquation d'un ordonnancement aux objectifs d'un projet est évalué en pratique par des indicateurs de performances. Il existe différentes classes d'indicateurs de performances :

- Durée totale du projet (makespan) : C'est l'indicateur de base du projet ; il vise à minimiser la date de fin de la dernière tâche du projet afin de minimiser la durée totale du projet.
- Respect des délais : L'indicateur utilisé est le retard de la date de fin d'une tâche par rapport à une date de fin au plus tard, un jalon. Le respect des délais d'un projet peut être caractérisé par le nombre de tâches en retard ou le retard maximum ou moyen de l'ensemble des tâches du projet.
- Coût du projet (à minimiser également).

Les recherches académiques comme les applications réelles utilisent principalement la minimisation du makespan comme indicateur pour étudier les projets.

Les méthodes de résolution sont différenciées par le problème spécifique d'ordonnancement de projet qu'elles traitent. Par la suite, les cas non contraints par les ressources seront différenciés des cas contraints. Puis nous détaillerons les méthodes d'ordonnancement dynamique au cours d'un projet.

## 4.2 Techniques d'ordonnement de projet

De nombreuses méthodes exactes et heuristiques ont été décrites dans la littérature et ont fait l'objet d'articles et de contributions proposant des états de l'art concernant l'ordonnement de projet [Weglaarz, 98], [Kolisch et al., 01], [Herroelen, 99].

Les paragraphes 4.2.1. et 4.2.2. sont des résumés actualisés de l'étude bibliographique réalisée dans [Galvagnon, 00]. Les techniques d'ordonnement de projet sont différenciées en fonction des aspects du problème spécifique d'ordonnement qu'elles traitent.

### 4.2.1 Ordonnement de projets sans ressource

L'ordonnement de projet sans contrainte de ressource est effectué uniquement à partir des contraintes de localisation temporelle et de précédence, en considérant la capacité des ressources infinie.

Pour minimiser le makespan, on utilise des méthodes basées sur des calculs de plus long chemin entre un nœud d'un graphe et tous les autres, méthodes de type Critical Path Method (CPM) et Program Evaluation and Review Technics (PERT).

Ces méthodes sont utilisées pour analyser un réseau en termes de marges et de dates de début et de fin au plus tôt et au plus tard. Dans ce cas, un problème est décrit par un ensemble de tâches et de contraintes et est représenté par un graphe orienté sans cycle de longueur strictement positive (§4.1.4.2). Une tâche de début (précédant toutes les autres tâches) et une tâche de fin (précédée par toutes les autres tâches) de durée nulle sont ajoutées si elles n'existent pas initialement.

Sur ce type de graphe, les méthodes PERT et CPM permettent d'établir les données de l'ordonnement. La démarche mise en œuvre se décompose en trois phases :

- *Propagation avant* : Cette première phase permet de déterminer les dates de début au plus tôt des tâches en parcourant le réseau dans le sens des contraintes de précédence. A partir de la date de début au plus tôt de la première tâche du graphe, un algorithme de plus long chemin entre cette tâche et toutes les autres est appliqué afin de déterminer la date de début au plus tôt de toutes les tâches. La différence entre la date de fin de la dernière tâche et la date de début de la première permet de déterminer la durée minimale du projet.
- *Propagation arrière* : Cette seconde phase permet de déterminer la date de début ou de fin au plus tard des tâches. L'objectif est de minimiser la durée du projet. La date de fin au plus tard de la dernière tâche est donc posée égale à sa date de fin au plus tôt. Comme lors de la première phase, le chemin le plus long entre la dernière tâche et chacune des autres permet d'obtenir la date de fin au plus tard de chacune des tâches.

- *Marges et chemins critiques* : La marge d'une tâche est égale à la différence entre sa date de début au plus tard et sa date de début au plus tôt. Les tâches de marges nulles sont dites critiques. Les chemins critiques d'un projet vont de la tâche de début à la tâche de fin et ne sont constitués que de tâches critiques.

La prise en compte de contraintes de date au plus tôt et de date au plus tard (localisation temporelle) peut être réalisée en ajoutant une phase d'initialisation. Cette phase consiste à initialiser les dates de début au plus tôt et au plus tard des tâches avec les valeurs données par les contraintes à prendre en compte, avant de réaliser les trois phases précédentes.

#### 4.2.2 Ordonnement de projets avec ressource

Les problèmes d'ordonnement de projet sous contraintes de ressources sont dénommés RCPSP, pour Resource Constained Project Scheduling Problems. On s'intéresse au critère de minimisation du makespan pour respecter les jalons et minimiser de la durée du projet, aspect importants de l'ordonnement des tâches d'un projet.

Dans le RCPSP, des contraintes de ressources à capacité limitée viennent s'ajouter à l'ensemble des contraintes traditionnelles du PERT (précédences et localisations temporelles).

[Neumann et al., 03] proposent un état de l'art sur l'ordonnement de projet avec créneaux de ressources (time windows) et ressources critiques (scarce resources). De nombreuses méthodes exactes et heuristiques y sont proposées pour différents critères d'optimisation qui ont été identifiés comme important pour les applications.

Un grand nombre de méthodes ont été développées pour tenter de trouver le meilleur ordonnancement possible. Ces méthodes peuvent être regroupées en deux classes :

- les méthodes exactes qui trouvent une solution optimale et prouvent leur optimalité (approches analytiques, combinatoires ou optimales)
- les méthodes approchées qui fournissent une bonne solution sans garantie d'optimalité (heuristiques et méta-heuristiques)

##### *A- Méthodes exactes*

Les méthodes exactes les plus répandues pour résoudre ce problème sont les procédures de séparation et évaluation dédiées au problème.

- *Arbre de précédences* : Cette méthodes reprennent la notion d'exploration d'un arbre de précédences introduite par Patterson, Slowinski, Talbot et Weglaz [Patterson et al., 89]. Ces algorithmes permettent d'explorer un arbre dont chaque branche (de la racine à la feuille) correspond à une séquence possible

d'enchaînement des activités respectant les contraintes temporelles. Chaque nœud de l'arbre correspond à une affectation d'une date au plus tôt à une tâche qui est alors dite « ordonnancée ».

- « delay alternatives » : Cette méthode se base sur un arbre de précédences, mais contrairement à la méthode précédente, c'est un ensemble d'activités (dont les prédécesseurs sont déjà ordonnancés) qui est ordonnancé à chaque nœud. Cette méthode permet également d'annuler une décision d'ordonnancement prise à un niveau précédent. Cet algorithme [Chritofides et al., 87][Demeulemeester et al., 93] ajoute toutes les activités possibles et retranche celles qui créent une surcharge de ressources.
- « extensions alternatives » : Contrairement à la méthode delay alternatives, l'ensemble des activités élues sur un nœuds est un sous ensemble des activités éligibles qui respecte la capacité des ressources (pas de surcharge) [Kolisch et al., 97]
- « schedule schemes » : Cet algorithme [Brucker et al., 97] part d'un ensemble d'ordonnements réalisables et arrive à des feuilles de l'arbre ensembles vides. L'arborescence résulte des choix sur les relations flexibles (relation d'indifférence entre deux tâches) qui sont transformées en relations disjonctives (non exécutées simultanément) ou en relations parallèles (exécutées en parallèle).

## ***B- Méthodes approchées***

Un grand nombre d'heuristiques permettent de trouver rapidement des solutions au problème de minimisation de la durée totale du projet. Beaucoup de travaux approchent l'ordonnancement par des algorithmes gloutons basés sur des règles de priorité. Plus récemment, les méta-heuristiques (recherches locales) sont apparues. Ces deux types d'heuristiques sont les plus répandues dans la littérature. Des algorithmes performants sont présentés dans [Tormos et al., 01], [Hartmann, 02], [Merkle et al., 02], [Sprecher, 02] ou [Möhrling et al., 03]. Une classification minutieuse des heuristiques est présentée dans [Kolisch et al., 99] et [Hartmann et al., 00].

- Ordonnancement avec règles de priorités : Ces méthodes sont composées d'un générateur d'ordonnancement et de règles de priorités.  
*Le générateur d'ordonnancement* peut être série (nombre d'itérations égal nombre d'activités) ou parallèle (ordonnancement de toutes les activités en cours ou finies).  
*Les règles de priorités* affectent des priorités aux tâches afin de résoudre les conflits (lorsque plusieurs tâches sont candidates) en prenant la tâche de priorité maximum ou minimum suivant la règle.
- Métaheuristiques : Les métaheuristiques telles que les algorithmes génétiques, le recuit simulé ou la recherche Tabou sont utilisées en ordonnancement de projet. [Kolisch et al., 99] décrivent ces méthodes, leur application au RCSPS et cinq

représentations différentes d'une solution (liste d'activités, clé aléatoire, règles de priorités, vecteur de changement et aide de schedule schemes)

Les méthodes d'ordonnancement permettent de trouver un ordonnancement des tâches lorsque le projet n'est pas contraint par des ressources, ou lorsque des ressources lui sont allouées.

#### 4.2.3 Ordonnancement avec incertitudes

Ce paragraphe est largement inspiré de [Leus, 03].

Lors de sa réalisation, le projet est sujet à des incertitudes et est impacté par des événements perturbateurs qui peuvent conduire à de nombreuses modifications de l'ordonnancement des tâches. Cette incertitude peut provenir de différentes sources : activités prenant plus ou moins de temps qu'initialement estimé, ressource devenue indisponible, fournitures arrivant en retard, nouvelles activités à incorporer ou à supprimer suite au changement d'objectifs du projet, dates d'approvisionnements et dates de jalons (délivrables) modifiées, attente d'autorisations (sécurité, qualité, environnement...), mauvaise conditions météo, etc. La validité d'un ordonnancement unique optimisé est alors remis en question. [Goldratt, 97].

[Leus, 03] distingue les approches suivantes permettant de combiner la politique d'organisation du projet avec les incertitudes liés aux relations avec les clients, sous-traitants et fournisseurs (internes ou externes à l'entreprise) :

- **Ordonnancement dynamique** : S'il n'existe pas d'ordonnancement initial, la génération dynamique de l'ordonnancement au cours du temps est envisageable si la disponibilité des ressources est maîtrisée. [Yang, 96] montre que dans un environnement multi-projet, un ordonnancement déterministe sous faibles incertitudes peut être meilleur que des règles heuristiques purement réactives.
- **Ordonnancement de base et Ordonnancement réactif** : S'il existe un ordonnancement initial, celui-ci peut être nominal (basé sur le connu), robuste (basé sur l'anticipation et capable d'absorber une certaine quantité de perturbations) ou satisfaisant (respectant les niveaux minimum de tous les objectifs). Durant l'exécution du projet, un choix d'ordonnancement réactif devra être effectué.

L'ordonnancement réactif consiste à réviser ou à re-optimiser l'ordonnancement initial suite à un ou plusieurs événements. Pour remettre à jour l'ordonnancement du projet, trois approches impactant plus ou moins l'ordonnancement initial sont envisageables : actions localisées [Galvagnon, 00] , remise en cause complète de l'ordonnancement afin de toujours minimiser le makespan [Yang, 96], ou modification globale de l'ordonnancement tout en respectant les contraintes de

ressources préétablies (contexte multiprojets) [Artigues et Roubelat, 00]. [Vieira et al., 03] utilise la fréquence de ré-ordonnancement comme indicateur de performance de l'ordonnancement.

Les projets industriels utilisent actuellement systématiquement une planification initiale du projet malgré les incertitudes de l'environnement du projet. L'ordonnancement est alors généré pour servir de base à l'exécution du projet, à défaut d'être une exacte prédiction du déroulement du projet. Cet ordonnancement initial est la source de la communication et de la coordination nécessaires au sein de la chaîne logistique du projet interne et externe à l'entreprise, par exemple à travers ses fonctionnalités d'anticipation de l'allocation des ressources (environnement multiprojet) ou de planification des activités extérieures telles que la sous traitance et les fournisseurs. L'ordonnancement initial doit donc nécessairement être connu avant le début du projet afin que les différents intervenants (clients, fournisseurs, employés, ressources...) soient en mesure d'agréer les dates les concernant.

- ***Méthodes pour l'ordonnancement robuste :***

Pour limiter le processus de révision de l'ordonnancement initial, une autre solution consiste à chercher un ordonnancement robuste, c'est à dire un ordonnancement qui est capable d'absorber une certaine quantité de perturbations.

Ordonnancement stochastique de projet : De nombreuses contributions ce sont concentrées sur l'étude des RCPSP stochastiques, mais d'autres abordent des sujets comme l'interruption stochastique d'activités, le problème stochastique discrétisé du compromis coûts / délais ou encore le problème stochastique de compromis entre les différentes méthodes.

GERT : Cette méthode se base sur une évolution stochastique de la structure du réseau (cycles possibles) [Neumann, 99], contrairement à l'ordonnancement stochastique de projet qui n'accepte pas l'évolution de la structure du réseau.

Ordonnancement flou de projet : Cette méthode permet d'utiliser des nombres flous pour modéliser la durée des activités, à la place de variables stochastiques, pour prendre en compte les incertitudes.

Plus récemment la « stabilité et la robustesse de la solution » sont apparus comme un point central en ordonnancement de projet [Herroelen et al., 04] : le problème de la dynamique liée à l'ordonnancement à horizon glissant devient alors essentiel.

## 4.3 Gestion de projet et risques

### 4.3.1 Gestion des risques dans les projets

#### 4.3.1.1 *Notion de risque et référentiel*

Le dictionnaire définit le risque comme étant un « danger éventuel plus ou moins prévisible ». Le risque est donc vu dans notre société comme un événement négatif ou ayant des répercussions néfastes. Un aléa est perceptible dès qu'un différentiel existe entre ce que je pensais, et ce qui est arrivé.

Au sein de l'entreprise, les risques sont perçus comme des événements susceptibles de perturber la réalisation des objectifs, et qui pourraient mettre en danger la pérennité et/ou l'indépendance de l'entreprise. L'aspect négatif se retrouve ici, mais il ne faut pas considérer un risque comme définitivement mauvais et dommageable. Au contraire, un risque potentiel identifié peut, s'il est bien géré, avoir de très bonnes répercussions pour l'entreprise et lui être profitable, on parlera alors d'opportunité.

L'AFITEP définit le risque comme étant « la possibilité qu'un projet ne s'exécute pas conformément aux prévisions de dates d'achèvements, de coûts et/ou de spécifications, ces écarts par rapport aux prévisions étant considérés comme difficilement acceptables, voire inacceptables »

On doit considérer qu'il y a toujours un risque, mais un risque identifié est à moitié écarté. En effet, il est possible d'agir pour diminuer le risque s'il est connu, mais le risque existera toujours. On ne se débarrasse pas d'un risque, on le gère.

Le mot risque en français semble être employé couramment pour parler indifféremment d'un événement à la fois en termes de probabilité d'apparition, d'événement avéré, ou de conséquences.

Dans la littérature, on ne retrouve pas vraiment de consensus linguistique. Chaque ouvrage définissant plus ou moins les notions regroupées sous les termes « risque », « gestion des risques », « maîtrise des risques ».

On peut néanmoins définir les notions suivantes :

- **Aléa** : Evénement perturbateur,
- **Impact d'un aléa** : Conséquences possibles ou avérées d'un aléa sur les objectifs ou le bon déroulement du projet,
- **Risque** : Aléa potentiel et son impact,
- **Gérer les risques** : Analyser et Maîtriser les risques
- **Analyser les risques** : Identifier les aléas potentiels, Quantifier et Hiérarchiser les risques,
- **Maîtriser les risques** : Prévoir et/ou Mettre en place les actions permettant de réduire la probabilité d'occurrence des aléas, leur impact, ou augmenter leur détectabilité.

#### 4.3.1.2 Etapes de la gestion des risques

La Figure 4.3 présente le cycle de vie de la gestion des risques tout au long d'un projet aussi bien en phase d'élaboration qu'en phase d'exécution en reprenant les étapes clés.

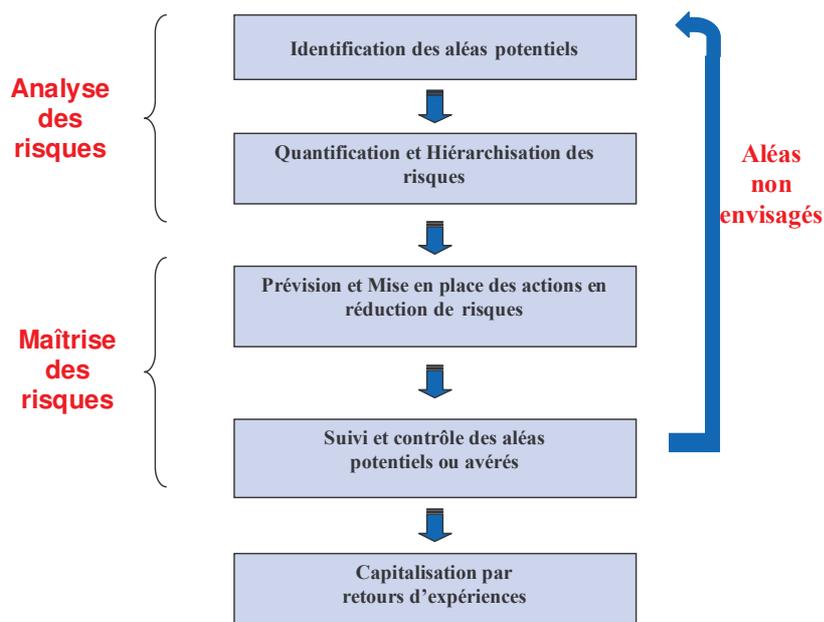


Figure 4.3. Enchaînement des étapes de la gestion des risques

#### A- Identification des aléas potentiels

L'identification des risques est une étape majeure de la gestion des risques. En effet, plus le risque est identifié rapidement, plus la réponse à apporter sera adaptée et aura des chances d'être efficace. Le but de cette étape est donc d'identifier le maximum d'aléas pouvant entraîner une perturbation sur les objectifs du projet, et de créer les fiches de risques associées. Pour ce faire, toutes les parties prenantes du projet doivent participer à l'identification des aléas potentiels pour leur part de responsabilité.

Plusieurs approches permettent d'identifier les risques :

a- L'approche **intuitive**, où l'identification est déclenchée par un malaise ressenti et/ou des questions que se pose un responsable de projet face à des événements ou des situations inquiétantes. Cette approche est superficielle et porteuse d'inquiétudes.

b- Les approches **logiques** :

- Qui partent des causes et en déduisent les conséquences. Les Méthodes AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité) et APR (Analyse Préliminaire des Risques) sont basées sur cette approche ;
- Qui partent des conséquences et en déduisent les causes (Arbres de Défaillances) ;
- Les méthodes stochastiques utilisant les chaînes de Markov, les Réseaux de Petri ou Monté-Carlo sont utilisées pour simuler les scénarios possibles de déroulement du projet.

c- Les approches par **dires d'experts** :

- En suivant une *Check-list* établie en fonction du type de projet et des retours d'expériences capitalisés. Mais une certaine similitude des projets est nécessaire, et l'aspect restrictif de cette méthode peut occulter certains aspects ;
- En effectuant des *brainstorming* ;
- En associant les dires d'experts aux autres approches. Cette façon de procéder est très répandue dans l'industrie.

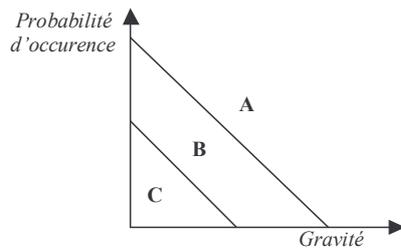
## **B- Quantification et Hiérarchisation des risques**

L'objectif de cette étape est de classer l'impact des aléas potentiels du projet par ordre de grandeur afin d'identifier les risques majeurs et/ou inacceptables.

La quantification permet d'évaluer l'importance d'un risque en lui associant une valeur représentant l'importance du risque dans le référentiel considéré. Ce référentiel, ou échelle de valeurs, doit être commun non seulement à tous les risques du projet, mais également à tous les projets de l'entreprise afin de permettre de comparer et de réutiliser les données capitalisées. Pour hiérarchiser les risques on réutilise les valeurs issues de la quantification et on les associe à des critères. La mise en place d'un seuil d'acceptabilité au-dessous duquel les risques ne seront pas traités par l'entreprise est un exemple de critère.

La quantification et la hiérarchisation des risques peuvent être abordés différemment au cours des phases d'élaboration et d'exécution du projet.

- Pour la phase d'élaboration du projet, la quantification peut être effectuée en considérant les facteurs de probabilité d'occurrence et de gravité des risques associés aux macro-tâches. Cette démarche permet d'aborder les risques par une approche globale du projet. Une hiérarchisation en trois catégories peut alors être envisagée comme sur la Figure 4.4 ci-dessous :



**Zone A** : Indispensables de ramener ces risques en zone B

**Zone B** : Nécessité de les prendre en compte

**Zone C** : Eventuellement à prendre en compte

Figure 4.4. Exemple de hiérarchisation des risques

- En phase de réalisation, il est possible de quantifier plus finement en calculant la criticité des tâches élémentaires ( $\text{Criticité} = \text{Gravité} * \text{Occurrence} * \text{Déteçtabilité}$ ), de hiérarchiser par ordre décroissant, puis d'appliquer la règle 80/20 pour déterminer les risques à traiter. Cette règle s'appuie sur l'hypothèse que si les 20% d'actions en réduction de risques correspondant aux risques majeurs du projet sont menés à bien, alors les risques encourus sur la totalité du projet vont être diminués de 80%.

### ***C- Prévision et Mise en place des actions en réduction de risques***

Après avoir identifié, quantifié et hiérarchisé les risques, il faut réduire leur impact. Pour cela, il faut commencer par identifier les actions en réduction de risques et prévoir les circonstances de leur mise en place. L'objectif de ces actions est de rendre les risques encourus acceptables dans le cadre du projet en améliorant la maîtrise de l'impact des aléas majeurs.

Cependant, il n'existe pas une action prédéfinie associée à un risque, mais deux grandes catégories d'actions, préventives ou curatives, se conjuguent pour réduire les risques en fonction de leur nature et de la démarche mise en œuvre au sein de l'entreprise.

Les actions sont déterminées en fonction du contexte et de l'expérience des personnes qui les envisagent. Ensuite, seules les actions jugées prioritaires vont être mises en place lors des deux phases du projet. Mais il est important d'avoir identifié toutes les actions permettant de réduire les risques pour deux raisons principales :

- Il est préférable d'être préparé aux risques qui peuvent survenir au cours du projet et d'avoir analysé à froid les actions possibles en fonction des cas de figures envisagés.
- Une vision globale et précise des aléas potentiels et des réponses possibles permettra aux responsables de prendre des décisions plus cohérentes tout au long du projet.

Les possibilités d'actions à envisager lors des deux phases du projet ne sont pas du même ordre. Des actions envisageables en phase d'élaboration du projet sont par exemple d'externaliser les risques, d'améliorer le niveau d'information et la connaissance du projet, de couvrir financièrement les risques. En phase d'exécution du projet des actions envisageables sont par exemple d'établir des règles et des procédures, d'intervertir des tâches, de mobiliser des ressources complémentaires, de modifier l'organisation et de réviser les hypothèses techniques.

#### ***D- Suivi et Contrôle des aléas potentiels ou avérés***

A chaque aléa identifié a été associée une action. Mais ces actions en réduction de risques identifiées ont désormais deux statuts distincts suivant qu'elles ont été mises en place ou non. Les actions mises en place doivent être suivies pour vérifier leur efficacité et leurs dérives éventuelles. Cette démarche permet de s'assurer que l'impact (le résultat) des actions est bien celui escompté. Ces résultats sont d'autant plus importants à atteindre qu'ils portent sur les risques considérés comme majeurs du projet.

#### ***E- Capitalisation par retours d'expériences***

La capitalisation a pour objectif de conserver les expériences et les savoir-faire acquis par l'entreprise pour les réutiliser. Cette démarche de capitalisation permet d'enrichir la mémoire collective de l'entreprise.

La gestion des risques permet une forte capitalisation tout au long du projet. En effet, lors de la phase d'identification, des « fiches de risque » vont être créées pour chacun d'eux et seront renseignées tout au long du projet. Les évolutions du risque et les prises de décision associées y seront mentionnées. Les informations recueillies viendront naturellement enrichir la base de connaissance pour les prochains projets.

#### ***4.3.1.3 Limites de la démarche***

##### ***A- Limites liées à la prévention des risques***

Les données recueillies et l'identification des causes et des conséquences sont parfois incomplètes et entachées d'erreurs car les risques sont variés. De plus, l'évaluation de l'impact de ces aléas repose sur le niveau d'expérience de l'entreprise et des analystes en matière de risques, et elle est fonction de la comparabilité des projets liée essentiellement à un environnement général stable. Cette stabilité peut d'ailleurs conduire à se limiter aux acquis et à privilégier la mise en place d'actions connues et répertoriées, alors qu'elles ne sont pas pertinentes pour le nouveau projet.

##### ***B- Limites liées aux dires d'experts***

Les dires d'experts conditionnent en partie la bonne gestion des risques d'un projet car ils interviennent dans des phases essentielles du processus (identification, quantification et hiérarchisation). Il faut donc également tenir compte que leurs dires sont subjectifs, issus de l'évaluation ponctuelle d'une situation donnée en fonctions des informations détenues, et liés à leur expérience personnelle et leur sensibilité propre.

L'obtention d'un consensus entre des experts d'horizons et de métiers différents permet de pallier ces inconvénients.

#### **4.3.1.4 Impact de la gestion des risques**

La gestion des risques permet d'anticiper les aléas potentiels d'un projet et de prendre des décisions de façon sereine et posée tout en envisageant objectivement l'impact de ces décisions. Une décision prise dans ces conditions a plus de chances d'être efficace que si elle est prise dans le feu de l'action. En effet, le recul aurait peut être permis de ne pas choisir une action « pompier » qui pare au plus pressé et qui résout le problème à court terme dans le meilleur des cas, mais dont les effets à moyen termes n'ont pas été envisagés.

La gestion des risques permet donc de prendre des décisions avant d'être confronté directement à l'aléa tout en ayant une vue globale du projet et en pouvant se reposer sur l'avis d'experts.

C'est également la dynamique d'amélioration continue engendrée par la méthode qui apportera à chaque acteur du projet une vision plus globale du projet, et qui permettra donc à chacun d'envisager les impacts de ces décisions pour les autres acteurs, rendant ainsi l'ensemble des décisions plus cohérentes entre elles.

#### **4.3.2 Démarches de gestion des risques**

De nombreux industriels ont développé, autour de la gestion des risques, des méthodes et des outils adaptés spécifiquement à leurs domaines ou à leurs besoins [Courtot, 98], comme Renault [Bensoussan, 91] ou Honeywell [Bedillion, 99].

On peut citer par exemple la méthode « Estimation Risk Analysis » qui a été développée chez Rhone-Poulenc pour faciliter la prise de décision d'investissements. D'autre part, la méthode « Analyse de Risques en Opérations » qui privilégie nettement les objectifs de spécifications techniques a été mise au point au CNES/Arianespace. Enfin, la « Méthode de Management des Risques » qui permet de mesurer l'efficacité du processus de développement qui conditionne la qualité du produit a été développée chez Siemens Automotive.

Ces exemples montrent la diversité des applications rendues possibles par l'utilisation de la gestion des risques.

Notre domaine d'étude se situe à l'intersection de plusieurs grands axes de recherche tels que la modélisation de l'incertitudes sur les données, la gestion des risques, la planification ou le management de projet.

On va présenter ici la méthode AMDEC et notamment l'AMDEC planning plus orientée projet et qui seront adaptés dans le cadre de ce travail.

#### 4.3.2.1 Méthode AMDEC

L'Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) est une méthode d'analyse préventive des risques basée sur l'expertise et le retour d'expérience cultivé au sein de l'entreprise. Son objectif est de prévoir les problèmes pour pouvoir les éviter ou limiter leurs impacts à l'aide d'actions préventives ou curatives. De nombreuses méthodes développées par les industriels sont basées ou dérivées de cette méthode.

Quatre étapes permettent de mettre en œuvre la méthode AMDEC :

- 1- **Identifier les risques d'aléas :** Cette première étape revêt une importance considérable car elle permet d'identifier et de recenser l'ensemble des aléas potentiels portés par le projet. C'est sur cette liste d'aléas potentiels mis en évidence que va s'appuyer le reste de la méthode, d'où l'importance de ne pas avoir omis les aléas les plus néfastes pour le projet.
- 2- **Quantifier et hiérarchiser l'impact des aléas identifiés :** La quantification vise à associer une valeur à un aléa en fonction de son impact estimé sur le projet. Pour ce faire, les valeurs d'occurrence de la cause, de détectabilité des effets et la gravité des conséquences sont évaluées. La multiplication de ces trois valeurs permettra de quantifier la criticité de l'aléa. C'est ensuite en fonction de cette criticité que les aléas seront hiérarchisés les uns par rapport aux autres afin de mettre en exergue les risques les plus critiques.
- 3- **Prendre en compte les risques :** Pour parer aux risques jugés importants par l'entreprise, des actions en réduction de risques vont être mises en place de façon curative ou préventive. Ces actions définies avec soin et par anticipation devront avoir un impact bénéfique sur le projet visant à parer au mieux les risques traités.
- 4- **Capitaliser par retours d'expériences :** L'ensemble des aléas, de leurs impacts, des actions identifiées, et de l'effet des actions mises en place seront capitalisés. Cette capitalisation permettra de s'appuyer sur une base de connaissances lors d'un prochain projet. C'est toute la connaissance et le savoir-faire de l'entreprise en matière de risques qui seront regroupés et rendus exploitables.

L'inconvénient majeur de cette méthode AMDEC réside dans le fait qu'elle nécessite une capitalisation et une réactualisation permanente au cours du projet. Mais c'est également ce qui en fait sa force car cette réactualisation crée une dynamique d'amélioration continue et augmente la vigilance des participants. Par ailleurs, elle permet une capitalisation des connaissances qui sera très utile en planification dans les phases de suivi.

#### **4.3.2.2 AMDEC-Planning chez Renault**

L'entreprise Renault a abordé la gestion du risque délai d'un projet à la fois par une approche simulatoire stochastique et par la méthode de l'Amdec-planning. L'objectif visé est de déceler les tâches à risques et d'en appréhender les conséquences. L'approche simulatoire est basée sur l'utilisation de la méthode de Monté-Carlo et la programmation du projet sous forme de graphe Potentiel-Tâches. La démarche consiste à procéder à une analyse quantitative de la variabilité de la durée d'un projet, induite par la variabilité de la durée des différentes tâches du projet [Courtot, 91]. Cette approche prend en compte uniquement les contraintes potentielles (contraintes d'antériorité et de localisation temporelle). Les ressources ne sont donc pas prises en compte.

Cette démarche permet de hiérarchiser les problèmes et de prendre en compte plusieurs chemins critiques, mais ne considère pas les ressources et ne fournit aucune indication pour guider l'action du décideur.

La méthode AMDEC-Planning [Bensoussan, 91] vise à aider les responsables de projet à envisager les situations de défaillance de leur planning, et à définir les mesures préventives ou curatives destinées à respecter les délais. L'objectif premier est de détecter les principales causes de défaillances du planning et leurs effets, et de les hiérarchiser en utilisant l'AMDEC pour ne retenir que celles ayant une forte influence sur le respect de la date finale du projet. Le deuxième consiste à proposer des scénarios préventifs, des chemins dans le graphe Potentiel-Tâches, permettant d'anticiper les incohérences ou dérives éventuelles.

