



HAL
open science

Modélisation et simulation de la logistique d'approvisionnement dans l'industrie automobile : application pour un grand constructeur

Alexandre Villeminot

► **To cite this version:**

Alexandre Villeminot. Modélisation et simulation de la logistique d'approvisionnement dans l'industrie automobile : application pour un grand constructeur. Automatique / Robotique. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 2004. Français. NNT : 2004NAN10232 . tel-01748668

HAL Id: tel-01748668

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01748668v1>

Submitted on 29 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



AVERTISSEMENT

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

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

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

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

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

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

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

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



FACULTE DES SCIENCES & TECHNIQUES

U.F.R. Sciences et Techniques Mathématiques, Informatique et Automatique

Ecole Doctorale IAEM Lorraine

Département de Formation Doctorale Automatique

Thèse

présentée pour l'obtention du titre de

Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I

en Production Automatisée

par **Alexandre VILLEMINOT**

**Modélisation et simulation de la logistique d'approvisionnement
dans l'industrie automobile**
Application pour un grand constructeur

Soutenue publiquement le 10 décembre 2004 devant la commission d'examen :

Membres du jury :

M. Yannick FREIN	Président	Professeur à l'INPG, Grenoble
Mme Sophie D'AMOURS	Rapporteur	Professeure, Université Laval, Sainte-Foy, Québec, Canada
Mme Caroline THIERRY	Rapporteur	Maître de Conférences, HDR, Université Le Mirail, Toulouse
M. Patrick CHARPENTIER	Directeur de thèse	Professeur, UHP, Nancy I
M. Jean-Yves BRON	Examinateur	Maître de Conférences, UHP, Nancy I
M. Emmanuel MUHL	Examinateur	Docteur, PSA-Peugeot-Citroën

« ...Si loin que la science recule les bornes des connaissances humaines, il est un point sans doute qu'elle ne franchira pas ; et c'était là, précisément, que Pascal plaçait l'unique intérêt à vivre, dans le désir qu'on avait de savoir sans cesse davantage... »

Emile Zola, dans *Le Docteur Pascal*

Avant-propos

Cette thèse s'est déroulée dans le cadre de la convention CIFRE n°452/2001 entre le laboratoire CRAN (Centre de Recherche en Automatique de Nancy) et le groupe PSA Peugeot Citroën.

Je tiens tout d'abord à remercier Olivier Renan de m'avoir accueilli au sein du service d'avance de phase dont il était le responsable au commencement de ces travaux. J'adresse également mes sincères remerciements à Henri Lem, qui lui a succédé, pour avoir soutenu mes travaux et surtout pour m'avoir donné la chance de tenir mon premier poste au sein de son service.

J'ai eu le plaisir d'être encadré par Emmanuel Muhl qui a su me communiquer son enthousiasme et son professionnalisme. J'ai pu apprécier sa disponibilité ainsi que son soutien quotidien. Je le remercie vivement de tout ce qu'il m'a apporté.

Je ne peux oublier ici Patrick Raynaud, qui a eu la lourde tâche d'encadrer le début de cette thèse. Il a tout mis en œuvre pour me faire découvrir la logistique, ô combien complexe, de PSA.

Sur le plan fonctionnel, j'ai toujours eu l'appui de Sergio Simoes et Vincent Bernier. Ils m'ont constamment communiqué leurs connaissances des « modes de fonctionnement PSA ». Qu'ils soient remerciés pour l'intérêt qu'ils ont montré tout au long de ces trois années.

Je n'oublie pas toutes les personnes que j'ai pu rencontrer et que j'ai côtoyées quotidiennement : bonne humeur et sérieux ont toujours été au rendez-vous.

Mes remerciements se tournent maintenant vers le « monde universitaire ». Tout d'abord je tiens à remercier Patrick Charpentier, directeur de thèse, ainsi que Jean-Yves Bron, pour leur encadrement. Ils ont su guider ces travaux en vérifiant constamment la validité de la démarche scientifique adoptée.

Un remerciement particulier à Frédéric Chaxel pour le développement de la plateforme SimAppro, qui a permis une validation et une diffusion efficace de nos travaux.

Une pensée particulière pour Jacques Richard qui a toujours su porter un grand intérêt à mes études depuis cinq ans maintenant. J'ai pu profiter de ses conseils avisés.

Je tiens également à remercier,

Mesdames Sophie D'Amours et Caroline Thierry qui m'ont fait l'honneur d'accepter de rapporter mon mémoire. C'est avec humilité que j'ai apprécié la rigueur de leur travail ainsi que la pertinence de leurs remarques et conseils.

Monsieur Yannick Frein qui a accepté d'être examinateur de cette thèse et qui, depuis de nombreuses années, met ses connaissances au service de l'industrie, et en particulier de PSA.

Je remercie également l'ensemble du service d'Avance de Phase et toutes les personnes qui ont contribué à ces travaux. Je pense en particulier à Fabien Petitjean qui m'a fait partager une partie de ses compétences lors de deux stages. Qu'il sache qu'avec ses travaux, il a permis de donner un nouvel élan à cette thèse et qu'il soit sûr qu'il a toutes les compétences, intellectuelles et humaines, pour réussir sa thèse, que j'aurai le bonheur d'encadrer.

Enfin, ce mémoire n'aurait jamais pu exister sans celle qui partage mes doutes, mes joies, et surtout ma vie.

Table des matières

Table des matières	1
Introduction générale	9
Chapitre 1 Contexte et Problématique	15
1. Contexte	15
1.1. L'industrie automobile	15
1.1.1. D'une production artisanale	15
1.1.2. ...vers la production de masse	15
1.1.3. ...puis la production « artisanale de masse »	16
1.1.4. ...et enfin une « production personnalisée » ?	17
1.2. L'organisation de la logistique	18
1.2.1. La chaîne logistique liée à une usine terminale	19
1.2.2. Le maillon central : l'usine terminale d'assemblage automobile.....	19
1.2.2.1. L'atelier de ferrage.....	19
1.2.2.2. L'atelier de peinture	20
1.2.2.3. L'atelier de montage	20
1.2.2.4. Les stocks intermédiaires	21
1.2.3. La logistique d'approvisionnement et ses Systèmes d'Ordres	21
1.2.3.1. Le Kanban	21
1.2.3.2. La coordination des livraisons	22
1.3. La synchronisation des flux chez PSA	24
1.3.1. Mise en œuvre des systèmes d'ordres.....	24
1.3.2. La référence pour la synchronisation des flux : la Liste Unique Ordonnancée (LUO).....	24
1.3.2.1. Le séquençement.....	25
1.3.2.2. Le cadencement.....	25
1.3.2.3. Synthèse	26
1.4. Les systèmes d'information pour la synchronisation des flux	26
2. L'automobile : un monde de diversités	28
2.1. La diversité du produit fini	28
2.1.1. La diversité offerte au client	28
2.1.2. La diversité offerte par la production.....	29
2.2. Les outils de production et leur diversité.....	29
2.2.1. ...par l'histoire des sites	29
2.2.2. ...par les types de produits fabriqués.....	29
2.2.3. ...par le nombre de références à gérer	30
2.3. La diversité de la logistique d'approvisionnement	30
2.3.1. ...par la situation géographique des fournisseurs	31
2.3.2. ...par la répartition globale des Systèmes d'Ordres.....	31
2.3.3. ...par l'histoire des sites	32
2.3.4. ...par la structure de l'organisation des approvisionnements	32
2.3.5. ...par la situation géographique du site.....	33
2.3.6. Synthèse	33
2.4. De la flexibilité pour maîtriser les diversités	34
2.4.1. Définitions	34
2.4.1.1. La flexibilité offerte au commerce	34
2.4.1.2. La flexibilité offerte par l'usine terminale	35
2.4.1.3. La flexibilité offerte par les fournisseurs	35
2.4.2. Une réponse de PSA : la Loi de Hédin	35
3. Notre problématique	37
3.1. Améliorer la maîtrise globale de la flexibilité sur les approvisionnements	39
3.1.1. Valider globalement le dimensionnement	39
3.1.2. ...pour dimensionner unitairement	39
3.1.3. Un outil pédagogique pour l'ingénierie numérique de la chaîne logistique.....	40

3.2. Accroître la réactivité	40
3.2.1. Définition des aléas.....	41
3.2.2. Prise de décision	41
3.2.3. Un outil d'aide à la décision	42
4. Etat de l'art.....	43
4.1. La chaîne logistique.....	43
4.1.1. Définitions	43
4.1.2. Les niveaux de la gestion des flux	45
4.2. Les travaux pour la maîtrise de la chaîne logistique.....	46
4.2.1. Pour les phases de conception et d'organisation.....	46
4.2.2. Pour la phase de gestion.....	47
4.3. Synthèse par rapport au besoin	49
4.4. Conclusion : choix d'une démarche adaptée	50
Chapitre 2 Proposition d'une modélisation pour l'évaluation des flux logistiques.....	53
1. Introduction.....	53
1.1. Choix d'une approche de modélisation	53
1.1.1. Structures organisationnelles	53
1.1.2. Structures organisationnelles et approches de modélisation associées	53
1.1.3. Choix de notre approche	54
1.2. Choix d'une méthodologie de modélisation	55
1.2.1. Les problèmes rencontrés lors d'une activité de modélisation.....	55
1.2.2. Une généralité nécessaire.....	56
2. Les concepts nécessaires pour la modélisation des flux logistiques	57
2.1. Etat de l'art sur la méta-modélisation	57
2.1.1. Définition.....	57
2.1.2. Méta-modéliser : pourquoi et comment ?	58
2.1.2.1. L'intérêt de la méta-modélisation	58
2.1.2.2. La démarche de méta-modélisation.....	58
2.2. Introduction d'une approche de modélisation systémique.....	59
2.2.1. Le système	59
2.2.2. L'objet	59
2.2.3. Les opérateurs systémiques.....	60
2.2.3.1. Définitions.....	60
2.2.3.2. Notations	60
2.2.4. Le flux.....	61
2.2.5. Les processus	61
2.3. Synthèse.....	62
3. Proposition d'un méta-modèle pour les flux logistiques.....	63
3.1. Formalisation du méta-modèle	63
3.1.1. Choix d'un langage de modélisation.....	63
3.1.1.1. Extension du méta-modèle d'UML.....	64
3.1.1.2. Généralisation - Spécialisation.....	64
3.1.2. Définition de la sémantique « éléments de base »	65
3.1.2.1. Extension du méta-modèle avec les concepts systémiques	65
3.1.2.2. Spécialisation des stéréotypes systémiques.....	66
3.1.2.3. Synthèse de la vue « éléments de base » du méta-modèle	69
3.1.3. Définition de la syntaxe « règles de construction »	70
3.1.3.1. Règles de précedence des processus	70
3.1.3.2. Règles de composition des flux.....	71
3.2. Proposition d'une méthodologie.....	73
3.2.1. Phase d'analyse.....	73
3.2.2. Phase de modélisation statique	74
3.2.3. Phase de modélisation dynamique	74
3.3. Synthèse.....	75
4. Un modèle de la chaîne logistique d'approvisionnement PSA.....	75
4.1. Analyse du système	75
4.1.1. Définition du système et des objets.....	76

4.1.1.1. Description	76
4.1.1.2. Définition du système	76
4.1.1.3. Définition des objets	76
4.1.2. Définition des flux et processus	76
4.1.3. Intégration des politiques de gestion.....	78
4.1.4. Définition de la valeur des attributs d'un ordre	80
4.2. Modélisation statique.....	81
4.2.1. Construction du diagramme de cas d'utilisation	81
4.2.2. Construction du diagramme de classes	82
4.2.2.1. Le système	82
4.2.2.2. Les flux de transformation	83
4.2.2.3. Les flux de transport	83
4.2.2.4. Diagramme de classes d'un système élémentaire d'approvisionnement.....	84
4.3. Modélisation comportementale	84
4.3.1. Construction du diagramme d'états d'un ordre.....	85
4.3.2. Construction des diagrammes de collaboration	86
4.3.2.1. Exemple du cas d'utilisation « Consommer ».....	86
4.3.3. Diagrammes d'états de contrôle des classes	87
4.4. Synthèse.....	88
5. Evaluation de performances	88
5.1. La mesure des performances d'une chaîne logistique	88
5.2. Mesure quantitative des performances de notre système.....	90
5.2.1. Temps de réponse	90
5.2.2. Niveau de service rendu au client	91
5.2.3. Utilisation des ressources.....	91
5.3. Construction du système d'indicateurs	91
5.3.1. Indicateurs élémentaires	92
5.3.1.1. Indicateurs de niveau de service.....	92
5.3.1.2. Indicateurs d'utilisation des ressources de stockage	93
5.3.2. Indicateurs de coût.....	94
5.3.2.1. Coût de rupture.....	94
5.3.2.2. Coût de détention ($C_{\text{dét}}$).....	94
5.3.2.3. Coût de stockage (C_{stk}).....	95
5.3.2.4. Coût de possession (C_{pos})	96
5.4. Objectifs de l'évaluation de performances	96
6. Conclusion	96
<i>Chapitre 3 Etude et spécification d'une plateforme de simulation</i>	<i>101</i>
1. Introduction.....	101
2. Choix de la solution technique	102
2.1. Les outils du marché.....	102
2.1.1. Les généralistes.....	102
2.1.2. Les outils liés à un formalisme	103
2.2. Choix effectué	104
3. Spécifications de la plateforme de simulation	105
3.1. Introduction	105
3.2. Architecture fonctionnelle de l'application	105
3.3. Module de pilotage	107
3.3.1. Pilotage des Politiques de Gestion	107
3.3.2. Gestion calendaire des Evénements de la Simulation.....	107
3.4. Module d'interfaçage.....	108
3.4.1. Connexion avec les systèmes d'information.....	108
3.4.2. Traducteur FV/FC.....	109
3.4.2.1. Fonctionnalité	109
3.4.2.2. Les règles de rattachement de nomenclature.....	110
3.4.2.3. Forme générale de l'ECDV.....	110
3.4.2.4. Exemple d'ECDV et utilisation	111
3.5. Module de traitement.....	111

3.5.1. Calcul dynamique des indicateurs	112
3.5.2. Edition du fichier de résultats	112
4. Validation de la plateforme de simulation	114
4.1. Construction du plan de validation	114
4.2. Construction de l'échantillon de validation	115
4.2.1. Définition des termes employés.....	115
4.2.2. Les Différentes Instances du Sparte.....	116
4.2.3. Composition de l'échantillon	117
4.3. Validation de l'implémentation de la modélisation	117
4.3.1. Phase 1 – Validation du calcul des Besoins Journaliers.....	117
4.3.2. Phase 2 – Validation du calcul des Ordres de Livraison.....	117
4.3.3. Phase 3 – Validation dynamique des niveaux de stocks	118
4.3.4. Phase 4 – Validation dynamique des niveaux de stocks et du calcul des Ordres de Livraison simultanément.....	118
4.3.5. Synthèse.....	119
4.4. Résultats de validation.....	120
4.4.1. Phase 2 : Validation du calcul des Ordres de Livraison.....	120
4.4.2. Phase 3 : Validation dynamique des niveaux de stocks	121
4.4.2.1. Remarques.....	121
4.4.2.2. Configuration de simulation.....	121
4.4.2.3. Résultats.....	121
4.4.3. Phase 4 : Validation dynamique des niveaux de stock et du calcul des Ordres de Livraison simultanément.....	123
4.4.3.1. Configuration de simulation.....	123
4.4.3.2. Résultats.....	123
4.5. Synthèse sur la validation	124
5. Conclusion	125
<i>Chapitre 4 Application industrielle.....</i>	<i>129</i>
1. Introduction.....	129
2. Pourquoi sécuriser un stock ?	129
3. Etude statique préliminaire.....	132
3.1. Etat des lieux	132
3.2. Indicateurs utilisés	134
3.3. Evaluation des gains envisageables	134
3.4. Conclusion de l'étude statique.....	137
4. Etude par simulation dynamique	137
4.1. Généralités.....	137
4.2. Méthodologie.....	139
4.2.1. Simulation de référence	139
4.2.2. Simulation du scénario de l'étude statique	139
4.3. Analyse des résultats de la campagne de simulation	140
4.3.1. Résultats et analyse de la simulation de référence	140
4.3.2. Résultats et analyse de la simulation.....	141
4.3.3. Mesure de la Qualité de service.....	143
4.4. Synthèse.....	144
5. Une boucle décisionnelle pour le dimensionnement global	144
5.1. Proposition d'un algorithme d'optimisation	144
5.1.1. Etape 1 – Simulation de référence	145
5.1.2. Etape 2 – Détermination de la qualité de service maximum.....	145
5.1.3. Etape 3 – Détermination du coût de possession minimal.....	145
5.1.4. Etape 4 – Adaptation des sécurisations.....	145
5.2. Résultats d'une optimisation.....	146
6. Conclusion et perspectives.....	148
<i>Conclusion et perspectives</i>	<i>153</i>

<i>Références bibliographiques</i>	159
<i>Table des illustrations</i>	169
<i>Annexe 1 Diagrammes de collaboration</i>	174
<i>Annexe 2 Diagrammes d'états de contrôle des classes</i>	178
<i>Annexe 3 Structure des fichiers d'entrée de SimAppro</i>	181
<i>Annexe 4 Validation de la modélisation</i>	184
<i>Annexe 5 Interface Utilisateur – SimAppro</i>	196
<i>Annexe 6 Documentation de la librairie ActiveX « SimAppro »</i>	201

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Présentation

Les travaux de thèse présentés dans ce manuscrit traitent de la modélisation et de la simulation de la logistique d'approvisionnement dans le cadre de la fabrication automobile pour un grand constructeur européen.

L'action de modélisation consiste à établir une représentation conceptuelle de la réalité. Cette démarche est souvent envisagée pour fournir une aide à la décision que ce soit pour une phase de conception d'un système ou pour sa gestion opérationnelle. Le choix de l'approche est guidé par la problématique à laquelle le modèle doit répondre. Déterminer un formalisme de modélisation résulte donc d'une phase préliminaire consistant à définir le périmètre, le degré de granularité, mais aussi l'horizon temporel. Un système discret pourra être vu comme continu si on se place sur un horizon temporel assez long, par exemple.

Une chaîne logistique est formée par un ensemble de flux circulant entre le fournisseur initial et le client final. C'est donc un réseau complexe de relations et d'échanges physiques, informationnels mais aussi financiers. Modéliser la logistique d'approvisionnement, bien qu'étant un sous-ensemble d'une chaîne logistique, reste un problème compliqué, dont le degré peut être évalué en fonction du nombre d'acteurs, de la diversité du produit fini ou encore en fonction de l'interaction entre les différents acteurs.

Contexte

Concevoir et produire une automobile sont parmi les processus les plus complexes de la production manufacturière actuelle. En effet, il faut à la fois maîtriser et être à la pointe de l'innovation ; il faut produire en grande série et répondre aux exigences de chaque client, tout en restant le plus compétitif possible. L'innovation ne concerne pas seulement le produit fini mais également le processus de fabrication et sa logistique.

En effet, cette industrie a toujours été force de propositions pour l'organisation de la production. Après une production confidentielle, elle s'est rapidement dirigée vers la production de masse. Elle fut alors le berceau du taylorisme et surtout du fordisme. A cette époque le concept de « ligne de montage » apparaît et permet notamment la production en grande série d'un même type de véhicule. Ce concept place l'industrie automobile dans une logique d'économie d'échelle. Cependant, au Japon, les constructeurs arrivent aux limites à la fois des ressources mais aussi économiques et se dirigent vers un modèle où l'exigence du client prime. Il faut alors satisfaire celui-ci sur les trois points du triptyque « Coût – Qualité – Délai ». Un changement de cap important se fait jour, avec en particulier

l'introduction du concept de « Juste-à-Temps ». Là encore l'industrie automobile joue le rôle de pionnier dans ce domaine. Aujourd'hui, ce sont les Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication qui connaissent un essor important. Ceci n'est pas sans impact sur la production automobile : le client est de plus en plus exigeant car mieux et plus rapidement informé. Par conséquent on se dirige peu à peu vers un mode de production où le client choisit totalement son véhicule en terme d'options, de motorisation ou d'équipements spécifiques. La fabrication à la commande devient une réalité. La conséquence sur l'outil de production se caractérise par l'introduction d'une diversité du produit fini de plus en plus forte. L'outil de production doit donc être de plus en plus flexible pour pouvoir absorber cette diversité croissante. Cependant la flexibilité a un coût (ressources humaines supplémentaires, machines plus complexes,...), il faut donc être capable de la maîtriser.

Problème posé

L'industrie automobile en général, et le groupe PSA Peugeot Citroën en particulier, ont depuis plusieurs années, mené des travaux de recherche pour la maîtrise de leur flux de production (équilibrage des lignes de production, pilotage des stocks inter-ateliers,...). De nouveaux modes de fonctionnement, des algorithmes d'ordonnancement ou d'équilibrage de charge, ainsi que des outils d'aide à la décision ont vu le jour. Des gains dans les usines ont pu être réalisés. Les constructeurs se tournent aujourd'hui vers l'amont de la fabrication, à savoir la chaîne logistique d'approvisionnement, pour tenter là encore d'en optimiser le fonctionnement.