A la fin de cette démarche, le planning schématise une panoplie de solutions alternatives basées sur l'expérience et qui permet l'étude de scénarios préventifs tout en dressant la cartographie des chemins possibles ou impossibles pour le développement du projet.

## **4.4 Conclusion**

Dans le domaine de la planification et de l'ordonnancement de projet, de nombreux travaux se sont intéressés au problème d'ordonnancement déterministe de projet avec contraintes de ressources et aux problèmes d'ordonnancement de projet dans le cadre d'une production à la commande. De nombreuses méthodes exactes et heuristiques ont été décrites dans la littérature. Elles sont proposées pour différents critères d'optimisation qui ont été identifiés comme important pour les applications. Plus récemment la « stabilité et la robustesse de la solution » sont apparus comme un point central en ordonnancement de projet.

Notre revue de la littérature montre qu'il existe de nombreux travaux avancés sur l'ordonnancement de projet avec contraintes de ressources et qui s'intéressent notamment à la gestion des ressources critiques. Par ailleurs le problème de la coopération au sein d'une chaîne logistique projet, qui s'affirme dans de nombreuses analyses qualitatives comme un

des paramètres importants de la performance de la chaîne, est actuellement très peu étudié (si ce n'est au niveau de la mise en œuvre de protocoles informatiques d'échanges d'information).

Nous avons également vu que lors de sa réalisation, un projet est impacté par des événements perturbateurs qui peuvent conduire à de nombreuses modifications de l'ordonnancement des tâches. Les démarches de gestion des risques permettent d'introduire une dynamique d'amélioration continue à la gestion de projet, ainsi qu'une capitalisation des connaissances qui sera ré-exploitée pour planifier. Elles s'appuient sur des outils structurant tels que l'AMDEC qui peuvent servir de base à une adaptation dédiée aux problématiques spécifiques de gestion des délais.



## PARTIE 3

Coopération entre  
donneur d'ordres et sous-traitant :

Une approche par Simulation.



## ***Introduction***

Notre objectif est d'analyser le processus de réservation d'une ressource stratégique par un donneur d'ordres en charge d'un projet et d'un sous-traitant en charge de la planification de la ressource.

Au cours du projet dont le donneur d'ordres est en charge, une série de réservations de créneaux de la ressource stratégique du sous-traitant s'enchaînent selon un processus de réservation plus ou moins formalisé entre les deux acteurs. Par ailleurs, les acteurs de la relation de sous traitance sont soumis à des contraintes engendrées par les différentes chaînes logistiques des deux acteurs. L'analyse de la relation donneur d'ordres / sous-traitant, et plus précisément du processus de réservation de la ressource stratégique, doit donc prendre en compte ces contraintes extérieures.

Pour mener à bien cette étude, un outil de simulation du processus de réservation basé sur la modélisation des comportements des acteurs de la relation a été développé pour permettre d'évaluer l'impact des politiques de gestion et de coopération des deux acteurs de la relation.

L'objectif de cet outil est alors de permettre d'évaluer la performance de différents comportements du donneur d'ordres et du sous-traitant au sein de leur relation de coopération pour la réservation d'un créneau de ressource. Pour cela, il est associé à une démarche de mise en œuvre qui s'appuie notamment sur une méthodologie de gestion des risques.



## ***Chapitre 5. Aide à la décision : Une approche par simulation.***

### **5.1 Evaluation de performance de la relation de sous-traitance au sein de la chaîne logistique projet**

La gestion des chaînes logistiques suppose une approche transversale entre plusieurs centres de décision interdépendants. Dans ce contexte, pour justifier ou initier les rapprochements qui doivent être réalisés entre deux centres de décision au sein de la chaîne logistique, nous nous intéressons à un maillon de la chaîne et plus précisément à une relation entre un donneur d'ordres et un sous-traitant de spécialité.

La réservation d'un créneau de ressource entre le donneur d'ordres et le sous-traitant s'appuie sur une démarche de réservation. Pour les deux centres de décision en possession d'un plan initial de leurs activités, le processus de planification consiste à synchroniser leurs plans sur la réservation d'un créneau de ressource. Chacun remet en cause son propre plan en gérant l'ensemble de sa charge de travail à son propre niveau de détail, tout en intégrant le créneau de ressource réservé. Ce processus de planification, bien qu'impactant les deux acteurs, n'est pas abordé de façon similaire par chacun d'eux.

A un instant donné, chaque acteur se trouve dans une situation où il doit faire des choix tactiques en termes de respect d'une part de ses objectifs internes purs et d'autre part des objectifs communs, tout en considérant leurs impacts sur ses propres objectifs voir sur ceux de son partenaire. Ces choix sont effectués en fonction des objectifs à atteindre, de l'état dans lequel se trouve l'acteur, des comportements et des politiques mises en œuvre au sein de la relation et du degré de prise en compte du partenaire.

Notre approche vise à répondre au besoin des acteurs d'anticiper et de mesurer l'influence de leurs comportements, en termes de délais, sur le créneau de ressource réservé, et donc sur leurs activités, tout en leurs restituant les impacts de leurs comportements plus ou moins coopératifs.

### **5.1.1 Relation coopérative de sous-traitance**

La chaîne logistique est ici abordée à travers l'étude de la relation existant entre un donneur d'ordres et l'un de ses sous-traitants de spécialité dans la mise en œuvre d'un grand projet de conception ou de production unitaire.

Considérer la relation permet de dépasser les limites individuelles d'un centre de décision de la chaîne logistique en envisageant des décisions ou des modes de fonctionnements collectifs. L'étude de cette relation n'a de sens que dans le cadre d'un objectif commun partagé entre les deux acteurs de la relation.

Dans le cadre de la relation étudiée entre le donneur d'ordres et le sous traitant, l'objectif commun correspond à la réalisation de l'activité sous-traitée en prenant en compte les objectifs et les contraintes des deux acteurs.

Pour atteindre cet objectif, les deux acteurs doivent se coordonner, collaborer, coopérer et donc établir une relation donneur d'ordres / sous-traitant. La disparité des objectifs individuels peut agir comme un déstabilisateur de la relation incarnée par l'objectif commun.

Par contre, le renforcement de l'objectif commun en une volonté commune de satisfaire les objectifs partagés par les deux acteurs est potentiellement un facteur stabilisant de la relation. Nous avons identifié l'objectif global de la relation au sein de la relation de sous traitance : Minimiser l'insatisfaction maximale.

L'atteinte de cet objectif passe par la prise en compte des moyens suivants par les deux acteurs :

- minimiser les perturbations sur les activités de chacun en gérant conjointement les aléas potentiels et en réduisant leurs impacts (par anticipation),
- améliorer la visibilité du partenaire sur ses propres activités sans nuire à la confidentialité.

En définitive, chaque acteur se trouve dans une situation où il doit faire des choix tactiques en termes de respect et de ses contraintes internes pures, tout en cherchant à atteindre les objectifs communs et en considérant leurs impacts sur ses objectifs locaux. Ces choix sont également effectués en fonction de l'état dans lequel se trouve l'acteur et en fonction des comportements et des politiques mis en œuvre par les deux acteurs de la relation.

Pour effectuer cette prise de décision, les acteurs expriment le besoin d'anticiper les évolutions possibles de la relation. Notre objectif est de donner aux acteurs les moyens d'anticiper et de leur fournir ainsi une aide à la décision.

### 5.1.2 Aide à la coopération

L'aide à la coopération repose sur l'aide à la décision apportée aux acteurs de la relation. Cette aide à la décision permet à chaque acteur de prendre une décision en mettant en œuvre des mécanismes de prise de décision.

[Sim, 77] décrit un processus itératif qui découpe la prise de décision en quatre activités fondamentales :

- L'identification, c'est à dire surveiller dans l'environnement les informations que l'on considère nécessaires à la décision,
- La conception, qui consiste à organiser et modéliser les informations retenues de façon à disposer des solutions possibles pour résoudre le problème,
- L'évaluation, qui consiste à déterminer à l'issue du choix la qualité de la prise de décision,
- Le choix, c'est à dire effectuer une sélection parmi les solutions établies.

La prise de décision repose sur la qualité et la quantité des informations et sur l'aide apportée comme support de la prise de décision. [Roy, 92] définit de manière générale l'aide à la décision comme « *l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part.* »

Par exemple, les prises de décision permettant de conduire le projet sont basées sur différentes activités fournissant une aide à la décision, comme représenté Figure 5.1.

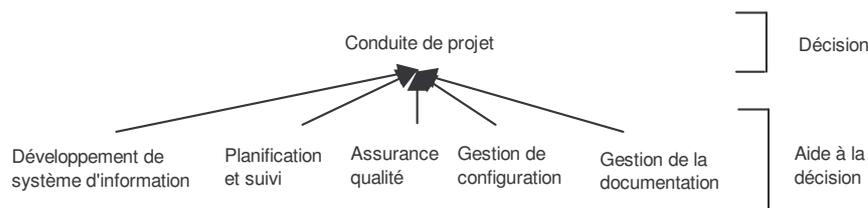


Figure 5.1. Activités fournissant une aide à la décision pour la conduite d'un projet.

Dans le domaine de la gestion des chaînes logistiques, [Bel, 98] et [Thierry, 03] précisent que l'aide à la décision peut être envisagée selon deux méthodes :

- Une méthode générative : Il s'agit de déterminer les valeurs de certaines variables d'un système compte tenu de contraintes et de critères afin de rechercher une solution.

La modélisation du système couplée à une méthode de génération ont alors pour but de fournir une solution qui pourra directement être mise en œuvre par le décideur.

- Une méthode évaluative : Cette approche est basée sur l'évaluation d'une solution envisagée pour un problème de décision. La solution a été imaginée par le décideur qui évalue ensuite ses performances par simulation.

Notre problème est de déterminer les « meilleures » politiques de coopération au sein de la relation entre le donneur d'ordres et le sous-traitant. Or il paraît difficile de générer automatiquement ces politiques à partir d'un modèle de relation car cela nécessiterait de mettre en œuvre des méthodes générales et de pouvoir déterminer a priori les critères d'optimisation et les paramètres à prendre en compte.

Pour fournir une aide à la décision aux acteurs de la relation de sous-traitance, nous avons donc choisi la méthode évaluative. L'idée est de permettre de tester différents comportements de réservation de créneau et d'évaluer leurs impacts en dynamique.

Notre étude des projets industriels nous a permis d'acquérir un niveau de connaissance détaillé en termes de problématiques et de comportements du donneur d'ordre. L'approche par simulation de la relation donneur d'ordre sous-traitant est donc centrée sur le donneur d'ordres.

### 5.1.3 Evaluation de performance

Le schéma général de l'approche par évaluation de performance ([Bel, 98]) est décrit par la Figure 5.2. Cette méthode permet d'analyser les performances des différentes solutions envisagées et leur dynamique et fournit ainsi un support à la décision.

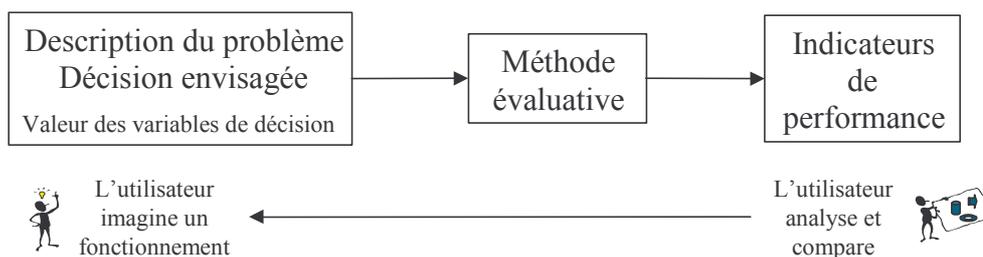


Figure 5.2. *Evaluation de performance pour l'aide à la décision*

Plus précisément, notre objectif est de permettre aux acteurs d'évaluer leurs politiques de coopération, et ce dans le cadre d'une production de type unitaire (projet) et un sous-traitant de spécialité. L'évaluation portera en pratique sur la performance des politiques de réservation de créneau mis en œuvre par les deux acteurs. Cette approche, basée sur les comportements

des deux acteurs, évalue d'une part l'action coopérative de réservation et d'autre part la planification de leurs activités tout au long de la relation. (Figure 5.3)

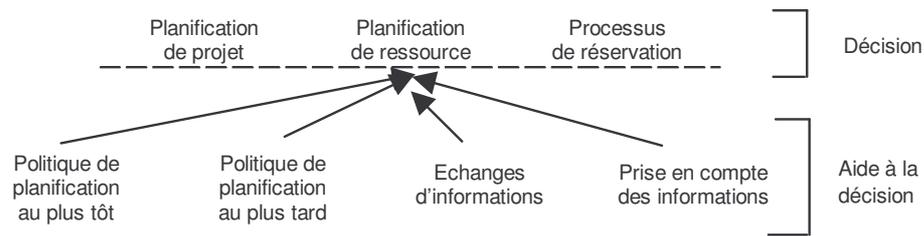


Figure 5.3. *Activités fournissant une aide à la décision pour la conduite de la relation*

En bref, il s'agit de permettre au décideur d'évaluer les performances de différentes politiques de réservation de créneau de ressource en fonction des processus coopératifs de re-planification couplés aux échanges d'informations avec l'autre acteur.

Dans le cadre de l'étude de la relation entre le donneur d'ordres et le sous-traitant de spécialité, l'aide à la décision fournie se traduit par l'évaluation des impacts des politiques déployées par les acteurs de la relation, notamment en termes de performances délais. Cette aide à la décision porte à la fois sur la réservation dynamique du créneau de ressource et sur les re-planifications successives des activités de chaque acteur.

L'évaluation de performance de la relation de sous traitance au sein de la chaîne logistique projet sera utilisée pour la mise au point de politiques de coopération élaborées conjointement par les deux acteurs.

## 5.2 L'approche par simulation à événements discrets

Pour répondre aux besoins identifiés par l'analyse de la relation entre un donneur d'ordres et un sous-traitant de spécialité (chapitre 2), nous avons choisi de concevoir le prototype d'un outil de simulation de la dynamique de cette relation, de type simulation à événements discrets.

Ce type de simulation consiste à reproduire, à l'aide d'un modèle, et pas à pas, l'évolution de l'état du système au cours du temps et sur un horizon donné. « *L'un de ses principaux avantages vient du fait qu'elle permet de prendre en compte, dans l'évaluation des performances, les règles ou les algorithmes de conduite.* » [Bel, 98]

L'outil a pour but de permettre aux deux acteurs de simuler des politiques de coopération pour la réservation d'un créneau de ressource. Par politique de coopération, nous entendons les informations qui sont échangées, la manière dont elles sont traitées par les deux acteurs de la relation ainsi que leurs comportements respectifs de planification.

Notre approche s'est focalisée sur le développement du processus coopératif de planification du donneur d'ordres avec le sous traitant. Nous voulons tout d'abord tester la faisabilité d'une telle approche par simulation.

Nous ne focalisons pas sur le processus de planification du donneur d'ordre. Ainsi l'outil met en œuvre des méthodes de planification classiquement utilisées par un manager de projet qui manipule des outils tels que MS-Project. Le prototype pourra ensuite être étendu à des méthodes de planification ou des comportements plus évolués.

### 5.2.1 Evénements de la simulation

Pour reproduire l'évolution de l'état du système au cours du temps, une méthode du type « prochain événement » avance le temps par saut d'événements en événements et ce sur un horizon de simulation donné.

Cette méthode a l'avantage de ne générer que les dates auxquelles un changement d'état doit être effectué, contrairement à une méthode d'avance de temps à pas constant (incrément temporels) où le nombre d'événements est déterminé par l'horizon de planification et l'amplitude du pas en termes de durée. En effet le déclenchement de la politique de changement d'état du système peut être déclenchée soit à période fixe soit à période variable.

Pour utiliser cette méthode, on a recours à un échéancier. C'est une liste qui contient tous les événements prévus du système et leurs dates d'occurrences. Les dates d'occurrences des différents événements sont calculées dans l'ordre croissant de leur occurrence afin d'ordonner la liste de l'échéancier.

L'échéancier est utilisé comme chef d'orchestre de la simulation qui active l'acteur de la relation en fonction de la nature et de la date de l'événement. L'acteur réveillé effectue ses changements d'états qui génèrent éventuellement de nouveaux événements qui seront classés chronologiquement dans l'échéancier. La simulation est alors constituée d'une succession de changements d'états jusqu'à ce que l'horizon de simulation soit atteint ou que l'échéancier soit vide.

Les événements périodiques de la simulation sont :

- *Validation du créneau de ressource réservé (DO+ST)* : Ces rendez-vous constituent des jalons de suivi au cours desquels la pérennité du créneau réservé sera validée ou non. Les deux acteurs s'entendent donc pour vérifier la validité du créneau réservé à des dates précises, jusqu'à ce que la tâche soit terminée. Les activités des deux acteurs sont donc synchronisées sur des dates de rendez-vous communes qui définissent le

calendrier de suivi prévisionnel du créneau de ressource réservé. Cette synchronisation se base sur une démarche classique de suivi d'avancement de projet..

- *Révision de la planification du projet (DO)* : Le donneur d'ordres peut ainsi fixer la période de révision lui permettant d'effectuer le suivi de son projet (sur la durée du projet)
- *Révision périodique de la ressource (ST)* : Ce type d'événement déclenche la vérification par le sous-traitant de la planification de sa ressource. La période de révision doit donc être fixée avant le lancement de la simulation.
- *Aléas (ALEAS)* : Cet événement correspond à un aléa majeur ou un ensemble d'aléas avérés impactant le donneur d'ordres ou le sous traitant.

Un exemple d'événements générés lors d'une simulation est présenté Figure 5.4. Les événements sont regroupés selon leur nature et présentés chronologiquement.

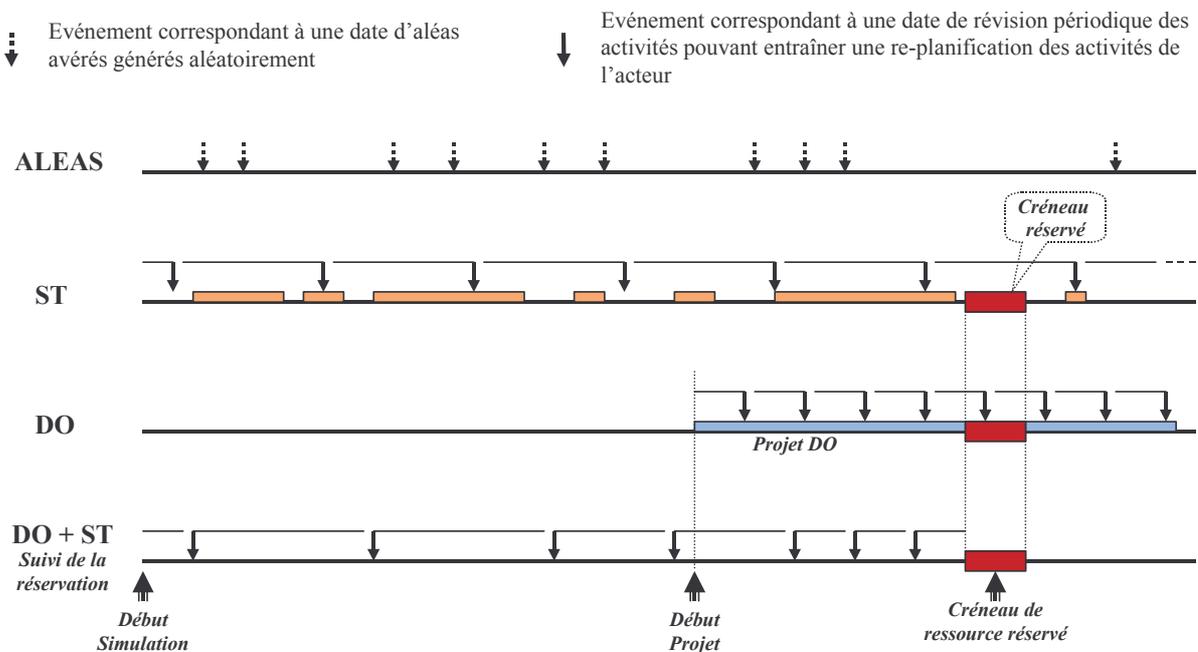


Figure 5.4. Exemple d'événements discrets générés pour une simulation.

Les deux figures ci dessous illustrent la dynamique des re-planifications successives du donneur d'ordres (Figure 5.5) et du sous-traitant (Figure 5.6) suite à l'activation d'éléments de la simulation les impactant (aléas avérés).

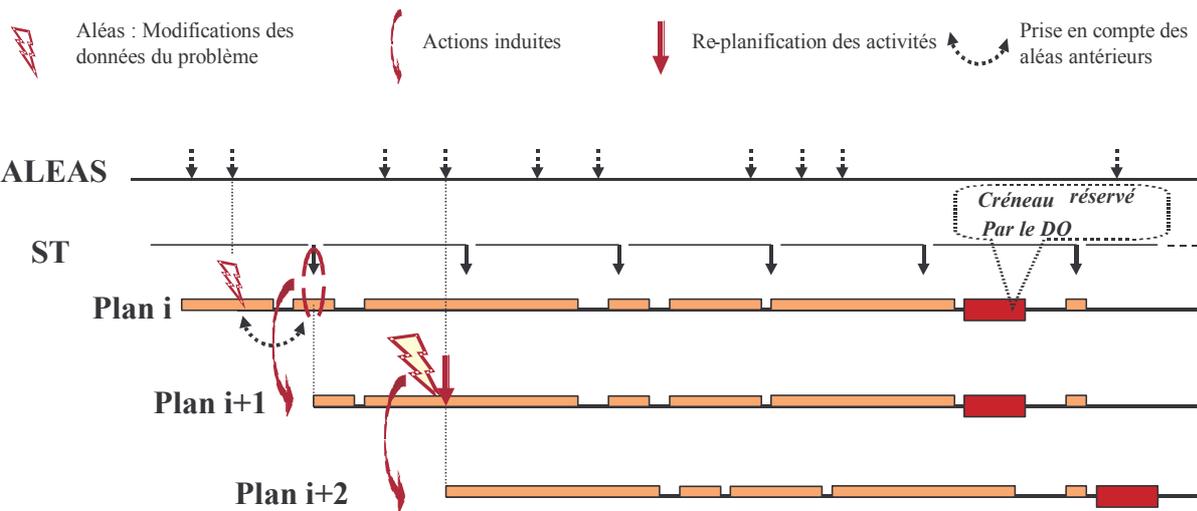


Figure 5.5. Re-plannifications à horizon glissant du sous traitant

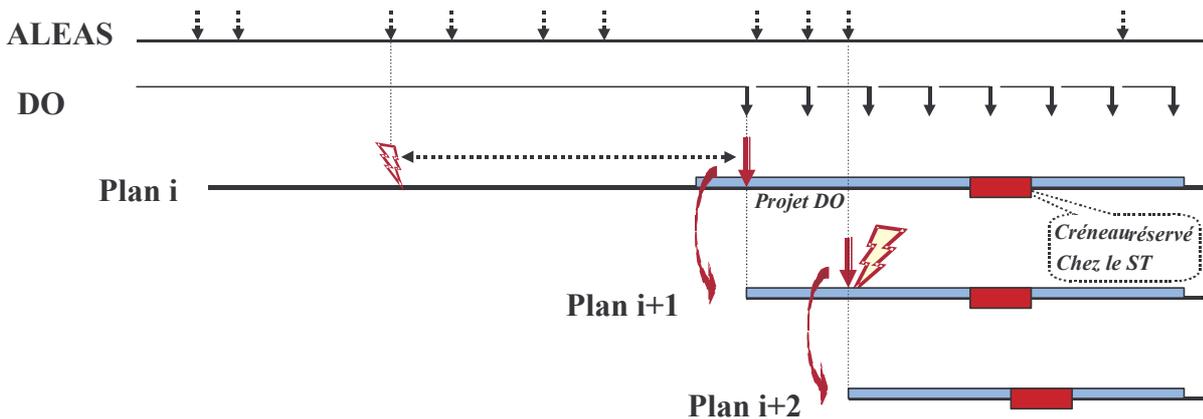


Figure 5.6. Re-plannifications à horizon glissant du donneur d'ordre

Lors de chaque événement de la simulation, l'acteur activé est susceptible de re-planifier ses activités, ce qui peut le conduire à remettre en cause le créneau de ressource réservé au sein de la relation. Dans ce cas, une nouvelle démarche de réservation de créneau est initiée. Les réservations de créneaux s'enchaînent ainsi tout au long de la simulation.

## 5.2.2 Déroulement de la simulation

Suite à un événement à l'instant  $t_{k-\Delta k}$ , les données relatives au projet du donneur d'ordres ainsi que les créneaux de ressource du sous-traitant sont actualisés.(Figure 5.7)

Les acteurs sont alors en mesure d'exprimer leurs besoins et leurs possibilités qui seront traités par le modèle de réservation de créneau, afin de converger vers un créneau de ressource solution appelé créneau réservé à l'instant  $t_k$ . A partir de cet accord sur le créneau

réservé, les deux acteurs intègrent cette nouvelle donnée pour actualiser leurs activités et établir leurs planifications à l'instant  $t_k$ .

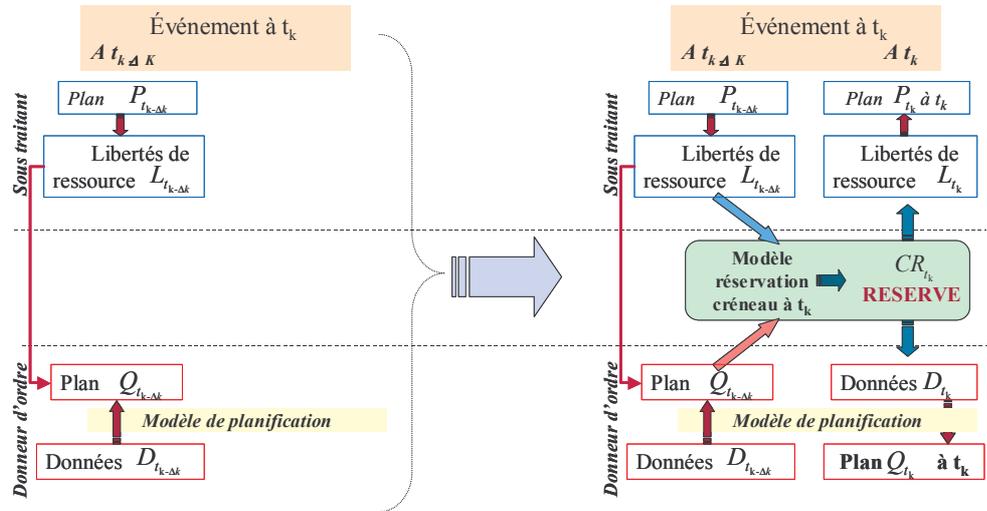


Figure 5.7. Démarche de réservation de créneau suite à un événement

Entre deux événements consécutifs à  $t_k$  et  $t_k+n$  s'écoule un laps de temps  $n$  variable. Entre ces deux dates, les activités du donneur d'ordres et du sous-traitant ont évolué et des aléas les ont impactées (Figure 5.8). Suite à un événement à l'instant  $t_{k-Δk}+n$ , le créneau réservé à l'instant  $t_k$  est alors dénoncé par l'un des deux acteurs et une nouvelle démarche de réservation de créneau conduit à la réservation d'un nouveau créneau de ressource à l'instant  $t_k+n$ .

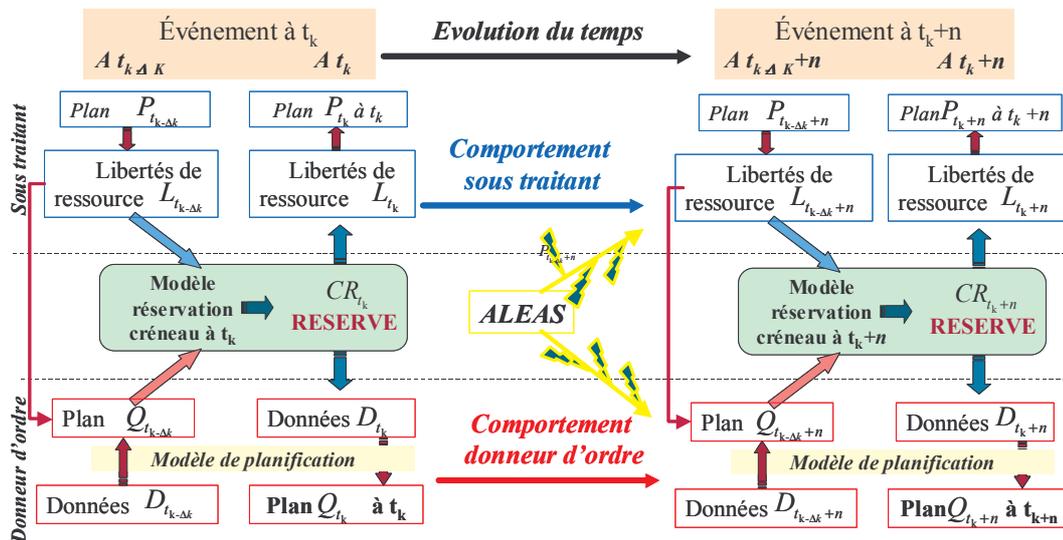


Figure 5.8. Deux démarches de réservations successives au cours de la simulation

La succession des événements rythme la simulation. Ses événements déclenchent les démarches de réservation de créneaux qui s'enchaînent et permettent ainsi de reproduire la dynamique de réservation du créneau de ressource. Chaque démarche de réservation de créneau tient compte des nouvelles informations disponibles et des événements aléatoires intervenus depuis la dernière réservation.

### **5.3 Conclusion : Une approche évaluative par simulation**

Notre approche consiste à étudier la dynamique de la relation de sous-traitance et l'influence des comportements de planification, de communication, de coordination des deux acteurs pour leur fournir une aide à la décision à moyen terme.

Une approche évaluative par simulation a été choisie afin d'analyser les performances dynamiques des différents comportements envisagés par les deux acteurs pour coordonner la réservation du créneau avec la planification de leurs activités.

L'approche que nous proposons pour l'évaluation de performance dans un environnement dynamique appartient à la classe des méthodes de simulation à événements discrets. Cette dernière consiste à reproduire à l'aide d'un modèle l'évolution de l'état du système au cours du temps et sur un horizon donné. Un échancier permet de faire évoluer le système uniquement lors de l'occurrence des événements.

L'outil développé permet de mettre en évidence les impacts générés par la dynamique des comportements configurés au sein du système composé des deux acteurs. Le modèle de la relation et de cet outil est présenté dans le prochain chapitre.

## **Chapitre 6.**

### ***Modèle de la relation de sous-traitance et structure de l’outil.***

Le type de relation de sous-traitance dépend évidemment du système étudié. Ce système est composé de deux acteurs, un donneur d’ordres et un sous-traitant de spécialité. Le problème du donneur d’ordres se rapproche du problème de la planification de projet qui a été largement étudié dans la littérature [Giard, 91], [Kolisch, 97], et plus précisément de celui de la planification de projet avec réservations de créneaux temporels [Chen, 97]. Le problème de planification de ressources du sous-traitant s'apparente quant à lui au problème d'ordonnancement à une machine [Esquirol, 99].

Au sein du maillon, la relation entre le donneur d’ordres et le sous-traitant est établie dans le but d’aboutir à la réservation d’un créneau de ressource. Pour atteindre cet objectif, tout en gérant au mieux leurs activités propres, les deux acteurs de la relation suivent un processus de réservation. Ce processus est composé d’une succession de réservations. Chaque réservation est également un processus qui, à partir d’un créneau demandé par le donneur d’ordres et de créneaux de libertés transmis par le sous-traitant, détermine le créneau réservé.

#### **6.1 L’outil de simulation**

##### **6.1.1 Objectifs**

Notre objectif est d’étudier le processus de réservation et les comportements plus ou moins coopératifs du donneur d’ordres et du sous-traitant au cours du projet du donneur d’ordre. Au cours du projet, une série de réservations s’enchaîne selon un processus de réservation plus ou moins formalisé entre les deux acteurs.

Pour mener à bien cette étude, nous proposons un outil de simulation du processus de réservation basé sur la modélisation des comportements des acteurs de la relation et de la réservation d’un créneau. La simulation permettra ainsi d’évaluer l’impact des politiques de

gestion et de coopération sur la réservation de créneaux de ressource et sur les performances des acteurs en termes de délais.

L'objectif de l'outil est d'évaluer la performance de différents comportements du donneur d'ordres et du sous-traitant au sein de leur relation de coopération pour la réservation d'un créneau de ressource.

### 6.1.2 Structure générale

L'outil proposé est destiné dans un premier temps au donneur d'ordres. Cet outil s'appuie sur la modélisation du comportement du donneur d'ordre, du comportement du sous-traitant et de la relation dans laquelle ils évoluent, tous trois paramétrés par un décideur donneur d'ordres (Figure 6.1).

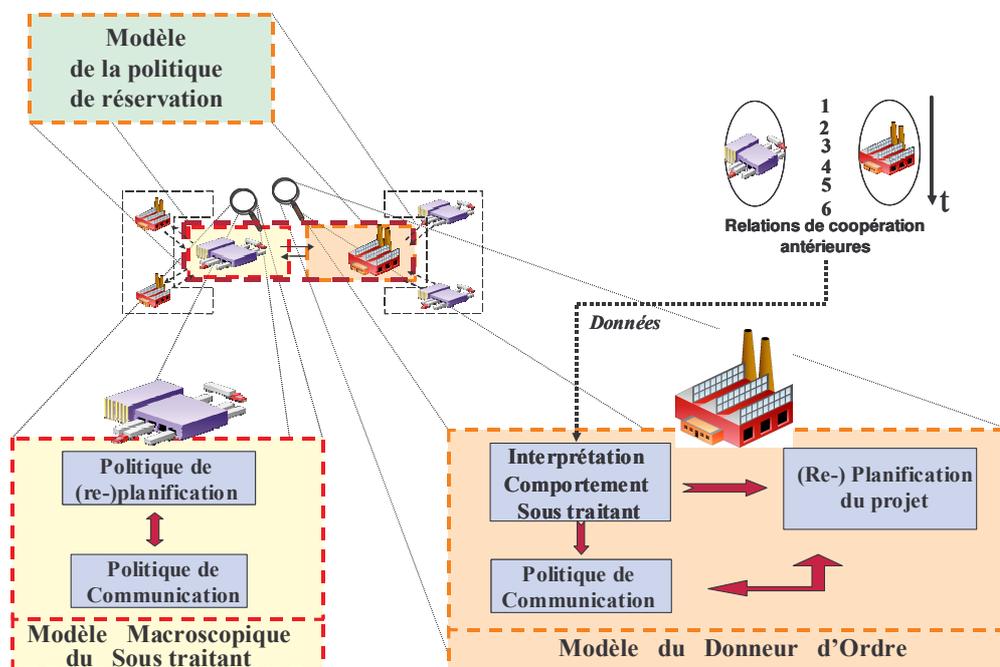


Figure 6.1. Structure générale de l'outil

Dans l'outil de simulation, chacun des deux acteurs est modélisé par :

- un modèle d'interprétations des comportements de son « partenaire »,
- un modèle des politiques de (Re-)planification,
- un modèle de communication.

Notre approche de l'outil centrée sur le donneur d'ordres conduit à détailler les comportements du donneur d'ordre, alors que seule une vision macroscopique du comportement du sous-traitant peut être modélisée de façon réaliste par ce dit donneur d'ordres.

Par ailleurs, l'un des paramètres prépondérant de la relation est le rapport de forces existant entre les deux acteurs. C'est ce rapport de forces qui va influencer le modèle de réservation d'un créneau à un instant donné du projet.

Le système constitué des trois modèles (politique de réservation au sein de la relation, donneur d'ordres et sous-traitant) évolue en suivant la logique de changement d'état correspondant aux événements discrets de la simulation présentés dans le chapitre précédent. Nous allons maintenant présenter en détail ces trois modèles en commençant par celui de la relation.

## **6.2 Modèle de la relation**

Notre approche du problème de planification distribué de ressources se rapproche d'un réseau de centres de décision autonomes [Huguet, 94], et a été abordé du point de vue de la gestion multi projets distribuée avec contraintes de ressources par le groupe DIDOM [DIDOM, 97] [DIDOM, 00].

Notre modélisation de la relation se positionne au niveau des interactions entre les acteurs. La réservation d'un créneau entre le donneur d'ordres et le sous-traitant s'effectue uniquement à certains instants de la relation de sous traitance. La succession des réservations de créneaux au cours de la relation est instanciée à travers le modèle dynamique du processus de réservation. C'est pourquoi nous proposons une approche dynamique permettant de passer des demandes exprimées par les deux acteurs au sein de la relation à un créneau de ressource réservé, sans pour autant développer un processus de négociation nécessitant des protocoles de transfert d'informations.

Le contexte dans lequel évoluent les deux acteurs est tout d'abord caractérisé. Le modèle du processus de réservation de créneau est ensuite présenté à travers sa dynamique et le modèle détaillé de réservation d'un créneau de ressource au sein de la relation.

### **6.2.1 Caractéristiques de la relation**

La relation est caractérisée notamment par le rapport de force existant entre les deux acteurs. Dans notre étude, nous nous intéressons particulièrement aux décisions concernant la réservation d'un créneau de ressource. Le poids respectif des deux acteurs dans la décision est la clef de voûte de la relation industrielle.

L'outil permet d'envisager les rapports de forces existants entre le donneur d'ordres et le sous-traitant au sein de la relation en termes de prise de décision finale. Les rapports de force envisagés sont les suivants :

- le donneur d'ordres a l'ascendant sur le sous traitant,
- le sous-traitant a l'ascendant sur le donneur d'ordre,
- les deux acteurs ont le même pouvoir décisionnel.

Cette caractéristique de la relation est connue des deux acteurs ce qui leur permet :

- d'adapter leurs comportements en sachant qui a la possibilité d'imposer son comportement et les décisions de réservation de créneau qui en découlent,
- d'évaluer le comportement du partenaire par rapport à cet état de fait.

## 6.2.2 Modèle du processus de réservation de créneau

### 6.2.2.1 Processus de réservation

Comme nous l'avons détaillé dans le chapitre 5, entre la première réservation du créneau et son occupation effective, des perturbations impactent le déroulement des activités des acteurs et peuvent rendre inutilisable le créneau réservé.

Pour gérer ces dérives, les deux acteurs s'appuient sur un processus de réservation de créneau. Celui-ci désigne l'action collective des deux acteurs par laquelle ils s'assurent de la mise en adéquation de leurs activités et de la validité du créneau réservé tout au long de leur relation.

Le processus de réservation est constitué d'une succession de réservation de créneau. Elles s'enchaînent selon l'occurrence des événements de la simulation qui interviennent soit à dates fixes (en fonction des périodes de re-planification des acteurs), soit lorsque des dérives importantes sont constatées chez l'un ou l'autre des acteurs. (Figure 6.2)

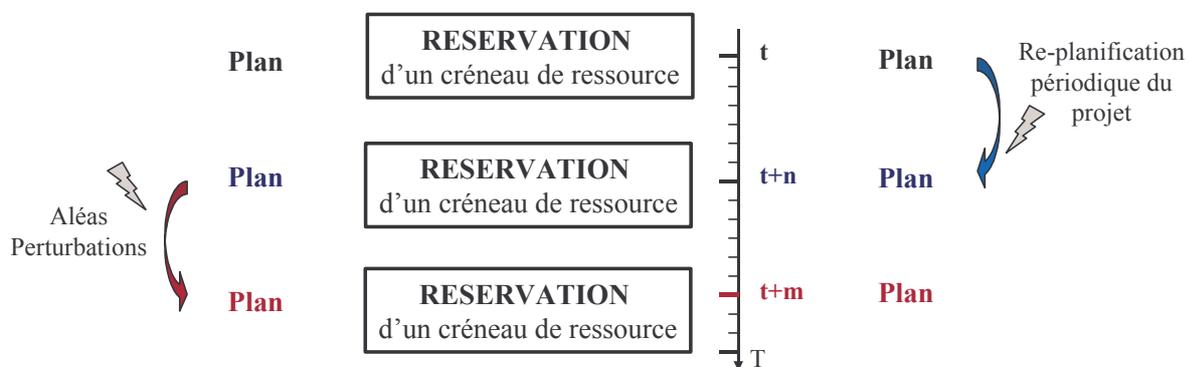


Figure 6.2. Processus de réservation

Cette approche de la dynamique de la relation permet d'actualiser les états des acteurs au début de chaque réservation en s'appuyant sur les évolutions issues des impacts des événements générés.

### 6.2.2.2 *Modélisation de la réservation et processus d'échange*

De notre analyse de la relation de sous traitance, il découle que la réservation d'un créneau de ressource à un instant donné du projet est le résultat d'une négociation entre les acteurs au sein de la relation de sous-traitance. Cette négociation s'effectue à partir des plans actualisés du donneur d'ordres et du sous-traitant et de leurs interactions.

Les interactions entre les deux acteurs sont caractérisées par des échanges de données sous forme notamment de créneaux temporels et éventuellement d'informations complémentaires relatives à ces créneaux ou aux traitements utilisés pour les obtenir.

Un créneau correspond à un intervalle de temps défini par une date de début et une date de fin.

Au moment de la réservation, les créneaux sont échangés selon un processus décrit à la Figure 6.3. Ce processus met en oeuvre une succession d'échanges dont la séquence et les enchaînements sont validés par les deux acteurs de la relation. On parlera de processus d'échange formalisé. Il concerne au moins l'échange formalisé de données (créneaux), mais la définition des comportements coopératifs des acteurs peut conduire à y adjoindre des données complémentaires et/ou des informations sur les traitements et les politiques utilisés (échanges de traitements).

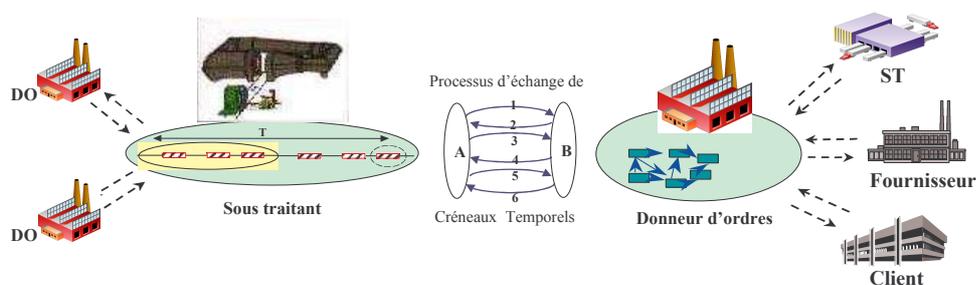


Figure 6.3. *Processus d'échange formalisé de créneaux entre les deux centres de décisions*

Ce processus d'échange formalisé débouche sur la réservation d'un créneau de ressource.

Le modèle de ce processus « réserver » ( ① Figure 6.4) permet de transformer les demandes exprimées par les deux acteurs (issues de leurs plans actualisés) et de les faire converger sur un créneau réservé. (Figure 6.4). A partir de ce créneau réservé, les deux acteurs actualisent leurs plans et poursuivent leurs activités.

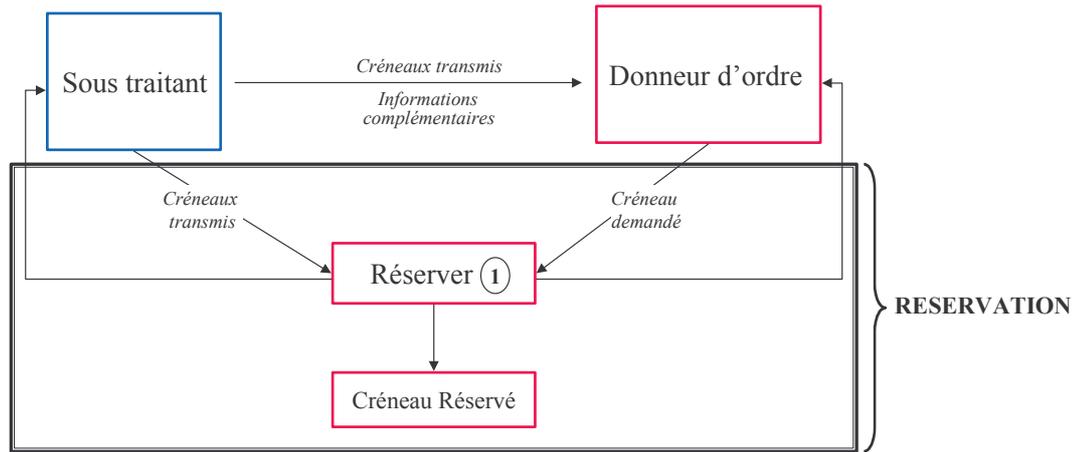


Figure 6.4. Réserveation de créneau à partir des demandes exprimées

Les échanges transmis par les deux acteurs sont :

- pour le sous-traitant : les créneaux de libertés de ressource
- pour le donneur d'ordres : soit un créneau demandé pour le projet, soit une date à partir de laquelle il lui est possible de planifier son projet.

Au cours de ces échanges, les deux acteurs manipulent et se transmettent différents types de créneaux :

- l'ensemble des  $C_i$  créneaux " transmis" par le sous-traitant au donneur d'ordres :  

$$C_i = \bigcup_{x \in [1, n_i]} [A_x, B_x]$$
- l'ensemble des  $O_i$  créneaux " possibles" que le donneur d'ordres pense être libres chez le sous-traitant, pour la tâche  $T_i$  :  

$$O_i = \bigcup_{x \in [1, n_i]} [S_x^i, E_x^i]$$
- le créneau planifié par le donneur d'ordres, à l'instant  $t$  :  

$$C_{Plan,DO}^t = [S_{Plan,DO}^t, E_{Plan,DO}^t]$$
- le créneau demandé par le donneur d'ordre, à l'instant  $t$  :  

$$C_{Dem}^t = [S_{Dem}^t, E_{Dem}^t]$$
- le créneau réservé correspondant au contrat établi entre les deux agents, à l'instant  $t$  :  

$$C_R^t = [S_R^t, E_R^t]$$
- le créneau planifié par le sous-traitant, à l'instant  $t$  :  

$$C_{Plan,ST}^t = [S_{Plan,ST}^t, E_{Plan,ST}^t]$$

Le modèle du processus « Réserver » est décomposé en deux phases (Figure 6.5) :

- La réservation conjointe d'un créneau de ressource respectant les demandes transmises par les deux acteurs de la relation,
- La réservation unilatérale par heuristique brutale basée sur le rapport de force entre les deux acteurs de la relation dans le cas où la première phase ne permet pas de trouver une solution.

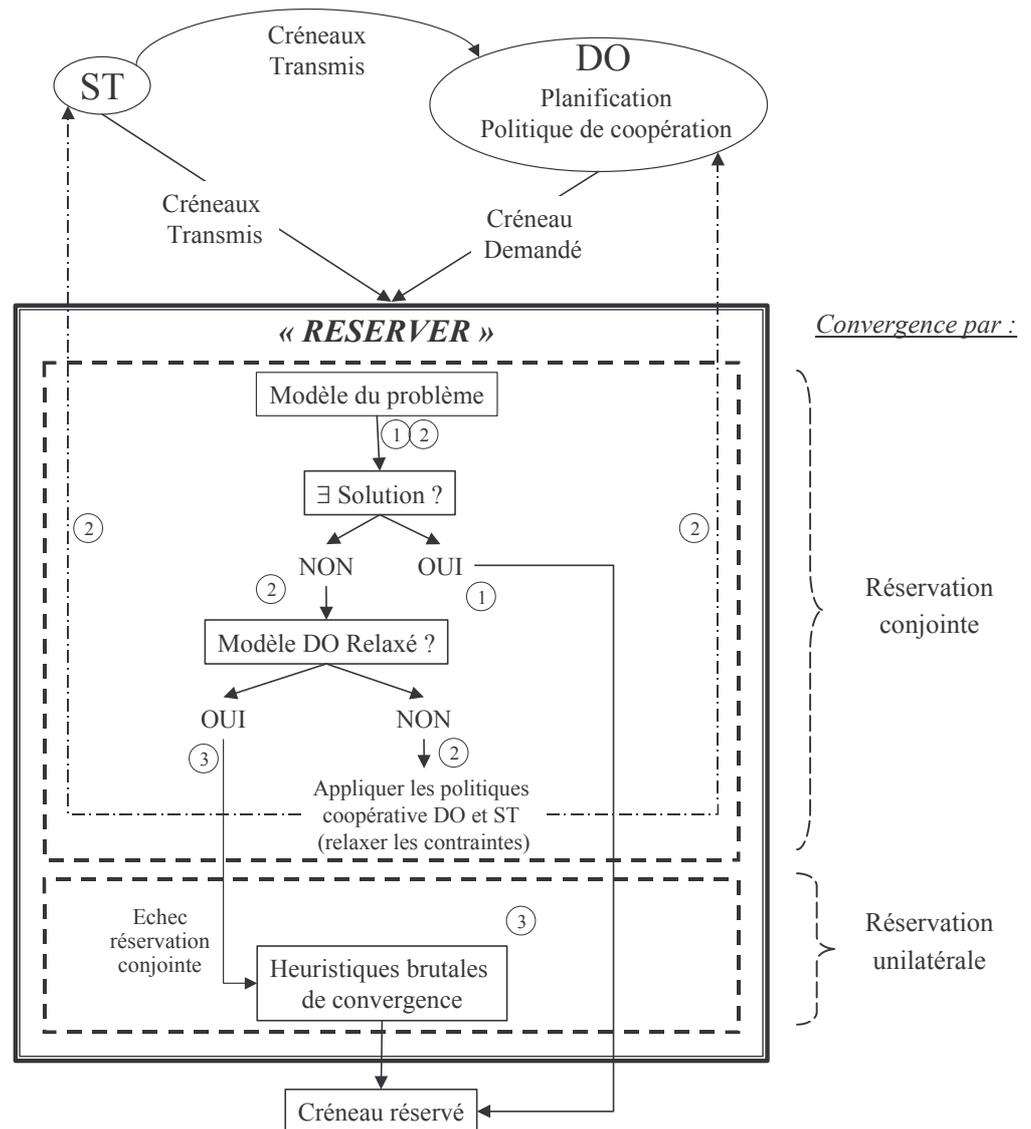


Figure 6.5. Réservation d'un créneau

La réservation conjointe d'un créneau de ressource respectant les demandes transmises par les deux acteurs de la relation est réalisé en deux étapes :

- La première ① consiste à trouver une solution directement admissible à partir du problème de planification sous les contraintes de créneau demandé et de disponibilité de ressource exprimée par les deux acteurs.
- Si aucune solution n'est trouvée à l'étape ①, une seconde étape ② est déclenchée. Il s'agit alors d'appliquer les politiques de coopération du donneur d'ordres et/ou du sous-traitant afin de déterminer un nouveau créneau demandé et/ou de nouveaux créneaux transmis, puis de tester s'il existe une solution à ce nouveau problème. S'il existe une solution au problème, le créneau est réservé tout comme dans le cas①.

Par contre, s'il n'existe toujours pas de solution admissible, la réservation conjointe à échouée, les deux acteurs n'ont pas réussi à se mettre d'accord pour coordonner leurs activités. La réservation unilatérale par heuristique brutale suivante est alors activée :

- L'absence de solution associée au problème relaxé (②) exprime une divergence des acteurs en termes de possibilité de coordination de leurs activités. Il n'existe donc pas de solution satisfaisant à la fois le donneur d'ordres et le sous-traitant.

Le donneur d'ordres transmet alors au sous-traitant une date de début à partir de laquelle il est en mesure de planifier la tâche de son projet utilisant la ressource.

A partir des demandes exprimées par le donneur d'ordres et le sous-traitant, notre modèle s'appuie sur les caractéristiques de la relation (rapports de force) pour mettre en œuvre une heuristique brutale de convergence ③ correspondant au comportement de réservation de l'acteur « dominant ». Ces heuristiques assurent qu'un créneau de ressource est réservé, par exemple celui correspondant parfaitement au besoin de cet acteur.

Par exemple, lorsque la puissance du sous-traitant est supérieure à celle du donneur d'ordres planifiant au plus tôt ses activités, les heuristiques « sous-traitant » suivantes ont été envisagées afin de converger sur un créneau réservé.

- Réserver le créneau qui est le plus favorable pour le sous-traitant.

Cette heuristique respecte la date de début au plus tôt à partir de laquelle le donneur d'ordres est en mesure de planifier la tâche de son projet utilisant la ressource, afin d'assurer l'existence d'un plan relaxé chez le donneur d'ordre.

- Réserver le créneau le plus proche du créneau demandé par le donneur d'ordre. Cette heuristique se traduit par exemple par la réservation d'un créneau dans une fenêtre de liberté de ressource alors que le donneur d'ordres avait demandé un créneau juste après cette fenêtre de liberté. Dans cet exemple, le sous-traitant prend « le créneau le plus près » tout en respectant sa politique de planification au plus tôt. L'application d'une politique au plus tard aboutirait à la réservation du créneau se terminant à la fin de la même fenêtre de liberté.

Suite à la réservation du créneau de ressource, les deux acteurs actualisent leurs activités et les plans correspondants.

Le modèle de la relation repose donc sur les informations issues des modèles du donneur d'ordres et du sous-traitant dont l'activité est déclenchée par les différents procédés successifs de réservations.

Nous allons maintenant nous intéresser aux politiques utilisées par les deux acteurs de la relation pour gérer leurs activités. Nous allons ainsi présenter le modèle du donneur d'ordres puis celui du sous-traitant.

### 6.3 Modèle du donneur d'ordre

La modélisation du donneur d'ordres repose sur la représentation de ses activités (Figure 6.6) en termes de :

- Modèle d'interprétation du comportement du sous traitant,
- Modèle de planification et de re-planification du projet,
- Modèle de communication au sein de la relation,

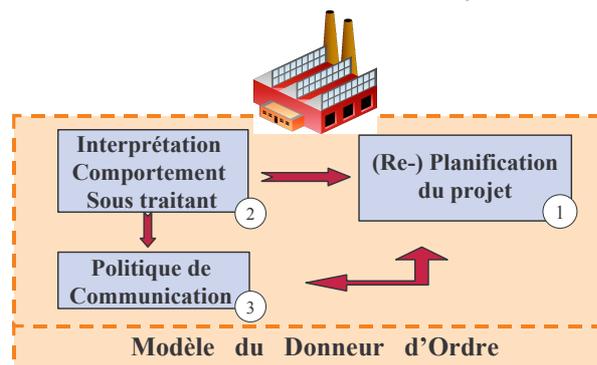


Figure 6.6. Modèles d'interprétation, de planification et de coopération du donneur d'ordres

#### 6.3.1 Modèle d'interprétation du comportement du sous-traitant

Le modèle d'interprétation du comportement du sous-traitant décrit la connaissance qu'a le donneur d'ordres du comportement du sous-traitant et la manière dont lui-même s'y adapte. Le donneur d'ordres élabore cette représentation du comportement du sous-traitant à partir des données qu'il a capitalisées au cours des relations antérieures et en début de projet.

Pour effectuer cette description, le donneur d'ordres articule son estimation autour de trois axes de comportements :

- estimation du comportement général du sous traitant. Par exemple, tendance à être en retard de  $n$  jours,

- estimation du comportement de planification du sous traitant. Par exemple, sous-traitant optimiste ou pessimiste pour établir son plan,
- estimation du comportement relationnel du sous traitant. Par exemple, le sous-traitant transmet systématiquement des créneaux de libertés diminués de  $X\%$  par rapport à son plan.

Ces estimations couplées aux données transmises par le sous-traitant permettent au donneur d'ordres de caractériser l'attitude du sous-traitant et d'adapter son comportement de planification et de coopération. Cette adaptation s'exprime à travers un taux de déformation que le donneur d'ordre fera subir aux créneaux de libertés reçus afin de les transformer en contraintes de ressource appliquées à son projet.

Par exemple, face à un sous traitant qu'il estime pessimiste, le donneur d'ordres peut choisir d'effectuer cette adaptation en modifiant la date de début et la date de fin de chaque créneau de ressource issu du sous-traitant afin de prévenir les risques potentiels liés au comportement du sous-traitant qui minimise généralement la durée des créneaux de  $W\%$  lors de son estimation des libertés de sa ressource. Dans ce cas, l'algorithme utilisé est le suivant :

(0) : Récupérer l'ensemble des créneaux de disponibilités transmis par le sous-traitant.

(1) : « S'approprier les créneaux » :

Pour chaque créneau appartenant à l'ensemble  $C_i = \bigcup_{y \in [1, m_i]} [A_x, B_x]$ , déterminer

l'ensemble des créneaux « crus » par le donneur d'ordres  $O = \bigcup_{x \in [1, n_i]} [S_x, E_x]$  tel que :

$$S_1 = A_1 + Z[(B_1 - A_1) * W / 100] / 2$$

$$E_1 = B_1 - Z[(B_1 - A_1) * W / 100] / 2$$

Avec  $Z = -1$  si le donneur d'ordres décide d'augmenter la durée des créneaux

$Z = +1$  si le donneur d'ordres décide de diminuer la durée des créneaux

$x=1$

Pour tout  $y \in [2, m]$

$$S = A_y$$

$$E = B_y$$

Si  $S < E_{x-1}$

$$E_x = E$$

Sinon

$$x = x + 1$$

$$S_x = S$$

$$E_x = E$$

Fin pour

$n_i = x$

C'est à partir du nouvel ensemble  $O_i$  de créneaux de libertés ainsi obtenus, le donneur d'ordres détermine les contraintes de ressource à associer à son projet. Ces contraintes de ressource sont des intervalles de libertés constitués de dates de début possible pour la tâche du projet. (Contrainte (4) du modèle de planification présenté ci-dessus).

### 6.3.2 Modèle de re-planification et comportement coopératif

A partir des contraintes de liberté de ressource associées au projet du donneur d'ordre, le problème est actualisé et le modèle de planification va permettre de déterminer si une solution existe. Ce calcul correspond à la planification sous contraintes de ressource du projet selon la politique choisie par le donneur d'ordre, au plus tôt ou au plus tard.

- Si une solution existe, le donneur d'ordres identifie le créneau de ressource réservé issu de son plan. Une solution est ainsi directement trouvée et traduit le fait que les deux plans du donneur d'ordres et du sous-traitant se coordonnent parfaitement à cet instant de la simulation.
- S'il n'existe pas de solution respectant l'ensemble des contraintes du problème, un modèle de re-planification est mis en œuvre afin de modifier les valeurs des paramètres des contraintes du projet.

Re-planifier, c'est alors appliquer la politique de planification du donneur d'ordres après avoir modifié les valeurs des paramètres des contraintes du projet afin de déterminer les nouvelles dates de début des tâches. Le donneur d'ordres identifie ainsi la date de début de sa tâche utilisant la ressource et peut s'appuyer sur son plan pour exprimer une demande de créneau de réservation au sous-traitant.

Les contraintes dont les paramètres seront modifiés seront dites relaxées car les modifications prises en compte correspondent à des degrés de libertés supplémentaires pour le problème de planification.

#### 6.3.2.1 *Modèle de planification du projet*

##### *A- Modèle de planification*

Soit  $I$  le nombre de tâches du projet et soit  $T_0$  la tâche initiale et  $T_I$  la tâche finale. Le problème de planification consiste à déterminer les dates de début  $t_i$  des tâches  $T_i$  du projet avec  $i \in \{1 ; 2 ; \dots, I\}$

Les paramètres des tâches  $T_i$  sont :

- $d_i$  : Durée de la tâche  $T_i$ .
- $\alpha_i$  : Date de disponibilité des approvisionnements.
- $\beta_i$  : Date d'exigibilité.

Le paramètre  $\omega_{j,i}$  correspond à la durée entre le début de la tâche  $T_j$  et le début de la tâche  $T_i$ . En général, cet écart est positif et supérieur ou égal à la durée  $d_j$  de la tâche  $T_j$ .

Si une tâche  $T_i$  utilise une ressource extérieure qui doit être réservée, le donneur d'ordres en charge du projet prend en compte les fenêtres de temps de disponibilité du sous-traitant pour la réservation.

Les modèles et les comportements de planification du donneur d'ordres s'appuient sur les fenêtres de temps correspondants aux dates de disponibilité de la ressource. Ces fenêtres de liberté sont issues de la relation entre le donneur d'ordres et le sous-traitant. Le sous-traitant transmet ainsi des données, c'est à dire un ensemble de disponibilité, au donneur d'ordres que celui ci interprète (cf §6.3.1.) avant de les associer à son projet.

On obtient alors un ensemble de disponibilités  $O_i$  pris en compte par le donneur d'ordres est constitué de  $n_i$  créneaux de libertés de ressource indépendants dans lesquels la tâche  $T_i$  peut être réalisée :

$$O_i = \bigcup_{x \in [1; n_i]} [S_x^i; E_x^i]$$

La ressource est considérée comme libre à l'infini soit :  $E_{n_i}^i = +\infty$

Les dates de début possibles, pour une tâche  $T_i$  utilisant la ressource, appartiennent alors à l'ensemble des intervalles de dates de début possible  $t_i$ .

$$\begin{aligned} \forall t \in [t_i, t_i + d_i] &\subset O_i \\ \Leftrightarrow \forall i \quad t_i &\in \bigcup_{x \in [1; n_i]} [S_x^i; E_x^i - d_i] \end{aligned} \quad (0)$$

L'activité de planification du donneur d'ordres consiste à déterminer les dates de début  $t_i$  des activités de son projet. Les contraintes qui lient les variables pour ce problème de planification de projet sont alors les suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{ll} t_i - t_j \geq \omega_{j,i} & (i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, I) \quad (1) \\ t_i \geq \alpha_i & (i = 1, \dots, I) \quad (2) \\ t_i + d_i \leq \beta_i & (i = 1, \dots, I) \quad (3) \\ \forall i \quad t_i \in \bigcup_{x \in [1; n_i]} [S_x^i; E_x^i - d_i] & (i = 1, \dots, I) \quad (4) \end{array} \right.$$

La contrainte (1) exprime les contraintes de précédences entre les activités, (2) les contraintes de dates de disponibilités  $\alpha_i$ , et (3) les contraintes de dates d'exigibilité  $\beta_i$ . Ces trois

contraintes sont classiquement utilisées dans les problèmes d'ordonnement de projet sans contraintes de ressources : PERT et CPM.