Des règles de dimensionnement de cette logistique d'approvisionnement ont été mises en place et implémentées dans les systèmes informatiques. Cependant elles ne permettent pas d'avoir une vision globale puisqu'elles sont dédiées et appliquées au pilotage unitaire des flux. Considérer globalement cette logistique doit permettre d'évaluer la performance des préconisations de dimensionnement unitaire. Il s'agit par exemple de vérifier que de nouveaux paramétrages n'entraînent pas un sous ni un surdimensionnement des stocks de sécurité. Par ailleurs, l'accélération de la cadence de lancement des véhicules oblige également de disposer d'outils permettant de tester hors ligne de nouvelles règles ou de nouveaux modes d'approvisionnement.

Réagir en cas d'aléas sur les flux d'approvisionnement n'est pas une opération simple. En raison de la diversité des flux et de leurs interactions, il semble difficile d'anticiper les conséquences d'une décision sur l'ensemble de la logistique. Aujourd'hui, réagir face à un aléa par une décision prise, aussi bien sur le flux principal de production (blocage de l'engagement sur la ligne de montage, par exemple) que sur la logistique d'approvisionnement (mise en place d'un transport exceptionnel, par exemple), est essentiellement faite par l'expérience. Les conséquences de cette décision sont plutôt évaluées de manière qualitative que quantitative. Pour améliorer la fluidité des flux, il est aujourd'hui

nécessaire d'améliorer la visibilité sur l'ensemble de la logistique d'approvisionnement pour accroître la réactivité en cas d'aléas.

Ces travaux de thèse contribuent à :

- ◆ l'amélioration de la maîtrise globale de la flexibilité de la chaîne logistique d'approvisionnement ;
- ◆ l'accroissement de la réactivité en cas d'aléas avec une quantification des impacts.

Approche de résolution et principales contributions

Pour répondre à une problématique de gestion opérationnelle d'un système de production, les travaux de recherche s'orientent classiquement vers une étape de modélisation pour passer rapidement vers la simulation à événements discrets. Nous avons besoin de construire une modélisation générique. Pour ce faire il est possible de s'appuyer sur des concepts issus de la systémique dans le but de décrire un flux élémentaire de notre système global. Proposer un modèle générique d'un système complexe nécessite d'adopter une démarche d'abstraction de la réalité puis de spécialisation pour le problème posé.

Dans ce sens la principale contribution de nos travaux réside dans la proposition d'un méta-modèle pour les flux d'approvisionnement par extension du méta-modèle d'UML, dans le but de considérer la sémantique propre à notre domaine. Grâce à cette extension ce dernier permet de répondre à notre souci de genericité. Ce méta-modèle définit des briques de base, véritables entités élémentaires d'un flux d'approvisionnement. Nous proposons des règles de construction pour la modélisation d'un système d'approvisionnement particulier et une méthodologie en trois étapes guidant l'expert en modélisation de la phase d'analyse à la spécification du comportement de chaque entité.

La seconde contribution est la réalisation d'une modélisation de la logistique d'approvisionnement du groupe PSA Peugeot Citroën. En s'appuyant sur le méta-modèle et en appliquant la méthodologie, nous avons construit un modèle en langage objets de notre cas d'étude. Associé à ce modèle, nous proposons également un processus d'évaluation de la performance d'une chaîne d'approvisionnement. Enfin la troisième contribution de cette thèse concerne la conception, le développement et la validation d'une plateforme de simulation implémentant exactement la modélisation proposée. Cette réalisation permet notamment de valider la démarche et les formalismes adoptés, ainsi que les techniques choisies. Bien que la problématique ait déjà été abordée, aucune réponse réellement opérationnelle n'a vu le jour. Nous souhaitons apporter aujourd'hui, pour le groupe PSA Peugeot Citroën, des réponses en exploitant au mieux l'essor actuel nouvelles technologies informatiques. En synthèse nos principales contributions dans le cadre de cette thèse sont :

- ◆ La proposition d'un méta-modèle pour les flux logistiques et d'une méthodologie pour son instanciation ;

- ◆ Une modélisation de la logistique d’approvisionnement prenant en compte un grand nombre de relations client – fournisseur élémentaires ;
- ◆ Le développement et la validation d’une plateforme de simulation implémentant la modélisation proposée ;
- ◆ Le traitement d’une application de taille industrielle sur une usine terminale du groupe.

Organisation du manuscrit

Cette thèse est organisée en quatre chapitres. Dans le premier, nous explicitons tout d’abord le contexte industriel de nos travaux avant de détailler notre problématique. Nous dressons par la suite un état de l’art des approches de résolution envisagées pour des problématiques et des contextes similaires. Forts des constats effectués nous choisissons une démarche adaptée à nos contraintes de généralité.

Dans un deuxième chapitre, nous établissons un état de l’art montrant que nos contraintes peuvent être levées en passant par une phase de méta-modélisation ; UML a souvent été utilisé en raison de son caractère générique. Pour utiliser la sémantique spécifique à un domaine, il faut cependant étendre son propre méta-modèle. Pour répondre à un besoin d’abstraction de la réalité, nous montrons comment nous avons construit un méta-modèle pour les flux logistiques. Cette partie est le cœur de nos travaux. Enfin nous proposons un système d’indicateurs pertinents pour notre application.

Cette modélisation est ensuite implémentée dans une plateforme de simulation, nommée SimAppro. Elle est spécifiée dans le troisième chapitre. Des contraintes industrielles nous imposent la construction d’une architecture modulaire. Cette plateforme est ensuite validée par rapport à la réalité.

Le quatrième chapitre est consacré à une application industrielle. Nous validons ici la globalité de nos travaux. L’exemple démontre, qu’adapter unitairement les sécurisations de chaque composant avec une vue globale de la logistique d’approvisionnement permet non seulement de réduire les coûts de stockage mais surtout d’accroître la qualité de service.

Enfin, nous finissons par une conclusion générale reprenant les différentes contributions apportées dans cette thèse et donnant des perspectives de recherche à cette première application industrielle.

CHAPITRE 1

CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

Chapitre 1

Contexte et Problématique

1. Contexte

1.1. L'industrie automobile

La production en série dans l'industrie automobile est aujourd'hui âgée de 110 ans. C'est lors de l'Exposition Universelle de Paris, en 1889, que Panhard et Levassor découvrent le moteur Daimler. Après avoir obtenu le droit de le fabriquer, c'est la société Peugeot qui le monte sur des véhicules. La production en série de véhicules vient de naître. Certes les volumes sont encore faibles avec 5 voitures en 1891, mais dès 1900, 2500 unités sont sorties des usines Benz, en Allemagne.

Depuis, la production automobile a toujours été à la pointe de l'organisation du travail pour la fabrication de produits en grande quantité. Elle a évolué d'une production artisanale, à la fin du XIX^{ème} siècle, vers une industrie importante pour le développement de l'économie des pays occidentaux.

1.1.1. D'une production artisanale...

La fin du XIX^{ème} siècle a vu la naissance de quelques inventeurs géniaux. Ils sont souvent à la fois fabricant, promoteur et vendeur de leur produit. Des ouvriers hautement qualifiés fabriquent dans ces petites entreprises la quasi-totalité du produit fini. Chaque exemplaire est pour ainsi dire unique et par conséquent onéreux. L'automobile est un produit rare réservé à une classe sociale très élevée.

1.1.2. ...vers la production de masse...

Avec les contraintes liées à la production artisanale, le marché ne peut se développer et de nouvelles méthodes de production doivent être mises en place. C'est Frederik W. Taylor qui en a jeté les fondations peu avant 1880, avec sa réflexion sur *l'organisation scientifique du travail*. En fait Taylor cherche à employer l'être humain de la meilleure manière possible dans le processus de production. Pour Taylor, la seule façon d'atteindre ce but est d'établir un programme détaillé de comportement, c'est-à-dire un ensemble de méthodes qui permettent de transformer l'homme, « *omni tâches* », en une machine spécialisée (March *et al*, 1977). La parcellisation consiste alors à confier une opération unique à chaque opérateur ; le travail ne demande plus de qualification, ni d'initiative. La pénibilité et le peu d'intérêt de ces tâches répétitives sont compensés par des améliorations salariales.

Mais c'est Henry Ford, qui amènera ce type d'organisation, appelée « *production de masse* » à son apogée, en combinant différentes approches pour produire, dès 1908, la Ford T. Outre la

standardisation des pièces, il introduit le concept de *chaîne de production*. Il installe un système central parcourant l'atelier et transportant les produits en cours d'élaboration. Ce dispositif a pour but d'organiser et d'enchaîner les opérations élémentaires que doivent effectuer les opérateurs.

Cette organisation permet d'atteindre une production annuelle globale de 2 millions de véhicules au début des années 1920 avec des coûts de production réduits. L'essor de la compagnie permet de réinvestir les bénéfices pour contrôler tous les stades de la production, de la sous-traitance à l'approvisionnement en matières premières.

1.1.3. ...puis la production « artisanale de masse »...

Le concept de *production de masse* est un mode de croissance, au niveau économique, fondé sur les gains de productivité redistribués en partie sous forme de gains de pouvoir d'achat. Il a donc entraîné l'émergence du concept de *consommation de masse*.

Cependant, au Japon, le pouvoir d'achat n'étant pas aussi élevé qu'aux Etats-Unis, le rôle de la demande était fondamentalement différent. En effet, on ne pouvait pas se permettre de produire alors qu'on n'était pas assuré de vendre. On produit alors pour répondre à une demande, c'est celle-ci qui déclenche le processus de fabrication.

Cette conception engendre un changement sur l'organisation du travail : il faut répondre aux exigences du client en terme de quantité, de qualité et de variété. Toyota a donc développé le concept de production appelé « Toyota Production System » dans les années 60. Ce concept de production veut réduire aussi bien les ressources humaines que les stocks au minimum. Il a été adopté dans les années par les producteurs américains sous le terme de « lean manufacturing ». C'est lors de ces changements que la notion de Juste À Temps apparaît.

Ces principes se déclinent en cinq exigences, mieux connues sous l'appellation « cinq zéros ».

- ◆ *Zéro stock* : On produit quand on a des commandes et on approvisionne exactement le nombre de composants nécessaires et au moment où on en a besoin ;
- ◆ *Zéro délai* : On réduit au maximum le temps nécessaire pour changer le produit en cours de fabrication ; ce qui implique une grande flexibilité. On réduit globalement le temps entre la prise d'une commande et sa satisfaction ;
- ◆ *Zéro défaut* : On doit faire bien du premier coup pour ne pas engendrer de surcoût de production et pour ne pas mécontenter le client ;
- ◆ *Zéro panne* : Pour répondre aux trois exigences précédentes, il faut un outil de production totalement fiable ;
- ◆ *Zéro papier* : Les économies doivent également être faites dans le secteur administratif.

Le juste à temps a eu des effets sur les coûts de production mais aussi sur la capacité à répondre à des variations de la demande et notamment ces vingt dernières années.

Depuis la naissance de l'industrie automobile, l'organisation du travail a toujours été le souci majeur des constructeurs automobiles. En effet elle est un facteur essentiel de la productivité et est donc un facteur de croissance de cette industrie.

1.1.4. ...et enfin une « production personnalisée » ?

Des clients de plus en plus exigeants, attirés par les innovations technologiques et sensibles aux phénomènes de mode ont fait de l'automobile un produit *renouvelable*, avec un renouvellement annuel du parc estimé à 10%. Pour y répondre les constructeurs diversifient l'offre et se dirigent progressivement vers la production de véhicules totalement personnalisés appelée également « *one of a kind production* » ou production unitaire. Cependant on peut se demander si cette diversification extrême est bien réelle ?

Lors du processus appelé *matching*¹ le distributeur va tenter de capter et d'utiliser tout le consentement à payer du consommateur (Behr, 2000). Celui-ci devra choisir son véhicule parmi un modèle du stock de véhicules neufs du concessionnaire, ou parmi toute la diversité que lui offre le constructeur au travers d'une commande avec délai de livraison ; dans le premier cas on se place dans un modèle de vente sur stock et dans le second on trouve la production à la commande ou Build-to-Order (BtoO).

En théorie le BtoO devrait permettre la mise à disposition de l'ensemble de la diversité au consommateur ; il doit pouvoir choisir exactement le véhicule (modèle, option, motorisation, équipement,..) qu'il souhaite. Cette mise à disposition doit se faire, dans un délai acceptable et surtout maîtrisé. Le BtoO doit permettre également la suppression des stocks de véhicules neufs chez le concessionnaire et par conséquent, ce stock ne devrait plus jouer une part importante dans le processus de *matching*.

Cependant une trop grande diversité offerte engendre des coûts importants. Les constructeurs automobiles tentent de maîtriser et de limiter cette diversification en *guidant* le client final au travers du concept de « *package* » (regroupement d'options) ou des niveaux de finitions prédéterminés (équipements de série, séries spéciales, offres commerciales...).

Pour pouvoir être le plus compétitif sur ce marché concurrentiel, les objectifs des constructeurs étaient depuis un bon nombre d'années de réduire les coûts et d'améliorer la qualité du produit en optimisant l'outil de production (parcellisation du travail, organisation en chaîne, cercle de qualité). Ensuite, ils se sont tournés vers les systèmes informatiques de gestion. Aujourd'hui ces sources d'amélioration

¹ Le *matching* est la rencontre entre le client final et l'offre qui répond au mieux à ses besoins.

commencent à être taries. Ainsi on se tourne vers l'extérieur de l'usine, c'est à dire vers l'optimisation de la chaîne logistique.

C'est dans ce contexte que les constructeurs évoluent et cherchent à obtenir la logistique la plus performante. Dans le paragraphe suivant nous tenterons d'en faire une description correspondant aux choix principaux que tous ont effectués.

1.2. L'organisation de la logistique

Le délai entre la commande d'un véhicule par un client et sa livraison (figure 1-1) peut se décomposer schématiquement par

- ◆ Un délai administratif ou *délai légal de rétractation* (7 jours en France) ;
- ◆ Allocation de la demande aux usines (3 jours chez PSA) ;
- ◆ Commande et livraison des composants (4 jours chez PSA, appelé « Flux Papier ») ;
- ◆ Délai de fabrication du véhicule (3 jours chez PSA, appelé « Flux Véhicule ») ;
- ◆ Transport, réception et préparation du véhicule (8 jours chez PSA).



Figure 1-1 : De la commande à la livraison... chez PSA

Avec le « *Projet Nouvelle Distribution* », Renault a pour ambition de réduire ce cycle à 15 jours et de refondre tous les processus de la chaîne logistique. Les autres constructeurs sont en général plus modestes (Carney, 2004). L'objectif visé est de 20 à 30 jours, bien que la tendance soit à la fiabilisation et à la réduction du délai de livraison.

1.2.1. La chaîne logistique liée à une usine terminale

Dans ce paragraphe, nous présentons la *chaîne logistique* liée à une usine terminale d'assemblage automobile. Elle présente une structure classique en « X », avec quelques centaines de fournisseurs de premier niveau livrant quelques milliers de références (figure 1-2).

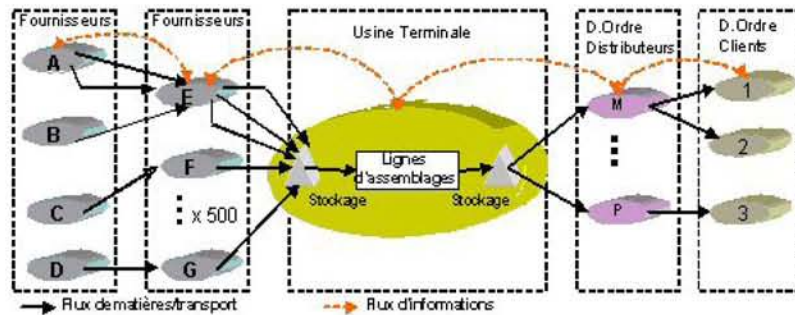


Figure 1-2 : La chaîne logistique d'une usine d'assemblage automobile

Nous décrirons dans les paragraphes suivants les différentes entités composant cette chaîne logistique. Nous débuterons par le maillon central, à savoir l'usine terminale d'assemblage automobile, puis nous présenterons la chaîne logistique d'approvisionnement et les politiques de gestion associées.

1.2.2. Le maillon central : l'usine terminale d'assemblage automobile

Comme nous l'avons vu, la concurrence est très ardue. Cependant la quasi-totalité des constructeurs automobiles ont opté pour une organisation de leur outil de production identique. Seuls quelques constructeurs ont conservé une production de type artisanale. Nous présenterons ici le nœud principal constitué par l'usine abritant les « *lignes de production à modèles mélangés* » également appelée *Usine Terminale*.



Figure 1-3 : Le flux Véhicule au sein d'une usine terminale

Cette usine est généralement composée de trois ateliers : l'atelier de ferrage ou tôlerie, l'atelier de peinture et l'atelier de montage (figure 1-3). Nous décrirons ensuite l'environnement dans lequel évoluent ces installations.

1.2.2.1. L'atelier de ferrage

Une automobile prend naissance physiquement en entrée de l'atelier de ferrage qui construit la caisse en deux grandes étapes. Tout d'abord la réalisation du soubassement de la caisse. L'armature est ensuite effectuée avec l'adjonction des panneaux de côtés et du pavillon au soubassement. C'est le

métier le plus automatisé : la plupart des manipulations et des opérations de poinçonnage, sertissage et de soudure sont faites par des robots.

La variété créée lors de ces opérations n'est principalement due qu'à la silhouette des caisses (3 ou 5 portes, toit ouvrant,...). On observe, par exemple, 45 diversités en sortie de l'atelier de ferrage Poissy. Les principaux composants sont issus des ateliers d'emboutissage. Très peu de diversités de flux existent entre cet atelier et des fournisseurs externes.

1.2.2.2. L'atelier de peinture

La caisse est ensuite convoyée vers l'atelier de peinture. Cet atelier est assimilable à un tunnel où se succèdent différentes opérations. La première d'entre elles est le lavage et le dégraissage de la caisse. On lui applique alors différentes couches protectrices et d'anti-corrosion par procédés électrochimiques, comme la cataphorèse. Ensuite viennent différents traitements concernant l'étanchéité, l'antigravillonnage mais aussi l'insonorisation. Enfin les étapes finales de ce processus consistent en l'application d'une couche d'apprêt, de laque puis de vernis, donnant l'aspect extérieur final de l'automobile.

Nous allons observer dans cet atelier des perturbations du planning de production importantes. En effet, si un défaut d'aspect est découvert, la caisse doit repasser par la plupart des opérations.

La variété introduite dans cet atelier est égale au nombre de teintes proposées aux clients pour le modèle considéré. On observe, par exemple, 211 diversités en sortie de l'atelier de peinture Poissy.

En ce qui concerne les approvisionnements, les produits sont essentiellement des mastics, les apprêts, les laques ou le vernis. Ils font bien souvent l'objet d'une gestion particulière. Chez certains constructeurs, ce sont par exemple les fournisseurs qui pilotent les stocks de cet atelier, par une politique de gestion des approvisionnements du type VMI² (Disney *et al*, 2003).

1.2.2.3. L'atelier de montage

La caisse est ensuite engagée sur une ligne de Montage. Là, sont réalisés les assemblages de tous les constituants (roues, sièges...) sur la caisse. On y retrouve les opérations apportant la majeure partie de la valeur ajoutée. C'est un atelier où les opérations automatisées sont quasiment inexistantes, sauf celles des robots assistant l'opérateur pour la manutention. Cet atelier représente un exemple de l'adaptation du fordisme au contexte actuel : toutes les opérations des opérateurs sont minutées (rythmées par la cadence de la chaîne) et décomposées en opérations élémentaires. Cependant toutes les tâches d'un opérateur ne sont pas toujours exactement les mêmes, elles varient en fonction du véhicule. C'est donc ici qu'on retrouve le besoin de flexibilité issu du modèle Toyota. L'atelier de

² VMI : Vendor Managed Inventory ou pilotage des stocks par le fournisseur

montage est donc l'atelier où la diversité des véhicules est la plus marquée et par conséquent, le métier où l'on trouve les contraintes les plus fortes.

1.2.2.4. Les stocks intermédiaires

Entre et dans les divers ateliers d'une usine, des moyens de stockage existent. Ils ont deux rôles principaux :

- ◆ Le premier consiste à réguler le flux en volume. Suite à des aléas de production, à des rythmes de travail non synchronisés et des processus fonctionnant à des cadences différentes, le flux pourrait se désamorcer (création de places vides) entre deux ateliers successifs.
- ◆ Le second rôle est la régulation du flux en « qualité ». Il permet de respecter les contraintes industrielles du flux en respectant les charges de travail par exemple. Ces stocks peuvent permettre l'optimisation des tailles des rafales peintures ou le lissage de la charge des postes de travail au montage.