La représentation d'un projet est modélisée par un graphe potentiels-étapes auquel sont ajoutées des contraintes sur les dates de début possibles des tâches du projet. Ces ensembles de dates possibles sont calculés en fonction des contraintes d'approvisionnement et de jalon. (Figure 6.7)

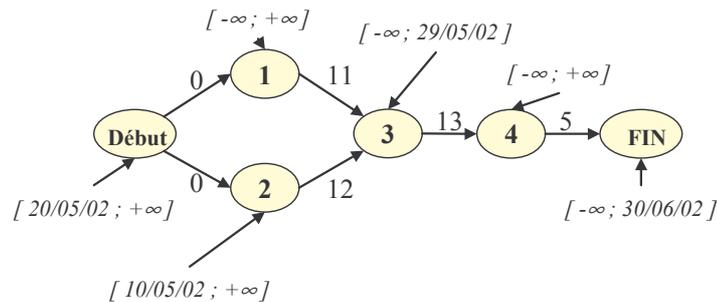


Figure 6.7. Contraintes d'approvisionnement et de jalon sur le Graphique potentiel étape d'un projet.

L'utilisation d'une ressource par une activité impose des contraintes aux activités qui doivent être réalisées dans un créneau  $[S_x, E_x]$  de temps disponible sur cette ressource. La nature spécifique de cette contrainte de ressource réside dans l'identification des intervalles de dates de début possibles des tâches (4) [Chen et al., 97] [Galvagnon, 00]. L'ensemble des créneaux de libertés de ressources est considéré par [Neumann et al., 03] comme un calendrier associé aux tâches. Les contraintes de ressource sont alors représentées comme illustré Figure 6.8 et tiennent compte des contraintes disjointives de précédence pour la tâche utilisant la ressource.

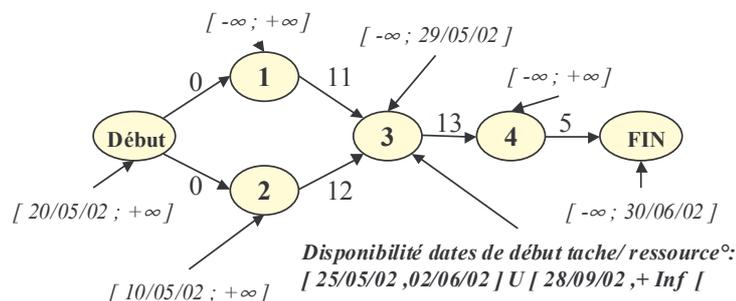


Figure 6.8. Contrainte de ressources sur le Graphique potentiel étape du projet.

La date de début de chaque tâche est déterminée par l'algorithme correspondant au comportement de planification mis en œuvre par le donneur d'ordre.

## B- Comportements de planification

Les comportements de planification choisis sont associés à au modèle de planification et permettent de déterminer la date de début des tâches du projet. Nous avons choisi deux algorithmes permettant de déterminer les dates de début des tâches par rapport aux dates de début et de fin du projet en tenant compte des contraintes de ressources :

- *Dates de début au plus tôt* : La date de début au plus tôt d'une tâche est la date de début possible la plus petite respectant toutes les contraintes du problème sauf la contrainte de jalon et éventuellement la date au plus tard.
- *Dates de début au plus tard* : La date de début au plus tard d'une tâche est la date de début possible la plus grande respectant toutes les contraintes du problème sauf celle d'approvisionnement et éventuellement la date au plus tôt.

Le choix du comportement traduit les objectifs de gestion du donneur d'ordres en termes d'optimisation des marges (au plus tard) ou de minimisation de la durée du projet (au plus tôt). Les comportements de planification consistent à déterminer les dates de début des tâches :

- au plus tôt sans contrainte de jalons, en se basant sur la date de début du projet,
- au plus tard sans contraintes d'approvisionnements, en se basant sur la date de fin du projet.

Les équations permettant de déterminer ses dates de début au plus tôt et au plus tard sont présentées ci dessous. [Thierry et al., 04]

### ➤ *Calcul des dates de début au plus tôt* $\underline{t}_i$

Le calcul des dates de début au plus tôt des tâches sur un graphique orienté aux arcs valués positifs (notés  $a_{i,j}$  avec  $a_{i,j} \geq d_i$ ) revient à calculer le délai maximal existant entre les tâches consécutives  $T_i$  et  $T_j$  en connaissant la date de début  $\underline{t}_i$  de la tâche  $T_i$

$$EarliestDelay(i, j, \underline{t}_i) = MAX \left[ \underline{t}_i + a_{i,j} , \underset{x \in [1, n_j]}{Min} (S_x^j / E_x^j - d_i \geq \underline{t}_i + a_{i,j}) \right] - \underline{t}_i \quad (5)$$

La relation entre la tâche  $T_j$  et ses prédécesseurs est donc régie par l'équation :

$$\underline{t}_j \geq \underset{i \in Pred(j)}{Max} (\underline{t}_i + EarliestDelay(i, j, \underline{t}_i)) \quad (6)$$

Avec  $Pred(i)$  l'ensemble des prédécesseurs de la tâche  $T_i$ .

➤ **Calcul des dates de début au plus tard  $\bar{t}_i$**

Les dates de début au plus tard sont calculées selon le même principe à partir du délai minimum existant entre les tâches consécutives  $T_i$  et  $T_j$  en connaissant la date de début  $t_j$  de la tâche  $T_j$

$$LatestDelay(i, j, \bar{t}_j) = t_j - MIN \left[ (\beta_i - d_i), (\bar{t}_j - a_{i,j}), \underset{x \in [1, n_i]}{Max} ((E_x^i - d_i) / S_x^i \leq \bar{t}_j - a_{i,j}) \right] \quad (7)$$

La relation entre la tâche  $T_i$  et ses successeurs est donc régie par l'équation :

$$\bar{t}_i \leq \underset{j \in Succ(i)}{Min} (\bar{t}_j - LatestDelay(i, j, \bar{t}_j)) \quad (8)$$

Avec  $Succ(i)$  l'ensemble des successeurs de la tâche  $T_i$ .

Nous avons choisi des comportements de planification couramment utilisés dans les progiciels de gestion de projets commerciaux pour planifier le projet. En effet, il ne s'agit pas dans un premier temps de travailler directement sur la méthode de planification du donneur d'ordre, mais de lui proposer un modèle et une démarche de modélisation pédagogique proche de ses modes habituels de fonctionnement. L'objectif est qu'il puisse aisément maîtriser l'aspect logiciel et se focaliser sur les aspects modélisation du système, processus coopératifs, exploitation des résultats et l'aide à la décision.

Des comportements plus complexes basés par exemple sur la proposition de solution permettant de restaurer la consistance du problème [Thierry et al., 02] sont néanmoins envisageables.

➤ **Calcul du créneau planifié**

On considère que le créneau planifié correspond à la planification de la tâche qui doit utiliser ce créneau de ressource soit :

$$S_{Plan,DO}^t = t_i$$

$$E_{Plan,DO}^t = t_i + d_i$$

**6.3.2.2 Re-planification par relaxation de contraintes**

Les différentes contraintes que le donneur d'ordres peut relaxer sont :

- Les contraintes propres au projet :
  - Durée des tâches : Du point de vue du projet et de la réservation d'un créneau, la relaxation des durées des tâches correspond à leurs diminutions,
  - Dates d'approvisionnements (*Avancer la date d'approvisionnement*),
  - Dates de jalons (*Retarder la date de jalon*),
- La contrainte de liberté de ressource issue du sous traitant.

### ***A- Relaxation des durées des tâches***

La relaxation des durées consiste à diminuer la durée de chaque tâche d'un certain pourcentage correspondant à la valeur saisie par l'utilisateur lors du paramétrage de l'outil. La relaxation des durées des tâches est commune à l'ensemble des tâches du projet exceptée celle utilisant la ressource.

#### ***Relaxer les contraintes de durée et replanifier :***

Pour chaque tâche  $T_i$  du projet :

(0) Si date événement < date limite de réduction des durées des tâches

(1) Relaxer les contraintes de durée

- initialiser la date de début :  $t_i = 0$

- diminuer la durée des tâches qui précèdent la tâche-ressource de  $X\%$  :

Si  $T_i \in \text{Pred}(k)$  avec  $k$  la tâche-ressource

$$d_i = d_i - d_i * X / 100$$

(2) Appliquer le modèle de planification au plus tôt  $t_i = \underline{t}_i$

(3) Calculer le créneau planifié par le donneur d'ordre  $C_{\text{Plan}, DO}$

La relaxation de la durée des tâches qui succèdent à la tâche ressource peut également être envisagée :

- lors de la planification au plus tôt cette relaxation de durée est justifiée par le besoin du donneur d'ordres de finir son projet le moins en retard possible.
- lors de la planification au plus tard pour augmenter la fenêtre de dates de début possible pour la tâche-ressource.

### ***B- Relaxation des approvisionnements***

L'objectif de cette relaxation est de dégager une fenêtre de dates de débuts au plus tôt possibles pour la tâche-ressource avant sa date de début au plus tôt planifiée sous contraintes d'approvisionnements, afin de faciliter la réservation d'un créneau de ressource (Figure 6.9).

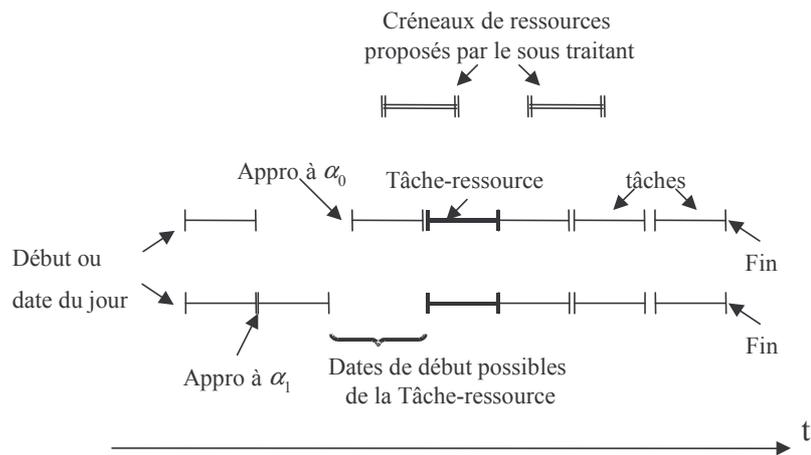


Figure 6.9. Relaxation des approvisionnements.

Relaxer les approvisionnements signifie que les contraintes d'approvisionnement portant sur une tâche ne seront pas prises en compte par l'algorithme de planification, et que seules les contraintes de précédence vont influencer le calcul de la date de début de cette tâche (tâche n'ayant pas recours à une ressource).

Cependant, la contrainte d'approvisionnement n'est pas pour autant supprimée. Elle existe toujours, mais on considère que sa date a été remise en cause. Ainsi, si il existe une solution (un plan) au problème de planification sous ces nouvelles contraintes, la valeur (nouvelle date) de cette contrainte d'approvisionnement est fixée à la date de début de la tâche trouvée suite à la re-planification. Dans l'exemple ci dessus, la valeur de la contrainte d'approvisionnement est passée de  $\alpha_0$  à  $\alpha_1$ . Cette valeur ( $\alpha_1$ ) est associée à la contrainte pour le reste de la simulation à moins qu'elle soit à nouveau relaxée.

**Relaxer les contraintes d'approvisionnement et replanifier :**

Pour chaque tache  $T_i$  du projet :

(0) Relaxer les contraintes d'appro

- modifier la date d'approvisionnement :

$$\text{Si } \exists \alpha_i \text{ alors } \alpha'_i = \alpha_i \text{ (}\alpha'_i \text{ sauvegarde de } \alpha_i\text{)}$$

$$\alpha_i = 0$$

- initialiser la date de début :  $t_i = 0$

(1) Appliquer le modèle de planification au plus tard  $\bar{t}_i = \bar{t}_i$

(2) Enregistrer les nouvelles valeurs des paramètres des approvisionnements :

$$\alpha_i = \text{Min} (\bar{t}_i, \alpha'_i)$$

(3) Calculer le créneau planifié par le donneur d'ordre  $C_{Plan, DO}$

Une autre approche consiste à fixer la date d'approvisionnement avec une certaine marge pour la tâche (date d'approvisionnement < date de début de la tâche).

### C- Relaxation des jalons

L'objectif de cette relaxation est de dégager une fenêtre de dates de débuts au plus tard possibles pour la tâche-ressource après sa date de début au plus tard planifiée sous contraintes de jalons, afin de faciliter la réservation d'un créneau de ressource.

Lors de la relaxation des contraintes de jalons, une distinction entre la fin au plus tard du projet et les jalons intermédiaires est effectuée afin de vérifier si une solution avec relaxation de jalon existe sans violer la date de fin de projet (1<sup>er</sup> étape de la Figure 6.10). Si ce problème de planification n'a pas de solution, alors la contrainte de fin de projet est relaxée.

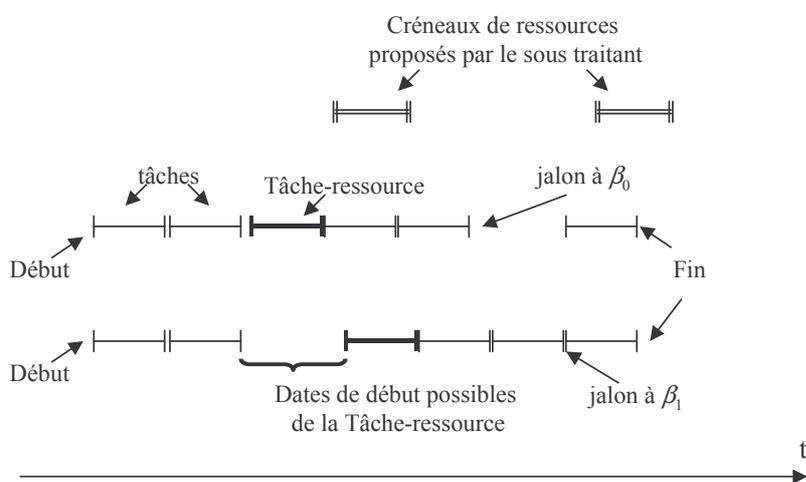


Figure 6.10. Relaxation des jalons.

Si les jalons sont relaxés, cela signifie que la contrainte de jalon portant sur une tâche ne sera pas prise en compte par l'algorithme de planification, et que seules les contraintes de précédences vont influencer le calcul de la date de début des tâches. Cependant, la contrainte de jalon n'est pas pour autant supprimée. Elle existe toujours, mais on considère que sa date a été remise en cause. Ainsi, si une solution (un plan) au problème de planification sous ces nouvelles contraintes existe, la valeur (nouvelle date) de cette contrainte de jalon est fixée à la date de fin de la tâche trouvée suite à la re-planification. Cette valeur sera associée à la contrainte pour le reste de la simulation à moins qu'elle soit de nouveau relaxée.

#### **Relaxer les contraintes de jalon et replanifier :**

Pour chaque tâche  $T_i$  du projet :

##### **(0) Relaxer les contraintes de jalon**

*Actualiser les paramètres*

*- modifier la date de jalon :*

Si  $\exists \beta_i$  alors  $\beta'_i = \beta_i$  ( $\beta'_i$  sauvegarde de  $\beta_i$ )

$$\beta_i = \infty$$

- initialiser la date de début :  $t_i = 0$

(1) Appliquer le modèle de planification au plus tôt  $t_i = \underline{t}_i$

(2) Enregistrer les nouvelles valeurs des paramètres des jalons :

$$\beta_i = \text{Max}(\underline{t}_i + d_i, \beta'_i)$$

(3) Calculer le créneau planifié par le donneur d'ordre  $C_{Plan, DO}$

La relaxation de la contrainte de jalon permet de remettre en cause la date de fin au plus tard du projet. Or il existe toujours par hypothèse un créneau de liberté de ressource à l'infini. La relaxation des jalons assure ainsi au donneur d'ordres de pouvoir réserver un créneau de ressource.

#### ***D- Relaxation de la ressource***

Lorsque les contraintes de ressource sont relaxées, la ressource est considérée comme intégralement disponible par le donneur d'ordre. Le modèle du problème du donneur d'ordres est donc simplifié et la contrainte de liberté de la ressource est supprimée.

Une solution au problème de planification du donneur d'ordres existe toujours car on considère par hypothèse que le donneur d'ordres est toujours en mesure de planifier son projet sans contrainte de ressource.

#### **6.3.2.3 Combinaisons de relaxations**

Plusieurs contraintes peuvent être associées en une combinaison. Les contraintes d'une même combinaison sont relaxées simultanément.

Les combinaisons de contraintes envisagées sont les suivantes :

- Durées et Approvisionnements,
- Durées et Jalons,
- Ressources et [Approvisionnements et/ou durées]

La relaxation des jalons conduit toujours à une solution sous contraintes de ressource car il existe toujours par hypothèse un créneau de ressource libre à l'infini. La séquence jalon et ressource n'a donc pas de sens pour la réservation d'un créneau de ressource. Les combinaisons incluant les relaxations des jalons et des ressources ne sont donc pas proposées.

#### ***A- Relaxation des approvisionnements et des durées***

La relaxation des durées des tâches est associée à la relaxation des contraintes d'approvisionnement pour ouvrir de nouvelles dates possibles pour la date de début de la

tâche-ressource, permettant ainsi de réserver un créneau de ressource proposé par le sous-traitant.

Les contraintes d'approvisionnements sont utilisées lors de la propagation avant afin de planifier le projet et de déterminer la date de début au plus tôt des tâches. Et lorsque le donneur d'ordres planifie au plus tôt, seule la diminution des durées des tâches précédant la tâche-ressource permet de dégager des degrés de libertés qui se cumulent à la relaxation des approvisionnements, d'où une augmentation des dates de début possibles pour la tâche-ressource (effet positif recherché par la relaxation).

C'est pourquoi les dates de début des tâches précédant la tâche-ressource peuvent être relaxées en même temps que les contraintes d'approvisionnement (Figure 6.11) selon le taux décrit en §6.3.2.2.A.

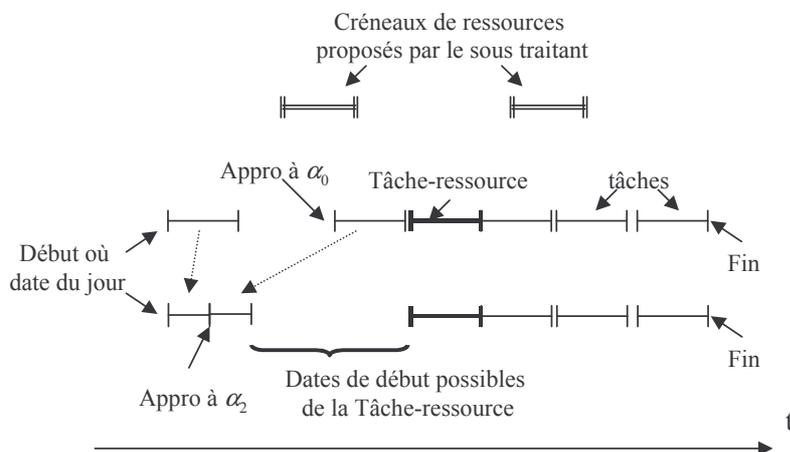


Figure 6.11. Relaxation des approvisionnements et des durées des tâches avant la ressource.

**Relaxer les contraintes d'approvisionnement et de durée :**

- (0) Relaxer les contraintes de durées
- (1) Relaxer les contraintes d'approvisionnements
- (2) Enregistrer les nouvelles valeurs des paramètres des approvisionnements
- (3) Appliquer le modèle de planification au plus tard  $t_i = \bar{t}_i$
- (4) Calculer le créneau planifié par le donneur d'ordre  $C_{Plan, DO}$

La diminution des durées des tâches du projet qui succèdent à la tâche-ressource engendre des contraintes supplémentaires sur les tâches dont la durée est diminuée et ne permet pas de libérer des degrés de liberté pour la tâche-ressource lorsque le projet est planifié au plus tôt.

Cette opération ne facilite donc pas la réservation d'un créneau de ressource mais peut être envisagée pour respecter les délais du projet.

Dans le cadre de la relation de sous traitance, la relaxation des approvisionnements et des durées permet au donneur d'ordres de fournir au sous-traitant la date de début au plus tôt de sa tâche-ressource, date déterminée sous les seules contraintes de précédences du projet. Avant cette date, le donneur d'ordres est donc dans l'incapacité de planifier son projet car la durée entre la date du jour et la date de début au plus tôt de la tâche-ressource est déjà minimale. (cela reviendrait à faire commencer une tâche avant la date du jour)

### ***B- Relaxation des jalons et des durées***

La relaxation des jalons assure au donneur d'ordres de pouvoir réserver un créneau de ressource car il existe toujours un créneau de ressource libre à l'infini. La relaxation des contraintes de jalons est alors associée à la relaxation des durées des tâches qui succèdent à la tâche-ressource pour diminuer la date de fin et donc la durée du projet.

#### ***Relaxer les contraintes de jalon et de durée :***

***(0) Relaxer les contraintes de durées***

***(1) Relaxer les contraintes de jalons***

***(2) Enregistrer les nouvelles valeurs des paramètres des jalons***

***(3) Appliquer le modèle de planification au plus tard  $t_i = \underline{t}_i$***

***(4) Calculer le créneau planifié par le donneur d'ordre  $C_{Plan, DO}$***

### ***C- Relaxation des ressources et [approvisionnement et/ou durées]***

La relaxation des ressources peut être couplée aux relaxations des contraintes d'approvisionnement et de durée. Mais dès lors que les ressources sont relaxées, le donneur d'ordres est en mesure de trouver un plan solution à son problème. Les relaxations complémentaires des approvisionnements et/ou des durées ne se justifient alors qu'au sein de la relation dans le cadre de politiques coopératives entre le donneur d'ordres et le sous-traitant.

Le modèle de re-planification repose sur la relaxation de contraintes qui peuvent être prises individuellement ou par combinaisons. Quelles que soient les contraintes relaxées, le donneur d'ordres ne souhaite pas relaxer inutilement et cherche donc la ou les relaxations appropriées à son problème de planification dans le cadre de la relation donneur d'ordres sous-traitant.

Pour répondre à cette attente, notre modèle de re-planification reproduit une succession de relaxations qui traduisent la politique de re-planification progressive mise en œuvre par le donneur d'ordre.

#### 6.3.2.4 *Succession de relaxations*

Le donneur d'ordres choisit plusieurs relaxations parmi celles qui lui sont proposées par l'outil et les ordonne afin de constituer une séquence de priorité suivant les relaxations qui reflète son comportement de re-planification.

Il faut rappeler que la politique de re-planification est utilisée lorsque l'application de la politique de planification n'a pas permis de trouver un plan satisfaisant l'ensemble des contraintes. La re-planification vise alors à établir un nouveau plan en tenant compte des nouveaux paramètres des contraintes relaxées.

La politique de re-planification est définie à travers l'élaboration d'une séquence de relaxations successives des contraintes portant sur le projet du donneur d'ordre. L'objectif de ces actions de relaxation est d'augmenter les degrés de liberté du projet pour trouver un plan et un créneau de ressource alors que le problème de planification posé initialement est sur-contraint.

Lorsque le donneur décide de relaxer les contraintes de son projet, il fait des efforts et veut les limiter. C'est pourquoi nous lui proposons de choisir les contraintes qu'il accepte de relaxer et la séquence dans laquelle il veut tester leur efficacité en termes d'existence d'un plan solution.

L'enchaînement des contraintes et des combinaisons de contraintes choisies par le donneur d'ordres définit la succession des étapes de la séquence de relaxations de contraintes pour la re-planification du projet. L'interface de l'outil permet de créer une séquence de relaxations composée de cinq étapes.

#### ***Séquence de relaxation :***

Pour chaque étape  $S_i$  de la séquence  $S$  composée de  $n$  étapes ( $i \in \{1, \dots, n\}$  avec  $n \leq 5$ ) :

*Relaxer les contraintes de l'étape  $S_i$*

*Actualiser les paramètres*

*Appliquer le modèle de planification pour déterminer les nouvelles dates de début des tâches  $t_i$*

*Si une solution à ce problème de planification relaxé existe. :*

*Enregistrer les nouvelles valeurs des paramètres des contraintes permettant de trouver une solution au problème de planification du projet*

*Mettre Fin à la séquence*

*Sinon*

*Si  $i \neq n$*

*Ré-initialiser les paramètres des contraintes du projet*

*Poursuivre la séquence*

*Sinon*

*Ré-initialiser les paramètres des contraintes du projet*

*Relaxer Appros et Durées et ressources pour trouver la date de début au plus tôt de la tâche-ressource*

A chaque relaxation, une nouvelle planification est effectuée afin de déterminer si le choix des contraintes relaxées permet de trouver un plan solution. La séquence de relaxation n'est pas cumulative. Chaque élément de la séquence est donc relaxé par rapport au problème initial (avant début de la séquence de relaxation), indépendamment des éléments déjà relaxés au cours de la séquence. Pour cela, lors de chaque étape, les valeurs initiales des paramètres modifiés par la relaxation sont archivées. Ces archives sont ensuite utilisées entre chaque étape pour restaurer l'état avant relaxation.

Par exemple, il est possible de relaxer dans l'ordre : 1- les approvisionnements, 2- les approvisionnements et les durées, 3- les jalons, 4- les libertés de ressource. Cette séquence permet de tester si la relaxation des approvisionnements permet de trouver une solution (1), ou si la relaxation des approvisionnements et des durées le permet (2) ou si la relaxation des jalons le permet (3), et ainsi de suite.

Le déroulement de la séquence est arrêté lorsqu'une solution est trouvée. Les paramètres des contraintes du problème sont alors actualisés afin de définir le nouveau problème utilisé par la suite. Si la séquence choisie par le donneur d'ordres ne lui permet pas de trouver une solution au problème de planification et d'établir un plan, il est dans l'incapacité d'en extraire une demande de créneau pour le sous-traitant. Il fournira alors une date à partir de laquelle il lui est possible de trouver une solution. Cette date sera strictement supérieure ou égale à la date de début au plus tôt possible de la tâche, date de début au plus tôt obtenue par relaxation des contraintes de ressources, d'approvisionnements et de durées du projet. Une date inférieure se traduirait par une aberration car elle signifierait que des activités doivent commencer avant la date du jour soit hier, ce qui est bien entendu inenvisageable.

#### **6.3.2.5 Politique de re-planification et coopération**

La séquence de relaxation pour la re-planification apporte une connotation coopérative au comportement de planification du donneur d'ordre. En effet, le fait d'accepter de relaxer reflète un comportement qui va dans le sens de l'objectif commun de la relation et qui nécessite des efforts de la part du donneur d'ordre. Son comportement de re-planification est alors dit coopératif.

Le degré de coopération pour la re-planification dépend principalement du choix des contraintes à relaxer : celles du projet ou de la ressource.

Un comportement de relaxation non coopératif de la part du donneur d'ordres s'exprime par la relaxation de la contrainte de ressource, ce qui revient à ne pas tenir compte des possibilités du sous traitant.

A l'inverse, la relaxation des contraintes de jalon, d'approvisionnement et/ou de durée des tâches pour trouver un plan satisfaisant la contrainte de ressource correspond, au sein du modèle, à un comportement très coopératif du donneur d'ordre.

Mais quelle que soit la séquence du donneur d'ordre, le fait qu'il définisse sa politique de re-planification en intégrant une séquence de relaxation indique qu'il adopte un comportement coopératif au sens de la réservation de créneau. En effet, il essaie de trouver une solution qui respecte les contraintes de créneau du sous traitant.

Cependant, ce n'est pas pour autant que le donneur d'ordres fait des efforts pour adopter un comportement coopératif. En effet, l'aspect coopératif doit être relativisé en fonction du rapport décisionnel existant entre les deux acteurs. Ainsi, si le sous-traitant est plus puissant que le donneur d'ordre, la re-planification coopérative du donneur d'ordres correspond à une politique adaptée à sa situation et non à un effort associé à un comportement de type coopératif au sens de la relation. Par contre, si le donneur d'ordres est le plus puissant, le fait qu'il fasse des efforts et mette en œuvre une politique de planification en relaxant par défaut certaines des contraintes de son projet correspond à un comportement très coopératif vis à vis du sous-traitant au sein de la relation.

Le modèle de re-planification et le comportement coopératif du donneur d'ordres présenté à travers la séquence de relaxation permettent au donneur d'ordres d'établir un plan de son projet. A partir de ce plan, il va déterminer :

- soit un créneau de ressource qu'il va demander au sous-traitant,
- soit une date à partir de laquelle il lui est possible d'effectuer la tâche-ressource.

Puis il va transmettre cette information au sous-traitant en s'appuyant sur son modèle de communication.

### **6.3.3 Modèle de communication**

Le modèle de communication du donneur d'ordres définit son comportement de communication avec le sous-traitant. Il lui permet d'exprimer une demande de créneau déformée par rapport au créneau de ressource solution issu de son plan qui représente les souhaits internes propres au projet.

Pour transformer son créneau planifié  $C_{Plan,DO}^t$  en un créneau demandé  $C_{Dem}^t$  communiqué au sous-traitant, le donneur d'ordres articule son estimation autour de :

- l'estimation du comportement du sous-traitant et son impact sur la politique de demande du donneur d'ordres. Il peut se donner des marges de sécurité s'il pense que le comportement du sous traitant est peu fiable ou trop optimiste par exemple,
- l'estimation des impacts des relaxations de contraintes effectuées au sein du modèle de re-planification et qui ont permis de trouver un plan solution et le créneau de ressource associé. Une autre façon consiste à prendre des marges afin de soulager le projet des contraintes issues des relaxations (contraintes de délais issues de la diminution des durées par exemple)

Ces estimations fondées sur la connaissance de l'attitude du sous-traitant et des propres besoins du donneur d'ordres permettent d'adapter les demandes du donneur d'ordres. Cette adaptation s'exprime à travers les déformations qu'il fait subir au créneau planifié issu de son plan afin de la transformer en un créneau demandé.

Par exemple, le donneur d'ordres peut choisir d'effectuer une demande de créneau après avoir fait subir au créneau planifié les modifications suivantes :

- avancer la date de début de son créneau planifié de X jours correspondant à la durée du retard moyen du sous-traitant et à la marge de sécurité prise par le donneur d'ordres sur la date de fin de sa tâche précédente (par exemple tâche de fabrication de la maquette avant passage en soufflerie).
- retarder la date de fin de Y % de la durée de la tâche (augmentation durée). Dans le cas d'une soufflerie, ce pourcentage peut par exemple correspondre à une augmentation de la durée des essais.

Dans ce cas, l'algorithme utilisé est le suivant :

(1) : Récupérer le créneau planifié  $C_{Plan,DO}$  de la tâche-ressource issu du nouveau plan du donneur d'ordre, avec  $C_{Plan,DO} = [S_{Plan,DO}, E_{Plan,DO}]$

(2) : Déterminer le créneau demandé :  $C_{Dem} = [S_{Dem}, E_{Dem}]$ , tel que :

$$S_{Dem} = S_{Plan,DO} - Z * X$$

$$E_{Dem} = E_{Plan,DO} + Z[(E_{Plan,DO} - S_{Plan,DO}) * Y / 100]$$

Avec  $Z = 1$  si le donneur d'ordres décide d'augmenter la durée du créneau  
 $Z = -1$  si le donneur d'ordres décide de diminuer la durée du créneau

Le comportement de communication du donneur d'ordres est dit d'autant plus coopératif que la demande transmise est proche de la demande qu'il a établie en interne à partir de la planification de ses activités.