1.2.3. La logistique d'approvisionnement et ses Systèmes d'Ordres

La plupart des constructeurs automobiles ont décidé, pour répondre à toutes les exigences décrites précédemment, de se doter d'un fonctionnement dit en « *Juste-à-Temps* » et d'une gestion de production en « *Flux tirés* ». Cela se traduit notamment par le fait que chaque Ordre de Fabrication (OF) correspond à une commande ferme d'un client (final ou concessionnaire) et que les prévisions sont des éléments dimensionnant la chaîne logistique.

Par conséquent, des politiques de gestion des approvisionnements ont été élaborées pour répondre à ces exigences.

1.2.3.1. Le Kanban

Historiquement, la politique de gestion de type *Kanban* a été créée avec le Juste À Temps (JAT) par la firme « *Toyota Motor Corporation* ». En effet, le système *Kanban* est le système informationnel qui contrôle une production JAT.

Le *Kanban* repose sur l'envoi des ordres de fabrication ou de livraison d'une station aval vers une station amont à condition qu'une consommation passée ait été observée sur la station avale. Il est caractérisé par un nombre de *Kanban* ou d'étiquettes, fixe dans la boucle qui doit pouvoir prendre en compte les différents temps sur le circuit client-fournisseur, mais aussi les fluctuations de la demande. Cette politique de gestion de la production ou des approvisionnements est en fait un système du type « *flux tirés* ».

Au sein du groupe PSA, le *Kanban* a été adapté pour donner naissance au *Recor*, (abréviation de « *Renouvellement de la Consommation Réelle* »). La consommation d'un bac de pièces génère un ordre de renouvellement :

- ◆ pour une opération de production (boucle de production) (figure 1-4) ;

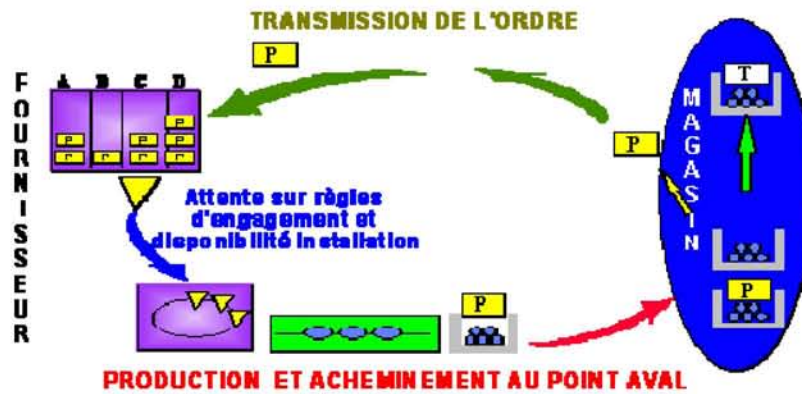


Figure 1-4 : Illustration du Recor de production

- ◆ pour une manutention (boucle de transport) (figure 1-5).

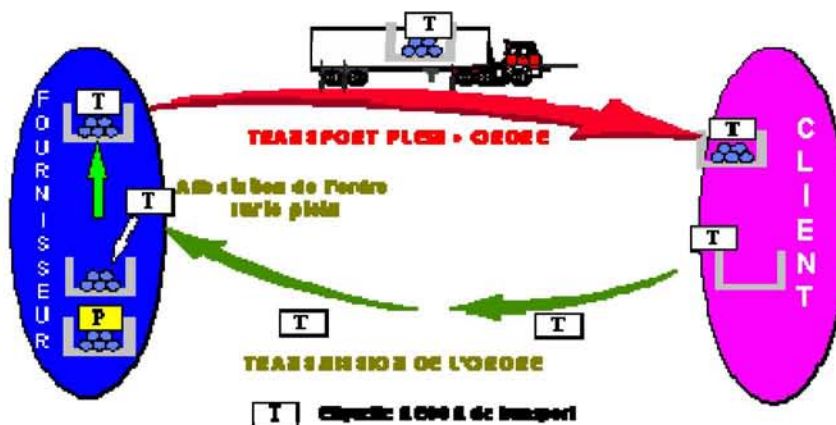


Figure 1-5: Illustration du Recor de transport

Le nombre de cartes en circulation dans une boucle RECOR est déterminé à partir d'une méthode de dimensionnement PSA intégrant la sécurisation du fonctionnement, la variabilité de la demande des clients, les dispersions des temps de défilement et les aléas de production.

1.2.3.2. La coordination des livraisons

L'objectif d'une politique de la gestion des approvisionnements coordonnée avec un flux principal est d'exprimer une commande (ferme) à un fournisseur à partir de besoins futurs (fermes) (figure 1-6). Cette commande doit alors être livrée au juste moment chez le client. Cela a pour effet de réduire au minimum les stocks de composants chez le client, puisqu'il doit arriver exactement au moment où le véhicule pour lequel il a été commandé passe au niveau du point de consommation.

La politique correspondant à la coordination optimale des flux est caractérisée par un point d'appel au plus tôt avec la périodicité (temps entre deux appels) la plus faible.

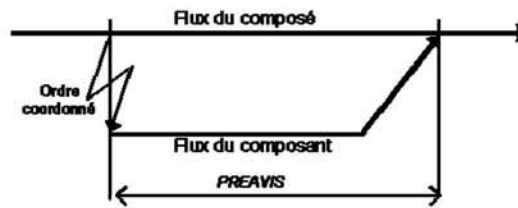


Figure 1-6 : Illustration de la coordination des livraisons

Au sein du groupe PSA, la coordination des flux a été déclinée en deux politiques de gestion.

Le coordonné **Synchrone** (figure 1-7). La caisse existe déjà physiquement lors de l'envoi de l'ordre qui déclenche chez l'équipementier la préparation et la livraison du composant. Les fournisseurs doivent livrer leurs produits dans l'ordre de leur montage sur la ligne d'assemblage. Cette politique de gestion demande un niveau de performance élevé dès sa mise en place. Une implémentation est décrite dans (Colomb *et al*, 1998). Ici l'ordre passé au fournisseur correspond à un véhicule ; la fréquence de commande est maximale.



Figure 1-7 : Illustration du Coordonnée Synchrone

Le **coordonné par anticipation** (nommé « Sparte » ou « J-x ») (figure 1-8). Dans ce cas l'horizon de production du client correspond au portefeuille d'Ordre de Fabrication (OF). Le composé n'existe donc pas physiquement lors de l'appel du composant : il existe sous forme d'un ordre au sein d'un portefeuille d'OF. Dans ce cas les ordres sont passés au fournisseur pour un lot d'ordres de fabrication (entre 1000 et 2000 OF, chez PSA). Ils doivent permettre de couvrir le besoin en composants entre deux livraisons.

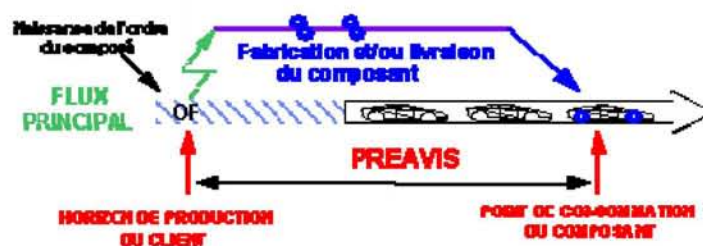


Figure 1-8 : Illustration du Coordonnée Sparte

1.3. La synchronisation des flux chez PSA

La réussite de l'organisation logistique d'une Usine Terminale d'assemblage automobile réside en grande partie sur une parfaite synchronisation du flux principal de production (Flux véhicules) et des flux d'approvisionnement (Flux constituants). Pour cela des règles d'application et des modes de fonctionnement ont été définis.

1.3.1. Mise en œuvre des systèmes d'ordres

Mettre en œuvre la synchronisation des flux passe nécessairement par une phase de choix du système d'ordres à appliquer pour la gestion d'un flux d'approvisionnement. Une méthodologie existe au sein du groupe PSA. Un des critères essentiels de cette dernière est le délai de livraison entre le point de départ du flux (le fournisseur, par exemple) et son point de chute (l'usine terminale, par exemple). Si ce délai est supérieur au préavis, tel qu'il est illustré sur la figure 1-6, il est impossible de mettre en place une politique du type « *Coordonné* » (synchrone ou par anticipation).

Nous pouvons aussi retenir que la nature du point de chute est déterminante pour la politique de gestion à appliquer. Par exemple, si la livraison est faite en magasin (et non pas directement en bord de ligne), on ne peut pas appliquer une politique « *Synchrone* ». De plus la livraison entre ce magasin et le bord de ligne sera assurée par un Recor particulier, dit de « *Distribution*³ » (RD).

En ce qui concerne le dimensionnement de ces politiques de gestion, le groupe PSA Peugeot Citroën a développé des algorithmes de calcul. Des résultats tel que le nombre de cartes dans une boucle Recor sont donnés grâce aux prévisions de consommation sur le mois à venir.

1.3.2. La référence pour la synchronisation des flux : la Liste Unique Ordonnancée (LUO)

Pour pratiquer le JAT, il est indispensable de synchroniser les flux d'approvisionnement avec le flux principal de fabrication. Cependant la synchronisation impose de se doter d'une référence. Cette dernière est constituée par la Liste Unique Ordonnancée (LUO), qui a permis au groupe PSA Peugeot Citroën de développer une nouvelle façon de gérer les différents flux. En entrée d'usine, on élabore une liste de véhicules répondant en grande partie aux contraintes de l'atelier montage. Cette liste représente la séquence de référence que l'on désire obtenir en entrée de chaque atelier mais surtout à l'atelier montage.

³ Le Recor de Distribution (RD) est un Recor particulier géré principalement à vue par les manutentionnaires.

1.3.2.1. Le séquençement

La constitution de la LUO est un problème statique de séquençement des ordres fermes de fabrication. Cette approche a été initiée par Toyota (Monden, 1983). Elle cherche à respecter les contraintes de l'atelier montage tout en rendant la consommation des pièces aussi constante que possible.

Les contraintes d'ordonnancement d'un système de production automobile traduisent les limites imposées par l'ensemble de l'outil de production. Ces contraintes sont classées dans trois groupes: Les contraintes matérielles, les contraintes humaines, et les contraintes dites économiques. Les contraintes matérielles représentent par exemple les limites dues à l'outil de production (temps de cycle trop important pour exécuter une tâche précise, cadence de production trop élevée, etc...). Les contraintes humaines sont en fait associées à la capacité de travail de l'opérateur humain pour exécuter une tâche précise, et les contraintes dite « économiques » qui, quant à elles sont liées à la réduction du coût de fabrication du véhicule.

Parmi les travaux réalisés sur le sujet, certains se concentrent sur le lissage du taux de consommation des pièces (Miltenburg, 1989) et d'autres mixent les deux objectifs de lissage et du respect des contraintes de l'atelier de montage (Comby, 1996).

L'atelier de peinture impose pour des raisons économiques de constituer des convois de teintes pour limiter le nombre de changements de teinte. Des travaux (Joly *et al*, 2004) ont montré qu'il est possible de faciliter la construction des convois dès la création de la liste en introduisant la notion de densification. La densification consiste à rapprocher dans cette liste des véhicules ayant la même teinte.

1.3.2.2. Le cadencement

Toutes les contraintes spécifiques aux ateliers ou encore les aléas de production ne peuvent être pris en compte dès la création de la liste. Ainsi il est nécessaire de procéder à un réordonnancement en temps réel du flux de véhicules ; cette opération est appelée le cadencement. Il est par nature un problème dynamique conférant au système une meilleure réactivité. Le cadencement est réalisé à l'entrée et à la sortie de stocks intermédiaires de véhicules. Ainsi Guerre-Chaley (1995) a proposé une résolution du cadencement par construction progressive en entrée de l'atelier de peinture (création de convois de teintes) et en entrée de l'atelier de montage (contraintes d'espacement). Les travaux de Delaval (1997) et Baratou (1998) ont finalisé ces premières recherches donnant naissance à un algorithme de cadencement et de reséquençement permettant une prise en compte locale des contraintes de l'atelier aval tout en tentant de remettre en ordre la liste prévisionnelle (LUO).

Par ailleurs les travaux de Bernier (2000) proposent une nouvelle politique de gestion baptisée « *cadencement reséquençable* ». Elle consiste à définir, en fonction des perturbations que peut subir le

flux, à définir le cadencement maximal autorisé en entrée de chaque atelier afin de garantir la remise en ordre en entrée de l'atelier de montage.

Plus récemment, les travaux de Muhl (2002) ont introduit le concept d'ordonnancement global de la production. Ce concept étend le champ d'application des algorithmes de cadencement. L'objectif est de permettre une prise au compte le plus tôt possible dans le flux des contraintes des ateliers avals pour déterminer le paramétrage de chaque algorithme assurant un optimum global sur l'ensemble de l'usine terminale.

1.3.2.3. Synthèse

Tous ces travaux de recherche ont deux buts principaux :

- ◆ Le respect des contraintes économiques des ateliers de fabrication
- ◆ La synchronisation du flux de fabrication avec les flux d'approvisionnement

En effet, ce mode de fonctionnement devrait permettre de connaître exactement l'ordre de défilement des véhicules dans l'Usine Terminale et donc, leur ordre d'arrivée à l'atelier de montage. On peut imaginer alors qu'il n'est plus nécessaire d'avoir de stocks de composants en bord de ligne. Ceci permet en effet une livraison en quantité juste nécessaire, et au juste moment où la caisse passe le point de monte et donc une synchronisation parfaite entre les flux d'approvisionnement et le flux principal de production.

Le strict respect de la LUO à la place près de chaque véhicule est une cible difficilement atteignable, mais il est impératif de s'en rapprocher pour réduire les coûts de fabrications. Il existera toujours des aléas de fabrication et le but est d'en atténuer les impacts en se dotant d'outils favorisant la maîtrise des différents flux.

1.4. Les systèmes d'information pour la synchronisation des flux

Le pilotage du flux constituant est supporté par différents systèmes d'information. Nous décrivons la chaîne des traitements sur la figure 1-9, qui mènent du client (l'usine terminale) au calcul de la commande envoyée au fournisseur.

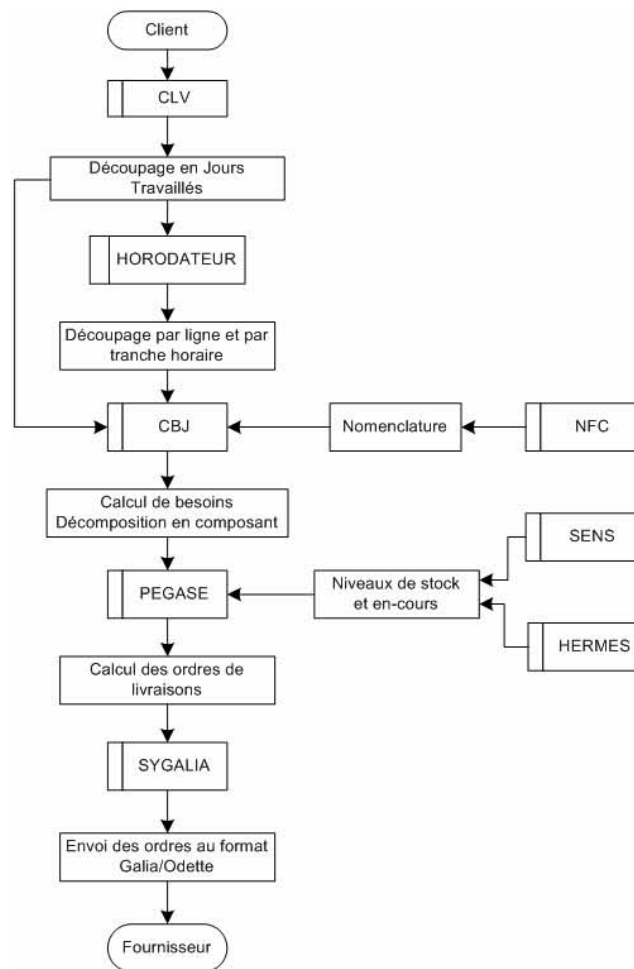


Figure 1-9 : La chaîne du traitement informatique pour le calcul des commandes

L'application CLV (« *Chaîne Lancement Véhicule* ») est une application du Flux Véhicules. C'est elle qui va mettre en œuvre les algorithmes d'ordonnancement des ordres de fabrication pour donner naissance à la Liste Unique Ordonnée. La CLV va ensuite découper cette liste d'OFs en Jours Travaillés.

Ces listes peuvent ensuite être transmises à l'application « *Horodateur* ». Cette application n'est pas encore utilisée sur tous les sites. Elle devrait permettre non seulement de découper plus finement la LUO en paquets, mais aussi d'horodater chaque paquet. Ainsi on devrait pouvoir connaître la date et heure de passage de chaque ordre de fabrication dans l'atelier de montage et donc de pouvoir commander la quantité juste nécessaire pour le juste moment de composants.

Ces listes sont ensuite transmises à l'application « *CBJ* » (« *Calcul Besoins Journaliers* »). Elle reçoit également de l'application « *NFC* » (« *Nomenclature Flux Constituants* ») la nomenclature. Ainsi elle décompose chaque OF en ses références et calcule, pour chaque journée du portefeuille ou pour chaque paquets, le besoin de chaque référence.

Ces besoins sont alors transmis à l'application « PEGASE » (« *Programmation Et Gestion des Approvisionnements SErie* »). Les niveaux des stocks et les différents encours de pièce lui sont communiqués par les applications « SENS » (« *Situation EN Stock* ») et « HERMES » (« *Harmonisation Et Réception des Mouvements d'Encours et de Stocks* »). A partir de ces besoins et de ces ressources (stocks et commandes en attente de livraison) PEGASE va pouvoir prendre en charge le calcul des Ordres de Livraisons (OL)

Ces ordres sont finalement transmis aux fournisseurs via l'application SYGALIA au format normalisé européen Galia/Odette.

La description de la chaîne de traitement que nous venons de faire concerne le pilotage opérationnel de la chaîne logistique d'approvisionnement. Ces applications possèdent également des fonctions du domaine de la préparation. En effet, elles vont supporter notamment le paramétrage des boucles Recor en fonction de paramètres temporels (durées, fréquences) et des prévisions de fabrication.

2. L'automobile : un monde de diversités

La mise en œuvre de la logistique d'approvisionnement entre un ensemble de fournisseurs et un atelier de montage d'une usine terminale est une opération délicate. En effet la diversité du produit fini et donc le nombre de références (environ 750 par véhicule, parmi 3500 à 5000), la diversité de la logistique d'approvisionnement (origines géographiques, histoire des sites, structure de l'organisation) génèrent une grande difficulté.

2.1. La diversité du produit fini

2.1.1. La diversité offerte au client

Nous avons mené une étude pour tenter de quantifier la diversité offerte au client au travers du catalogue. Pour ceci nous nous sommes cantonnés à l'offre du marché français et dans certains cas nous avons fait des hypothèses de non exclusivité entre options.

Dans une première approche, regardons la diversité des modèles⁴ des véhicules particuliers du groupe PSA. Nous obtenons 450 modèles différents. La diversité totale du catalogue dépend ensuite du nombre de teintes, de garnissages des modèles et des options jointes et disjointes. Au final nous obtenons environ 15 millions de véhicules particuliers disponibles au catalogue du groupe PSA (11,5 millions pour Citroën et 3,5 millions pour Peugeot) en 2002. On peut remarquer ici l'influence de l'offre commerciale sur la diversité du catalogue. Les modèles de milieu de gamme ont une diversité beaucoup plus faible que les modèles haut de gamme. Cela est du à l'effet des regroupement

⁴ 1 modèle = 1 ligne produit + 1 silhouette + 1 finition + 1 moteur + 1 BV

d'options et des équipements de série, très importants dans les premiers, alors que sur les seconds on va permettre au client de choisir « sa » voiture. La personnalisation est plus importante pour les modèles haut de gamme. En ce qui concerne les petits véhicules sur environ 40000 OF, on a pu observer près de 6400 types d'OF différents, soit un rapport OF/diversité de 6 pour 1.

2.1.2. La diversité offerte par la production

La variété réelle représente plus précisément le nombre de véhicules différents qui pourraient être assemblés. Evaluer ce chiffre, pour le groupe PSA Peugeot Citroën, est une opération délicate. Elle nécessite de connaître, non seulement l'exhaustivité des caractéristiques des véhicules mais aussi les différentes contraintes, d'exclusion par exemple, entre ces caractéristiques. Si les premières données sont disponibles dans nos systèmes d'informations, la connaissance des contraintes reste difficile à obtenir. Cependant Renault, dans le cadre du développement d'un configurateur, a calculé cette diversité et avance des chiffres de l'ordre de 2.10^{18} de diversité pour un modèle (Pargamin, 2002).

2.2. Les outils de production et leur diversité

2.2.1. ...par l'histoire des sites

Le groupe PSA Peugeot Citroën est le fruit de la réunion historique de différents constructeurs : Peugeot, Citroën, Talbot, Simca, Chrysler,... Chacun avait leurs sites de production. Ainsi l'usine de Poissy a connu pas moins de 4 changements de propriétaires.

De plus, chacun avait son mode de fabrication et de gestion propre. On a donc un outil de production hétérogène par l'histoire de chaque site, et cette diversité demeure encore perceptible.

2.2.2. ...par les types de produits fabriqués

L'outil de production du groupe PSA est composé principalement de 9 usines terminales, réparties essentiellement sur le continent européen. Chacune d'elles est spécialisée dans la fabrication d'une plateforme véhicule engendrant la fabrication de plusieurs modèles au sein d'une usine et des productions pouvant être très différentes entre chacune des usines.

Cette diversité entre les usines se retrouve également dans les volumes de production. Le tableau 1-1 montre chacune des grandes unités de production du groupe PSA, avec leur volume de production en 2003 et les modèles produits dans ces centres au 1^{er} avril 2004.

Centre	Volumes 2003	Modèles produits au 1 ^{er} avril 2004
	(Nb de véhicules)	
Aulnay	412 900	C2, C3
Mulhouse	410 800	206, 206CC, 307
Poissy	329 400	206
Rennes	215 100	Xsara, Xsara break, C5, C5 break, 407
Sochaux	432 300	307, 307 CC, 307 SW, 406, 406 break, 607
Vigo	484 900	C15, Picasso, Berlingo, Partner
Madrid	159 700	C3, C3 pluriel, Xsara
Ryton	209 600	206, 206 SW , 206 RC
Mangualde	52 600	Partner, Berlingo

Tableau 1-1 : Les caractéristiques des centres de production

2.2.3. ...par le nombre de références à gérer

Dans tableau 1-2, nous avons indiqué le nombre de références de composants gérés en janvier 2002 par chaque usine terminale. Il montre que ce nombre n'est pas homogène et peut varier du simple au double. Il dépend bien évidemment essentiellement du nombre de variétés de véhicules produits et de leur niveau de gamme.

Centre	Nombre de références	
	Janvier 2002	Juillet 2004
Aulnay	4 224	2 533
Mulhouse	4 598	5 723
Poissy	3 747	2 690
Rennes	5 559	7 726
Sochaux	6 021	6 182
Vigo	5 384	5 322
Madrid	3 038	4 137

Tableau 1-2 : Nombre de références gérées dans l'atelier de montage des principales usines

Ces écarts au sein de l'outil de production ont des répercussions sur la logistique d'approvisionnement et l'application des référentiels sur chaque site.

2.3. La diversité de la logistique d'approvisionnement

Les remarques que nous venons de faire ont un impact direct sur la logistique d'approvisionnement. Nous trouvons des différences entre les usines terminales en fonction de différents critères (historique, géographique,...). Nous présentons ici la physionomie de cette logistique d'approvisionnement en fonction de l'implantation géographique des acteurs mais aussi en fonction de la mise en place des politiques de gestion.

2.3.1. ...par la situation géographique des fournisseurs

Sur la figure 1-10, nous avons placé sur une carte l'ensemble des fournisseurs d'une usine terminale située en région parisienne. Bien qu'il y ait une forte concentration autour de l'usine, les fournisseurs sont répartis sur toute la France, voire sur toute l'Europe.

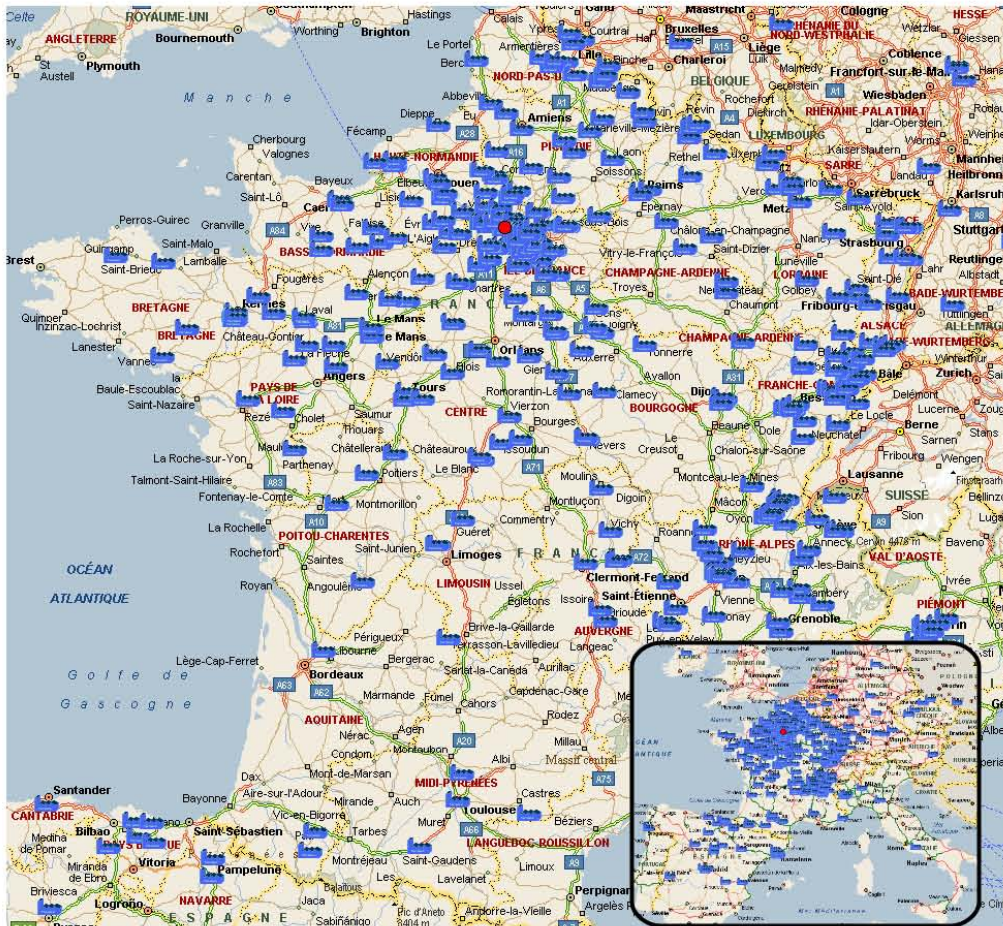


Figure 1-10 : Carte de la répartition géographique des fournisseurs d'une usine terminale

Cette répartition géographique des fournisseurs peut être modifiée dans le temps. L'emplacement des fournisseurs n'est donc pas une constante au cours du temps et est bien évidemment différente en fonction de l'usine considérée

2.3.2. ...par la répartition globale des Systèmes d'Ordres

Avant d'entrer dans le détail de chaque centre, nous nous sommes intéressés dans un premier temps à la répartition globale des Systèmes d'Ordre sur les principaux sites. Les résultats sont indiqués dans le tableau 1-3.

SO	Nb. de réf.	CMJC	CMJVC
Coordonnée	59,6 %	40,6 %	76,6 %
Synchrone	9,4 %	1 %	11,6 %
Par anticipation	50,2 %	39,6 %	65 %
Recor	33,6 %	48,8 %	21 %
Autres	6,8 %	10,6 %	12,4 %

Tableau 1-3 : Répartition sur l'ensemble des centres de production des systèmes d'ordres

La colonne CMJC (Consommation Moyenne Journalière Cumulée) correspond à la somme des CMJ sur toutes les références.

La colonne CMJVC (Consommation Moyenne Journalière Valorisée Cumulée) correspond à la somme de la totalité des produits CMJ x Prix, sur toutes les références.

Ce tableau permet d'illustrer des tendances d'une organisation logistique, et en particulier celle de PSA. Ainsi, les références gérées en Synchrone représentent peu de consommation, mais une forte consommation valorisée, par rapport au nombre de références : ce qui implique une forte diversité et un coût assez élevé des références gérées en Synchrone, tandis que les références gérées en Recor représentent une forte consommation mais une faible valorisation. Ainsi ces références sont des pièces courantes à faible diversité et peu coûteuses. En ce qui concerne l'application de l'approche Coordonnée par anticipation, nous ne pouvons pas établir de constat aussi tranché. Ce système d'ordres est appliqué sur tous les types de pièces.

Pour compléter plus finement cette étude, nous proposons d'analyser la répartition des systèmes d'ordres en nombre de références pour chacun des centres de PSA. Les résultats sont présentés sur la Figure 1-11.

2.3.3. ...par l'histoire des sites

Regardons tout d'abord l'utilisation de la politique Recor (Figure 1-11). Un premier constat concerne l'utilisation majoritaire de ce mode par un site (62 %). L'explication est assez simple et trouve son explication dans l'histoire de ce site et du mode Recor. De fait, ce centre a été à l'origine de la création du Recor.

2.3.4. ...par la structure de l'organisation des approvisionnements

Considérons toujours la politique Recor et plus particulièrement le Recor R1, boucle d'approvisionnement qui joint le fournisseur directement au bord de ligne. Ainsi pour que ce système soit efficace, il est essentiel que cette boucle soit la plus courte possible en terme de durée. Il est donc nécessaire, soit que le fournisseur soit proche de l'UT, soit qu'il existe un centre de régulation des flux voisin de l'UT. C'est ce que l'on observe sur les trois sites qui l'utilisent. En effet, ces centres

possèdent des Magasins Avancés Fournisseur (MAF) proches permettant ainsi la mise en œuvre de boucles R1.

2.3.5. ...par la situation géographique du site

Nous voyons qu'un site utilise essentiellement et quasiment exclusivement le mode Sparte. Ceci s'explique par le fait que c'est le centre ayant l'éloignement moyen vis à vis de ces fournisseurs le plus important. Il a donc choisi d'utiliser le Sparte qui lui permet une meilleure maîtrise de ces niveaux de stock de composants ; il ne commande que ce qu'il va consommer et une partie des stocks se trouvent dans les camions.

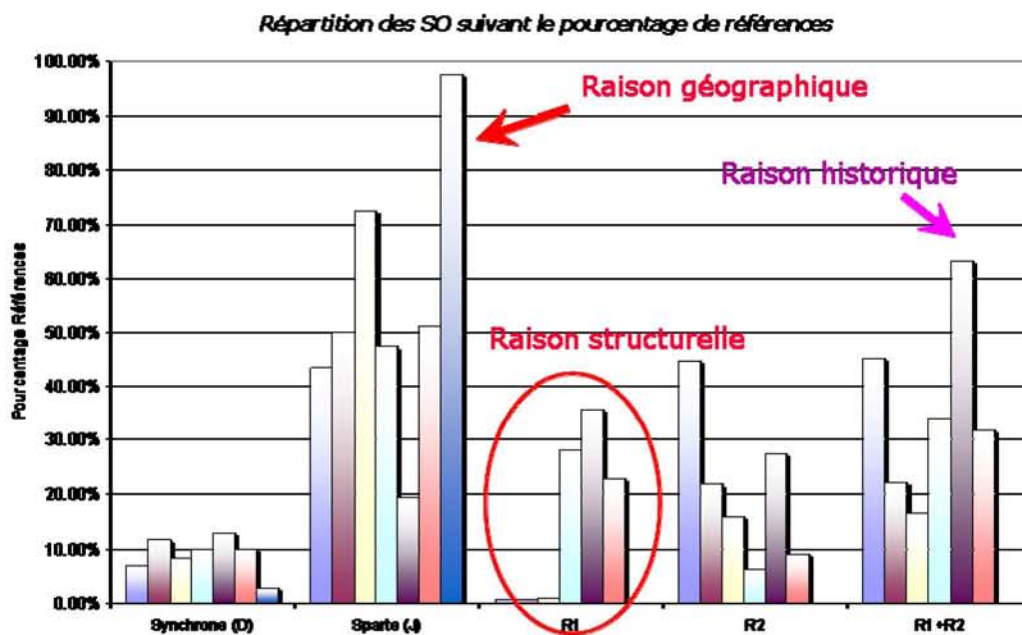


Figure 1-11 : Répartition des systèmes d'ordres par centre

2.3.6. Synthèse

Nous venons de voir que la configuration de la chaîne logistique d'approvisionnement est très diverse en fonction de la répartition des systèmes d'ordres. Cependant nous pouvons dégager 4 tendances de mode de fonctionnement qui sont synthétisées dans le tableau 1-4.

Nous observons donc des différences entre les sites dues aux modèles produits mais aussi des différences en terme de mode de fonctionnement. Cependant la politique du groupe vise à faire converger, dans leur mode de fonctionnement, toutes les unités du groupe. Des groupes de travail transversaux ont d'ailleurs la charge de définir des référentiels et notamment en matière de modes de fonctionnement logistiques.

Mode de fonctionnement	Synchrone	Sparte	Recor
1	10 %	45 %	45 %
2	10 %	25 %	65 %
3	10 %	70 %	20 %
4	0 %	100 %	0 %

Tableau 1-4 : Synthèse sur l'application des systèmes d'ordres

2.4. De la flexibilité pour maîtriser les diversités

Les premières problématiques ayant émergé étaient liées notamment aux cadences de production. Elles ont été résolues grâce à l'implantation d'organisations permettant d'absorber aux mieux ces volumes de production. Nous assistons aujourd'hui à l'émergence d'une production de véhicules totalement personnalisés. Cette diversité offerte au client final a bien évidemment engendré l'apparition de nouvelles problématiques. Elles sont étroitement liées au concept de *flexibilité*.

2.4.1. Définitions

La flexibilité peut se définir (Correa, 1994) comme la capacité de l'outil industriel à absorber:

- ◆ les écarts entre les prévisions de production et la fabrication réelle en terme de volume ou de diversité,
- ◆ les différents aléas sur la chaîne logistique.

Dans l'industrie automobile, la prise en compte d'une certaine flexibilité se décline sur les différents aspects de la chaîne logistique.

2.4.1.1. La flexibilité offerte au commerce

Cette flexibilité contractuelle entre la direction de la fabrication et le commerce représente une assurance contre les écarts entre les prévisions de mix⁵ et le mix réellement mesuré à la remontée des commandes.

Cette flexibilité à moyen terme, définie pour le mois, est un choix politique de l'entreprise basé sur un arbitrage entre les différents coûts (dimensionnement des ressources industrielles) et le respect des délais de fabrication.

⁵ Répartition des options véhicules

2.4.1.2. La flexibilité offerte par l'usine terminale

La flexibilité offerte par l'usine terminale s'inscrit à court terme, définie pour la semaine, dans le cadre de la préparation de la production. Elle prend en compte celle offerte au commerce à laquelle on ajoute une sécurisation. Cette sécurisation représente une assurance contre les écarts résultants :

- ◆ Du passage d'une vision hebdomadaire ou journalière à une vision instantanée
- ◆ Des aléas perturbateurs du flux en usine terminale engendrant le désordre de la liste de fabrication (LUO).

2.4.1.3. La flexibilité offerte par les fournisseurs

La variabilité des appels de constituants auprès des fournisseurs internes (principalement moteurs, boîtes de vitesse) ou externes doit être cohérente avec ce qui est susceptible d'être utilisé par le montage. La flexibilité offerte par les fournisseurs doit être supérieure à la flexibilité offerte par l'usine montage.

Cependant cela ne peut suffire et cette flexibilité doit être prise en compte dès le dimensionnement des flux d'approvisionnement. Son intégration dans le dimensionnement se fait le plus souvent au travers de stocks de composants dits de sécurité.

Dans le domaine, différentes approches peuvent être envisagées. On citera par exemple les travaux de Danjou *et al* (1999) qui proposent un dimensionnement des stocks de sécurité de composants en s'appuyant sur l'étude analytique des perturbations du flux de véhicules.

2.4.2. Une réponse de PSA : la Loi de Hédin

Pour le groupe PSA, le dimensionnement de la flexibilité se fait par l'intermédiaire d'une règle de calcul : *la Loi de Hédin*.

Une étude statistique sur des données réelles a été réalisée au début des années 1990 pour déterminer la flexibilité à adopter dans le cas où le groupe déciderait de fournir 95 % des OFs dès la prise de commande du client. Cette étude qui s'est déroulée sur une période d'un an, a permis de définir une loi normale s'approchant au mieux de la distribution des ressources : la loi de Hédin (1992).

La modélisation de la variabilité de la demande commerciale a conduit à définir la loi suivante : pour un attribut (contrainte ou composant) à taux d'application programmé à « t » (pourcentage de véhicules ayant l'attribut) au sein d'une famille de véhicules dont le volume quotidien est fixé contractuellement à « n », la distribution des valeurs possibles des volumes quotidiens de véhicules de la famille possédant cet attribut est approximativement celle d'une loi normale de moyenne « $n * t$ » et de variance « $2 * n * t * (1 - t)$ ».

Le volume quotidien maximal de véhicules de la famille possédant cet attribut est alors égal au volume quotidien programmé « $n * t$ » majoré du besoin en flexibilité journalière explicité par l'expression :

$$I_f * 2 * n * t * (1 - t)$$

Exemple : Si nous considérons 20% des OFs ayant l'attribut « Toit Ouvrant » sur les 600 OFs produits quotidiennement, nous pouvons traduire la définition précédente comme suit : Pour le « Toit Ouvrant » correspondant à 20 % des OFs journaliers, la distribution des quantités possibles de Toit ouvrant sur la journée (600 OFs à fabriquer) répond à une loi normale de moyenne la « consommation moyenne journalière » des toits ouvrants (20% des 600 OFs, soit 120 OFs) et de variance la quantité « $2 * 600 * 20% * (1 - 20%)$ ».

La loi Hédin est une application de la loi normale décrite ci-dessus.

$$Q_c = CMJ_c + I_f * 2 * CMJ_c * \left(1 - \frac{CMJ_c}{Vol_{tot\ journalier}} \right)$$

Où :

- ◆ c : Contrainte considérée
- ◆ Q_c : Quantité prévisionnelle pour la contrainte c
- ◆ CMJ_c : Consommation Moyenne Journalière ($= n * t$) de c
- ◆ I_f : Indice de flexibilité à appliquer
- ◆ $Vol_{tot\ journalier}$: Volume total journalier ($= n$)

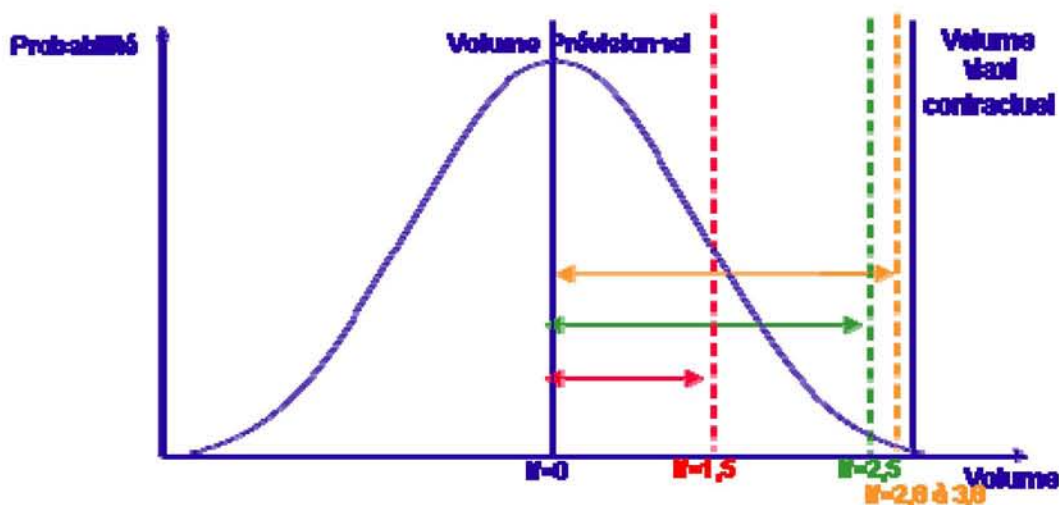


Figure 1-12 : Application de la loi Hédin

Cette loi est actuellement utilisée pour 3 applications différentes :

- ◆ Estimation de la flexibilité offerte à la prise d'OF pour le commerce ($I_f=1,5$),
- ◆ Estimation de la flexibilité demandée à l'atelier montage ($I_f=2,5$),
- ◆ Estimation de la flexibilité demandée au fournisseur (de $I_f=2,8$ à $3,8$).

L'enjeu de l'amélioration de la chaîne logistique est de pouvoir produire avec la plus grande flexibilité tout en offrant la meilleure qualité de service pour le moindre coût. Ce type de problème doit donc répondre à deux objectifs qui sont le plus souvent antagonistes. Il est posé par la caractéristique principale de l'industrie automobile : la diversité.

3. Notre problématique

L'industrie automobile a du adapter la gestion de son outil de production au problème de la diversité, elle a alors mis en place des moyens pour accorder une certaine flexibilité aux différents niveaux de la chaîne logistique. Cette flexibilité a un coût et par conséquent elle doit être maîtrisée.