La coopération du donneur d'ordres s'exprime également à travers les informations complémentaires qui pourraient être fournies au sous-traitant telles que :

- les traitements utilisés pour établir les données,
- les efforts consentis (relaxations effectuées pour re-planifier le projet),
- la flexibilité résiduelle (marges libres et totales sur la tâche du projet utilisant la ressource ou sur la date de fin du projet),
- les risques encourus par la tâche, le plan d'actions correctives envisagées...

Au sein d'une relation coopérative, ces informations pourraient permettre au sous-traitant de mieux comprendre le fonctionnement du donneur d'ordre, d'ajuster son comportement à celui du donneur d'ordres et d'améliorer son anticipation et la prévention des risques au sein de la relation.

#### **6.3.4 Structure globale du modèle du donneur d'ordres**

Dans ce paragraphe 6.3, nous avons présenté les différents modèles composant le donneur d'ordres et lui permettant, à partir d'un plan de ses activités et des libertés de la ressource du sous-traitant, d'établir un nouveau plan et d'en extraire une demande de réservation de créneau transmise au sous-traitant.

Le modèle de comportement du donneur d'ordres est établi à partir des choix qu'il effectue au sein de ces modèles pour :

- planifier son projet (plus tôt / plus tard),
- interpréter les informations issues du sous-traitant,
- re-planifier son projet afin de trouver une solution à son problème sur-contraint, par relaxation de ses contraintes,
- transmettre sa demande au sous-traitant.

La Figure 6.12 ci dessous présente la structure globale du modèle du donneur d'ordres qui synthétise les différents composants présentés précédemment.

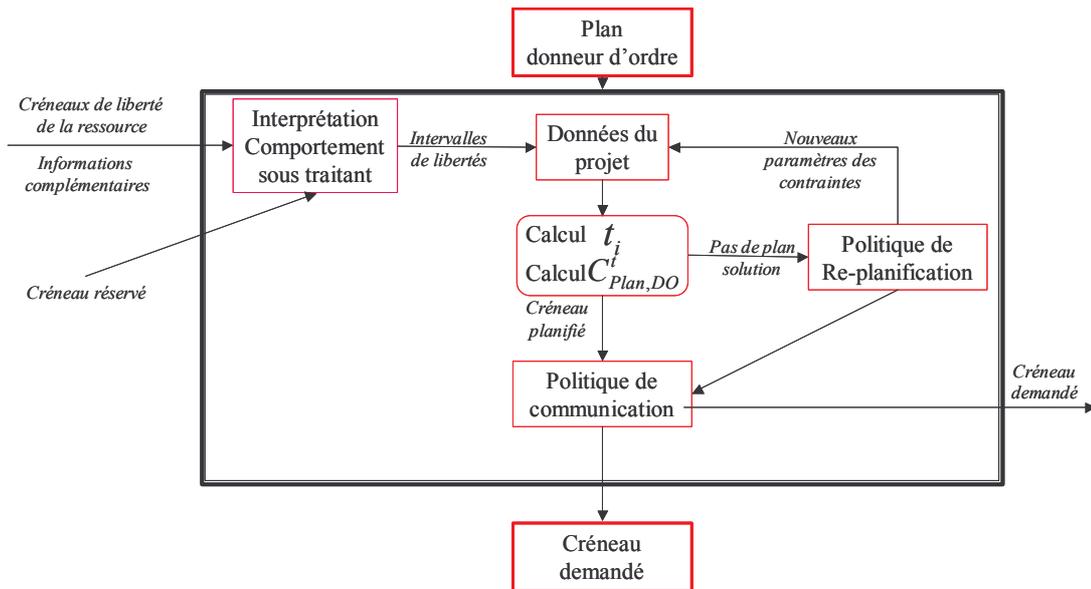


Figure 6.12. Structure globale du modèle du donneur d'ordres

Dans un premier temps, le donneur d'ordres interprète l'ensemble de créneaux de libertés issus du sous-traitant, se les approprie et les associe à la tâche de son projet utilisant la ressource en les transformant en un ensemble d'intervalles de dates de début possibles pour la tâche.

A partir de cette contrainte et des données actualisées de son projet, le donneur d'ordres va utiliser son modèle de planification pour chercher un plan qui respecte toutes les contraintes de son modèle de planification. La planification consiste à déterminer la date de début de chacune des tâches du projet.

- Si un tel plan existe, le donneur d'ordres calcule un créneau de ressource dit "planifié par le donneur d'ordres", avant la réservation du créneau. Ce créneau de ressource est issu de la planification du donneur d'ordres et est déterminé à partir des dates de début  $t_i$  des tâches planifiées, soit  $S_{Plan,DO}^t = t_i$  et  $E_{Plan,DO}^t = t_i + d_i$
- S'il n'y a pas de solution, toutes les contraintes ne peuvent être satisfaites simultanément. La séquence d'actions de relaxations établie par le donneur d'ordres est donc activée afin d'appliquer sa politique coopérative de re-planification. Cette séquence intègre des remises en causes portant sur des contraintes interne (paramètres  $\alpha_i, \beta_i, d_i$ ), externe (ensemble  $O_i$ ) ou mixte. Ces contraintes sont alors relaxées par la modification de leurs paramètres afin de trouver un plan. A partir de ce plan et en fonction des paramètres des contraintes utilisées pour l'établir, le donneur d'ordres identifie, comme précédemment, un créneau de ressource planifié. Si malgré les relaxations, aucune solution n'est trouvée, le donneur d'ordres détermine à partir de quelle date il peut accepter de planifier sa tâche-ressource.

La politique de communication du donneur d'ordres lui permet ensuite de demander un créneau au sous-traitant. Il faut rappeler que si le donneur d'ordres n'est pas en mesure d'établir un plan, il peut transmettre une demande au sous-traitant constituée d'une date de début au plus tôt de sa tâche-ressource.

A partir de la demande exprimée par le donneur d'ordre, un créneau de ressource est réservé en se basant sur le modèle de la relation.

### **6.3.5 Environnement dynamique du donneur d'ordre**

L'environnement dynamique du donneur d'ordres est associé aux incertitudes portant sur les paramètres du projet au cours du temps. Ces incertitudes sont liées aux variations :

- des durées des tâches autres que celle sous-traitée, (augmentation ou diminution)
- de la durée de la tâche sous-traitée, (augmentation ou diminution)
- des dates d'approvisionnements, (avancées ou retardées dans le temps)
- des dates de jalons, (avancées ou retardées dans le temps)
- des dates de début des tâches autres que celle sous-traitée. (avancées ou retardées)

Les variations s'expriment par leur fréquence d'apparition et par leur amplitude :

- La fréquence est associée à l'ensemble des variations possibles. Elle permet, lors de chaque événement discret de la simulation, de déterminer si le projet a subi ou non des modifications depuis le dernier événement.
- Les amplitudes des variations sont liées à la nature des paramètres modifiés lors de l'événement.
  - Le choix du paramètre modifié lors d'un événement est effectué par tirage aléatoire équiprobable parmi les paramètres du projet.
  - Pour le paramètre sélectionné, une fonction de probabilité permet de déterminer l'amplitude de la modification. On a choisi une loi normale. A chaque paramètre est associé une loi normale spécifique définie selon une valeur de modification moyenne et un écart type. La moyenne et l'écart type correspondant à chaque paramètre est fixé par l'utilisateur de l'outil lors de son paramétrage.

La loi normale utilisée est définie selon la formule de Fox-Muller :

Si  $x_1$  et  $x_2$  sont des variables aléatoires suivant une distribution uniforme sur  $]0,1[$ , alors la variable  $Y$  telle que

$$Y = m + s * [\sqrt{(-2 \ln(x_1))} * \text{Cos}(2 * \text{PI} * x_2)]$$

suit une loi normale d'espérance  $m$  et d'écart-type  $s$ .

La dynamique des incertitudes permet de générer, lors d'un événement de la simulation, des amplitudes de variation en accord avec la date de cet événement (déroulement du temps) par rapport à la proximité des activités qu'elles impactent. Plus l'événement est proche de la date de réalisation de l'activité, moins l'amplitude de la variation est importante. Ce phénomène permet de respecter l'amortissement des oscillations des incertitudes correspondant à l'approche de la date de fin de la tâche (incertitudes nulles à cette date). Pour modéliser ce comportement, l'horizon de planification est initialement scindé en trois horizons partiels au sein desquelles l'amplitude des variations est restreinte en fonction de la date de l'événement.

Par exemple, la variation de la durée des tâches est gérée selon une loi normale qui est pondérée en fonction de la durée existant entre la date de début de la tâche et la date de l'événement de la simulation. On peut alors écrire l'algorithme suivant :

(0) : Appliquer la pondération  $\gamma_{t_i}$  à appliquer à la tâche  $T_i$  de date de début  $t_i$  dont la durée  $d_i$  doit être modifiée à la date  $t_{Evt}$  de l'événement, en fonction de l'amortissement choisi par l'utilisateur :

Si  $(t_i - t_{Evt}) \geq X \text{ Mois}$  Alors  $\gamma_{t_i} = \gamma_A$

Si  $Y \text{ Mois} \leq (t_i - t_{Evt}) \leq X \text{ Mois}$  Alors  $\gamma_{t_i} = \gamma_B$

Si  $(t_i - t_{Evt}) \leq Y \text{ Mois}$  Alors  $\gamma_{t_i} = \gamma_C$

(1) Calculer la nouvelle durée  $d_i$  de la tâche  $T_i$

$$d_i = d_i + [m + s * (\sqrt{(-2 \ln(x_1))} * \text{Cos}(2 * \text{PI} * x_2))] * \gamma_{t_i}$$

Avec  $x_1$  et  $x_2$  des variables aléatoires suivant une distribution uniforme sur  $]0,1[$ ,  $m$  l'espérance et  $s$  l'écart-type associées à la loi normale

Si ces variations conduisent le donneur d'ordres à remettre en cause le créneau de ressource réservé pour établir une nouvelle planification, un tout nouveau processus de réservation de créneau sera envisagé avec le sous-traitant.

## 6.4 Modèle macroscopique du sous-traitant

Le modèle du sous-traitant est établi par le donneur d'ordres. Or il n'est pas en possession de l'ensemble des informations lui permettant de modéliser finement le comportement du sous-traitant. Le comportement de planification du sous-traitant notamment est difficilement modélisable par le donneur d'ordres car il est fortement lié aux comportements des autres donneurs d'ordres utilisant cette ressource chez le sous traitant. Le donneur d'ordres n'a bien sûr pas accès à ces informations. Nous avons donc choisi une approche macroscopique pour modéliser le sous-traitant.

Le modèle macroscopique du sous-traitant (Figure 6.13) est composé de deux politiques regroupant :

- un modèle de comportement macroscopique permettant d'identifier la fenêtre de temps et les créneaux de libertés à transmettre au donneur d'ordres en fonction de sa politique de planification de sa ressource,
- un modèle de communication avec le donneur d'ordre.

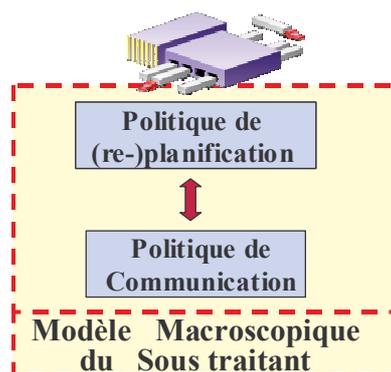


Figure 6.13. Modèle macroscopique du sous traitant.

La modélisation macroscopique du comportement du sous-traitant conduit à agréger les traitements du sous traitant. Seul le plan et les créneaux de liberté transmis au donneur d'ordres sont considérés.

### 6.4.1 Modèle de (re-)planification

D'un point de vue théorique, le problème de planification du sous-traitant est un problème d'ordonnancement à une machine. Dans le cadre de ce travail, on ne s'intéresse pas à la modélisation du processus de planification proprement dit, mais plutôt à la dynamique d'évolution de l'occupation de la ressource du sous-traitant.

En effet, on ne cherche pas ici à modéliser la manière dont ce plan est obtenu. La politique de (re-) planification du sous-traitant correspond à un comportement macroscopique générant des créneaux de liberté de ressource à transmettre au donneur d'ordres et des variations entre deux plans consécutifs.

Le modèle des créneaux de libertés utilisé est le suivant :

Le sous-traitant partage l'occupation de sa ressource  $R$  entre les différents projets des donneurs d'ordre. Les occupations  $O_R$  de la ressource peuvent être représentés sous forme d'une union de créneaux d'occupation :

$$O_R = \bigcup_x [C_x, D_x] \text{ avec } D_x < C_{x+1}$$

C'est à partir de ces occupations que le sous-traitant peut extraire les créneaux de liberté transmis au donneur d'ordre.

L'union des créneaux de liberté de la ressource  $\overline{O_R}$  correspond au complémentaire de  $O_R$  soit :  $\overline{O_R} = \bigcup_x ]D_{x-1}, C_x[$

A partir de ces créneaux de libertés, le sous-traitant procède à :

- L'agrégation des créneaux d'occupation du fait de la nécessité de préserver la confidentialité sur les données des autres donneurs d'ordre,
- La sélection d'une fenêtre à transmettre au donneur d'ordre,

L'union  $\bigcup_{x \in [1, n]} [\mu_x, \nu_x]$  des  $n$  créneaux de liberté est issu de  $\overline{O_R}$ .

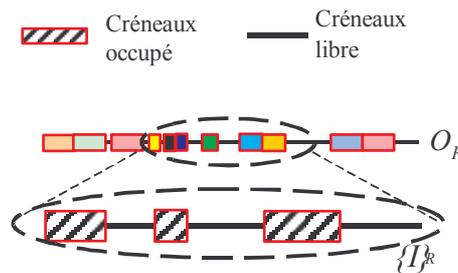


Figure 6.14. Fenêtre de temps à transmettre au donneur d'ordres et regroupant les créneaux de libertés agrégés planifiés par le sous traitant.

Lors d'un événement de la simulation, la politique de planification macroscopique du sous-traitant permet de déterminer les créneaux agrégés à transmettre au donneur d'ordre, tout en préservant la confidentialité (Figure 6.14).

Cependant, les créneaux transmis au donneur d'ordres peuvent être différents des créneaux planifiés par le sous traitant.

### 6.4.2 Modèle de la communication du sous-traitant

La politique agrégée de communication du sous-traitant consiste à déterminer l'écart à appliquer entre le (ou les) créneau(x) planifié(s) et le (ou les) créneau(x) transmis.

La durée du créneau transmis au donneur d'ordres est ainsi supérieure, inférieure ou égale au créneau planifié en fonction de la confiance qu'accorde le sous-traitant au donneur d'ordres et il n'est pas nécessairement centré sur le créneau planifié.

Dans notre modèle, nous avons fait l'hypothèse que la même politique de variation entre le planifié et le transmis est appliquée à l'ensemble des créneaux de libertés transmis au donneur d'ordres à un instant donné. Le modèle de communication utilisé est similaire au modèle d'interprétation du donneur d'ordre : il s'agit d'une déformation (par excès ou par défaut) des créneaux initialement présents sur la planning ressource.

L'ensemble de disponibilités  $C_i$  transmis par le sous-traitant au donneur d'ordres est constitué de  $n_i$  créneaux de libertés de ressource :  $C_i = \bigcup_{x \in [1, n_i]} [A_x, B_x]$

### 6.4.3 Structure globale du sous traitant

Dans ce paragraphe, nous avons présenté les différents modèles macroscopiques composant le sous-traitant et lui permettant d'actualiser son plan et d'en extraire un ensemble de créneaux de libertés transmis au donneur d'ordre.

La Figure 6.15 ci dessous présente la structure globale du modèle du sous-traitant présenté précédemment.

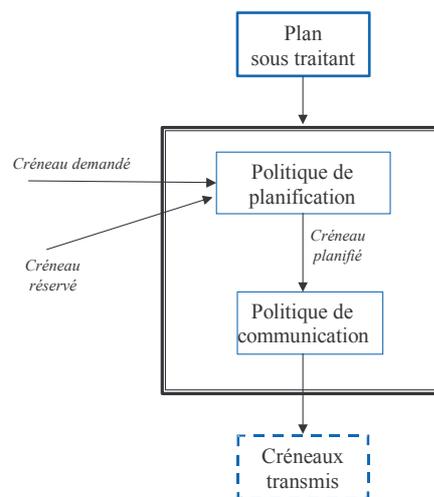


Figure 6.15. Structure globale du modèle du sous traitant.

Les créneaux transmis sont issus d'un plan qui évolue entre deux événements. C'est la dynamique du comportement macroscopique du sous-traitant qui génère les variations entre deux plans consécutifs.

#### **6.4.4 Modélisation des aléas ressource (dérive)**

Le comportement dynamique du sous-traitant est associé aux variations des tâches du plan d'occupation de la ressource au cours du temps.

Les différents types de variations modélisées au sein de l'outil sont les suivantes :

- (1) dérive des dates de début des tâches,
- (2) modification des durées des tâches planifiées par le sous traitant,
- (3) ajouts et suppressions de tâches dans le planning du sous traitant.

Entre deux événements consécutifs de la simulation, ces variations se traduisent respectivement par des variations sur les créneaux de liberté transmis au donneur d'ordres en termes :

- (1) d'augmentation et de diminution des dates de début des créneaux de liberté,
- (2) d'augmentation et de diminution de la durée des créneaux de liberté,
- (3) d'ajouts ou de suppressions de créneaux de liberté.

A un type de variation de créneaux de ressources et à ses impacts est associé un environnement du sous-traitant au sein de la relation donneur d'ordres / sous traitant. Cet environnement s'exprime par la fréquence et l'amplitude des variations qui lui sont associées :

- La fréquence est associée à l'ensemble des variations possibles. Elle permet, lors de chaque événement discret de la simulation, de déterminer si le plan d'occupation de la ressource a subi ou non des modifications depuis le dernier événement.
- Les amplitudes des variations sont liées à la nature des paramètres modifiés lors de l'événement. Le choix des paramètres modifiés lors d'un événement est effectué par tirage aléatoire équiprobable parmi les variations de dates de début, d'ajout de créneaux, de suppression de créneaux, d'augmentation ou de diminution de la durée des tâches.

Les comportements liés à la dérive des dates de début et l'ajout ou la suppression de créneaux de libertés sont modélisés par des lois normale permettant de déterminer les amplitudes. A chaque comportement est associé une loi normale spécifique définie selon une valeur de modification moyenne et un écart type. La moyenne et l'écart type sont fixés par l'utilisateur de l'outil lors de son paramétrage.

La loi normale utilisée est définie selon la formule de Fox-Muller :

*Si  $x_1$  et  $x_2$  sont des variables aléatoires suivant une distribution uniforme sur  $]0,1[$ , alors la variable  $Y$  telle que*

$$Y = m + s * [\sqrt{-2 \ln(x_1)} * \text{Cos}(2 * \text{PI} * x_2)]$$

*suit une loi normale d'espérance  $m$  et d'écart-type  $s$ .*

#### **6.4.5 Comportement optimiste ou pessimiste du sous-traitant**

Selon que le sous-traitant est optimiste ou pessimiste, il va modifier les durées des tâches sur sa ressource. Ces modifications sont traduites dans la simulation par un pourcentage de variation commun à tous les créneaux de liberté transmis par le sous-traitant au donneur d'ordre. Ce pourcentage traduit le comportement plus ou moins optimiste ou pessimiste et permet de déterminer l'amplitude de la modification de la durée des créneaux proportionnellement à leurs durées tout au long de la simulation.

Cette approche nécessite de répartir une variation de durée sur un certain nombre d'événements de la simulation. Or en dynamique, il est impossible de répartir la variation de durée sur un nombre inconnu d'événements. C'est pourquoi la répartition est effectuée à l'initialisation de la simulation, les événements sont alors intégrés à l'échéancier.

De plus, ces événements sont considérés en fonction de l'horizon de planification auquel ils appartiennent. Comme pour le donneur d'ordre, l'approche par simulation permet de générer des amplitudes de variation en accord avec la date de cet événement (déroulement du temps) afin de respecter l'amortissement des variations correspondant à l'approche de la date de fin de la tâche (incertitudes nulles à cette date). L'utilisateur renseigne les dates correspondant à trois Horizons et la répartition  $U$  et  $V$  à appliquer sur les deux horizons où sont réparties les variations. La durée du créneau est stable sur le dernier horizon (le plus proche de la date de réalisation de la tâche). Par exemple : La diminution de la durée des créneaux liée à un comportement optimiste à -50% peut être répartie à 60% sur le premier horizon et à 40% sur le second.

Le modèle de répartition présenté ci-dessous s'applique à un comportement optimiste du sous-traitant (diminution des durées des créneaux de liberté de ressources au cours de la simulation). Le modèle d'un comportement pessimiste identique aux signes près (augmentation des durées des créneaux) :

*\* Soit  $i$  événements sous-traitant sur lesquels est réparti la variation de durée des créneaux de libertés de ressource au cours de la simulation avec  $i \in (1, \dots, n)$*

\* Pour tous les créneaux  $C$  de l'ensemble des créneaux de libertés de ressource transmis au donneur d'ordres :

(0) La variation de  $X\%$  s'applique à la durée de référence du créneaux qui correspond à un comportement ni optimiste ni pessimiste. Ce comportement de référence se traduit par la conservation de la durée  $D_c$  du créneau de ressource tout au long de la simulation.

La durée finale (lors du dernier événement) du créneau considéré est constante quel que soit la variation de durée à appliquer (quel que soit le comportement plus ou moins optimiste ou pessimiste),

Soit  $D_{Evt(n)} = D_c$

(1) Calcul de la durée initiale du créneau de ressource (Variation de durée maximale):

$$D_{Evt(1)} = D_{Evt(n)} \pm (D_{Evt(n)} * X)/100$$

(2) Répartition de la variation de durée sur les événements présents sur les trois horizons du sous-traitant :

A- Premier Horizon : Répartir  $U\%$  de  $(D_{Evt(n)} * X)/100$  sur  $N_J$  événements présents sur

cet horizon soit :  $D_{Evt(J)} = D_{Evt(J-1)} - \left( \frac{(D_{Evt(n)} * X/100) * U/100}{N_J} \right)$  avec

$$J \in (2, \dots, N_J)$$

B- Second Horizon : Répartir  $V\%$  de  $(D_{Evt(n)} * X)/100$  sur  $N_K$  événements présents sur

cet horizon soit :  $D_{Evt(K)} = D_{Evt(K-1)} - \left( \frac{(D_{Evt(n)} * X/100) * V/100}{N_K} \right)$

$$\text{avec } K \in (N_{J+1}, \dots, N_K)$$

C- Dernier Horizon : Pas de modification sur les  $N_L$  événements présents sur cet

horizon soit :  $D_{Evt(L)} = D_{Evt(n)}$  avec  $L \in (N_{K+1}, \dots, (n-1))$

L'augmentation de la durée des créneaux peut entraîner des chevauchements entre les nouveaux créneaux. Ils sont gérés par l'algorithme ci-dessous.

- (1) : Soit l'union  $\bigcup_{x \in [1, n]} [\mu_x, \nu_x]$  des  $n$  créneaux de liberté ordonné par ordre croissant et  $X$  le pourcentage d'augmentation de durée à appliquer à chaque créneau.
- (2) : Prendre le premier créneau de durée  $d = (\nu_1 - \mu_1)$
- (3) : Gérer l'augmentation de ce premier créneau :
- Augmentation à gauche :  $\mu_1 = \max(\text{Date de début simulation}; \mu_1 + (X * d) / 100)$
  - Augmentation à droite :  $\nu_1 = \nu_1 + (X * d) / 100$   
si  $\mu_2 > \nu_1$  alors oublier le premier créneau  
sinon
- $i = 1$
- Tant que  $\mu_{i+1} \leq \nu_i$  alors
- $\nu_i = \nu_i + X * (\nu_i - \mu_i) / 100$
- $i = i + 1$
- oublier les  $i$  premiers créneaux
- (4) : Reprendre depuis (2) tant que la liste de créneaux n'est pas vide.

Lors des événements de la simulation, si les comportements (variations des créneaux de liberté) du sous-traitant conduisent à remettre en cause le créneau de ressource réservé, une nouvelle réservation de créneau est mise en œuvre au sein de la relation.

## 6.5 Conclusion

Un outil de simulation de la relation entre un donneur d'ordres (gérant son projet) et un sous-traitant de spécialité (gérant l'occupation d'une ressource stratégique) est proposé pour permettre aux deux acteurs d'étudier l'impact de leurs comportements. Plus spécifiquement, cet outil simule les échanges et décisions concernant la réservation et la réactualisation d'un créneau de ressource. Il s'appuie sur la modélisation du comportement du donneur d'ordres, du comportement du sous-traitant et de la relation dans laquelle ils évoluent.

L'outil proposé est destiné à un donneur d'ordres qui ne dispose pas toujours d'une vision précise des comportements du sous-traitant. Cette approche conduit à détailler les comportements du donneur d'ordres (Modèles de planification, d'interprétation du comportement, de re-planification, de communication et leur dynamique), alors que seul un modèle macroscopique du comportement du sous-traitant est envisagé (Modèles de (Re-)

planification, de communication et leur dynamique). La relation est modélisée par un processus de réservation de créneau et caractérisée par le rapport de forces existant entre les deux acteurs. Le modèle du système constitué des trois modèles évolue en suivant la logique de changement d'états correspondant aux événements discrets de la simulation.

Le chapitre suivant présente la démarche de mise en œuvre de l'outil à travers une interface graphique qui permet de paramétrer les modèles du donneur d'ordre, du sous-traitant et de leur relation.



## **Chapitre 7.**

### **Démarche d'utilisation de l'outil**

L'outil proposé est destiné à un donneur d'ordres qui veut communiquer avec ses sous-traitants sur l'intérêt de la coopération. Pour cela, il est nécessaire de lui offrir une démarche d'utilisation de l'outil.

L'outil a été implémenté en Visual Basic sur un PC (processeur Intel Pentium II 233MHz et 96Mo de mémoire vive) et permet d'obtenir les résultats d'une simulation en 90 secondes en moyenne et en 5 minutes au maximum (selon le nombre d'événements générés par les incertitudes).

#### **7.1 Utilisation coopérative de l'outil de simulation**

L'outil de simulation a été conçu pour être utilisé comme un vecteur de coopération entre les deux acteurs à travers une démarche de mise en œuvre dédiée détaillée ci-dessous et illustrée par la Figure 7.1 :

##### **- Etape 1 : Définir l'objectif**

*Il s'agit de définir tout d'abord l'objectif de la relation :*

Les deux acteurs expriment leurs attentes de la relation et se mettent d'accord sur la définition de l'objectif de leur relation.

##### **- Etape 2 : Echanger sur les comportements**

*Dans un deuxième temps, il s'agit de déterminer les comportements mis en œuvre par les deux acteurs de la relation :*

Les deux acteurs analysent les méthodes et les processus sur lesquels ils vont s'appuyer pour atteindre cet objectif. Puis ils identifient la nature de leur relation en terme de processus coopératif de réservation de créneaux.

L'approche permet aux deux acteurs d'identifier les comportements et les politiques qu'ils vont mettre en œuvre au sein de la relation (comportements internes et relationnels). La communication établie entre le donneur d'ordres et le sous-traitant sur l'objectif de la relation peut alors s'étendre à la nature et à la caractérisation de leurs comportements.

A partir de ce dialogue, les deux acteurs sont en mesure d'exprimer les comportements qu'ils souhaitent mettre en œuvre au sein de la relation pour atteindre l'objectif défini *Etape 1*.

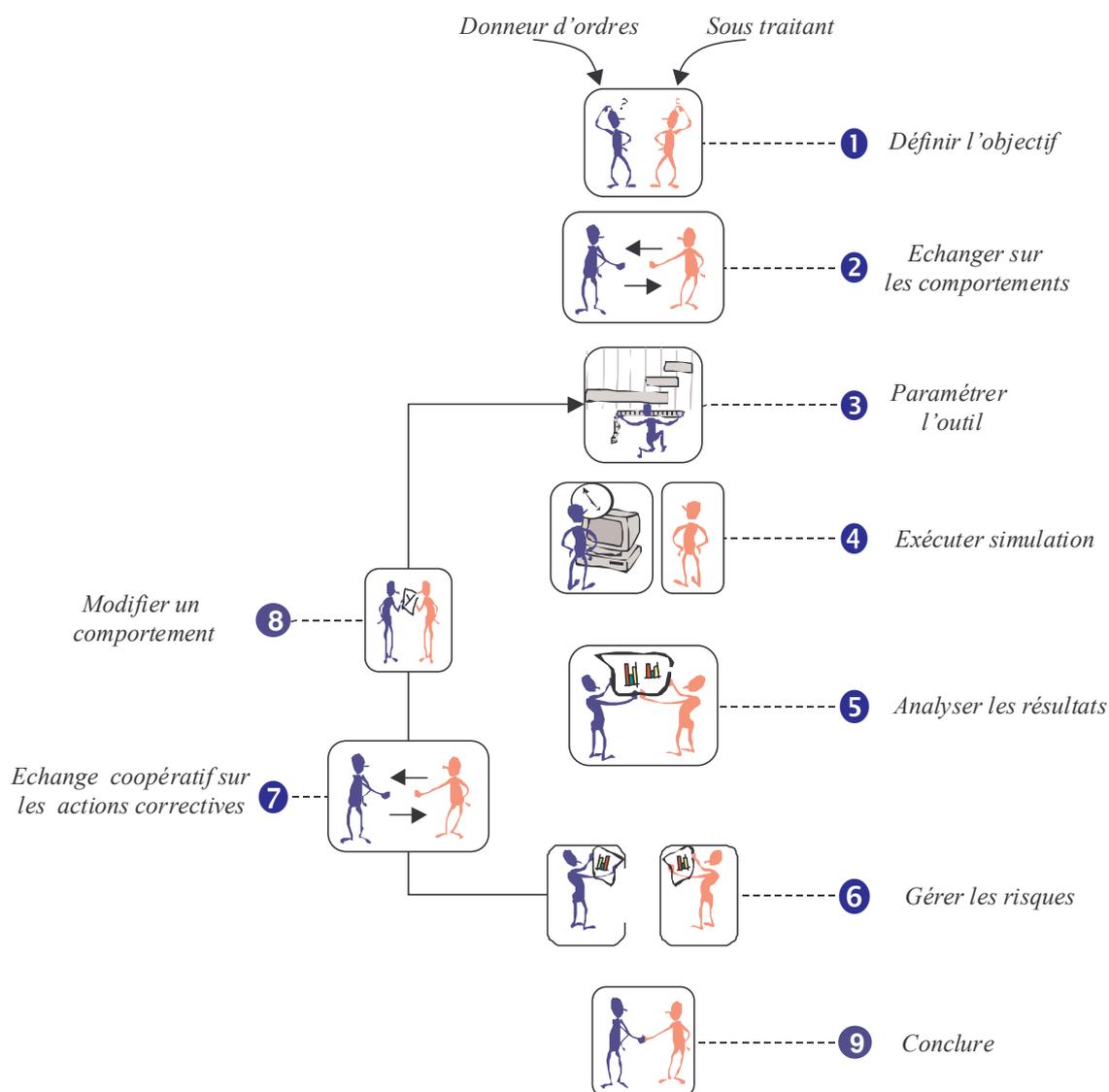


Figure 7.1. Mise en œuvre coopérative de l'outil de simulation.