De plus la chaîne logistique, et particulièrement les approvisionnements, doit fournir le meilleur service (Campagne, 2001). Ce dernier peut s'exprimer selon trois points de vue : la qualité, le délai et le coût.

En ce qui concerne la qualité, l'objectif est de fournir en sortie de chaîne le maximum de véhicules bons dès le premier passage. Ceci repose sur une fabrication correcte en usine terminale mais aussi sur la qualité des composants livrés par le fournisseur.

En ce qui concerne le délai et le coût, nous pouvons résumer l'objectif par : *assurer un écoulement continu des flux au moindre coût*. Ainsi la logistique d'approvisionnement doit être juste dimensionnée pour ne jamais connaître de rupture tout en ayant des niveaux de stock les plus faibles possibles.

Ces objectifs introduisent la notion de *réactivité* lors de sa mise en œuvre. En effet plus on va dimensionner au plus juste la logistique, plus il faudra pouvoir prendre la bonne décision le plus rapidement possible et impactant au minimum les coûts et la qualité de fabrication.

Si on considère quelques flux d'approvisionnement, il paraît simple pour l'homme d'appréhender le problème et d'anticiper les conséquences d'une prise de décision. Si maintenant on considère la totalité des flux d'approvisionnement ou même un échantillon représentatif, il n'est plus possible à l'homme d'en faire autant. D'une part le nombre de paramètres pouvant être modifiés et pouvant être influents devient trop élevé ; la taille du problème devient trop importante pour être résolu par l'homme. D'autre part tous les flux sont potentiellement interdépendants par le biais du flux principal de véhicules. Dans ce cas le problème devient complexe et il ne peut même pas être résolu par décomposition en flux simple ; il faut considérer la logistique d'approvisionnement dans sa globalité

pour pouvoir vérifier qu'une partie de la chaîne logistique ne soit pas défavorisée lors d'une prise de décision ou d'une démarche d'optimisation locale (Ait Hssain, 2000).

On peut remarquer que considérer globalement la chaîne logistique n'est pas seulement une tendance actuelle, c'est devenu une nécessité. Ce type de travail a déjà été mené sur le flux des véhicules (Muhl *et al*, 2003) mais reste à faire en ce qui concerne les approvisionnements. Pour réaliser ces travaux, le groupe s'est doté d'un outil de simulation dédié au flux de véhicules intégrant des logiques réelles d'ordonnancement.

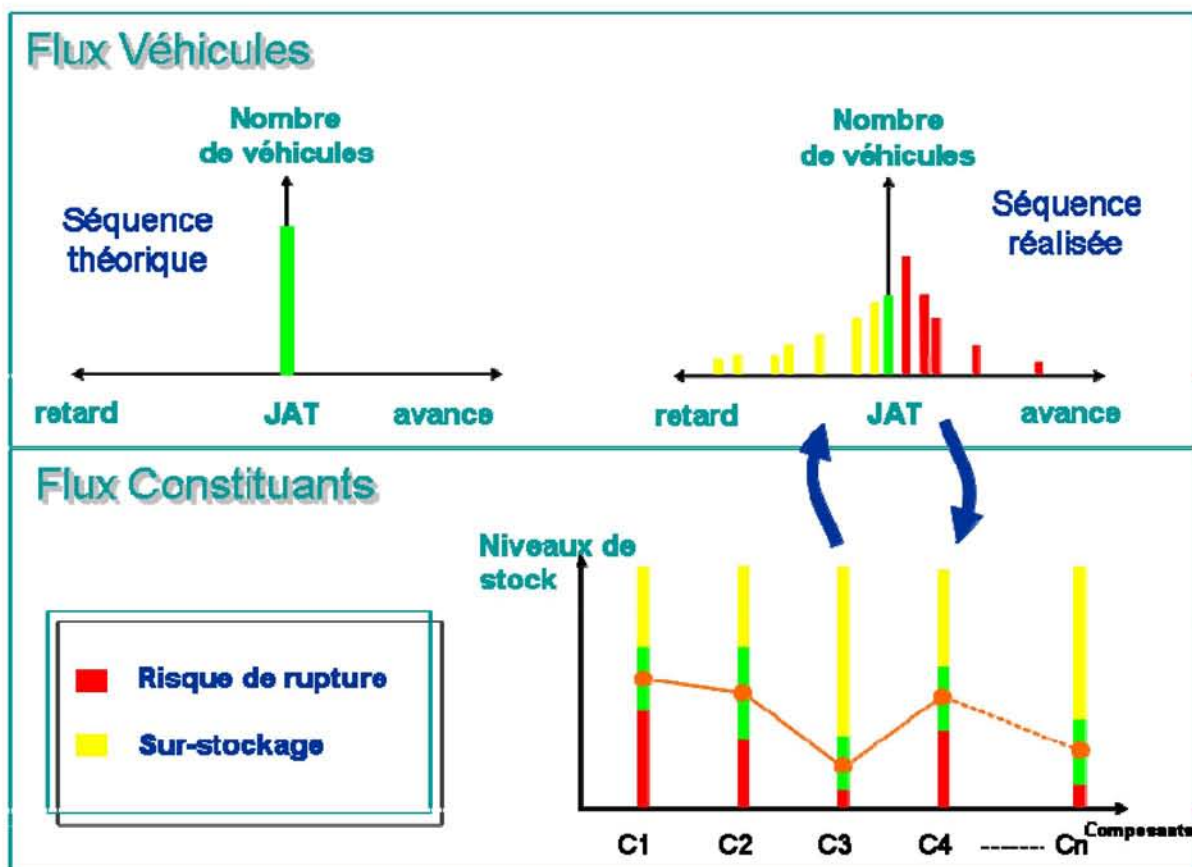


Figure 1-13 : Interactions entre le flux principal des véhicules et les flux d'approvisionnement

Dans ce contexte, nous proposons :

- ◆ D'améliorer la visibilité globale de la chaîne logistique d'approvisionnement d'un constructeur automobile pour en améliorer son appréhension et sa compréhension.
- ◆ De fournir une aide au dimensionnement pour améliorer la qualité de service rendue par la chaîne logistique d'approvisionnement.
- ◆ D'aider les approvisionneurs dans la prise de décision en cas d'aléas afin d'accroître la réactivité.

Pour orienter nos travaux, nous avons identifié des besoins fonctionnels exprimés par différents acteurs de la gestion de la chaîne logistique du groupe PSA Peugeot Citroën.

3.1. Améliorer la maîtrise globale de la flexibilité sur les approvisionnements

3.1.1. Valider globalement le dimensionnement...

Un des premiers besoins exprimés concerne la validation du dimensionnement de la logistique d'approvisionnement. Il n'est pas question ici de remettre en cause toutes les règles existantes, mais plutôt de vérifier que les paramètres renseignés n'impliquent pas un sous dimensionnement, ni un surdimensionnement.

Par exemple, les nouvelles règles générales de calcul des stocks de sécurité pourront être testées. Le but est de pouvoir les mettre en œuvre virtuellement pour des essais sans modifier le paramétrage existant et surtout sans avoir de conséquences (sur-stockage ou rupture) sur les stocks réels.

3.1.2. ...pour dimensionner unitairement

Des stocks de sécurité sont à mettre en place pour pallier un certain nombre d'aléas (figure 1-14). Aujourd'hui leur dimensionnement se fait suivant des règles issues de l'expérience terrain.

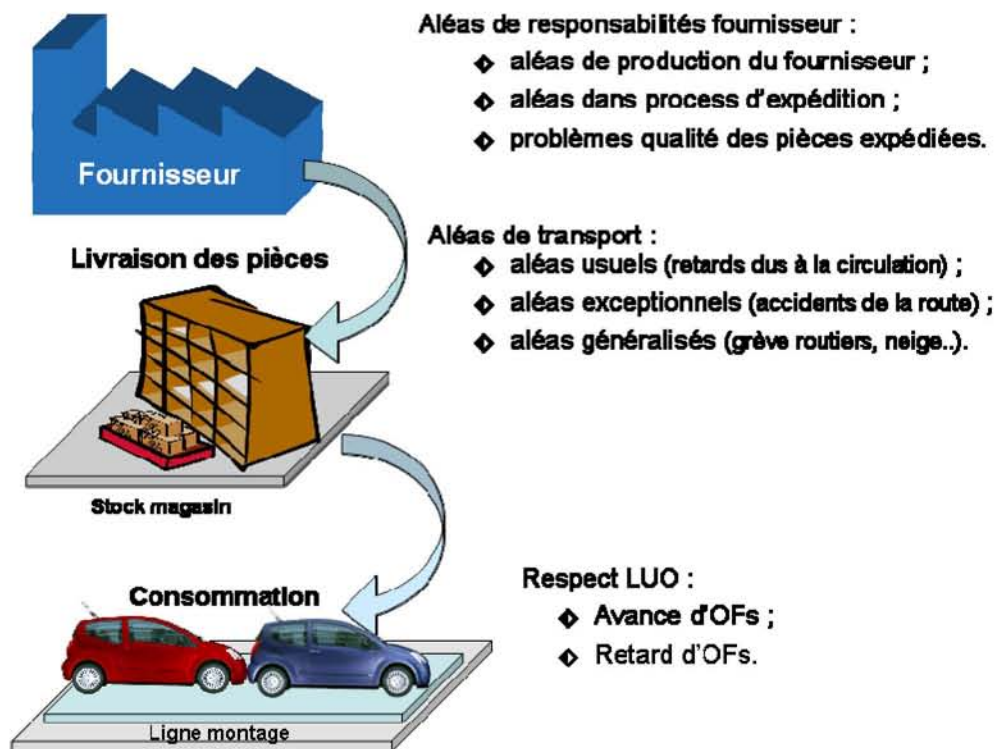


Figure 1-14 : Les aléas de la logistique d'approvisionnement

Les règles dictées par l'expérience concernent essentiellement un dimensionnement des sécurisations pour des aléas de transport ou fournisseur. Il va s'agir de mettre en place un niveau de sécurisation pour réagir à un aléa en amont des stocks de composants en Usine Terminale : accident d'un camion, baisse de potentiel du fournisseur...

La seconde part de sécurisation à mettre en place concerne la part des aléas du flux principal de véhicules. Elle doit être mise en place pour pallier le non-respect des prévisions de fabrication. Les préconisations pour la part de cette sécurisation donnent le plus souvent un niveau de stock de sécurité pour l'ensemble de l'Usine Terminale en fonction d'un niveau de respect des prévisions de fabrication. Or il semble évident que tous les composants n'ont pas à être sécurisés de la même façon pour ce type d'aléas. Par exemple un faisceau, qui est monté en début de chaîne devra être impérativement présent, sous peine de devoir reprendre toutes les opérations de montage en sortie de ligne. Ou bien, un composant monté sur tous les véhicules n'aura pas à être sécurisé.

Notre contribution devra fournir une aide à la décision pour la sécurisation de chaque composant unitairement en considérant la globalité de la logistique d'approvisionnement.

3.1.3. Un outil pédagogique pour l'ingénierie numérique de la chaîne logistique

Nos travaux pourront apporter également une contribution à la problématique de « *l'ingénierie numérique de la chaîne logistique* », dont un exemple est fourni dans Charpentier *et al* (2003). L'objectif de cette problématique est de doter le groupe PSA d'outils informatiques permettant de simuler l'ensemble de la chaîne logistique. Son concept s'inspire de la conception numérique d'un véhicule.

L'objectif à terme est de pouvoir mener des tests sur des jeux de paramétrage ou de concevoir numériquement la logistique sans physique existant. C'est dans ce sens qu'un des besoins exprimés pour nos travaux est de disposer d'un outil pédagogique pour la formation des approvisionneurs, pour la reconfiguration de la logistique ou pour sa conception.

3.2. Accroître la réactivité

Comme nous l'avons vu précédemment, les flux d'approvisionnement sont interdépendants et étroitement liés au flux principal de véhicules. Dans ce contexte, il est très difficile de quantifier la réaction globale de la chaîne logistique à un événement sortant du régime nominal, tel qu'un aléa d'approvisionnement.

3.2.1. Définition des aléas

Tout d'abord, vue du flux véhicule, un aléa d'approvisionnement a pour effet principal la rupture de pièce. On peut en identifier les causes (figure 1-15):

- ◆ Un aléa chez le fournisseur : baisse de ressource ou aléa de production.
- ◆ Un aléa de transport : retard ou absence de livraison.
- ◆ Un aléa sur le Flux Véhicule : accumulation ou inversion d'OF

Illustrons ce dernier point par un exemple : la violation d'une contrainte par le flux véhicule, ou un accumulation de véhicules possédant la climatisation, peut entraîner une pénurie de ce composant. Ce phénomène peut impacter tous les systèmes d'ordre. En effet pour le Synchrone, le fournisseur ne possède pas le potentiel nécessaire, pour le Sparte cela signifie que les pièces n'ont pas été commandées en nombre suffisant pour le jour concerné, et pour le Recor, cela signifie qu'on ne respecte plus les paramètres ayant servi au dimensionnement de la boucle.

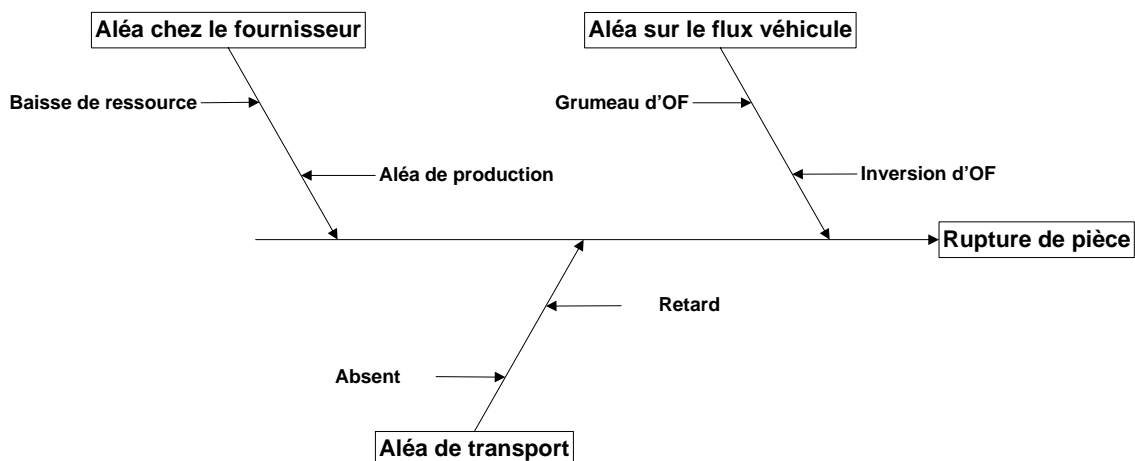


Figure 1-15 : Diagramme Cause/Effet des aléas d'approvisionnement

3.2.2. Prise de décision

Les aléas identifiés ci-dessus peuvent faire l'objet d'actions menées en interne ou vers le fournisseur. On peut également classer ces actions en fonction de la durée de l'aléa. Ce classement reflète une certaine procédure informelle.

Ces actions sont donc :

- ◆ Véhicule repris en bout d'usine : un véhicule auquel des composants manquent peut faire l'objet d'une reprise après le montage.
- ◆ Acheminement d'urgence de la pièce : on affrète un taxi, un hélicoptère, voire un avion, pour livrer le plus rapidement possible la pièce manquante du Fournisseur vers l'Usine Terminale

- ◆ Blocage des véhicules impactés en Entrée Montage : on n'engage plus ces véhicules sur la ligne de Montage, ils restent dans le stock le temps que l'aléa soit résolu.
- ◆ Blocage dans le stock Ferrage : on n'engage plus les caisses en peinture le temps de l'aléa.
- ◆ Blocage à l'engagement de l'OF : on filtre tous les OF avant d'engager la fabrication, ils restent dans le portefeuille.
- ◆ Blocage dans la Chaîne Lancement Véhicule (CLV) : on construit la LUO sans les OF impactés.
- ◆ Blocage à l'extraction des OF du commerce : l'Interface Commerce-Production (ICP) ne transmet plus d'OF impactés aux UT.

De plus, un dialogue permanent avec tous les acteurs de la chaîne logistique est nécessaire : entre le service des approvisionnements et le Service des Achats PSA, les pilotes du Flux Véhicule et les Fournisseurs. Ce dialogue est nécessaire pour tenter de prévoir les différents aléas d'approvisionnement. En effet, une meilleure visibilité des problèmes permet de prendre les décisions les moins coûteuses, c'est-à-dire éviter toutes les actions d'urgence.

3.2.3. Un outil d'aide à la décision

Dans le domaine de la gestion des flux l'aide à la décision peut être appliquée sous deux aspects (Bel, 1998) :

- ◆ La construction de la solution : le décideur définit le problème et le modélise. L'outil d'aide à la décision va générer une solution. Le décideur analyse la proposition et peut le cas échéant modifier le modèle pour obtenir une solution plus réalisable. Cette approche est appelée « approche générative ».
- ◆ L'évaluation d'une solution : Après avoir décrit son problème, le décideur imagine une solution, un mode de fonctionnement. Cette proposition est ensuite évaluée par l'outil en fonction de critères définis par le décideur. La décision finale reste entre les mains de l'homme qui peut de nouveau imaginer une autre solution. Cette approche est appelée « approche évaluative ».

La première approche fait appel à des techniques d'optimisation, pour la planification par exemple, alors que la seconde utilise plutôt la simulation.

L'amélioration de la réactivité en cas d'aléas se place typiquement dans un schéma où le besoin exprimé a fait ressortir que nos travaux devront proposer une approche évaluative. En effet les décisions auxquelles nous faisons référence (décisions de pilotage des flux) s'inscrivent dans des scénarios connus par le métier. Ils devront permettre aux différents acteurs de la chaîne logistique d'approvisionnement de prendre une décision tout en connaissant quantitativement son impact.

Nos travaux devront améliorer la visibilité de l'ensemble de la logistique d'approvisionnement pour l'optimisation des niveaux de sécurisation et pour l'aide à la décision en cas de fluctuations de demandes de composants, dans un contexte d'entreprise étendue, distribuée et multi-sites. La problématique réside donc en partie dans la synchronisation et la tension des flux sur l'ensemble de la logistique d'approvisionnement.

4. Etat de l'art

La modélisation de la logistique d'approvisionnement peut être vue sous différents aspects. Aujourd'hui de nombreux travaux ont trait à la gestion chaîne logistique. Il est donc nécessaire dans un premier ce que nous entendons par « chaîne logistique » et donc de s'inscrire dans une définition précédemment énoncée. Dans cette partie, nous verrons également que l'horizon temporel défini par l'expression des besoins est une dimension essentielle pour le choix d'une méthode appropriée à un contexte particulier. Dans ce sens nous faisons une synthèse de différentes voies envisagées nous donnant le choix pour l'orientation de notre démarche de modélisation de la logistique d'approvisionnement d'une usine terminale d'assemblage automobile.

4.1. La chaîne logistique

La notion de « chaîne logistique » est aujourd'hui fréquemment employée. Il nous semble important de préciser ici ce que nous entendons par cette expression. Cette phase est d'ailleurs nécessaire puisque le choix d'une méthode ou d'un outil de modélisation en dépend directement. En effet nous verrons que le point de vue adopté et l'horizon temporel sur lequel nous allons agir, influe directement l'approche de résolution du problème posé.

4.1.1. Définitions

Une définition de la chaîne logistique qui nous paraît générale est donnée par Tayur *et al* (1999) : la chaîne logistique est « 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 ».

Cependant cette définition peut être modulée en fonction du point de vue adopté. Ainsi on peut trouver des définitions de la chaîne logistique *d'un produit* ou *d'une entreprise*.

La chaîne logistique centrée sur l'entreprise est définie par Barros *et al* (2001) : elle « est constituée par les flux d'entrée et de sortie de marchandises et des services associés qui lient la société avec le monde extérieur avant et après que la production ait lieu ».

Cette vue a donné naissance, par exemple, au modèle Supply Chain Operation Reference (SCOR) (figure 1-16) développé et mis à jour par le « Supply Chain Council (SCC) » (Supply-Chain Council, 2001).

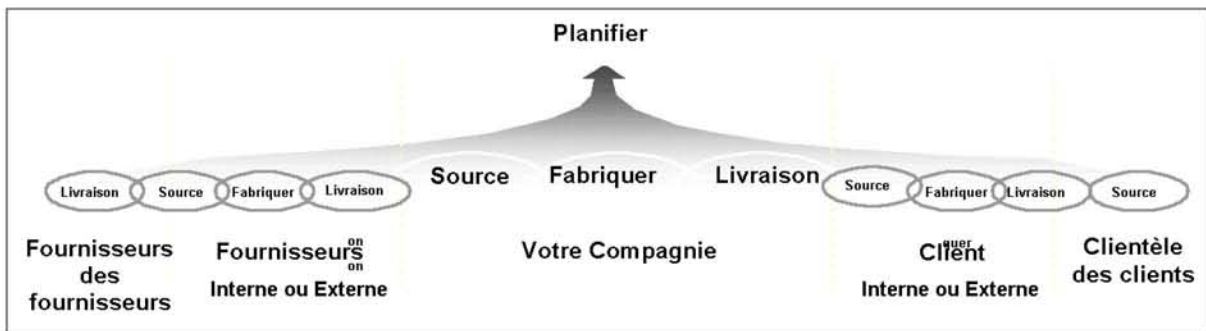


Figure 1-16 : Le modèle SCOR (Supply Chain Council, 2001)

Le modèle SCOR définit la chaîne logistique sur quatre niveaux du stratégique à l'exécutif (Objectifs, Configuration, Processus et Implémentation). Les fondements du SCOR Model reposent sur cinq grands processus de gestion : l'approvisionnement, la production, la livraison, le recyclage des marchandises et la planification.