### - **Etape 3 : Paramétrer l'outil**

Dans la troisième étape, il faut déterminer les paramètres de la simulation correspondant aux comportements des deux acteurs et de la relation :

Le donneur d'ordres utilisateur définit l'ensemble des tâches (durées, précédences) et des contraintes (approvisionnements, jalons, ressources) puis il paramètre le système de la relation à l'aide des fenêtres graphiques de modélisation offertes par l'outil (Figure 7.2).



Figure 7.2. Cadre de modélisation de l'outil.

Le donneur d'ordres définit les paramètres de l'outil concernant :

1. Ses modèles de comportements (Figure 7.3) : interprétation, (re-)planification, communication,

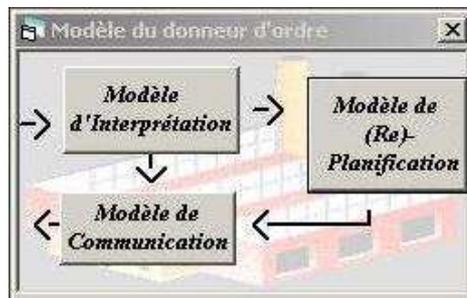


Figure 7.3. Modèle du donneur d'ordre.

2. Les modèles de comportements du sous-traitant (Figure 7.4) : (re-)planification, communication,



Figure 7.4. Modèle du sous traitant.

3. Le modèle de la relation



Figure 7.5. Modèle de la relation.

4. Le modèle de simulation à événements discrets de la relation (Figure 7.6).

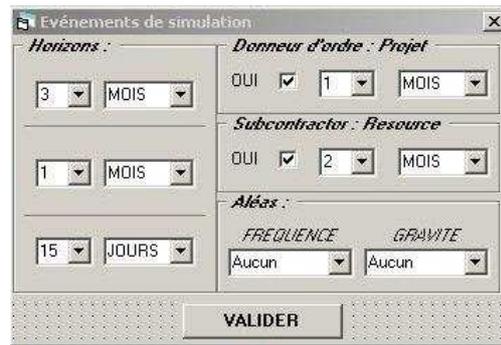


Figure 7.6. Modélisation des événements de la simulation.

- **Etape 4 : Exécuter la simulation.**
- **Etape 5 : Analyser les résultats.**

Il s'agit de définir les performances et les impacts des comportements simulés : L'utilisateur de l'outil et son partenaire analysent les impacts des comportements envisagés sur la performance de leur activité, sur la relation et sur la performance de leur partenaire. Pour effectuer ces analyses, ils s'appuient sur les indicateurs de performance fournis par l'outil de simulation et les comparent à leurs propres objectifs et à ceux de la relation. Par exemple, le retard du projet est présenté à l'utilisateur à travers un tableau de synthèse et un graphique (Figure 7.7) correspondant à la simulation illustrée figure 8.8.



Figure 7.7. Evolution du retard du projet au cours de la simulation.

- **Etape 6 : Gérer les risques**

Dans cette étape, il faut déterminer les risques à gérer et comment les gérer (cette étape sera détaillée au paragraphe 7.2.) :

En bref, disons que la gestion des risques se décompose en deux phases d'analyse et de maîtrise des risques.

**a : Risques liés aux comportements simulés :**

Les évaluations de performances fournies par l'outil correspondent aux impacts de la politique de coopération. Ces évaluations peuvent être associées à la gravité des impacts

liés aux risques de la politique de coopération par un changement d'échelle. Cette évolution consiste à interpréter chaque indicateur de performance (en jours) par l'intermédiaire de la gravité évaluée de façon croissante entre 1 (min) et 5 (max). Par exemple, un retard du projet de 15 jours peut être associé à l'impact du risque de retard avec une gravité égale à 3.

La gestion des risques permet surtout de lier la gravité des impacts à l'occurrence et à la détectabilité des causes, ce qui permet de hiérarchiser les risques par leur criticité.

***b :** Actions en réduction de risques envisagées par chacun des deux acteurs :*  
A partir de l'évaluation et de la hiérarchisation des risques, le donneur d'ordres et le sous-traitant sont en mesure d'identifier les risques les plus importants, dits critiques. Si les acteurs jugent nécessaire de gérer ces risques, ils doivent identifier une ou plusieurs actions en réduction de risque.

#### **- Etape 7 : Echanger sur les actions en réduction de risques**

*Il s'agit ici de réduire les risques au sein de la relation ?*

Les impacts des actions en réduction de risques doivent être évalués afin de s'assurer que leurs effets sont réellement bénéfiques et qu'ils ne génèrent pas de risques plus grands que ceux qu'ils traitent. Une action est définie comme la modification d'un paramètre (comportement) de la politique de coopération. La simulation est utilisée pour évaluer les impacts d'une action en réduction de risques sur le donneur d'ordre, le sous-traitant et leur relation.

Les deux acteurs communiquent sur leurs risques et sur les actions qu'ils envisagent en termes de comportements. Ils sont ainsi amenés à travailler ensemble sur leurs comportements et leurs impacts au sein de la relation.

#### **- Etape 8 : Modifier un comportement**

*Dans cette étape, il faut déterminer l'action en réduction de risque évaluée par simulation et ses impacts :*

A partir de leur coopération, les deux acteurs peuvent identifier l'action en réduction de risque à évaluer lors de la prochaine simulation. Cette action est exprimée en termes de comportement afin de modifier un ou plusieurs paramètres de la politique de coopération, paramètres qui seront définis dans l'outil lors de l'étape 3, puis simulés.

#### **- Etape 9 : Conclure**

Lorsque les deux acteurs sont satisfaits par les performances des comportements de leur politique de coopération, ils s'entendent pour les mettre en œuvre au sein de leur relation de réservation de créneaux.

## 7.2 Gestion des risques (étape 6)

Comme on l'a vu dans le *Chapitre 4.3*, pour les projets dont la notion de gestion des délais est particulièrement importante, comme dans notre étude, il est nécessaire de se diriger vers une méthode de gestion des risques dédiée aux risques inhérents à la planification. On s'intéresse alors à l'aspect délai des impacts des risques identifiés.

### 7.2.1 AMDEC Délais pour la relation Donneur d'ordres / Sous-traitant

#### 7.2.1.1 *Analyse des risques et AMDEC-Délais*

Du point de vue du donneur d'ordre, organisé en structure projet et fortement contraint en délais sur ses tâches, il est important d'anticiper l'impact d'une dérive éventuelle. La notion de risque et sa gestion peuvent permettre de répondre à cette attente.

Une méthode est donc nécessaire pour synthétiser l'ensemble des risques potentiels inhérents à un projet industriel. Notre choix c'est porté sur la méthode AMDEC : Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité. La criticité est fonction de l'occurrence et de la détectabilité des causes et de la gravité des effets. (Criticité = Gravité \* Occurrence \* Détectabilité)

Cette méthode a été choisie car :

- elle est très intuitive et facile à mettre en place au sein d'une entreprise,
  - sa mise en œuvre couple l'utilisation de l'expertise et de l'expérience humaine avec des outils d'évaluation,
  - elle est très répandue dans le milieu industriel, et particulièrement en aéronautique.
- Les applications industrielles seront donc facilitées et il sera possible de s'appuyer sur la culture des risques propres à l'entreprise.

Dans le contexte de cette étude, l'AMDEC a été adaptée pour prendre en compte les spécificités du problème étudié : on parlera « d'AMDEC délais ».

#### 7.2.1.2 *Structure de l'AMDEC Délais pour la relation*

L'AMDEC n'est pas par nature orientée spécifiquement vers le respect des délais, elle vise plutôt à identifier tous les aléas potentiels quelle que soit la nature de leur impact sur le projet. Mais nous allons tout particulièrement nous attacher à l'impact délais des risques. Les risques capitalisés dans notre AMDEC-Délais auront donc comme particularité d'avoir, en termes de délais, un impact sur les dates d'exigibilité du projet.

Afin de coupler efficacement l'outil de planification et les données issues de l'AMDEC-Délais, nous avons défini plus précisément nos besoins en termes de données qui sont orientées respect des délais et relatives aux comportements des acteurs.

L'AMDEC-Délais de la relation donneur d'ordre/sous-traitant dissocie les risques des deux acteurs. Les risques du donneur d'ordres et du sous-traitant sont respectivement répartis en quatre et en une catégories correspondant aux contraintes portant sur le projet (Figure 7.8).

Pour le donneur d'ordre, les risques sont liés à des aléas sur :

- la durée des tâches,
- les dates d'approvisionnements,
- les dates de jalons,
- le séquençement des tâches.

Pour le sous-traitant, les risques sont liés à :

- la variation des créneaux de ressources disponibles pour le projet du donneur d'ordres suite aux modifications des créneaux alloués aux autres donneur d'ordres utilisant la même ressource.

Les risques identifiés par chaque acteur sont classés par catégories de risques et considérés comme élémentaires quelle que soit leur Criticité.

AMDEC Délais						
RISQUES	EFFETS	Déte	Occ	Grav	CRITICITE	ACTIONS
		ctabilité	currence	ité		
<b>RISQUES DO</b>						
<b>** RISQUES LIES A DES ALEAS SUR LES DUREES DE LA TACHE</b>					<b>α</b>	
<i>RISQUE ELEMENTAIRE</i>		x	y	z	U	?
<i>RISQUE ELEMENTAIRE</i>		x	y	z	V	?
...						
<b>** RISQUES LIES A DES ALEAS SUR LES APPROVISIONNEMENTS</b>					<b>λ</b>	
<i>RISQUE ELEMENTAIRE</i>		x	y	z	U	?
<i>RISQUE ELEMENTAIRE</i>		x	y	z	V	?
...						
<b>** RISQUES LIES A DES ALEAS SUR LES JALONS</b>					<b>γ</b>	
<i>RISQUE ELEMENTAIRE</i>		x	y	z	U	?
<i>RISQUE ELEMENTAIRE</i>		x	y	z	V	?
...						
<b>** RISQUES LIES A DES ALEAS SUR LE SEQUENCMENT</b>					<b>μ</b>	
<i>RISQUE ELEMENTAIRE</i>		x	y	z	U	?
<i>RISQUE ELEMENTAIRE</i>		x	y	z	V	?
...						
<b>RISQUES ST</b>						
<b>** RISQUES LIES A DES VARIATIONS DES CRENEAUX DE RESSOURCE DISPONIBLES</b>					<b>β</b>	
<i>RISQUE ELEMENTAIRE</i>		x	y	z	U	?
<i>RISQUE ELEMENTAIRE</i>		x	y	z	V	?
...						

Figure 7.8. AMDEC-Délais de la relation donneur d'ordres / sous traitant.

Les 3 paramètres détectabilité, occurrence et gravité ayant pour échelle d'évaluation [1,...,5] respectivement du moins au plus élevé.

## 7.2.2 Actions en réduction de risque

Après la simulation de la politique de coopération, les deux acteurs de la relation peuvent identifier et évaluer les risques (Figure 7.8).

L'analyse des risques permet d'identifier, à l'aide de la méthode 80/20 par exemple, les aléas critiques à traiter par une action. Les actions en réduction de risques sont ensuite identifiées par chaque acteur. Ces actions ont pour objectif de diminuer la criticité du risque qu'ils traitent. Différentes actions peuvent être identifiées pour traiter le même risque.

Les actions en réduction de risques sont réparties en trois catégories chez le donneur d'ordres et en deux catégories chez le sous traitant. Ces catégories reprennent la structure de la modélisation des acteurs au sein de l'outil. Nous avons choisi ce formalisme car il permet aux deux acteurs d'identifier les actions en réduction de risques et de les rattacher aux paramètres de la politique de coopération (à travers les modèles). Ces trois catégories et actions (Figure 7.9) sont :

- la modification de la politique de relaxation (re-planification),
- la modification de la politique de communication,
- la modification de l'interprétation du comportement du sous traitant.

ACTIONS envisagées chez le Donneur d'ordres					
Actions envisagées	EFFET des ACTIONS sur :	Déteçtabilité	Occurrence	Gravité	CRITICITE
		X	Y	W	T
<b>** SUR LA POLITIQUE DE RELAXATION</b>					
<i>ACTION</i>		X	Y	W	T
<i>ex: Passage en 3-8</i>	<i>Durée :</i> <i>D = 6 (soit -3)X</i>	2	3	1	6
...					
<b>** SUR LA POLITIQUE DE COMMUNICATION</b>					
<i>ACTION</i>		X	Y	W	T
...					
<b>** SUR L'INTEPRETATION DU COMPORTEMENT DU ST</b>					
<i>ACTION</i>		X	Y	W	T
...					

Figure 7.9. Répartition des actions du donneur d'ordres.

Les actions du sous-traitant portent (Figure 7.10) sur :

- la politique de (re-)planification,
- la politique de communication.

<b>ACTIONS envisagées chez le Sous-Traitant</b>							
<b>Actions envisagées</b>	<b>EFFET des ACTIONS sur :</b>	<b>Défectabilité</b>		<b>Occurrence</b>		<b>CRITICITE</b>	
		X	Y	Z	U		
<b>** SUR LA POLITIQUE DE PLANIFICATION</b>							
<i>ACTION</i>		X	Y	Z	U		
...							
<b>** SUR LA POLITIQUE DE COMMUNICATION</b>							
<i>ACTION</i>		X'	Y'	Z'	U'		
...							

Figure 7.10. Répartition des actions du sous-traitant.

Finalement, la structure de l'AMDEC-Délais intègre les risques identifiés et les actions en réductions de risques associées, tous deux évalués en termes de criticité, comme l'illustre la Figure 7.11.

<b>AMDEC Délais</b>															
<b>RISQUE à TRAITER</b>	<b>EFFET Sur :</b>	<b>Défectabilité</b>		<b>Occurrence</b>		<b>CRITICITE</b>		<b>ACTIONS</b>	<b>EFFET des ACTIONS sur :</b>	<b>Défectabilité</b>		<b>Occurrence</b>		<b>CRITICITE</b>	
		X	Y	Z	U	X	Y			Z	U				
<b>**RISQUES DE VARIATION DES CRENEAUX DE RESSOURCE</b>															
<i>RISQUE ELEMENTAIRE</i>		X	Y							X	Y				
	A			Z1	U1							W1	T1		
	B			Z2	U2							W2	T2		
	C			Z3	U3							W3	T3		

Figure 7.11. Risques et actions en réductions de risques au sein de l'AMDEC Délais.

### **7.3 Conclusion**

La démarche d'utilisation de l'outil que nous proposons permet d'identifier le rôle du donneur d'ordres et du sous-traitant au sein des différentes étapes.

L'outil développé est centré sur le donneur d'ordres utilisateur. Cependant, l'utilisation de l'outil est bâtie autour de la coopération entre les deux acteurs. Cette coopération s'exprime à travers les échanges entre le donneur d'ordres et le sous-traitant. La coopération s'applique à travers les différents comportements des acteurs et à travers les actions en réductions de risques qu'ils envisagent et sur lesquels ils communiquent entre eux.



## **Chapitre 8.**

### ***Exemple d'utilisation de l'outil de simulation***

#### **8.1 Présentation du cas d'étude**

##### **8.1.1 Projet du donneur d'ordre**

Le donneur d'ordres est en charge d'un projet de conception ou de production unitaire. Le travail à effectuer pour réaliser le projet est décomposé de façon ordonnée et exhaustive en tâches.

Dans le cadre de la simulation du processus de réservation de la ressource stratégique externe, les tâches élémentaires précédant et suivant la tâche qui utilise la ressource stratégique sont agrégées en macro-tâches ou lots de travaux. Cependant, pour conserver la relation de sous-traitance au sein de notre modélisation macroscopique, la tâche élémentaire du projet associée à cette relation n'est pas incluse à une macro-tâche du projet. On adopte donc ici une approche macroscopique qui permet de se concentrer sur la relation de sous-traitance.

Nous avons choisi d'illustrer certaines possibilités de l'outil de simulation présenté précédemment. Dans cette première phase de test et de validation de concepts et de nouvelles approches nous allons donc utiliser un exemple sur lequel plusieurs simulations seront effectuées. Il ne s'agit pas d'un exemple industriel. Néanmoins il intègre les caractéristiques principales de la structure d'un projet (contraintes de précédence, d'approvisionnement, de jalons...).

La structure du projet se base sur les contraintes de précédences existant entre les livrables (résultats) provenant de la fin d'une macro-tâche et les fournitures intermédiaires (internes ou externes) nécessaires à la réalisation d'une autre macro-tâche.

La modélisation du projet repose sur l'existence d'une date de début de projet ou date d'approvisionnement de la tâche de début, et d'une date de fin de projet ou date de jalon de la dernière tâche du projet.

L'exemple de projet que nous avons utilisé (Tableau 8.1) reproduit de manière très agrégée la structure d'un projet en termes de macro tâches et de contraintes principales du projet Figure 8.1.

	Date de début	Date de fin
<b>Projet</b>	20/03/2002	15/08/2002

	Tache N°:1	Tache N°:2	Tache N°:3	Tache N°:4
<b>Nom :</b>	Phase 1	Phase 2	Sous traitance	Phase 4
<b>Durée :</b>	57	65	8	52
<b>date d'appro :</b>	20/03/2002	25/03/2002	-/-	-/-
<b>date jalon :</b>	-/-	-/-	10/06/2002	-/-
<b>Prédécesseurs :</b>	-/-	-/-	Phase 1, Phase 2	Sous traitance
<b>Ressource nécessaire :</b>	-/-	-/-	F1	-/-

Tableau 8.1. Définition du projet du donneur d'ordres utilisé ici.

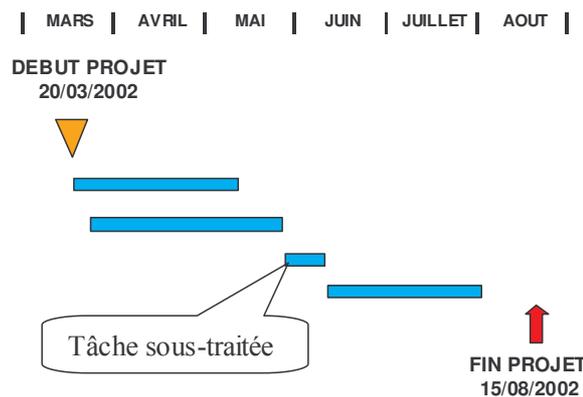


Figure 8.1. Tâche sous traitée au sein du projet

Ce projet est représenté de manière classique par un graphe potentiels-étapes auquel sont ajoutées les contraintes d'approvisionnement et de jalons.(Figure 8.2)

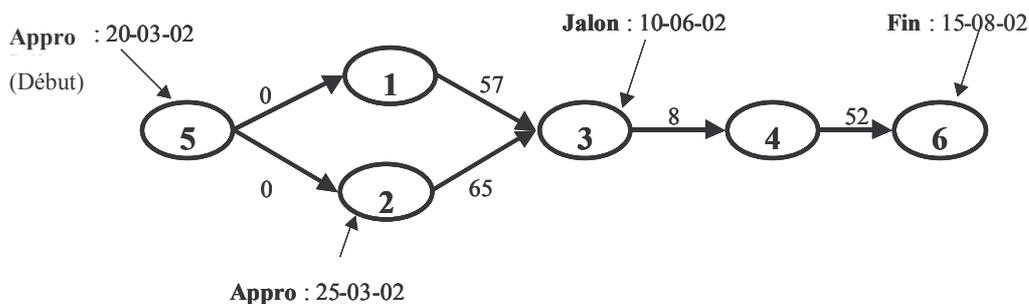


Figure 8.2. Représentation du projet.

L'utilisation d'une ressource spécifique détenue par un sous-traitant pour réaliser la tâche n°3 impose des contraintes spécifiques. La représentation ci-dessus de notre exemple fait abstraction des contraintes issues du sous traitant. Avant de présenter l'intégration de cette contrainte de ressource au projet, nous allons décrire d'où provient cette contrainte.

### 8.1.2 Ressource du sous traitant

L'occupation de la ressource considérée dans cet exemple est planifiée en tenant compte des tâches prévisionnelles des différents clients donneur d'ordres.

Le sous-traitant s'appuie sur ce planning prévisionnel pour transmettre au donneur d'ordres les informations relatives aux dates de liberté de sa ressource. Ces informations sont transmises sous forme de créneaux de liberté de ressource (Figure 8.3). Rappelons qu'un créneau de liberté de ressource est caractérisé par une date de début et une date de fin.

Dans notre exemple, la politique de communication du sous-traitant a été d'augmenter ou de réduire les durées de X %. Pour identifier les créneaux de cet ensemble, le sous-traitant a procédé à :

- la sélection d'une fenêtre de temps à transmettre au donneur d'ordre,
- l'agrégation des intervalles d'occupation du fait de la nécessité de préserver la confidentialité sur les données des autres donneurs d'ordre,
- la modification éventuelle des dates de début et de fin des intervalles en fonction de sa politique de transmission de données.

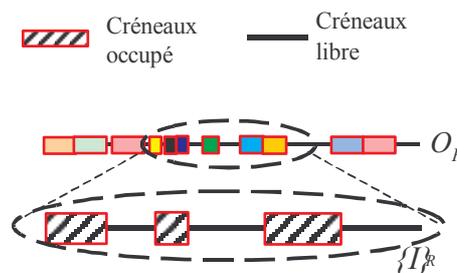


Figure 8.3. Créneaux de libertés transmis au donneur d'ordre.

Le sous-traitant transmet au donneur d'ordres un ou plusieurs créneaux de ressource formant un ensemble de créneaux. Cet ensemble se présente selon les formats ci dessous :

- Un seul créneau de liberté présenté sous la forme  $[A_i, +\infty[$  : Ce créneau signifie que le donneur d'ordres peut utiliser la ressource à partir de la date de début possible  $A_i$ . Nous avons pris comme hypothèse, qu'il existe toujours une date de disponibilité de la ressource à plus ou moins longue échéance (vers plus l'infini), ce qui signifie que le sous-traitant est au moins en mesure de fournir une date de

début possible  $A_i$  à partir de laquelle sa ressource est libre. Cette date de début possible correspond à l'horizon de planification du sous traitant, sa visibilité sur l'occupation de la ressource n'allant pas au-delà. C'est ce créneau qui est au minimum transmis au donneur d'ordre.

- Un ou plusieurs créneaux de libertés  $[A_x, B_x]$  venant s'ajouter au créneau  $[A_i, +\infty[$  : Cet ensemble de créneaux signifie que le donneur d'ordres a le choix parmi l'un des créneaux  $[A_x, B_x]$  et n'importe quel créneau ayant une date de début supérieure ou égale à  $A_i$ .

Au sein de l'exemple traité, l'ensemble des créneaux de ressource transmis par le sous-traitant et donc reçus par le donneur d'ordres est constitué de quatre créneaux de type  $[A_x, B_x]$  avec  $B_i = +\infty$  pour le créneau final. Cet ensemble est défini au § 8.2.

Dans notre exemple, l'ensemble des créneaux de liberté transmis par le sous-traitant au donneur d'ordres est défini Tableau 8.2.

<b>Ensemble des créneaux de libertés de ressource transmis :</b>
[ 28/04/2002 , 17/05/2002 ]
[ 10/06/2002 , 25/06/2002 ]
[ 18/07/2002 , 02/08/2002 ]
[ 25/08/2002, + Inf [

*Tableau 8.2. Ensemble des créneaux de liberté transmis par le sous-traitant au donneur d'ordres.*

Ces créneaux sont associés à la tâche du projet utilisant cette ressource (tache n°3 avec  $d_3 = 8$  jours) afin de déterminer les intervalles de dates de début possibles correspondant aux contraintes de ressource (4) (Tableau 8.3)

<b>Ensemble des intervalles associés à la tâche n°3 :</b>
[ 28/04/2002 , 09/05/2002 ]
[ 10/06/2002 , 17/06/2002 ]
[ 18/07/2002 , 25/07/2002 ]
[ 25/08/2002, + Inf [

*Tableau 8.3. Ensemble des intervalles de dates de début de la tâche n°3.*

Il en ressortira pour le projet un ensemble de contraintes cohérentes (Figure 8.4).

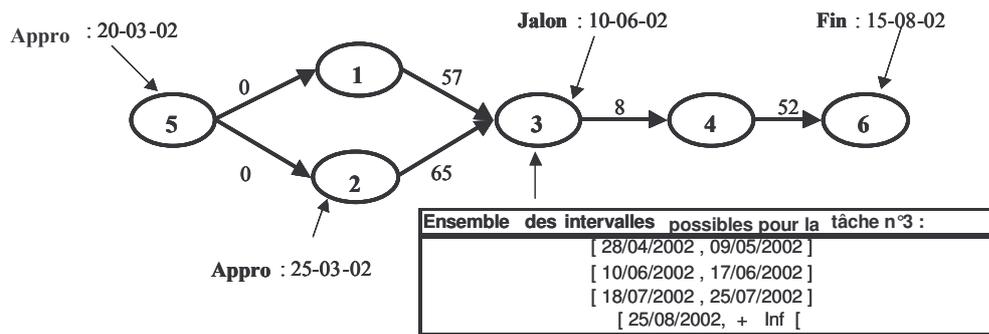


Figure 8.4. Représentation du projet intégrant la contrainte de ressource.

## 8.2 Simulations de comportements de planification plus ou moins optimiste du sous traitant

L'intérêt de l'outil réside dans sa capacité à évaluer en dynamique les impacts et les influences des différents comportements mis en œuvre par les deux acteurs de la relation. L'évaluation de performance fournie apportera une aide à l'analyse d'impacts et à une aide la décision sur les enjeux et les problématiques posées par une relation donneur d'ordres sous-traitant au sein d'une chaîne logistique projet, tels que :

- Dans quelle mesure les perturbations générées par le sous-traitant impactent les performances :
  - du processus de réservation de créneau ?
  - du donneur d'ordres ?
  - du sous-traitant lui même ?
- Quels comportements de planification peuvent être adoptés par le donneur d'ordres pour diminuer les risques liés à la réservation d'un créneau de ressource?

Dans cet exemple, nous voulons évaluer les impacts, en termes de performances, d'un sous-traitant ayant un comportement de planification plus ou moins optimiste. Pour les mettre en évidence, nous avons choisi de limiter au maximum les impacts des comportements du donneur d'ordres au sein du processus de réservation de créneau.

Après avoir détaillé les objectifs des simulations, nous présenterons les paramètres utilisés lors des différentes simulations permettant d'obtenir les résultats présentés en § 8.2.3.

### **8.2.1 Objectifs de la simulation**

Les simulations présentées dans ce paragraphe ont pour but d'évaluer les impacts de comportements plus ou moins optimistes d'un sous-traitant en relation avec un donneur d'ordres très coopératif.

A partir du cas d'étude présenté §8.1, nous allons maintenant illustrer comment un responsable de projet (donneur d'ordres) peut utiliser l'outil de simulation pour :

- Montrer au sous-traitant que la modification des créneaux de libertés transmis au donneur d'ordres au cours de la simulation impacte non seulement les performances du projet, mais également les performances de la ressource.
- Fournir une aide à la décision au donneur d'ordres sur le choix des politiques de relaxations en évaluant leurs impacts et leurs influences sur la performance du projet et de la relation.

Pour cela, l'utilisateur paramètre l'outil de simulation à l'aide des interfaces de l'outil.

### **8.2.2 Définition des paramètres de simulation**

Nous définissons ici les paramètres des modèles de comportement du donneur d'ordre, du sous-traitant et de la relation qui seront utilisés dans ce paragraphe pour illustrer une des utilisations possible de l'outil de simulation.

#### **8.2.2.1 Comportements du donneur d'ordre**

##### ***A- Interprétation du comportement du sous traitant***

Le donneur d'ordres est supposé croire le sous traitant, il applique donc aucune modification sur les créneaux de ressources qu'il reçoit. Les créneaux de ressources transmis par le sous-traitant sont donc directement utilisés par le donneur d'ordres pour établir les contraintes de ressources associées à son projet.

##### ***B- Re-planification du projet et comportement coopératif***

Le comportement très coopératif du donneur d'ordres se traduit par un comportement dynamique ne comportant aucun aléa avéré au sein du projet, ce qui se traduit par la non remise en question du créneau réservé de ressource de la part du donneur d'ordres sur l'ensemble de la simulation.

Les comportements de re-planification qui ont été envisagés aux sein des simulations ne permettent jamais de relaxer la contrainte de ressource. Le comportement de re-planification du donneur d'ordres consiste à relaxer les autres contraintes de son projet pour répondre aux impératifs de disponibilités du sous traitant.

L'exemple présenté s'appuie sur la simulation de plusieurs politiques de coopération mettant également en œuvre les séquences de relaxations suivantes :

Séquence de relaxation n°1 : Relaxation des durées des tâches, suivi de la relaxation des dates de jalons.

Séquence de relaxation n°2 : Relaxation des dates d'approvisionnement, suivi de la relaxation des durées des tâches et des dates d'approvisionnement, suivi de la relaxation des dates de jalons.

Pour des raisons opérationnelles (réalisation de la maquette, préparation des essais) et de pilotage (anticipation et re-planification de toutes les tâches appartenant aux chemins successeurs de la tâche ressource), il est impossible pour le donneur d'ordres de relaxer ses contraintes de durée des tâches après une certaine date  $t_{max}$ . Cette contrainte est prise en compte lors de la simulation et c'est le donneur d'ordres utilisateur qui paramètre cette date au sein de l'outil.

### ***C- Comportement de communication***

Le donneur d'ordres transmet au sous-traitant une demande de réservation de créneau correspondant exactement au créneau de ressource résultat de sa politique de (Re-) planification.

#### ***8.2.2.2 Comportements du sous traitant***

### ***A- Comportement de re-planification***

Le sous-traitant adopte un comportement optimiste de planification des tâches sur sa ressource. Ce comportement se traduit par une sous estimation de la durée des tâches planifiées par le sous traitant. L'occupation (sous estimée) de ressource prise en compte par le sous-traitant entraîne une surestimation des créneaux de liberté de ressource transmis au donneur d'ordres au début de la simulation.

En dynamique, le comportement de planification du sous-traitant génère des évolutions plus ou moins importantes des créneaux de liberté de la ressource. En effet, le sous-traitant va constater au cours du temps que la réalisation de ses tâches prend en fait plus de temps que prévu. Il met alors son plan à jour et transmet les nouveaux créneaux de libertés (diminués par rapport au précédent envoi) au donneur d'ordres (Figure 8.5).

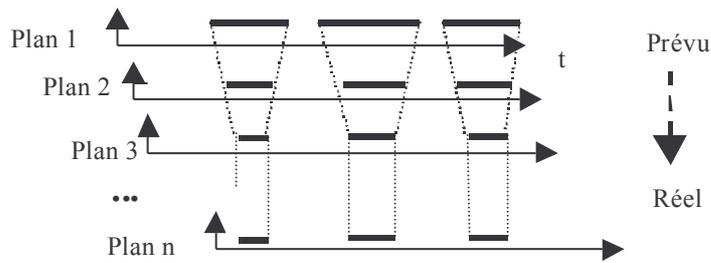


Figure 8.5. Comportement optimiste : Diminution des intervalles de libertés transmis par le sous-traitant au donneur d'ordres au cours de la simulation.