D'autres définitions se concentrent sur la chaîne logistique d'un produit fini. Ainsi Min *et al* (2002) proposent cette définition : « Une chaîne logistique (supply chain) désigne un système intégré qui synchronise une série de processus en corrélation d'affaires dans le but de : acheter les matières premières et les pièces, transformer ces matières premières et ces composants en produits finis, ajouter de la valeur à ces produits, distribuer ces produits à des distributeurs ou aux clients, les promouvoir et faciliter l'échange de l'information parmi ces diverses entités ». En d'autres termes la supply chain comprend tous les processus qui permettent de répondre à la demande du client.

Cette définition a été utilisée par Bruniaux (2000) pour définir la notion de zone logistique. Grâce à elle il est facile de représenter une zone logistique en relation avec plusieurs zones clientes et fournisseurs (figure 1-17).

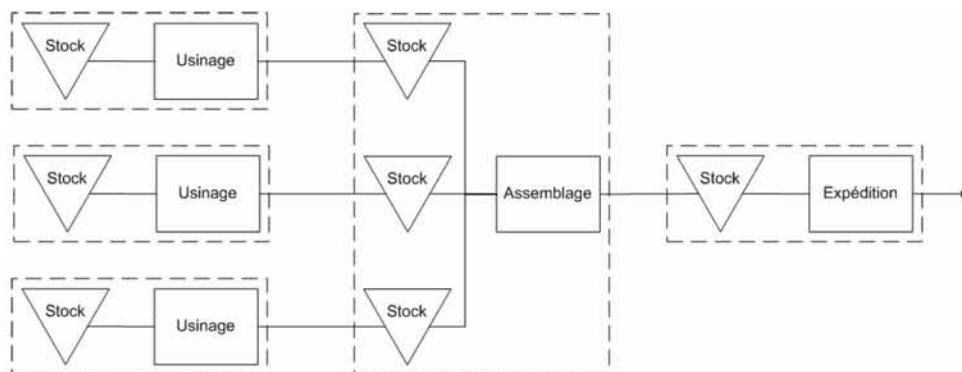


Figure 1-17 : Représentation d'un réseau de zones logistiques d'après (Bruniaux, 2000)

Pour nos travaux, nous utiliserons la définition de la chaîne logistique pour un produit donné énoncée par Rota-Frantz *et al* (2001). Elle est définie comme l' « *ensemble des entreprises qui interviennent dans le processus de fabrication, de distribution et de vente du produit, du premier des fournisseurs au dernier au client ultime* ». Remarquons qu'ici, la chaîne logistique du produit ou la chaîne logistique liée à une usine terminale sont confondues.

Cette approche s'appuie sur les flux transitant entre les entités de la chaîne logistique. Les travaux dans ce domaine ont pour objectif de maîtriser l'ensemble des flux et des noeuds sur les différentes phases du cycle de vie de la chaîne logistique (localisation, choix technologiques, dimensionnement des capacités,...).

4.1.2. Les niveaux de la gestion des flux

Si nous regardons les différentes phases du cycle de vie d'un flux, conception, organisation, gestion, nous remarquons que des choix correspondant à différentes exigences seront effectués à un niveau stratégique, tactique ou opérationnel. Le tableau 1-5 adapté de (Campagne, 2001) en présente quelques exemples.

Phase	Niveau	Exigence	Choix
Conception	Stratégique	Variété	Normalisation des composants Normalisation des processus
Organisation	Tactique	Flexibilité	Répartition des productions, des stocks Réduction des temps de cycle Minimisation des transferts et du nombre de stocks Choix des politiques de gestion
Gestion	Opérationnel	Service	Assurer un écoulement continu des produits au moindre coût

Tableau 1-5 : Choix à faire pour maîtriser les flux lors des différentes phases de son cycle de vie

Les choix à faire pour maîtriser les flux dans les différentes phases du cycle de vie d'un flux dans l'industrie automobile peuvent être les suivantes :

- ◆ Pour la phase de conception, l'industrie peut répondre aux problèmes de normalisation de composants par le concept de plate-forme (base commune de composants à plusieurs modèles de véhicules), et aux problèmes de normalisation des processus lors de la conception de ligne de montage ;
- ◆ Pour la phase d'organisation, si on se place du point de vue de la logistique d'approvisionnement, les constructeurs y répondent par le biais d'implémentation de site de stockage des fournisseurs proche des usines ou par le choix des politiques de gestion ;
- ◆ En ce qui concerne la phase de gestion, cela recouvre la mise en place de tous les moyens de pilotage opérationnel des flux : suivi des stock ou des en-cours de transport, gestion des aléas...

Les entreprises éprouvent maintenant le besoin de considérer leurs relations avec leurs fournisseurs et leurs clients afin de les inclure dans les processus décisionnels. Dans ce sens de nombreux travaux émergent traitant des problèmes de Supply Chain Management ou de la relation Client/Fournisseurs. Dans ce domaine des travaux de recherche se concentrent soit sur le niveau stratégique/tactique, soit sur le niveau opérationnel.

4.2. Les travaux pour la maîtrise de la chaîne logistique

La gestion de la chaîne logistique ou *Supply Chain Management* (SCM) a fait l'objet d'un grand nombre de travaux de recherche ces dernières années. Par conséquent la littérature sur le sujet est abondante. L'objectif de cette partie n'est pas d'établir un nouvel état de l'art, mais bien de situer notre problématique par rapport à des travaux précédents. Ganeshan *et al* (1998) proposent un état de l'art du domaine associé à une classification. Ils nous donnent alors une large vision des centres d'intérêts des travaux en fonction de la phase du cycle de vie, associés à des outils et des méthodes adaptés.

4.2.1. Pour les phases de conception et d'organisation

Terzi *et al* (2004) ont étudié plus de quatre-vingts contributions dans le domaine de la gestion de la chaîne logistique. En ce qui concerne les phases de conception et d'organisation, on peut s'intéresser à la problématique de la configuration de la chaîne, de localisation des nœuds (entrepôts, usines,...) ou encore le choix de fournisseurs étrangers. Les méthodes et outils employés dans ce cas sont bien souvent des techniques de résolution issues des mathématiques. On pourra également noter que les résultats obtenus peuvent être testés par la simulation. Beamon (1998) s'est également appliquée à recenser les contributions du domaine pour établir un plan de recherche. Les articles étudiés portent essentiellement sur des problématiques relevant d'un niveau stratégique ou tactique et la plupart d'entre eux utilisent des modèles relevant de l'analyse déterministe ou stochastique.

Par exemple, au niveau stratégique, Goetschalckx *et al* (2002) s'intéressent au problème de l'implémentation de sites. Pour se faire, il prend en compte des contraintes de ressources mais aussi de coûts. Des questions, telles que le choix du pays pour l'implémentation d'une usine pour la fabrication d'un produit, sont posées. Pour y répondre, il utilise un modèle formalisé grâce à la Programmation Linéaire.

Nous pouvons également trouver des travaux cherchant à comprendre et analyser le comportement d'une chaîne logistique complexe. Par exemple Minegishi *et al* (2000) utilisent la Dynamique des Systèmes et des modèles de Forrester pour étudier la Supply Chain de l'industrie alimentaire. Ces travaux ont été appliqués pour anticiper l'impact sur 1 à 5 ans, d'une infection à la dioxine dans l'industrie du poulet. Sur le même niveau, des problèmes d'évaluation de la réponse des fournisseurs face à une variation des demandes du client sont également envisagés. On va ici tester si la chaîne

logistique est assez flexible. Nous pouvons remarquer également que des outils du même type sont utilisés. C'est le cas de Le Page (1993) ou de Bruniaux (2000) qui utilisent également des diagrammes de Forrester pour exprimer des systèmes d'équations différentielles permettant de mettre en place des modèles de simulation continue. Nous pensons effectivement qu'au niveau stratégique les flux de composants peuvent être considérés comme des flux continus, par contre cette hypothèse devra être reconsidérée pour notre positionnement.

4.2.2. Pour la phase de gestion

Au niveau opérationnel, l'approche nous semble différente. En effet les besoins diffèrent, le comportement doit être décrit assez finement pour être analysé et permettre la mise en place d'une démarche de maîtrise des flux. Il est alors fréquent qu'une fois le système modélisé, on se dirige rapidement vers une phase de simulation. Kleijnen (2004) a montré par une analyse de différents travaux dans le domaine de la simulation de la chaîne logistique que quatre méthodes peuvent être envisagées : la simulation par système d'équations, par la dynamique des systèmes, à événements discrets et par « jeux ». La première ne permet pas de modélisation réaliste alors que la dernière peut être utilisée à des fins pédagogiques. La simulation à événements discrets est par ailleurs considérée comme une méthode importante dans le domaine de la SCM. Elle permet l'évaluation de performance d'un système opérationnel. Elle est utilisée pour la compréhension de la chaîne logistique (par animation graphique, par exemple), pour analyser l'impact d'un événement sur la chaîne logistique et pour tester différents scénarios ou paramétrages, avant de les appliquer au système réel (Chang *et al*, 2001).

Cavory *et al* (2000) utilisent une démarche faisant appel à la simulation de différents scénarios pour tester la fiabilité d'un réseau manufacturier. Le simulateur (ProModel[®]) fournit alors un outil d'aide à la décision pour le choix de partenaires, identifiés lors de la configuration de la chaîne logistique ; il permet de valider le fonctionnement et surtout de quantifier les risques pris dans le cadre de la coordination des acteurs d'une chaîne logistique.

Monteiro (2001) propose une modélisation des Architectures Industrielles en définissant une typologie de flux, flux d'informations et matières, avant de les modéliser. Pour ce faire, il a utilisé une structuration par agrégats permettant l'encapsulation des données (figure 1-18). L'entreprise en relation avec des Donneurs d'Ordres et des Fournisseurs est ensuite modélisée par une décomposition de sa structure générale en trois réseaux de Petri : l'interface avec l'environnement, la gestion des flux et la production interne ; plus généralement, il modélise des processus de négociation entre Donneurs d'Ordres et Fournisseurs.

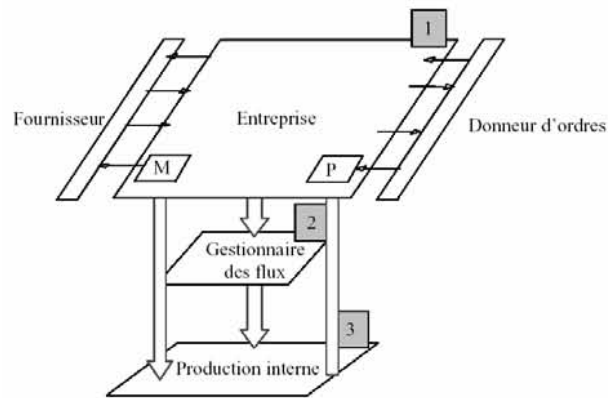


Figure 1-18 : Décomposition de la structure générale d'une Architecture Industrielle (Monteiro, 2001)

Dans l'industrie manufacturière, au niveau opérationnel, il est peu fréquent que les flux soient assimilables à des flux continus de matières. Petrovic (2001) remarque que la simulation à base de Dynamique des Systèmes permet d'évaluer une réponse temporelle de la Supply Chain à des événements de son environnement, mais il affirme qu'avec une modélisation analytique il est impossible de prendre en compte des phénomènes stochastiques. Or il est essentiel pour nos travaux que la prise en compte d'aléas soit effective, c'est d'ailleurs le cœur du problème. Aujourd'hui les politiques de gestion et leurs sécurisations sont dimensionnées globalement, au sein de PSA, par une seule méthode. Ceci n'est pas satisfaisant ; il faudrait adapter le dimensionnement en fonction du composant considéré et appréhender le problème d'une manière globale. La simulation a pour avantage de pouvoir vérifier le bon dimensionnement de la politique de gestion ou d'évaluer les performances attendues d'une nouvelle politique (Campagne *et al*, 2001).

Cependant la simulation n'est pas forcément le seul moyen d'arriver à ces résultats. Par exemple Bollon (2001) a modélisé des politiques de pilotage d'atelier grâce à une formalisation mathématique. Ce qui lui permet de choisir une solution optimale. Mais par rapport à notre problématique il n'est pas toujours montré que ces travaux puissent s'appliquer à des systèmes compliqués. Le cas d'étude est souvent réduit à quelques processus et ces derniers sont mis en série (Petrovic, 2001), (Holweg *et al*, 2002).

D'autres travaux proposent des approches plus complètes. On pourra citer Telle (Telle, 2003) (Telle *et al*, 2001) qui modélise une chaîne logistique d'approvisionnement en deux parties : un modèle de simulation pour le pilotage, notamment du Kanban (court terme), et un modèle par quantité pour la génération d'un plan au niveau de la politique MRP (moyen terme). Il existe également des travaux qui combinent à la fois simulation discrète et continue pour répondre aux besoins du domaine d'application (Lee *et al*, 2002).

D'autres travaux portant sur la modélisation et la simulation de la Supply Chain fournissent des approches basées sur la notion d'agent (Julka *et al*, 2002). Elles permettent de décrire à la fois les entités de la Supply Chain mais aussi leurs organisations internes.

4.3. Synthèse par rapport au besoin

Nos travaux vont devoir fournir un moyen pour mieux maîtriser les flux entre d' Usine Terminale et ce en apportant une visibilité globale de la logistique d'approvisionnement.

Par ailleurs, les différentes perturbations identifiées de la logistique doivent être prises en compte. Les contraintes industrielles sont très fortes. En effet pour que ces travaux soient viables, il nous paraît impératif que deux conditions soient remplies :

- ◆ des données réelles de paramétrages issues directement des systèmes d'information de l'entreprise doivent être utilisées ;
- ◆ la maintenance des modèles doit pouvoir être faite sans aucune autre connaissance que celle en rapport avec le problème étudié.

Des approches tel que le modèle SCOR peut nous fournir une base pour l'étude de la chaîne logistique PSA. Mais leur utilisation en tant que tel ne semble pas répondre à nos attentes dans le sens où elles ne fournissent pas de modèle générique d'analyse pour les flux logistiques. Elles pourraient permettre de définir des blocs fonctionnels reliés par des flux d'informations, mais d'autres approches plus simples peuvent le permettre également. De plus, il paraît totalement impossible de construire ainsi un modèle dynamique de simulation de flux.

Certains travaux (Thomas *et al*, 1996) ont pour objectif d'étudier la coopération dans la relation donneurs d'ordres-fournisseurs. Dans notre cas, cette coopération n'existe pas en phase opérationnelle. En effet cette dernière a déjà eu lieu en phase de conception et la relation, lors de la gestion en vie courante, est régie par un contrat dans lequel le fournisseur s'engage à respecter des délais ou la qualité et le donneur d'ordres, des volumes maximaux de commande par intervalle de temps.

En considérant les différents travaux déjà effectués sur la modélisation de la chaîne logistique, il nous semble que très peu de travaux proposent un véritable modèle générique pour la modélisation des flux d'approvisionnement.

Par ailleurs, l'approche globale pour l'étude de la chaîne logistique est souvent évoquée. Cependant elle trouve fréquemment des limites. En effet le volume des données à gérer peut être un obstacle. Pour pallier ce problème des méthodes d'agrégation des flux sont proposées. L'agrégation d'informations est un processus difficilement réversible, et la désagrégation ne permettrait pas de restituer toute l'information. Si nous nous plaçons dans une optique d'analyse à long terme cette perte d'information ne porte pas à conséquences. Alors que pour des objectifs tel que l'aide à la décision,

elle ne sera pas acceptée. Ouhimmou *et al* (2004) après avoir proposé un modèle de planification, formalisé par la programmation linéaire, établissent le même constat. Il ajoute que « *la résolution du problème réel dans un temps raisonnable et acceptable pose un défi* ». L'approche que nous adapterons ne pourra, dès lors, pas envisagée une agrégation de flux, ni une modélisation basée sur un formalisme mathématique.

4.4. Conclusion : choix d'une démarche adaptée

Dans un premier temps nous devons tenir compte de la diversité de notre domaine d'application. Nous avons besoin de nous en affranchir lors de la phase de modélisation et nous devons alors proposer des briques génériques modélisant des entités avec des caractéristiques similaires. Nous montrons par la suite qu'une approche par Peugeot Citroën peut répondre à notre besoin. Elle nous permettra alors de proposer un modèle générique pour les flux logistiques.

Modéliser la logistique d'approvisionnement est un problème compliqué de part la diversité rencontrée. Dès lors il est nécessaire de disposer d'une méthode et d'un langage permettant de le décrire et de l'analyser. Une approche appuyée sur les concepts de la systémique semble correspondre à nos attentes puisqu'elle est utilisée fréquemment pour décrire des systèmes manufacturiers.

Comme nous l'avons vu, les entités de la logistique d'approvisionnement sont très nombreuses (5000 références de composants, 500 fournisseurs,...). Cependant chacune peut s'inscrire dans un nombre restreint de classes d'entités avec des caractéristiques et des comportements génériques. Pour modéliser, nous avons besoin alors d'un langage de modélisation nous conférant une généralité dans nos modèles mais aussi permettant l'instanciation d'un grand nombre de ces entités. Ici, un langage de modélisation de type objets peut répondre à nos contraintes.

La démarche que nous proposons pour la construction de notre contribution se situe sur deux niveaux : la proposition d'un méta-modèle pour les flux logistiques puis l'instanciation de ce méta-modèle pour la modélisation de la logistique d'approvisionnement du groupe PSA Peugeot Citroën.

CHAPITRE 2

PROPOSITION D'UNE MODELISATION POUR L'EVALUATION DES FLUX LOGISTIQUES

Chapitre 2

Proposition d'une modélisation pour l'évaluation des flux logistiques

1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est de proposer une modélisation de la logistique d'approvisionnement d'une usine terminale. Nous avons vu dans le premier chapitre que la caractéristique principale de notre périmètre d'étude est la diversité (de l'outil de production, des composants à assembler, du produit final, de la gestion des approvisionnements,...). Ceci induit une complication du problème posé. Par conséquent il convient d'appuyer nos travaux sur des méthodes et des langages appropriés. Avant de débiter le travail de modélisation, nous montrons ici le choix de l'approche retenue ainsi que celui du langage de modélisation adopté.

Les systèmes de production et leur pilotage peuvent être caractérisés par des structures définies dans la classification EICM (*Enterprise Integration Capability Model*) (Hollocks *et al*, 1997). A chacune de ces organisations peut être associées une approche et des modèles. Nous caractérisons ensuite le système étudié pour finalement établir notre choix.

1.1. Choix d'une approche de modélisation

1.1.1. Structures organisationnelles

La métrique EICM (*Enterprise Integration Capability Model*) a été proposée par Hollocks *et al* (1997) puis utilisée dans un certain nombre de travaux de modélisation (Neunreuther, 1998), (Leger *et al*, 1999), (Monteiro, 2001) et (Muhl, 2002). Elle permet de définir les structures organisationnelles des systèmes suivant cinq degrés. Elles sont explicitées dans le tableau 2-1.

1.1.2. Structures organisationnelles et approches de modélisation associées

Il existe donc, pour chacune de ces structures organisationnelles, sauf pour les structures fragmentées, des approches de modélisation adaptées. Les travaux de Neunreuther (1998) et de Monteiro (2001) dressent une liste exhaustive des différents modèles existants pour les approches de modélisation cartésienne et systémique. Muhl (2002) a établi une synthèse mettant en correspondance les cinq structures organisationnelles et leurs approches de modélisation associées (tableau 2-2), nous ne les détaillerons donc pas ici.

On peut toutefois noter que Neunreuther (1998) s'est focalisé sur la modélisation des Systèmes Intégrés de Production à Intelligence Distribuée (SIPID). L'approche systémique lui permet alors de proposer des modèles génériques pour ces systèmes. Monteiro (2001) considère que la structure des relations donneurs d'ordres/fournisseurs basée sur la coopération, sont de type hiérarchique. Il a ainsi utilisé les réseaux de Pétri (approche cartésienne) pour ses travaux de thèse.