La diminution des intervalles de liberté transmis par le sous-traitant (de -20% à -60%) se décompose en trois phases. Les deux premières correspondent à la diminution de la durée des créneaux, diminution qui est répartie à X% dans la première et à Y% dans la deuxième. Lors de la troisième partie, la durée des créneaux est stabilisée.

Cette modélisation de la diminution des créneaux s'explique par le fait que le sous-traitant identifie l'accumulation progressive des répercussions liées à la connaissance des durée réelle des tâches au cours du temps.

#### **B- Comportement de communication :**

Le sous-traitant applique une politique de communication concernant la disponibilité de sa ressource qui correspond à la transmission d'un ensemble de créneaux de liberté au donneur d'ordre. Ces intervalles de libertés sont directement issus du plan d'occupation de la ressource du sous-traitant et ne subissent aucune déformation.

#### **8.2.2.3 Relation donneur d'ordres / sous traitant**

La relation donneur d'ordres / sous-traitant est simulée sur une période de un an précédant la date de début initiale de la tâche du projet ayant recours à la ressource du sous traitant.

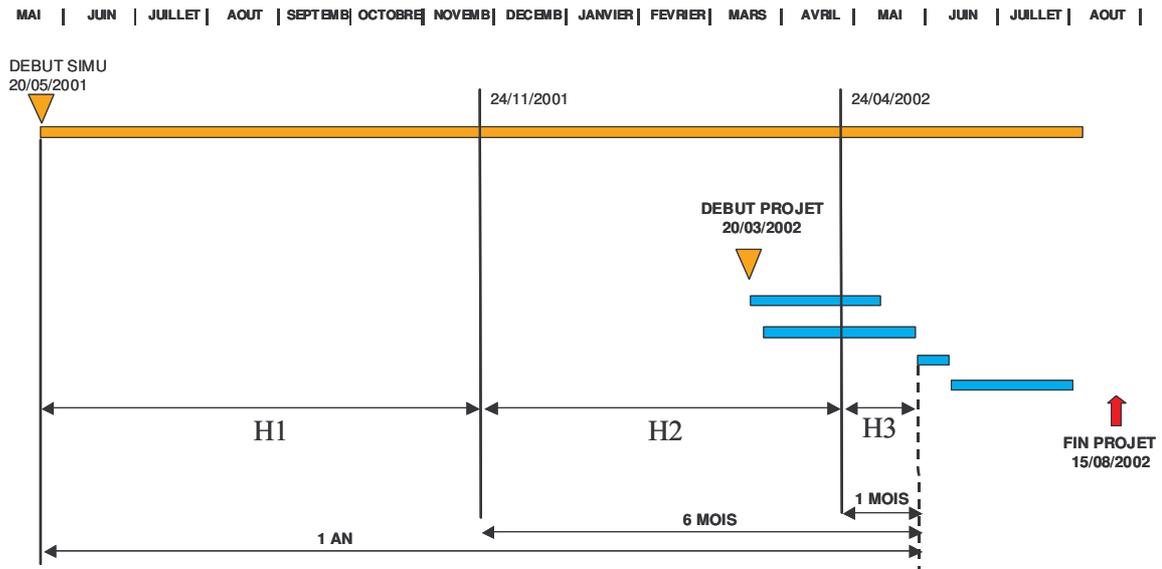


Figure 8.6. Echelle de temps de la simulation par rapport au projet

La relation donneur d'ordres / sous-traitant est également caractérisée par un rapport de force décisionnel en faveur du sous traitant. Ce choix de rapport de force décisionnel permet de limiter le rôle du donneur d'ordres afin d'insister d'avantage sur l'impact du comportement du sous-traitant et de mieux pouvoir le convaincre.

Ainsi, si les comportements mis en œuvre par les deux acteurs n'aboutissent pas à la réservation d'un créneau, le modèle « sous-traitant » appliquera une politique spécifique pour attribuer un créneau de ressource. La politique mise en œuvre ici consiste à attribuer un créneau au plus tôt, au sein de l'intervalle de liberté le plus proche du besoin du donneur d'ordres (avant ou après).

La variation totale de la durée des intervalles de libertés de ressources est répartie sur les deux horizons H1 et H2, aucune modification ne peut survenir sur H3 par hypothèse. La Figure 8.6 fait apparaître clairement que les intervalles de libertés de ressources peuvent être modifiés après le début du projet (horizon H2).

### 8.2.3 Simulations

A partir de la politique de coopération définie précédemment, différents comportements plus ou moins optimistes du sous-traitant sont testés. Au début de la simulation, les durées des tâches planifiées sur la ressource (tâches des autres donneurs d'ordres) sont plus ou moins diminuées par l'approche optimiste du sous traitant.

Les diminutions testées ici varient entre -20% et -60%. Ces diminutions se répercutent sur les créneaux de libertés de ressources transmis au donneur d'ordre, qui sont alors respectivement surestimés (augmentés) de +20% à +60% au début de la simulation.

Les durées réelles des tâches achevées par le sous-traitant à la fin de la simulation sont identiques quel que soit le comportement du sous-traitant simulé, ce qui signifie que les créneaux de libertés de ressources transmis au donneur d'ordres sont également identiques (entre deux simulations) en fin de simulation.

La surestimation appliquée lors d'une simulation peut donc se retrouver en effectuant le rapport entre la durée des créneaux de liberté de ressource au début et à la fin d'une simulation.

Les résultats de simulation (indicateurs de performances) mettant en évidence les impacts des comportements du sous-traitant sont tout d'abord présentés. Puis dans le même contexte, les résultats des deux politiques de relaxation du donneur d'ordres seront comparés.

### 8.2.3.1 Impacts des comportements du sous traitant

Les impacts des comportements du sous-traitant sont tout d'abord évalués en considérant une politique de coopération basée sur un donneur d'ordres appliquant sa séquence de relaxation n°1 (durées puis jalons).

Les indicateurs de performances sont :

- (1) le retard du projet (date de jalon violée),
- (2) l'effort fait par le donneur d'ordres pour relaxer ses propres contraintes,
- (3) la stabilité de la réservation.

Le Tableau 8.4 présente les résultats de simulations effectuées pour un sous-traitant optimiste à 20%, 50% et 60%.

	20%	50%	60%
<b>Stabilité</b>			
<i>Amplitude des modifications (en jours)</i>	<b>1</b>	<b>79</b>	<b>78</b>
<i>(Max, Moy, Min)</i>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>16</b>
	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<i>Nombre de jours entre deux modifications</i>	<b>180</b>	<b>215</b>	<b>215</b>
<i>(Max, Moy, Min)</i>	<b>124</b>	<b>136</b>	<b>136</b>
	<b>89</b>	<b>60</b>	<b>60</b>
<b>Retard</b>			
<i>Retard du projet (en jours)</i>	<b>-36</b>	<b>46</b>	<b>45</b>
<b>Effort</b>			
<i>Effort Maximum (en jours)</i>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

Tableau 8.4. Indicateurs de performances (Séquence relax DO n°1)

### ***A- Impacts sur les performances du projet du donneur d'ordre***

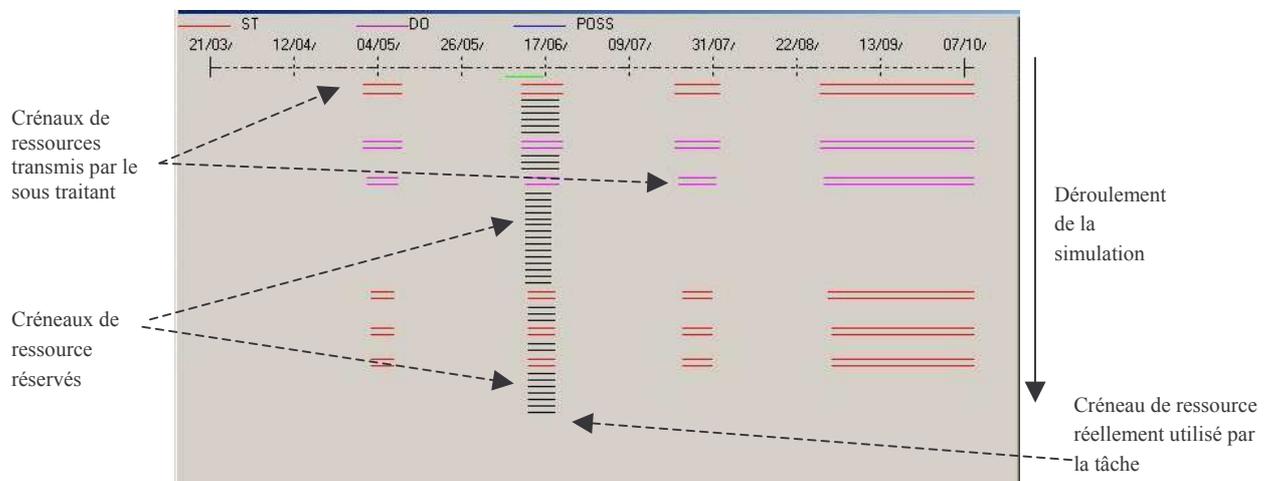
L'analyse des indicateurs de performance montre que les événements provenant du comportement optimiste du sous-traitant impactent directement le projet.

Le comportement 50%, par rapport au comportement 20%, se traduit ainsi par :

- L'apparition d'un retard du projet de 46 jours.
- La remise en cause du créneau de liberté occupé par le créneau réservé (deuxième puis quatrième créneau réservé Figure 8.8). Cette remise en cause est directement issue du comportement optimiste du sous traitant.
- L'augmentation de l'amplitude des modifications : 16 jours d'amplitude moyenne et de 1 à 79 jours pour l'amplitude maximale.

Un comportement très optimiste du sous-traitant (50% ou 60%) génère ainsi de forts impacts sur le projet par rapport à un comportement légèrement optimiste (20%). Tous ces impacts nuisent à la performance du projet du donneur d'ordre.

L'évolution des créneaux de ressources transmis par le sous-traitant et la succession des créneaux de ressources réservés sont présentés aux utilisateurs à la fin de la simulation à travers l'interface graphique du système. (Figure 8.7&Figure 8.8)



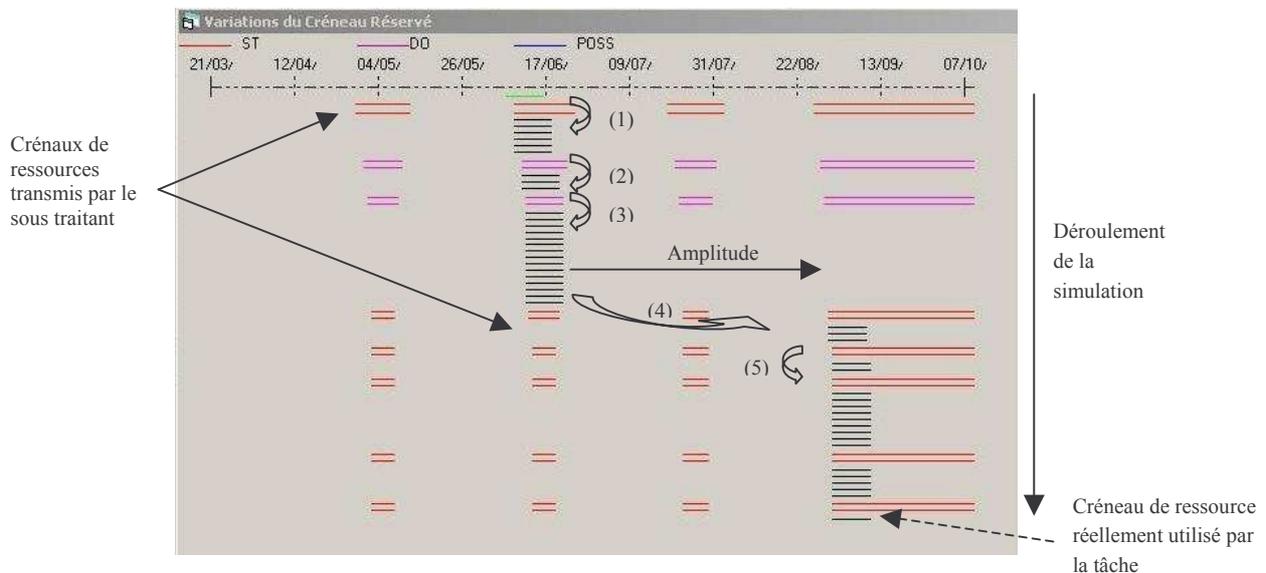


Figure 8.8. Impacts du comportement optimiste à 50% du sous-traitant sur les créneaux réservés (Séquence relax DO n°1 : Durées puis Jalons )

Ces interfaces graphiques présentent visuellement :

- l'amplitude des décalages du créneau réservé,
- le changement de créneaux de liberté de ressource utilisé par le créneau réservé,
- la diminution des durées des créneaux de ressources transmis par le sous traitant,

L'analyse de la *Figure 8.8* montre que lors de cette simulation, la politique de coopération a conduit à modifier une fois l'intervalle de liberté occupé par le créneau réservé ((4) *Figure 8.8*). Ce décalage signifie que la politique de relaxation du donneur d'ordres s'est soldée par une relaxation des jalons lors du changement d'intervalle de créneaux. Or la séquence de relaxation utilisée est durées puis jalons, ce qui signifie que la relaxation des durées n'a pas été réalisée. Il faut rappeler que la relaxation des durées ne peut s'effectuer que si la date de l'événement de simulation est antérieure à la date fixée par le donneur d'ordres (§ 8.2.2.1 B-). Effectivement, l'événement a lieu à la date du 15/03/02 alors que la date fixée par le donneur d'ordres est le 10/03/2002. C'est donc l'amplitude initiale des créneaux de libertés et leur diminution (tous deux liés au degré d'optimisme du sous traitant) qui ont empêché le donneur d'ordres de pouvoir relaxer ses contraintes de durée lorsque le créneau est devenu trop petit pour pouvoir effectuer la tâche.

L'analyse de la *Figure 8.7* montre que lors de cette simulation, la politique de coopération a conduit le donneur d'ordres à relaxer les durées. L'événement de réduction des créneaux de liberté (entraînant la relaxation) est survenu tôt dans la simulation (avant la date du 10/03/2002) car la durée des créneaux de liberté initiaux est plus faible (comportement optimiste à 20%), et qu'elle converge donc plus rapidement vers l'état final (égal pour chaque simulation). La politique de coopération a ainsi permis de conserver l'intervalle de liberté de ressource occupé par le créneau réservé tout au long de la relation (performance de stabilité).

Le donneur d'ordres a été contraint de relaxer ses durées. Cette relaxation fait apparaître de bons indicateurs de délais (-36 jours de retards), mais il faut relativiser ces résultats et avoir présent à l'esprit que la diminution des délais passe presque systématiquement par l'augmentation des coûts du projet.

Les simulations (*Figure 8.7 & Figure 8.8*) présentent certains impacts liés à la diminution des créneaux de libertés du sous-traitant sur les performances du projet du donneur d'ordre. L'impact majeur présenté ici est la soudaine indisponibilité du créneau de ressource devenu trop restreint pour continuer à être associé à la tâche du projet, ce qui se traduit par un retard du projet (cas 50%).

Ces résultats montrent que le comportement optimiste du sous-traitant diminue les performances du projet du donneur d'ordre.

### ***B- Impacts sur les performances de la ressource du sous traitant***

Les indicateurs qui peuvent être utilisés par le sous-traitant pour évaluer les impacts de son comportement sur l'occupation de sa ressource, sont :

#### *(1) la Stabilité du planning*

La diminution de la durée des créneaux de liberté de ressource conduit à remettre en cause le créneau réservé. Cette modification de créneau réservé impose au sous-traitant de re-planifier l'occupation de sa ressource (processus de réservation).

#### *(2) la Date d'utilisation de la ressource*

Au cours de la simulation, le créneau de liberté « hébergeant » le créneau réservé peut également être modifié suite aux retards et/ou aux efforts consentis par le donneur d'ordres (*Figure 8.9*). A la fin de la simulation, un écart est mesurable entre la date réelle d'utilisation de la ressource et la date initialement planifiée.

Cette variation impacte le sous-traitant lorsqu'elle correspond à un changement de créneaux de liberté du créneau réservé. *((1) : Modification du créneau réservé Figure 8.9)* En effet, pour le sous traitant une telle variation conduit à l'affectation d'un nouveau créneau de liberté à un autre donneur d'ordres (libéré par le donneur d'ordres de la relation étudiée) afin de limiter les créneaux de ressources inutilisés.

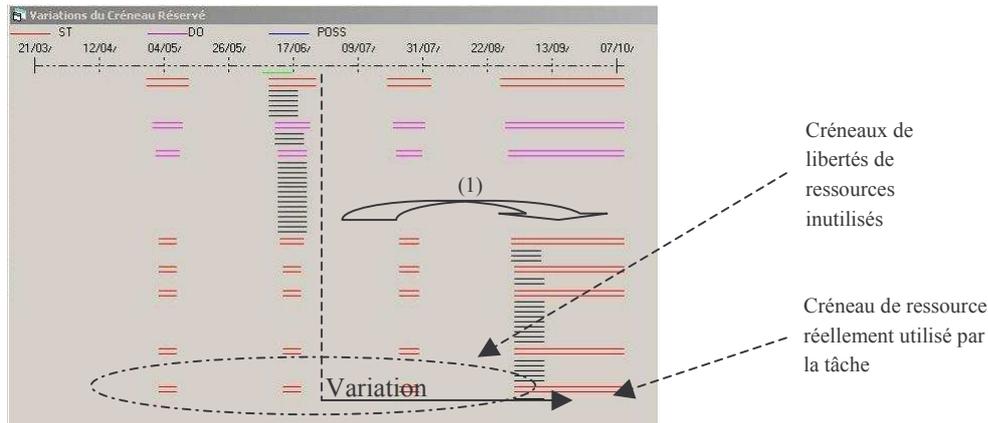


Figure 8.9. Variation de la date de début d'occupation de la ressource (Cas 50% )

Les résultats présentés montrent ainsi au sous-traitant que la modification des durées des créneaux de libertés transmis au donneur d'ordres au cours de la simulation (comportement optimiste) impacte non seulement les performances du projet, mais également les performances de la ressource.

Pour satisfaire ses objectifs d'occupation de ressource et de satisfaction client, le sous-traitant a donc intérêt à prendre en considérations les évaluations d'impacts de ses comportements sur les performances des projets de ses clients donneur d'ordres.

### 8.2.3.2 Impacts de la politique de planification du donneur d'ordres

Les impacts d'une politique de coopération incluant un comportement de planification du donneur d'ordres basé sur sa séquence de relaxation n°2 (approvisionnements puis durées et approvisionnements puis jalons) sont maintenant évalués, en considérant toujours un sous-traitant plus ou moins optimiste.

L'évaluation réalisée permettra de comparer les performances issues des deux politiques de relaxations du donneur d'ordres (n°1 et n°2).

Le Tableau 8.5 présente les résultats de simulations effectuées pour un sous-traitant optimiste à 20%, 50% et 60%.

	20%	50%	60%
<b>Stabilité</b>			
<i>Amplitude des modifications (en jours)</i>	<b>40</b>	<b>39</b>	<b>41</b>
<i>(Max, Moy, Min)</i>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<i>Nombre de jours entre deux modifications</i>	<b>180</b>	<b>120</b>	<b>120</b>
<i>(Max, Moy, Min)</i>	<b>138</b>	<b>94</b>	<b>61</b>
	<b>82</b>	<b>60</b>	<b>30</b>
<b>Retard</b>			
<i>Retard du projet (en jours)</i>	<b>-79</b>	<b>-76</b>	<b>-76</b>
<b>Effort</b>			
<i>Effort Maximum (en jours)</i>	<b>36</b>	<b>35</b>	<b>36</b>

Tableau 8.5. Indicateurs de performances  
(Séquence relax DO n°2 : Approvisionnements puis Durées puis Jalons)

L'analyse des indicateurs de performance (Tableau 8.5) montre que les différents comportements plus ou moins optimistes du sous-traitant ont les mêmes impacts sur le projet, que ce soit en termes de stabilité (max 39 à 41 jours), de retard (76 à 79 jours) ou d'efforts (35 à 36 jours).

L'évolution des créneaux de ressources transmis par le sous-traitant et la succession des créneaux de ressources réservés sont présentés aux utilisateurs à la fin de la simulation à travers l'interface graphique du système. (Figure 8.10 & Figure 8.11)

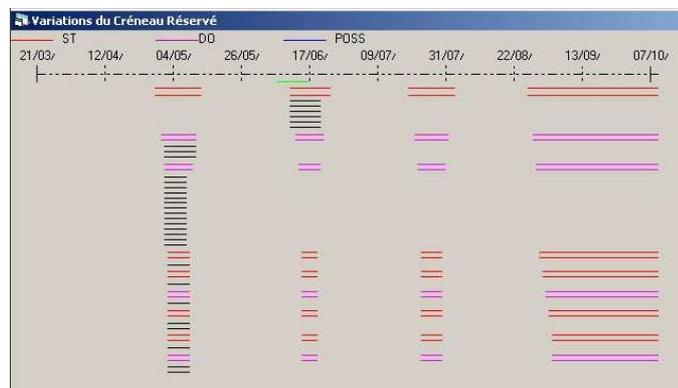


Figure 8.10. Impacts du comportement optimiste à 50% du sous-traitant  
sur les créneaux réservés  
(Séquence relax DO n°2 : Approvisionnements puis Durées puis Jalons )

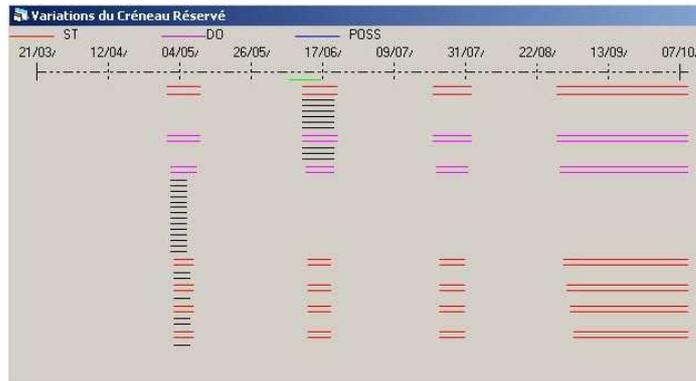


Figure 8.11. Impacts du comportement optimiste à 20% du sous-traitant sur les créneaux réservés  
(Séquence relax DO n°2 : Approvisionnements puis Durées puis Jalons )

L'analyse des Figure 8.10 & Figure 8.11 montre que lors de ces simulations, la politique de coopération a conduit à modifier une fois l'intervalle de liberté occupé par le créneau réservé. Ce décalage signifie que la politique de relaxation du donneur d'ordres s'est soldée par une relaxation des approvisionnements et de la durée des tâches.

Dans notre exemple, pour les comportements du sous traitant optimiste à 20% et à 50%, le changement d'intervalle de liberté est le même, mais l'un (50% Figure 8.10) correspond à une relaxation d'approvisionnement seulement alors que l'autre (20% Figure 8.11) correspond à la relaxation simultanée des approvisionnements et des durées. Toutes deux s'effectuent suite au même événement.

Par rapport à la politique de relaxation n°1 du donneur d'ordres (durées puis jalons), la politique n°2 améliore très nettement les retards (de 46 jours de retards (n°1) à 79 d'avance(n°2)) pour un comportement optimiste de 50%. Cependant, pour 20%, les efforts sont aussi importants que pour 50% alors que les résultats de la politique 2 sont identiques pour 20% et 50 %.

Les simulations réalisées sur ce premier exemple portent sur deux politiques de relaxation du donneur d'ordres face à trois comportements optimistes du sous-traitant. La principale différence entre ces deux comportements est que la relaxation est décidée alors que le comportement optimiste correspond à une possibilité qui s'apparente à un aléa pour la relation.

Ces simulations permettent donc d'évaluer les impacts d'un comportement plus ou moins optimiste d'un sous traitant en relation avec un donneur d'ordres très coopératif (relaxations).

## 8.2.4 Risques liés à une politique de coopération

La politique de coopération est définie par l'ensemble des paramètres du modèle de l'outil. La séquence de relaxation de contraintes mis en œuvre par le donneur d'ordres est un des paramètres de son modèle qu'il maîtrise et nous allons illustrer ici une démarche de gestion des risques.

L'identification et l'évaluation des risques sont effectués à partir de la politique de coopération présentée § 8.2.2 et intégrant la séquence n°1 de relaxation des contraintes (durées puis jalons).

Le donneur d'ordre identifie par exemple les risques que son sous-traitant ait un comportement optimiste à 20% ou à 50%. Ces deux risques ont chacun des effets (impacts) en termes de créneau de ressource, de retard du projet et d'efforts à fournir par le donneur d'ordres.

Pour évaluer les criticités (Déteçtabilité\*Occurrence\*Gravité), le donneur d'ordres évalue la déteçtabilité et l'occurrence des causes (entre 1 le minimum et 5 le maximum), soit respectivement 2 et 3 pour 50% et 3 et 4 pour 20% (Tableau 8.6). La gravité des effets (impacts) est évaluée à l'aide des performances fournies par l'outil de simulation, ramenés à l'échelle [1,...,5].

AMDEC Délais											
RISQUE à TRAITER	EFFET Sur :	Déteçtabilité	Occurrence	Gravité	CRITICITE	ACTIONS	EFFET des ACTIONS sur :	Déteçtabilité	Occurrence	Gravité	CRITICITE
<b>**RISQUES D'AUGMENTATION CRENEAUX DE RESSOURCE</b>											
<i>Diminution de 50%</i>		2	3								
	Occupation ressource			3	18						
	Retard Projet DO			5	30	<i>Politique 2</i>					
	Efforts faits par DO			2	12						
<i>Diminution de 20%</i>		3	4								
	Occupation ressource			1	12						
	Retard Projet DO			1	12						
	Efforts faits par DO			1	12						

Tableau 8.6. Exemple d'identification et d'évaluation des risques d'une politique de coopération.

Le donneur d'ordre identifie ensuite les risques à traiter pour minimiser leurs effets. Dans cet exemple, Tableau 8.6, le retard du projet lié au risque de diminution de 50% est le plus critique (30).

Pour améliorer la criticité du retard, le donneur d'ordres propose de mettre en place une action en réduction de risques. Les actions en réduction de risques identifiées par le donneur d'ordres sont de modifier ses politiques de planification et de relaxation. Cela devrait minimiser les impacts du comportement du sous-traitant.

Dans notre exemple, cette action consiste à changer la politique de coopération en modifiant le comportement de re-planification et en appliquant sa séquence n°2 de relaxation (*Approx puis Appros et Durées puis Jalons*) (Tableau 8.6).

Seul un paramètre de la politique de coopération est modifié afin de pouvoir comparer leurs performances.

Pour évaluer la gravité des impacts de la nouvelle politique de coopération incluant la séquence n°2 de relaxation, le donneur d'ordres utilise à nouveau l'outil pour évaluer les performances de la relation et de son projet. Pour cela, il lance alors les deux simulations correspondant à un comportement optimiste du sous traitant de 50% puis à un comportement de 20%. (Tableau 8.7)

<b>AMDEC Délais</b>					
<b>RISQUE à TRAITER</b>	<b>EFFET Sur :</b>	<b>Déteabilité</b>	<b>Occurrence</b>	<b>Gravité</b>	<b>CRITICITE</b>
<b>**RISQUES D'AUGMENTATION CRENEAUX DE RESSOURCE</b>					
<b><i>Diminution de 50%</i></b>		2	3		
	Occupation ressource			1	6
	Retard Projet DO			1	6
	Efforts faits par DO			4	24
<b><i>Diminution de 20%</i></b>		3	4		
	Occupation ressource			1	12
	Retard Projet DO			1	12
	Efforts faits par DO			4	48

Tableau 8.7. Criticité des risques liés à la nouvelle politique de coopération (séquence de relaxation n°2)

La nouvelle politique de coopération évaluée correspond en fait aux impacts de l'action en réduction de risque identifiée par le donneur d'ordres. La synthèse présentée Tableau 8.8 lui apporte une aide à la décision, dans le sens où le donneur d'ordre peut maintenant décider de mettre en place ou non l'action en ayant anticipé ces impacts potentiels.

AMDEC Délais											
RISQUE à TRAITER	EFFET Sur :	CRITICITE				ACTIONS	EFFET des ACTIONS sur :	CRITICITE			
		Déteçtabilité	Occurrence	Gravité				Déteçtabilité	Occurrence	Gravité	
<b>**RISQUES D'AUGMENTATION CRENEAUX DE RESSOURCE</b>											
<i>Diminution de 50%</i>		2	3			<i>Politique 2</i>		2	3		
	Occupation ressource			3	18		Occupation ressource			1 6	
	Retard Projet DO			5	30		Retard Projet DO			1 6	
	Efforts faits par DO			2	12		Efforts faits par DO			4 24	

Tableau 8.8. Criticité des risques avant et après mise en place de l'action « en réduction de risques »

Dans notre exemple, la politique de relaxation n°2 permet ainsi, pour le risque de diminution de 50% traité, de diminuer le retard du projet (objectif de l'action) ainsi que l'occupation de la ressource. Mais la politique 2 augmente aussi la criticité des efforts faits par le donneur d'ordres (24) par rapport à la politique initiale (6).

Cependant, la criticité maximum reste améliorée pour le risque de diminution de 50% (24 au lieu de 30). La politique 2 est donc bénéfique si le comportement optimiste à 50% du sous-traitant est avéré.

Dans le cas d'une diminution de 20%, les efforts faits par le donneur d'ordres sont nettement plus critiques (48, Tableau 8.7) pour la politique de relaxations n°2.

Il s'avère donc que dans notre exemple, l'action en réduction de risque diminue bien l'impact du risque traité (Tableau 8.8 : retard du projet si diminution de 50%) mais augmente la criticité des efforts dans le cas d'une diminution de 20% (Tableau 8.7). La criticité maximum de la politique de relaxation n°2 (48) est très supérieure à la criticité maximum de la politique de relaxation n°1 (30).

L'action en réduction de risque s'avère ainsi porteuse de risques supérieurs, mais dans des éventualités différentes (50% ou 20%).

### **8.3 Conclusion**

L'outil proposé est destiné à un donneur d'ordres qui veut communiquer avec ses sous-traitants sur l'intérêt de la coopération.

Un exemple nous a permis d'illustrer que cet outil permet de montrer au sous-traitant que la modification des créneaux de libertés transmis au donneur d'ordres au cours de la relation impacte négativement non seulement les performances du projet, mais également les performances de la ressource.

Les informations fournies par l'outil de simulation, associées à la démarche de gestion coopérative des risques, permettent d'évaluer les différentes politiques de coopérations envisagées par et pour les deux acteurs de la relation, tout en se dirigeant ainsi vers une relation de type gagnant-gagnant.