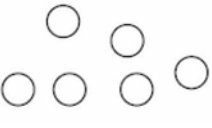
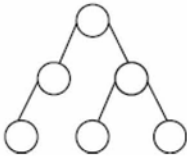
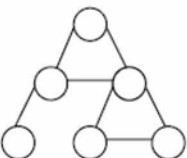
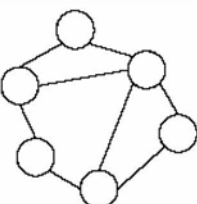
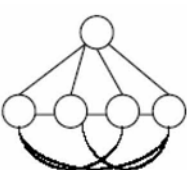
<p>Niveau 1 : Structure organisationnelle fragmentée</p> 	<p>Cette architecture ne possède pas de structure. Il n'existe pas de lien entre les entités du système.</p>
<p>Niveau 2 : Structure organisationnelle hiérarchique</p> 	<p>Cette architecture possède une structure rigide. Ce sont les niveaux supérieurs qui pilotent la relation entre lui et le niveau inférieur. Les décisions sont prises unilatéralement en fonction de la hiérarchie.</p>
<p>Niveau 3 : Structure organisationnelle intégrée</p> 	<p>Une structure intégrée résulte de la coordination des fonctions autour d'un système d'information. Les fonctions hiérarchiquement supérieures ont donc une image informationnelle des niveaux inférieurs. C'est le cas par exemple de l'usine terminale qui connaît l'état de ses commandes de pièces (traitées, expédiées,...) par le biais des échanges de données informatiques (EDI)</p>
<p>Niveau 4 : Structure organisationnelle distribuée</p> 	<p>Il constitue des hétérahies dans lesquelles les entités ne sont plus subordonnées par des entités hiérarchiquement supérieures. Dans ces architectures, la coopération de ces entités dépend de leur interopérabilité (coopération de leurs services, ressources).</p>
<p>Niveau 5 : Structure organisationnelle holarchique</p> 	<p>A l'opposé des systèmes fragmentés, ces architectures dites « intelligentes » constituent la quintessence théorique entre les architectures distribuées et intégrées. La coopération dans de telles architectures est très forte. C'est le seul moyen de synchronisation des actions.</p>

Tableau 2-1 : Classification des structures organisationnelles d'après (Hollocks et al, 1997) et (Neunreuther, 1998).

1.1.3. Choix de notre approche

Pour choisir une approche de modélisation, nous allons caractériser ici la structure organisationnelle du système que nous étudions. Dans la relation, en flux tiré, qui unit une usine terminale de montage automobile et ses fournisseurs, c'est le flux principal de véhicules qui commande à toute la logistique d'approvisionnement. Des centres décisionnels informatiques (algorithmes de calcul des commandes, gestion des alertes...) gèrent tous les flux d'approvisionnement au travers d'informations remontées

des entités inférieures via les échanges de données informatiques. Des informations circulent dans ce flux d'approvisionnement où chaque entité amont pilote l'entité aval. Par exemple, le fournisseur se doit d'assurer le transport des pièces vers l'usine terminale. Notre système d'approvisionnement est donc constitué d'une entité supérieure (l'UT) pilotant des entités inférieures regroupées par flux d'approvisionnement. Nous pouvons alors qualifier la structure de notre système d'« *intégrée* ». Par conséquent nous devons nous orienter plutôt vers une approche systémique.

Dans ce sens, depuis plusieurs dizaines d'années les concepts issus de la systémique ont été éprouvés pour la résolution de problèmes de description complexes. Ceci est permis grâce à une des ses particularités qui est de se concentrer sur l'interaction des systèmes et sur l'analyse des flux (produits et informations).

Structure organisationnelle (EICM)	Fragmentée	Hiérarchique	Intégrée	Distribuée	Intelligente
Type d'approches	Absence	Cartésienne	Systémique	Ingénierie simultanée	Kénétique
Modèles associés		Réseau de files d'attente Réseau de Petri SADT – SART- UDEF0 – IDEF3 ACNOS - PIF	Merise CIMOSA Aris-Toolset GRAI – GIM PERA GERAM SAGACE	TOVE IEM	Multi-agents Holonique (HMS) Réseau de neurones Fractal factory Agile-Lean manufacturing

Tableau 2-2 : Interprétation de la métrique EICM pour les approches et les modèles associés d'après (Muhl, 2002)

1.2. Choix d'une méthodologie de modélisation

1.2.1. Les problèmes rencontrés lors d'une activité de modélisation

L'activité de modélisation avec en perspective la simulation du système industriel étudié peut faire apparaître différents problèmes (Galland, 2003). Le premier est qu'il existe d'un côté des logiciels de simulation et de l'autre des méthodologies, or on ne trouve pas de solutions complètes intégrant ces deux aspects du processus de simulation. Il note également qu'il est souvent nécessaire de réécrire les modèles de simulation existants si on veut tester différentes configurations du système. En effet, si par exemple on décide de changer les règles de pilotage du système, il est souvent nécessaire de refaire le modèle. Bien que les aspects physique, informationnel et décisionnel d'un système soient en forte interaction, ceci met en évidence la nécessité de les dissocier lors de la modélisation. Ensuite, il remarque qu'il est difficile de réutiliser des modèles et qu'il est nécessaire de créer des modules réutilisables. Ceci dénote le besoin de généricité des modèles qui doivent pouvoir être au moins en partie réutilisés dans différents cas d'étude. Ces constatations ont motivé la proposition d'une méthodologie pour la construction de modèles de simulation. Cette approche est basée sur les systèmes multi-agents et est indépendante de tout outil informatique. Les concepts mis en œuvre

(systèmes multi-agents, systémique,...) permettent de répondre à différents problèmes posés par les systèmes de production complexes et distribués.

Toujours dans le domaine de la simulation mais cette fois appliquée aux architectures informatiques distribuées, Cavaliere (2002) fait des remarques similaires. Pour la capitalisation des connaissances métiers, il est nécessaire de définir des entités génériques ainsi que des règles de cohérences. Ces définitions doivent être construites par des experts en modélisation pour traduire les connaissances métiers. Elles seront ensuite utilisées par le métier pour la construction de modèle de simulation sans compétence a priori sur l'outil de simulation.

1.2.2. Une généricité nécessaire

Nous constatons que dans le domaine de la simulation, il est souvent question de généricité et de réutilisation des modèles proposés. Pour répondre à ces attentes, un méta-modèle est souvent proposé.

Dans notre cas nous avons besoin de deux niveaux de généricité :

- ◆ généricité au sein d'une modélisation ; il faut que chaque acteur de même type soit modélisé de la même manière ;
- ◆ généricité pour plusieurs modélisations ; nos travaux doivent pouvoir être réutilisés pour différentes études particulières.

La modélisation et la simulation de la logistique d'approvisionnement peuvent être envisagées non seulement pour répondre à différentes problématiques s'inscrivant dans le cadre de nos travaux, mais aussi pour des études plus particulières telles que l'étude du comportement d'un approvisionnement intercontinental. L'introduction des transports maritimes, par exemple, devra pouvoir être considérée à l'identique des transports terrestres ; seuls les paramètres d'entrée sont appelés à être modifiés. Il est également envisageable d'utiliser la modélisation et la simulation pour tester de nouvelles politiques de gestion ou d'organisation des approvisionnements. Ainsi notre proposition doit prendre en compte ces contraintes engendrant un premier besoin de généricité.

La seconde facette de la généricité peut se trouver au sein d'un seul modèle de simulation. Comme nous l'avons montré au chapitre 1, la logistique d'approvisionnement dans le domaine de l'industrie automobile est caractérisée par une forte diversité. Aussi pour un modèle de simulation donné, il devra être possible d'intégrer les différentes caractéristiques des systèmes d'approvisionnement : les systèmes d'ordres, la gestion de production du fournisseur, la diversité du produit fini, les plans de transport, les divers types de sécurisations des stocks... Ainsi, il est nécessaire d'obtenir un modèle générique qui peut être instancié simplement et seulement en fonction de données d'entrée ; en raison de la volumétrie du problème. Il paraît difficile, par exemple, que le comportement du fournisseur soit modélisé pour chaque boucle d'approvisionnement, soit environ 5000 comportements différents à modéliser.

2. Les concepts nécessaires pour la modélisation des flux logistiques

2.1. Etat de l'art sur la méta-modélisation

Forts des constats énoncés dans la partie précédente et après avoir défini la méta-modélisation, nous présentons notre démarche de modélisation basée sur l'approche systémique puis nous proposons un méta-modèle pour l'étude de la logistique d'approvisionnement.

2.1.1. Définition

La méta-modélisation a été utilisée dans de nombreux domaines d'application, ce qui a conduit à la proposition de plusieurs définitions.

Ainsi, nous pourrions retenir une définition assez large, issue des approches systémiques :

« La méta-modélisation consiste à définir des modèles génériques à partir desquels les modèles particuliers d'utilisateur peuvent être exprimés. Elle cherche à modéliser, indépendamment de leur forme et de leur contexte, les concepts contenus dans les modèles. Elle s'apparente donc aux métalangages. Elle concerne essentiellement le niveau conceptuel par opposition au niveau de détails de l'implémentation » (Braesch *et al*, 1995).

Par ailleurs Maret (1995) définit un méta-modèle comme étant une grammaire (un langage et une syntaxe) pour l'expression des modèles. Enfin un méta-modèle est une abstraction d'un ensemble de modèles. Il a pour but de spécifier les concepts de plusieurs modèles (Braesch *et al*, 1995).

D'après ces définitions un méta-modèle doit :

- ◆ être générique : son contenu doit pouvoir s'appliquer à plusieurs modèles de systèmes ;
- ◆ permettre de réaliser une unification sémantique : il réalise une mise en correspondance de concepts équivalents dans différents modèles utilisant des représentations différentes ou dans différents systèmes.

C'est pourquoi, dans le but de concevoir un modèle complexe d'un système « *flux d'approvisionnement* », il est alors nécessaire d'en connaître la sémantique ou éléments génériques. Une syntaxe ou règles de construction, doit aussi être définie. Pour aboutir à ce résultat il est nécessaire de procéder suivant une démarche que nous présentons dans les paragraphes suivants.

2.1.2. Méta-modéliser : pourquoi et comment ?

2.1.2.1. L'intérêt de la méta-modélisation

Dans sa thèse Bon-Bierel (1995) fait une synthèse des différentes utilisations de la méta-modélisation. Elle en discerne alors trois usages principaux : la méta-modélisation comme *technique réflexive*, comme *instrument de dialogue* ou comme *méthode d'ingénierie*.

La méta-modélisation utilisée comme technique réflexive permet de formaliser les formalismes de modélisation. Elle permet alors de lever des ambiguïtés dues à des descriptions incomplètes des formalismes. Les méta-modèles peuvent être utilisés pour disposer d'un langage unique, pour communiquer et comparer différents formalismes. Enfin la méta-modélisation peut être vue comme une méthode d'ingénierie dans le sens où elle permet de maîtriser la complexité croissante des applications en introduisant de la souplesse dans le processus de conception des applications ; on ne s'astreint plus à une méthodologie de conception mais on va considérer le niveau supérieur pour adapter la méthodologie à son besoin, tout en garantissant une cohérence dans la démarche de conception.

En s'appuyant sur une démarche de méta-modélisation, nous proposons de construire un langage unique appuyé sur des éléments simples, pour mener à bien diverses études impliquant la modélisation des flux logistiques d'approvisionnement.

2.1.2.2. La démarche de méta-modélisation

Cette démarche de méta-modélisation fait intervenir dans un premier temps un travail intellectuel d'abstraction de la réalité. Cette abstraction peut être formalisée par une description inscrite dans l'univers du discours (par des phrases), ou dans un autre cadre. Pour notre étude nous avons choisi de nous inscrire dans un cadre de modélisation basé sur le principe de la systémique ou Théorie du Système. Cette théorie fournit des instructions pour la description des systèmes en prenant en compte son environnement.

Les différentes entités constituantes d'un système d'approvisionnement sont tout d'abord définies, puis nous proposons de formaliser ces définitions en langage naturel avec un langage de modélisation de type objet. Nous pouvons alors énoncer les règles de construction de modèles de flux d'approvisionnement et enfin nous proposons une méthodologie de modélisation par instanciation du méta-modèle proposé.

2.2. Introduction d'une approche de modélisation systémique

La systémique est considérée comme une théorie qui fournit une aide conceptuelle et méthodologique dans le but de mieux comprendre ou mieux concevoir. Dans ce paragraphe, nous précisons quelques concepts qui nous seront utiles par la suite pour développer une méthode en vue de la modélisation des flux d'approvisionnement. La plupart des définitions que nous utilisons sont issues d'un ouvrage collectif de synthèse dirigé par Le Gallou et Bouchon-Meunier (Le Gallou, 1992).

2.2.1. Le système

Le système est le concept de base de la systémique. Du fait de la multitude d'entités intervenant sur un objet, il est souvent perçu comme complexe par un observateur qui aurait tendance à l'isoler. Les préceptes de la systémique permettent de considérer globalement cet objet et ces entités intervenantes par le biais du concept de système.

Selon la définition donnée par De Rosnay, « *un Système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisés en fonction d'un but* » (De Rosnay, 1975). Le Gallou (1992) précise que ce système est « *immergé dans un environnement* ».

Un système est donc un outil conceptuel cohérent d'éléments constitutifs en interaction et en relation avec des éléments extérieurs, organisés pour parvenir à la finalité ou à l'objectif du système.

Notons que le système que nous étudions a pour but d'approvisionner en juste quantité et au juste moment une référence de composant dans une usine terminale d'assemblage automobile. Ceci constituant le but du système considéré. Ce dernier est plongé dans un environnement où évoluent d'autres systèmes d'approvisionnement hétérogènes mais aussi le système constitué par la ligne d'assemblage des véhicules.

Pour caractériser notre système nous devons caractériser ses éléments ainsi que leurs interactions. Pour ce faire la théorie systémique nous fournit des opérateurs modifiant les caractéristiques d'un objet.

2.2.2. L'objet

Le concept de finalité d'un système fait émerger le concept d'objet. En effet ce système fonctionne dans le but de fournir un ou plusieurs objets attendus par l'environnement pour être consommés.

« *Cet Objet est représenté par un Système dont la Finalité est de produire le ou les Objets dans le Temps, l'Espace et la Forme attendus par l'Environnement.* » (Mayer, 1995)

Un objet est donc un élément particulier du système qui va transiter au travers des éléments du même système. Cet objet va voir ses caractéristiques de Temps, d'Espace et de Forme modifiées au cours du temps pour atteindre, au final, les valeurs attendues par son environnement.

2.2.3. Les opérateurs systémiques

2.2.3.1. Définitions

« [Un] opérateur est l'élément de base du dernier niveau de décomposition adopté. [...] Ils sont les éléments actifs [du système], y assurant une fonction permanente ou y effectuant les séries d'opérations de leur compétence. » (Le Gallou, 1992)

Un opérateur peut être considéré comme une boîte noire à laquelle on associe un comportement, des entrées et des sorties. Pour décrire un système, ces opérateurs doivent être mis en relation.

Un système est chargé de modifier les caractéristiques des objets. Ainsi Le Moigne (1977) a défini trois opérateurs : la transformation (tF), la transposition (tE) et la transtemporisation (tT).

Cependant « la pratique professionnelle » (Le Gallou, 1992) a montré que ces trois opérateurs n'étaient pas suffisants et que pour aboutir à une description complète d'un système, il était nécessaire de créer un quatrième type d'opérateur : l'opérateur de transmutation. Il modifie la *substance* ou la *nature* de l'objet et non simplement sa forme ; il est noté tN. Il s'agit par exemple d'un capteur qui mesure une résistance électrique (information) représentative de la configuration d'un système (physique).

De plus Le Gallou (1992) précise que deux autres opérateurs existent : les opérateurs « source » et « puits ». Ce sont des opérateurs d'interface qui commencent et terminent les flux.

2.2.3.2. Notations

La représentation graphique est un l'outil privilégié de la modélisation systémique. En effet elle offre le pouvoir de représenter les relations entre les éléments, et permet une appréhension globale immédiate tout en permettant une focalisation éventuelle sur les détails. Ainsi, nous rappelons dans ce paragraphe les règles de notations classiques qui sont représentées dans le Tableau 2-3.

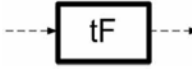





transFORMATION	Forme		Traitements, usinage
transPOSITION	Espace		Transport, transmission
transTEMPorisation	Temps		Stock, mémoire
transMUTATION	Nature		Mesure, servo-moteur
Source	Création		Vanne d'arrivée
Puits	Destruction		Vanne de vidange

Tableau 2-3 : Représentation graphique des opérateurs systémiques, d'après (Le Gallou, 1992)

Un exemple de décomposition en opérateurs élémentaires pour le système « *approvisionnement d'une Usine Terminale* » est donné au paragraphe 4.1. Nous nous appuyons sur ces opérateurs pour faire émerger des éléments génériques utilisables pour différents cas d'application. Nous définissons ensuite les attributs et le comportement de ces opérateurs.

2.2.4. *Le flux*

Le Gallou (1992) définit un flux comme étant un « *sous-système manipulant ou activant des objets de même nature ; et effectuant l'ensemble des opérations nécessaires aux objectifs [du système]* ».

Ainsi un flux est constitué d'opérateurs interconnectés formant une unité homogène d'opérations modifiant les caractéristiques d'objets homogènes.

Nous utiliserons la notion de flux telle qu'elle vient d'être définie, pour identifier des ensembles invariants d'opérateurs permettant de construire un modèle de système d'approvisionnement.

Ainsi d'après les différentes définitions qui viennent d'être énoncées nous pouvons mettre en exergue les ensembles constitutifs d'un système :

$$\begin{cases} \text{systeme} = \{\text{flux}\} \\ \text{flux} = \{\text{opérateur}\} \end{cases}$$

2.2.5. *Les processus*

La notion de processus fait apparaître l'idée d'organisation (ordre) temporelle des opérateurs. Pour Le Gallou (1992), « *il s'agit [...] d'un ensemble d'opérations, reliées par une relation d'ordre, en provenance de conditions préalables et de nécessités temporelles* ».

Liman (1999) a établi une revue de la littérature qui recense les différentes définitions de processus pouvant être rencontrées d'un point de vue technique, dans le domaine de l'automatique et de la productique ou d'un point de vue organisationnel. En synthèse, il indique que les définitions qu'il a analysées font apparaître :

- ◆ La notion de déclencheur(s) du processus qui peut(vent) être des entrées de matière ou d'information.
- ◆ La notion de finalité : quel est le résultat attendu en sortie ?
- ◆ La notion de composition des processus. Le plus souvent un processus est décomposable en activités ou en opérations.

A ce stade de notre réflexion, il est utile de différencier un opérateur d'un processus. Dans notre approche systémique nous nous appuyerons sur le concept d'opérateur pour respecter la méthodologie

d'analyse et de décomposition du système. Par contre les entités décomposées sont connues en terme d'entrée/sorties. Leurs déclencheurs (inter-processus) ainsi que leur organisation temporelle (ordre) seront également précisés. Dans ce sens les entités modélisées sont des processus. Cette considération est d'ailleurs confirmée par Mayer (1995) qui indique qu'« un système réalise dans son environnement, un processus [...] rendant compte de l'action résultante de l'activité du système, c'est-à-dire la Transformation dans un référentiel « Temps-Espace-Forme » d'un ou plusieurs objets processés dont le résultat est la finalité attendue ».

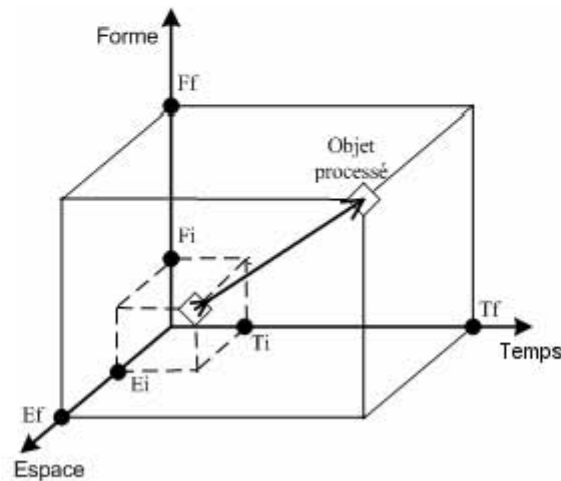


Figure 2-1 : Référentiel Temps, Espace, Forme permettant de repérer la position des objets soumis au processus d'un Système (Le Moigne, 1977), (Mayer, 1995)

Dans ce paragraphe nous avons introduit les concepts systémiques qui vont nous permettre de définir les entités de bases formant un système d'approvisionnement : système, objets du système, opérateurs systémiques, flux et processus. Avant de passer à la phase de méta-modélisation, nous synthétisons la démarche que nous devons adopter.