## ***Conclusion et perspectives***

### **Conclusion**

L'industrie est confrontée à une augmentation du nombre de contraintes à gérer au sein de ses projets. Ces contraintes sont liées à l'augmentation du nombre des fournisseurs et des sous-traitants de spécialités en charge d'exécution de certaines activités spécifiques. Dans ce contexte, on a vu apparaître la notion de « chaîne logistique d'un projet ». Le domaine de la « gestion chaîne logistique » a suscité, ces dernières années, beaucoup d'intérêt mais la notion de « chaîne logistique d'un projet » est encore émergente.

Les acteurs de la chaîne (notamment les donneurs d'ordre) sont amenés à essayer d'établir des relations de coopération. Nous avons identifié que le problème de la coopération au sein d'une chaîne logistique projet est un paramètre important de la performance de la chaîne et est actuellement très peu étudié.

De plus, pour convaincre les fournisseurs et les sous-traitants de l'intérêt de la mise en place de ces relations coopératives les donneurs d'ordre sont souvent démunis ce qui nous a amené à proposer un outil de simulation dédié.

Notre contribution a donc tout d'abord consisté, à partir de l'identification des besoins industriels, à positionner la problématique en terme d'identification et d'évaluation du processus de coopération entre deux acteurs au sein de la chaîne logistique d'un projet. Ceci nous a permis de nous orienter vers la spécification d'un outil de simulation pour un donneur d'ordre qui permet d'évaluer les performances d'une relation donneur d'ordre / sous-traitant plus ou moins coopérative au sein d'une chaîne logistique projet. L'outil de simulation de la relation entre un donneur d'ordre (gérant son projet) et un sous-traitant de spécialité (gérant l'occupation d'une ressource stratégique) permet aux deux acteurs d'étudier l'impact de leurs comportements en termes de risques et de délais.

L'outil de simulation s'appuie sur la modélisation du comportement du donneur d'ordre, du sous-traitant et de la relation dans laquelle ils évoluent. L'outil proposé est destiné à un donneur d'ordres qui ne dispose pas toujours d'une vision précise des comportements du sous-traitant. Cette approche nous a conduit à détailler les comportements du donneur d'ordres (Modèles de planification, d'interprétation du comportement, de re-planification, de communication et leur dynamique), alors qu'un modèle macroscopique du comportement du sous-traitant a été envisagé (Modèles de (Re-) planification, de communication et leur dynamique). La relation est modélisée par un processus de réservation de créneau et caractérisée par le rapport de forces existant entre les deux acteurs. Le modèle du système constitué des trois modèles évolue en suivant la logique de changement d'états correspondant aux événements discrets de la simulation.

La démarche de mise en oeuvre de l'outil est bâtie autour de la coopération entre les deux acteurs. Cette coopération s'exprime à travers les échanges entre le donneur d'ordres et le sous-traitant. La coopération s'applique à travers les différents comportements des acteurs et à travers les actions en réductions de risques qu'ils envisagent et sur lesquels ils échangent.

L'étude de différents projets utilisant des ressources stratégiques détenues par un sous-traitant nous ont permis de modéliser les activités des acteurs ainsi que leurs comportements de planification, de communication et de coopération au sein d'une relation de sous-traitance.

L'exemple présenté nous a permis de comparer les performances issues de deux politiques de relaxation du donneur d'ordres et de montrer au sous-traitant que la modification des créneaux de libertés transmis au donneur d'ordres au cours de la relation impacte négativement non seulement les performances du projet, mais également les performances de la ressource.

L'outil de simulation de la relation coopérative donneur d'ordres / sous-traitant développé permet ainsi d'étudier les comportements des acteurs au sein de la chaîne logistique. Les modèles de comportements des deux acteurs qui ont été développés ainsi que le modèle de simulation de la relation qui ont été décrits nous ont permis de montrer comment le prototype de l'outil développé peut être utilisé par un donneur d'ordre pour convaincre un sous-traitant (vis-à-vis duquel il n'est pas en position de force) de coopérer.

## Perspectives

Nos travaux ont permis de montrer la faisabilité de l'approche par évaluation de performance de la relation donneur d'ordres / sous-traitant au sein d'une chaîne logistique projet. Les perspectives majeures que nous envisageons sont les suivantes :

- Tout d'abord la poursuite de la mise en œuvre de cette approche auprès de différents sous-traitants d'un même donneur d'ordres, afin d'évaluer les résultats d'une généralisation de cette démarche. Cette démarche pourra ensuite être déployée sur l'ensemble de la chaîne logistique projet.
- Ensuite, l'extension des possibilités du modèle des acteurs, des caractéristiques de la relation et de la dynamique des comportements au cours de la simulation.

Parmi le grand nombre d'axes de recherche et d'utilisations que suggèrent cet outil et les modèles sur lesquels il repose, il pourrait être envisagé de traiter les suivants :

- *Mettre en œuvre différentes politiques de planification :*  
Actuellement seules les politiques les plus couramment utilisées par les praticiens dans le domaine de la planification de projet ont été considérées, l'outil devra donc évoluer vers la prise en compte des politiques de planification et de relaxation plus adaptées (cf. Neumann et al 2003 par exemple).
- *Développer la dynamique des paramètres :*  
Notre travail s'est focalisé sur la notion de dynamique des processus de coopération, ce qui nous a conduit à figer le paramétrage des comportements des acteurs au cours des simulations. L'introduction de la dynamique des comportements au sein du type de modèle que nous proposons semble très prometteuse en terme de modélisation de comportements et d'évaluation de performances au sein de la relation.  
Cette extension pourrait être ensuite accompagnée d'une recherche sur les relations entre paramètres afin de proposer à l'utilisateur un paramétrage de comportements types.

- *Gérer de façon dynamique les risques et les actions en réductions de risques :*  
L'approche que nous proposons intègre la modélisation des incertitudes en utilisant notamment une approche possibiliste de l'incertitude au niveau de la planification. Il est possible d'enrichir cette approche en associant la gestion des risques au processus de planification lors de la simulation. Lors de chaque événement de la simulation, il serait ainsi possible d'actualiser les risques encourus par le projet du donneur d'ordres et par la relation de sous-traitance et de prendre en compte l'impact des actions liées aux risques dans la planification (exemple d'action en réduction de risque pris en compte : augmenter la durée d'une tâche).  
Cette prise en compte permettrait d'évaluer les gains qu'elle engendre, par exemple en terme de robustesse du créneau de ressource réservé.
  
- *Etendre le domaine d'utilisation de l'outil :*  
Dans cette première version, l'outil est dédié au donneur d'ordres, ce qui nous a conduit à un modèle agrégé du sous-traitant. Cependant, une utilisation de l'outil par les deux acteurs est également possible en étendant le modèle du sous traitant planifiant sous incertitudes à un niveau de détail comparable à celui du donneur d'ordres.
  
- *Enrichir le processus de coopération :*
  - par une amélioration de la communication, notamment en aidant les acteurs à identifier les informations à se transmettre, à définir le mode d'échange et/ou de partage et à fixer la fréquence ou le processus.
  - par une utilisation en ligne de l'outil dans une approche génération de solution pour répondre à une demande dans le cadre de la relation donneur d'ordres / sous-traitant.
  
- *Améliorer la pédagogie de l'outil :*  
L'outil pourra être adapté à une utilisation pédagogique permettant d'aider les acteurs d'une chaîne logistique projet à formaliser le problème. Il pourra également servir de support à la validation de nouvelles méthodes de coopération.

Plus généralement, la prochaine étape consistera à déterminer une méthodologie plus étendue d'utilisation de l'outil avec les scénarios et les plans d'expérience associés. Il pourra ensuite être utilisé pour promouvoir la coopération entre les acteurs de la chaîne logistique projet pour partager la philosophie orientée chaîne logistique projet avec l'ensemble des acteurs industriels.

## **Références**

- [AFITEP–AFNOR, 92] Vocabulaire de gestion de projets. 2<sup>ème</sup> édition , Edition Afnor, Paris, 1992. (correspondant à la norme AFNOR NF X50-105)
- [Artigues et Roubelat, 00] C. Artigues, F. Roubelat, A polynomial activity insertion algorithm in a multi-resource schedule with cumulative constraints and multiple modes, *European Journal of Operational Research*, 127(2),297-316, 2000.
- [Bedillon, 99] Arley R.Bedillon, How risk management has become a way of life in project management, Howneywell Inc, USA, Philadelphia, octobre1999.
- [Bel et al., 94] G. Bel, M. Perona, A. Sianesi et C. Thierry, The multi-site Production Management problem : mathematical formalization and prototype developments. , 10th International Conference on Computer Aided Production Engineering, Palerme (University of Palermo), Italie, Juin 1994.
- [Bel, 98] G. Bel. Aide à la conception et à la conduite de systèmes à événements discrets : application aux systèmes de production. Mémoire d'Habilitation à Diriger lesRecherches, mai 1998.
- [Bensoussan, 91] M.Bensoussan, L'AMDEC-Planning, Communication à la 7<sup>ème</sup> Convention Nationale de l'AFITEP, Paris, septembre 1991.
- [Breuil, 84] A.D. Breuil, Outils de conception et de décision dans les organisations de gestion de production, Thèse d'Etat, Université de Bordeaux I, 1984.
- [Brucker et al 97] P. Brucker, S. Knust, A. Schoo, O. Thiele, A branch & Bound Algorithm for the Resource-constrained Project Scheduling Problem, 1997.

- [Burlat et al., 00] P. Burlat, X. Boucher, Pilotage distribué des groupements d'entreprises : modélisation et perspectives, Ecole Nationale des Mines de St Etienne, 2000.
- [Burlat, 02] P. Burlat, Une démarche de configuration de chaîne logistique, Conférence Groupement Recherche en Productique (Tarbes), 2002.
- [Campagne – Senechal, 02] J.P. Campagne, O. Senechal, Les nouvelles exigences de la coopération, Groupe PROSPER, 2002.
- [Chen et al., 04] I.J. Chen , A. Paulraj, Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements, Journal of Operations Management, vol 22, pp 119–150, 2004.
- [Chen et al., 97] Y-L. Chen, D.Rinks and K.Tang, Critical path in an activity network with time constraints, European Journal of Operation Research, 1997.
- [Courtot, 98] H.Courtot, La gestion des risques dans les projets. Edition Economica collection Gestion 1998.
- [Courtot, 91] H.Courtot, Une approche quantitative du risque, Communication à la 7ème Convention Nationale de l'AFITEP, Paris, septembre 1991.
- [Courtot, 98] H. Courtot, La gestion des risques dans les projets, Edition Economica collection Gestion, 1998.
- [Croom et al., 00] S. Croom , P. Romano, M. Giannakis, Supply chain management: an analytical framework for critical literature review, European Journal of Purchasing & Supply Management, n° 6, p.67-83, 2000.
- [Cullen, 99] P.A. Cullen, Contracting, Co-operative relations and extended enterprises, Technovation, 1999.
- [de Banville, 89] E. de Banville, Le développement du partenariat industriel, Revue d'Economie Industrielle n°47, 1989.
- [de Terssac – Maggi, 96] G. de Terssac, B. Maggi, Autonomie et conception, Coopération et conception, editeurs : G. de Terssac, E. Friedberg, Octaves Edition, ISBN : 2-906769-33-9, 1996.

- [Demeulemeester et al 93] E. Demeulemeester, B. Dodin, W.S. Herroelen, A random activity network generator. *Operations Research* , 41(5), 972-980, 1993.
- [DIDOM, 00] Equipe DIDOM (I. Bazet, J.P. Camalot, V. Galvagnon, J.B. Cavallé, D. Dubois, J.Erschler, P. Esquirol, H. Fargier, P. Lopez, C. Mercé, H. Prade, G. De Terssac, C. Thierry), Planning by repairing and cooperation in multi-project management. Second Conference on Management and Control of Production and Logistics MCPL'2000.
- [DIDOM, 97] DIDOM, Distribution de la décision dans un contexte multi-projets : une approche par contraintes. Congrès EURO "Decision support system - electronic commerce - multimedia groupware", Bruges, 1997.
- [Dillembourg et al., 96] P. Dillembourg, M. Baker, C. O'M. Blaye, L'évolution de la recherche sur l'apprentissage collaboratif, dans E. Spada & P. Reiman (Eds) *Learning in humans and Machine : Towards an interdisciplinary learning science*, Oxford : Elsevier traduit par A. Midenet, pp. 189-211, 1996.
- [Dziomba, 00] D. Dziomba, C-Wake project, GRD1-1999-10332 Annex 1, juin 2000.
- [Erschler et al., 93] J. Erschler, G. Fontan, C. Merce, Approche par Contraintes en planification et ordonnancement de la production, *RAIRO-APII*, 27, 6, 669-695, 1993.
- [Erschler, 96] J. Erschler, Approche par contraintes pour l'aide à la décision et à la conception : une nouvelle logique d'utilisation des modèles formels, *Coopération et conception*, editeurs : G. de Terssac, E. Friedberg, Octaves Edition, ISBN : 2-906769-33-9, 1996.
- [Esquirol et al., 99] P. Esquirol, P. Lopez, L'ordonnancement, Editions Economica, 1999.
- [Fabbe-Coste et al., 99] N. Fabbe-Costes, J. Colin, G. Pache, « Faire de la recherche en logistique », Vuibert - FNGE, pp.292, , ISBN : 2711779963, 1999.
- [Fassio, 00] G. Fassio, Externalisation et partenariats industriels : Projets productifs, réseau, métiers et contraction de temps, *Logistique & Management*, Publication ISLI, Vol 8 – n°2 , 2000.

- [Galvagnon, 00] V. Galvagnon, Aide à la décision en gestion multi-projet distribuée : Approche locale pour la planification à moyen terme. Thèse de doctorat, Supaéro Toulouse, 2000.
- [Gavirneni, 99] S. Gavirneni, Benefits of co-operation in a production distribution environment, European Journal of Operational Reserach, 1999.
- [Giard 91] V. Giard, Gestion de projet, Edition Economica, collection Gestion, 1991.
- [Giard, 97] V. Giard, Gestion de projet, Edition Economica, collection Gestion 1997.
- [Goldratt, 93] E. M. Goldratt, Le but – Un processus de progrès permanent , 2ème Edition, AFNOR, ISBN 2-12-465621-X, 1993.
- [Goldratt, 97] E. Goldratt, The critical chain, North River Pr., USA, 246P, 1997.
- [Grabowski et al., 00] M. Grabowski, risk modeling in distributed, large-scale systems, IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, part a : systems and humans. Vol30 n°6 , novembre 2000.
- [Grunder, 98] O. Grunder, Apport de la Modélisation Cognitive à la Planification de Projets. Thèse de doctorat de l'Université de Franche-Comté 1998.
- [Gunasekaran et al., 04] A. Gunasekaran , C. Patel , R. E. McGuaghey , A Framework for Supply Chain Performance Measurement , Int. J. Production Economics vol 87, p.333-347, 2004.
- [Hartmann et al., 00] S. Hartmann, R. Kolisch, Experimental evaluation of state-of-art heuristics for the resource-constrained project scheduling problem. European Journal of Operational Research 127, 394-407, 2000.
- [Hartmann, 02] S. Hartmann, A self-adapting genetic algorithm for project scheduling under resource constraints. Naval Research Logistics 49, 433-448, 2002.
- [Hatchuel, 96] A. Hatchuel, Coopération et conception collective, Coopération et conception, editeurs : G. de Terssac, E. Friedberg, Octaves Edition, , ISBN : 2-906769-33-9, 1996.

- [Herroelen et al., 04] W. Herroelen, R. Leus, Project scheduling under uncertainty — survey and research potentials. *European Journal of Operational Research*, 156, pp 550—565, 2004.
- [Herroelen, 99] W. Herroelen, E. Demeulemeester, B. De Reyck, A classification for project scheduling, dans *Project scheduling : Recent models, algorithms and applications*, édité par J. Weglarz, Kluwer Academic Publishers Group, pp 1-26, 1999.
- [Huang et al., 03] Huang et al., The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: a review of the literature, *International Journal of Production Research.*, vol. 41, no. 7, 1483–1517, 2003.
- [Huguet et al., 96] M.J. Huguet, G. de Terssac, J. Erschler, N. Lompe, De la réalité à la modélisation de la coopération en gestion de production, *Coopération et conception*, editeurs : G. de Terssac, E. Friedberg, Octaves Edition, ISBN : 2-906769-33-9, 1996.
- [Huguet, 94] M. J. Huguet. *Approches par contraintes pour l'aide à la décision et à la coopération en gestion de production*. Thèse de doctorat CNRS-LAAS, Toulouse, 1994.
- [Kalafatis, 00] S.P. Kalafatis, Buyer-seller relationships along channels of distribution, *Industrial Marketig Management*, vol31 pp. 215-228, 2000.
- [Kelley, 61] J.E. Kelley, The critical path planning and scheduling : Mathematical basis. *Operations Research* 9 (1961) 296-320.
- [Kleijnen, 04] J.P.C. Kleijnen, Supply Chain Simulation: A Survey, (Submitted paper), *International Journal of Simulation and Process Modeling* ISSN 1740-2123, 2004.
- [Kolisch et al., 01] R. Kolisch, R. Padman, An integrated survey of deterministic project scheduling - *Omega*, 2001.
- [Kolisch et al., 97] R. Kolisch, R. Padman, An Integrated Perspective of Project Scheduling; *Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre* Nr. 463, 1997.

- [Kolisch et al., 99] R. Kolisch, S.Hartmann, Heuristic algorithms for the resource-constrained project scheduling problem: Classification and computational analysis. In : Weglarz, J.(Ed.), Project scheduling : Recent Models, Algorithms and Applications. Kluwer, Boston, 147-178, 1999.
- [Kolisch, 01] R. Kolisch, Make-to-order assembly management, Springer, 2001.
- [Lauras, 04] M. Lauras, Méthodes de diagnostic et d'évaluation de performance pour la gestion de chaînes logistiques : application à la coopération maison-mère – filiales internationales dans un groupe pharmaceutique et cosmétique, Thèse de Doctorat de l'INPT, 2004.
- [Lauras et al., 03] M. Lauras, N. Parrod and O. Telle, Proposition de référentiel pour la notion d'entente industrielle : trois approches dans le domaine de la gestion des chaînes logistiques. Revue française de gestion industrielle, 2003.
- [Lauras et al., 03] M. Lauras, N. Parrod, O. Telle, J. Lamothe, C. Thierry, Référentiel de l'entente industrielle : Trois approches dans le domaine de la gestion des chaînes logistiques, 5e Congrès International de Génie Industriel : le génie industriel et les défis mondiaux, ville de Québec, Canada, Octobre 2003.
- [Lauras-Parrod-Telle, 02] M. Lauras - N. Parrod - O. Telle, Les relations industrielles : trois approches dans le domaine de la gestion des chaînes logistiques, Conférence Groupement Recherche en Productique (Tarbes), 2002.
- [Lee et al., 93] H.L. Lee et C. Billington, Material management in decentralized supply chain, Operation Research, vol 41, n°5, 1993.
- [Leus, 03] R. Leus , The generation of stable project plans : Complexity and exact algorithms, these
- [Martin, 97] A.J. Martin, Démarche et composantes ECR par un pionnier de l'intégration industrie/commerce, Jouenne et associés, ISBN : 2-9510673-1-3, 217p, 1997.
- [MCManus, 99] M.McMANUS, Risk driven project planning with critical risk paths, USA, Philadelphia, octobre 1999.

- [Menachof - Son, 03] D.A. Menachoff, B.G. Son, The truth about collaboration, Chief Logistics officer – Penton Media, pp. 6-12, 2003.
- [Mentzen et al., 01] J.T. Mentzer, W. Dewitt, J.S. Keebler, S. Min, N.W. Nix, C.D. Smith, Z.G. Zacharia, Defining the supply chain management, Journal of Business logistics, vol 22, n°2, 2001.
- [Merkle et al., 02] D. Merkle, M. Middendorf, H. Chmuck, Ant colony optimization for resource-constrained project scheduling. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 6, 333-346, 2002.
- [Möhring et al., 03] R.H. Möhring, A.S. Schulz, F. Stork, M. Uetz, Solving project scheduling problems by minimum cut computations. Management Science, 2003.
- [Monteiro et al., 01] T. Monteiro, P. Ladet LADET, Formalisation de la coopération dans le pilotage distribué des flux interentreprises, APII-Journal Européen des Systèmes Automatisés – Pilotage Distribué, p963-989, 2001.
- [Monteiro, 01] T. Monteiro. Conduite distribuée d'une coopération entre entreprise, le cas de la relation donneur d'ordres - fournisseur, Thèse du laboratoire d'Automatique de Grenoble, 2001.
- [Neumann et al., 03] K. Neumann, C. Schwindt., J. Zimmermann and J. Zimmermann, Project Scheduling With Time Windows and Scarce Resources: Temporal and Resource-Constrained Project Scheduling With Regular and Nonregular Objective Functions, Springer-Verlag, 01 August, 2003.
- [Neuville, 98] J.P. Neuville, Béni soit le partenariat : les dix commandements du fournisseur performant, Annale des Mines de Paris, pp. 55-64, 1998.
- [New et al., 95] S.J. New & P. Payne, Research framework in logistics : tree models, seven dinners and a survey, International Journal of Physical Distribution and logistics management, 25 (10), 1995.
- [O'Brien et al., 01] W.J. O'Brien , J. Hammer, Robust Mediation of Construction Supply Chain Information, ASCE Specialty Conference on Fully Integrated and Automated Project Processes (FIAPP) in Civil Engineering, Blacksburg, VA, ASCE, 2001.

- [O'Brien et al., 02-1] W.J. O'Brien, K. London and R. Vrijhoef, Construction supply chain modeling: A research review and Interdisciplinary research agenda, IGLC-10, Aug. 2002, Gramado, Brésil, 2002.
- [O'Brien et al., 02-2] W.J. O'Brien, R. Issa, J. Hammer, M.S. Schmalz, J. Geunes, S. X. Bai, Seek: accomplishing enterprise information integration across heterogeneous sources, <http://www.itcon.org/2002/7>, Electronic Journal of Information Technology in Construction, Vol 7, pp 101-123, 2002.
- [O'Brien, 01] W.J. O'Brien., Enabling technologies for project supply chain collaboration, NFS/ICIS Infrastructure and Information Technology Workshop ,Arlington 2001.
- [Palaneeswaran et al., 03] E. Palaneeswaran, M. Kumaraswamy, S. Thomas, Formulating A Framework For Relationally Integrated Construction supply chains, Journal of Construction Research, Vol. 4, No. 2, pp 189-205, 2003.
- [Patterson et al 89] J.H. Patterson, R. Slowinski, F.B. Talbot, J. Weglarz, An algorithm for a general class of precedence and resource constrained scheduling problem, eds. Slowinski, R. and Weglarz, J., Advances in Project scheduling, Elsevier Science 3-28, 1989.
- [Pierre, 78] M. Pierre, Soufflerie subsonique pressurisée F1 du centre de Fauga Mauzac de l'ONERA, 11th congress of the international Council of the Aeronautical Sciences (ICAS) Lisbonne 11-16 sept 1978.
- [Poirier et al., 01] C. Poirier, et S.E. Reiter, Revoir le partenariat d'entreprise, La Supply Chain, editeurs : C. Poirier, et S.E. Reiter, Dunod, pp.285, ISBN : 2-10-005207-1, 2001.
- [Port et al., 90] O. Port, Z. Schiller and R.W. King, A smarter way to manufacture. How "concurrent engineering" can reinvigorate American industry, Buisness Week, April 30, 11-117, 1990.
- [Reboulet, 99] C. Reboulet, Projet de recherche fédérateur : Suspension Active pour essais en Soufflerie (SACSO), DCSD/PRF n°7009.18, mai 1999.
- [Rey, 99] A. Rey, Dictionnaire historique de la langue française, Le Robert, 1999
- [Reynaud, 89] J.-D. Reynaud., Les Règles du jeu, A. Colin, 3ème édition 1997.

- [Rioux, 02] D. Rioux, La collaboration client- fournisseur, AMETVS - Chronique 5 , Le Groupe Créatech, 2002.
- [Roboam, 93] M. Roboam, La méthode GRAI : principes, outils, démarche et pratique, Edition TEKNEA, pp. 226, ISBN : 2-877176-029-2, 1993.
- [Roboam, 93] M. Roboam, La méthode GRAI : principes, outils, démarche et pratique, Edition TEKNEA, pp. 226, ISBN : 2-877176-029-2, 1993.
- [Roche, 00] C. Roche, Corporate antologies and concurrent enineering, Journal of Materials Processing Technologi n°107, pp. 187-193, 2000.
- [Rose et al., 02] B. Rose, L. Garza, M. Lombard, L. Lossent, G. Ris, Vers un référentiel commun pour les connaissances collaboratives dans l'activité de conception des produits, 1er colloque du groupe de travail Gestion des Compétences et des Connaissances en génie Industriel, pp. 85-90, 2002.
- [Rota et al., 99] K. Rota, G. Bel, C. Thierry, Relations clients-fournisseurs et planification de la production pour une entreprise impliquée dans plusieurs chaînes logistiques, 3<sup>e</sup> congrès international de génie industriel, Montréal, Canada, Mai 1999.
- [Roy, 92] B. Roy, Science de la décision ou science de l'aide à la décision ?, Cahier LAMSADE, Université de Paris Dauphine, Cahier n°97, 3<sup>ème</sup> version révisée, 1992.
- [Sardas et al., 02] J.C. Sardas, J. Erschler, G. de Terssac, Coopération et organisation de l'action collective, Groupe PROPSER, 2002.
- [Sboui et al., 03] S. Sboui, B. Rabenasolo, A.M. Jolly-Desodt, Vers un partenariat synergique : une nouvelle méthodologie de mise en place de partenariat, Revue Française de Gestion industrielle, Vol 22 n°1, 2003.
- [Seifert, 02] D. Seifert, Collaborative planning forecasting and replenishment, Galileo Press, 2002.
- [Sim 77] H.A. Simon, The new science of management decision, Prentice-Hall, New-Jersey, 1977.
- [Siniharju, 00] M. Siniharju, Collaboration in Project Supply Chain, TU-22.451 Seminar in International Project-Oriented Business, Helsinki, 2000.

- [Soenen et al., 2002] R. Soenen, J. Perrin, *Coopération et connaissance dans les systèmes industriels*, Hermes Science Publication, 2002.
- [Soubie et al., 96] J.L. Soubie, F. Burato, C. Chabaud, *La conception de la coopération et la coopération dans la conception*, Coopération et conception, editeurs : G. de Terssac, E. Friedberg, Octaves Edition, ISBN : 2-906769-33-9, 1996.
- [Sprecher, 02] A. Sprecher, Network decomposition techniques for resource-constrained project scheduling. *Journal of the Operational Research Society* 53, 405-414, 2002.
- [Tan, 01] Tan C.K., "A framework of supply chain management literature", *European Journal of Purchasing & Supply Management*, n° 7, p. 39-48, 2001.
- [Tayur et al., 99] S. Tayur, R. Ganeshan and M. Magazine, *Quantitative models for supply chain management.* », Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [Telle, 03] O. Telle, *Gestion des chaînes logistiques dans le domaine aéronautique : aide à la coopération au sein d'une relation donneur d'ordres – fournisseurs*, Thèse de Doctorat de L'ENSAE, 2003.
- [Telle et al., 01] O. Telle, Th. Pistre, C. Thierry, G. Bel, *Relation Client / Fournisseur au sein d'une chaîne logistique intégrée : un modèle de simulation*, Actes de la 3ème conférence francophone de MODélisation et SIMulation, Troyes - France, volume 2 p.973, 2001.
- [Thierry – Bel, 2002] C. Thierry, G. Bel, *Gestion de chaînes logistiques dans le secteur aéronautique : outils d'aide à la décision pour l'amélioration du partenariat*, *Revue Française de Gestion industrielle*, Vol 21 n°3, septembre 2002.
- [Thierry et al., 01] C. Thierry et G. Bel, *Gestion de chaînes logistiques dans le domaine aéronautique : Outils d'aide à la décision pour l'amélioration du partenariat*, *Revue Française de Gestion Industriel*, 2002.
- [Thierry et al., 04] C. Thierry, J. Lamothe, V. Galvagnon, *Re-planning support system for make-to-order production with reserved resources*, *International Journal of Production Research*, VOL 42, n°23, pp.4993-5008, 2004.

- [Thierry, 01] C.Thierry, Outil d'aide à la décision pour la planification d'un projet en environnement multi-projet, Caroline Thierry, Jacques Lamothe et Vincent Galvagnon, 3<sup>e</sup> congrès international de génie industriel, Aix, juin 2001.
- [Thierry, 03] C. Thierry, Gestion de chaînes logistiques : modèles et mise en œuvre pour l'aide à la décision à moyen terme, Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, juin 2003.
- [Thomas et al., 96] D.J. Thomas, P.M. Griffin, Coordinated supply chain management, European Journal of Operational Research vol 94, p. 1-15, 1996.
- [Thomassen - Lorenzen, 01] M.A. Thomassen, M. Lorenzen , The dynamic costs of coordination and specialization : Production activities and learning processes in the Danish construction and furniture industries, DRUID Nelson and Winter Conference, Aalborg, 12-15 June, pp. 25, 2001.
- [Tormos et al., 01] P. Tormos, A. Lova, A competitive heuristic solution technique for resource-constrained project scheduling, Annals of Operations Research 102, 65-81, 2001.
- [Vieira et al., 03] G.E. Vieira, J.W. Herrmann and E. Lin, Rescheduling manufacturing systems : a framework of strategies, policies and methods, journal of Scheduling, 6, 39-62, 2003.
- [Voisin et al., 00] C. Voisin, A. Plunket, B. Bellon, La coopération industrielle, Economica, 2000.
- [Vrijhoef, 00] R. Vrijhoef , L.Koskela, The four roles of supply chain management in construction, European Journal of Purchasing & Supply management, vol 6 pp169-178, 2000.
- [Weglaarz, 98] Weglaarz, Project Scheduling –Recent models, Algorithms and Applications, Kluwer's International Series, 1998.





### **Résumé en Français :**

*Le domaine de la « gestion chaîne logistique » a suscité, ces dernières années, beaucoup d'intérêt. La notion de « chaîne logistique d'un projet » quant à elle est encore émergente. Dans cette étude, nous nous intéresserons plus particulièrement à l'étude des comportements de coopération au sein de cette chaîne. Un outil de simulation de la relation entre un donneur d'ordre (gérant son projet) et un sous-traitant de spécialité (gérant l'occupation d'une ressource stratégique) est proposé pour permettre aux deux acteurs d'étudier l'impact de leurs comportements en termes de risques et de délais.*

*MOTS-CLÉS : Evaluation de performance, relations coopératives, planification de projet, chaîne logistique, relation de sous-traitance.*

### **Résumé en Anglais :**

*« Supply chain Management » creates a lot of interest both from an industrial and an academic point of view. The « Project supply chain » area is one that is still emerging. In this paper, we study the interaction of different behaviours within this chain. A simulation tool which studies the relationship between a principal contractor (in charge of project management) and a subcontractor (concerned with the management of a scarce resource) is proposed in order to enable both actors to understand the impacts of their behaviour on risks and delivery dates.*

*KEYWORDS: Performance measurement, co-operative process, project scheduling, supply chain management, externalisation of activity.*



---

10, avenue Edouard-Belin – BP 54032 – 31055 Toulouse cedex 4 – France

Tel : 33 (0)562178080 – Fax : 33 (0)562178330 – <http://www.supaero.fr>

Etablissement public à caractère administratif sous tutelle du Ministère de la Défense