2.3. Synthèse

La démarche adoptée permettant d'aboutir à une modélisation de la logistique d'approvisionnement est représentée sur la figure 2-2. Panetto *et al* (2003) ont montré qu'il était possible d'appliquer cette démarche en utilisant aussi les concepts systémiques, pour modéliser un système de production. Elle nous donne également l'articulation de la suite de ce chapitre. La partie 3 vise à proposer un méta-modèle. Nous avons utilisé UML et nous avons étendu son méta-modèle pour le préciser par rapport à la problématique de la logistique d'approvisionnement. Cette phase répond à un besoin d'abstraction de la réalité. La partie 4 s'attachera à instancier ce méta-modèle au cas particulier du groupe PSA Peugeot Citroën. Enfin dans le but de répondre à un besoin de validation par rapport à la réalité, mais surtout pour préparer la mise en œuvre et l'utilisation de nos modèles, nous proposons dans la partie 5, un système d'indicateurs.

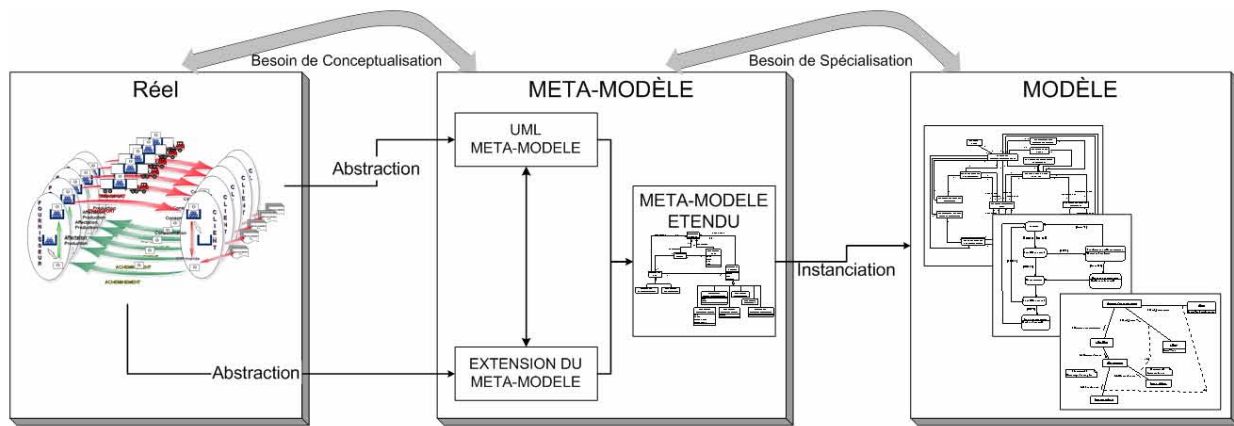


Figure 2-2 : De la réalité à la modélisation : la démarche adoptée

3. Proposition d'un méta-modèle pour les flux logistiques

Cette partie a pour objectif de présenter la démarche de méta-modélisation puis le méta-modèle obtenu. Ce méta-modèle doit répondre au souci de généricité qui a conduit nos travaux de recherche. Il doit permettre de définir les composants génériques et les règles de construction d'un flux d'approvisionnement. Enfin, nous proposons une méthodologie d'instanciation de ce méta-modèle qui doit guider l'utilisateur dans sa démarche de modélisation.

3.1. Formalisation du méta-modèle

Nous avons défini les notions et concepts pour procéder à la décomposition d'un système d'approvisionnement. Nous proposons dans ce paragraphe une analyse d'un système élémentaire d'approvisionnement. Puis après avoir justifié le choix d'un langage de modélisation, nous pouvons dès lors formaliser les relations statiques, et leurs cardinalités, entre les entités élémentaires de notre système. Enfin nous proposons des règles pour assurer la construction et la cohérence d'un modèle de système d'approvisionnement.

3.1.1. Choix d'un langage de modélisation

Modéliser un système complet d'approvisionnement implique deux contraintes essentielles : la possibilité d'instancier un grand nombre d'entités et la nécessité de spécifier les liens statiques, les échanges entre les entités ainsi que leur comportement dynamique.

Ces dernières années UML est devenu la référence pour la modélisation de type « objet » (Booch *et al*, 2000), (Kobryn, 1999). Son utilisation première a été la modélisation des systèmes informatiques et des logiciels. Aujourd'hui son utilisation s'étend à la modélisation de système manufacturier. Brinzei *et al* (2002) ont effectué une modélisation générique des composants d'un système de production manufacturier.

Si nous considérons simplement la notion de *classe*, elle permet de décrire un ensemble d'objets avec les mêmes attributs, opérations, relations ainsi qu'une sémantique identique. Ceci nous permet alors de spécifier des entités génériques de notre système.

De plus le langage UML (UML, 2001), grâce à la richesse de ses vues, permet de spécifier par exemple les liens statiques entre les entités du système au travers d'un diagramme de classes, le comportement de ces entités grâce à des diagrammes d'états ou les échanges inter-entités avec les diagrammes de séquence et de collaboration.

Cependant la raison du succès d'UML, à savoir sa généralité lui conférant la possibilité d'être utilisé dans de nombreux domaines, peut impliquer un certain manque de précision (vérification des incohérences entre les vues, manque d'une sémantique précise). Par contre il est possible d'étendre le méta-modèle d'UML pour pallier ce manque et de préciser des éléments du méta-modèle par le processus de *spécialisation*.

3.1.1.1. Extension du méta-modèle d'UML

Une solution proposée pour préciser des modèles UML par l'adjonction d'une sémantique est fournie par l'extension de son méta-modèle : cette solution emploie les mécanismes d'extensions propres à UML afin d'enrichir la notation et l'adapter aux besoins du domaine d'application.

Le principal mécanisme d'extension est le concept de *stéréotype*. Il fournit un moyen de marquage des éléments de modèle. Ils se comportent comme s'ils étaient des instances d'un nouveau méta-modèle « *virtuel* ». Les instances ont la même structure (des attributs, des associations, des opérations) que des instances non-stéréotypées de la même sorte. Le stéréotype peut spécifier des contraintes ou des attributs complémentaires qui s'appliquent à toutes les instances. De plus, un stéréotype peut être employé pour indiquer une différence dans la signification ou l'utilisation entre deux éléments de structure identique. Nous avons déjà mis en pratique ce mécanisme d'extension pour la modélisation et la spécification des architectures de communication industrielle (Villeminot *et al*, 2001).

3.1.1.2. Généralisation - Spécialisation

La généralisation est une relation taxonomique entre une entité plus générale (le parent) et une entité plus spécifique (l'enfant), ajoutant de l'information à l'enfant. Il existe un héritage du parent sur l'enfant. L'enfant aura les mêmes caractéristiques que son parent : attribut, opération. La relation inverse est la spécialisation.

Dans les sections suivantes nous proposons une formalisation en UML d'un méta-modèle pour l'étude des systèmes d'approvisionnement. Les classes définies seront des stéréotypes étendant la sémantique UML pour notre domaine d'application. Après avoir modélisé les définitions énoncées au paragraphe

2.2. nous utilisons le mécanisme de généralisation pour spécifier des classes particulières des concepts systémiques.

3.1.2. Définition de la sémantique « éléments de base »

3.1.2.1. Extension du méta-modèle avec les concepts systémiques

La relation Système-Objet

Dans un système transitent des objets homogènes (cf. 2.2.2) et un objet ne peut appartenir qu'à un seul système. Par exemple les ordres attachés à une référence de pièce ne transitent que sur un seul et unique système d'approvisionnement. Ces objets possèdent des attributs de Temps, d'Espace, de Forme et de Nature.

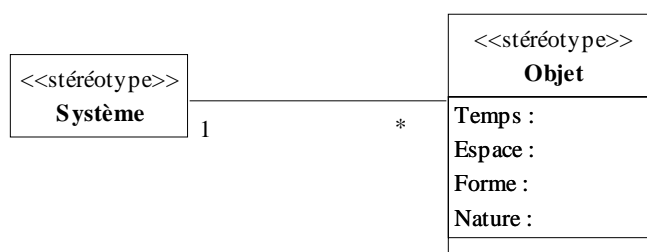


Figure 2-3 : Relation Système-Objet

La relation Flux-Système

En accord avec la définition donnée en 2.2.4, un système est composé d'au moins un flux et un flux ne peut appartenir qu'à un seul système.



Figure 2-4 : Relation Flux-Système

La relation Flux-Processus

De même, un flux est décomposable en processus et un processus est composant d'un flux. Pour définir les opérations génériques de la classe *Processus*, nous nous appuyons sur le concept d'actinomie (Vogel, 1988) qui représente et organise l'action. L'actinomie est composée d'une séquence de trois actèmes :

- ◆ L'*ouverture* de la séquence : phase de préparation vérifiant les pré-conditions, par exemple.
- ◆ Le *noyau* : réalisation concrète de l'action justifiant la séquence
- ◆ La *clôture* : phase de finalisation qui replace les acteurs de l'action dans l'état initial.

Sur la base des ces définitions, nous intégrons trois opérations génériques :

- ◆ *Demande d'activité()* : c'est l'opération qui vérifie les conditions préalables au déclenchement du processus. Elle est généralement invoquée par l'envoi d'un message par un autre processus du système.
- ◆ *Action()* : c'est l'opération qui processe les objets dans le processus
- ◆ *Fin d'activité()* : c'est l'opération qui termine le processus. Elle envoie généralement un message de compte-rendu devant valider le respect de la finalité du processus.

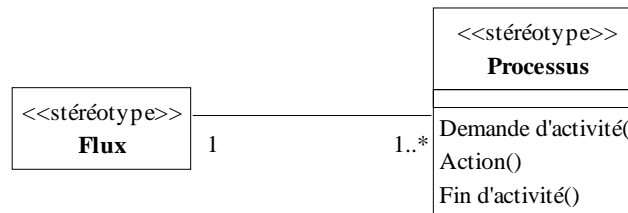


Figure 2-5 : Relation Flux–Processus

Première vue du méta-modèle

Ainsi nous obtenons une première vue du méta-modèle formalisant les relations entre objets, système, flux et processus. Ces classes étendent la sémantique d'UML pour l'étude des systèmes au travers du mécanisme de stéréotypage.

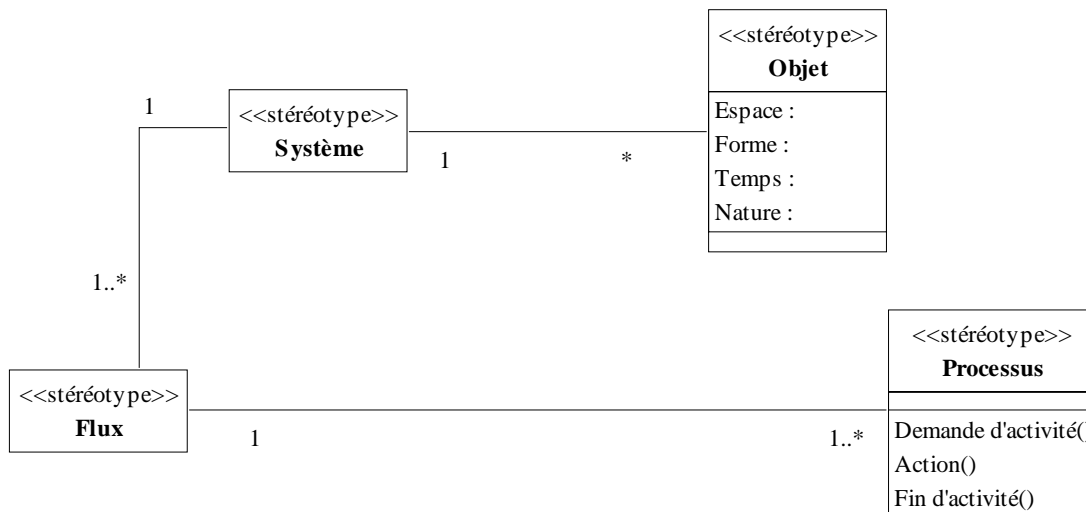


Figure 2-6 : Vue relationnelle du méta-modèle

3.1.2.2. Spécialisation des stéréotypes systémiques

Le stéréotype « Processus »

Comme nous l'avons précisé dans le paragraphe 2.2.3, il existe 4 grands types de processus, correspondant aux opérateurs de temps, d'espace, de forme et de nature, ainsi que deux processus à la

limite du système, les opérateurs puits et source. UML permet de modéliser cette hiérarchisation des processus au travers du mécanisme de généralisation. Ainsi nous spécifions la classe *Processus* par six classes correspondantes aux six processus énumérés précédemment.

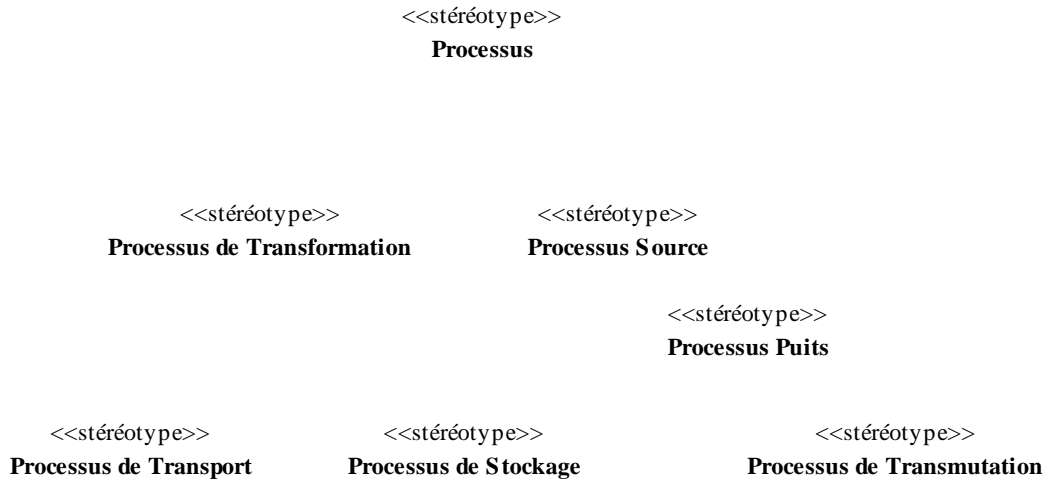
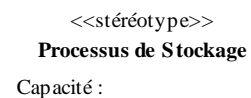


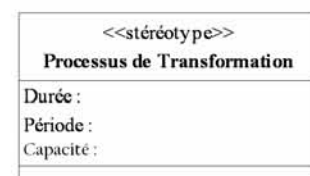
Figure 2-7 : Spécialisation du stéréotype "Processus"

Nous définissons par ailleurs les attributs génériques pour ces différents processus.

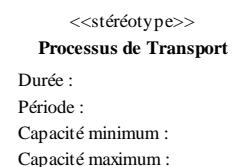
Un processus de stockage peut contenir un nombre donné maximum d'ordres. Nous lui ajoutons l'attribut « *capacité* » permettant de spécifier cette caractéristique.



La transformation d'un objet dans le système dure un certain temps (le temps de fabrication d'un bac de pièce, par exemple). Elle est également souvent périodique (lancement d'une campagne de fabrication par semaine, ou consommation d'une pièce toutes les minutes). L'outil de production est souvent limité en terme de capacité. Ainsi, on définit deux attributs génériques pour le processus de transformation : les attributs « *durée* », « *période* » et « *capacité* ».



Les processus de transport sont également activés de manière périodique et durent un temps déterminé. De plus un camion, par exemple, possède une capacité maximum de chargement ainsi qu'un nombre minimum d'ordres permettant d'effectuer un transport. Cette quantité minimale équivaut à une quantité économique. Ainsi nous spécifions quatre attributs sur la classe « *processus de transport* » : durée, période, capacité minimum et capacité maximum.



Nous avons alors spécialisé la classe « *Processus* » totalement pour notre domaine d'application. Il reste envisageable de définir une nouvelle classe enfant ou de déterminer d'autres attributs caractérisant ces processus. Nous nous sommes arrêtés au diagramme présenté figure 2-8 pour cette phase de spécialisation qui est suffisant par rapport à notre problématique.

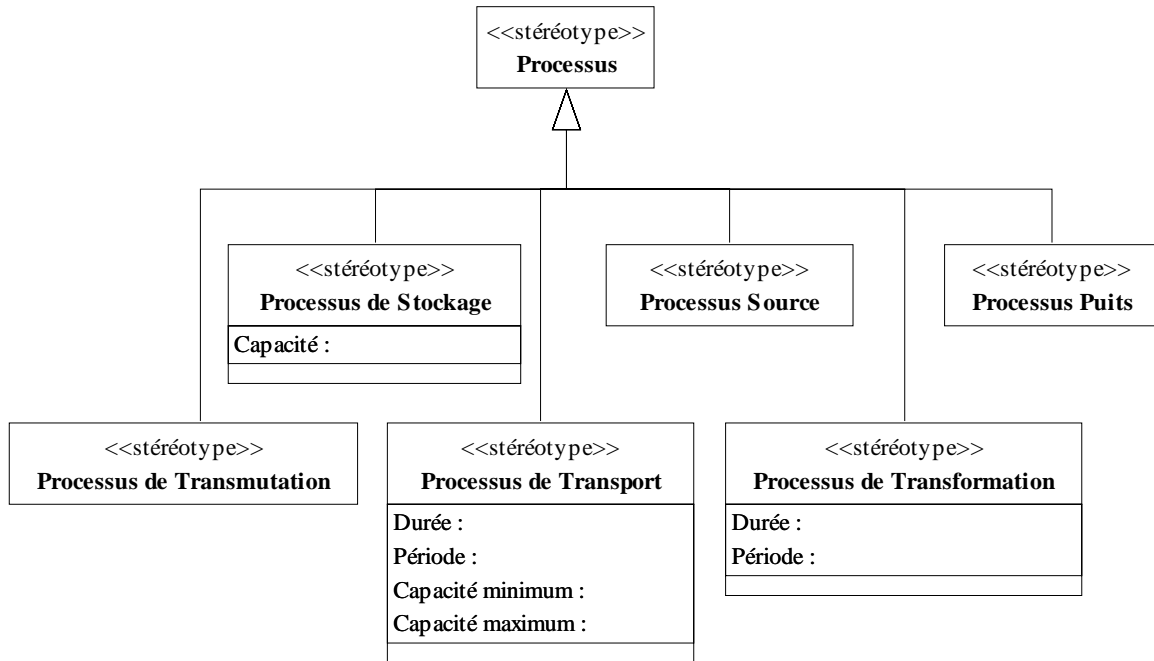


Figure 2-8 : Spécialisation de la méta-classe « processus »

Le stéréotype « Flux »

Par ailleurs nous proposons une spécialisation de la classe « flux ». Dans le but de construire des modèles de flux logistiques d'approvisionnement, nous avons identifié des sous-systèmes ou flux, présents dans tout système d'approvisionnement. Il s'agit des « flux de transport » et des « flux de transformation ».

Un flux de transformation est proche de la notion de zone logistique définie par Bruniaux (2000) : « Une **zone logistique** correspond à une partie physique de l'usine à laquelle elle appartient. Cette usine peut d'ailleurs appartenir à l'entreprise considérée ou au contraire correspondre à un fournisseur extérieur. Cette zone logistique possède un emplacement de stockage réservé aux matières premières et aux composants. Elle possède également des moyens techniques et humains (appelés ressources par la suite) qui lui sont propres. Grâce à ces moyens, elle réalise une activité principale (production et/ou expédition) ».

Dans notre proposition, un flux de transformation peut posséder un ou plusieurs stocks de commandes ainsi que un ou plusieurs stocks de composants. Cependant en considérant un système de flux d'approvisionnement dans le cadre d'une relation client–fournisseur, les commandes reçues par le fournisseur et le stock de pièces du client seront des éléments constitutifs du système. Mais les

commandes reçues par le client et la matière première du fournisseur seront des éléments de l'environnement. Dans un flux de transformation nous trouvons également des ressources ainsi qu'une ou des fonctions. Elles seront spécifiées au moment de l'instanciation d'un flux de transformation, au travers d'un diagramme d'états spécifique.

Un flux de transport est quant à lui un sous-système du système d'approvisionnement qui aura en charge de transporter des objets d'un stock amont vers un stock aval. Ici aussi, le fonctionnement particulier du flux de transport sera défini au moment de l'instanciation.

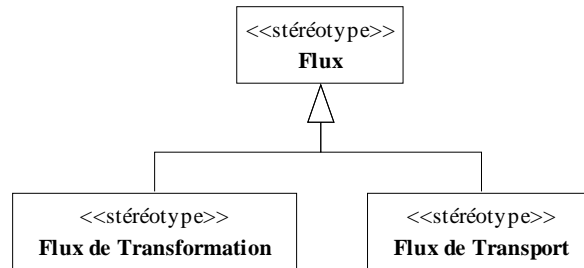


Figure 2-9 : Spécialisation de la méta-classe "Flux"

3.1.2.3. Synthèse de la vue « éléments de base » du méta-modèle

Les définitions ci-dessus nous amènent à proposer une sémantique pour l'étude des systèmes d'approvisionnement. La vue « briques de base » du méta-modèle que nous proposons est présentée sur la figure 2-10.

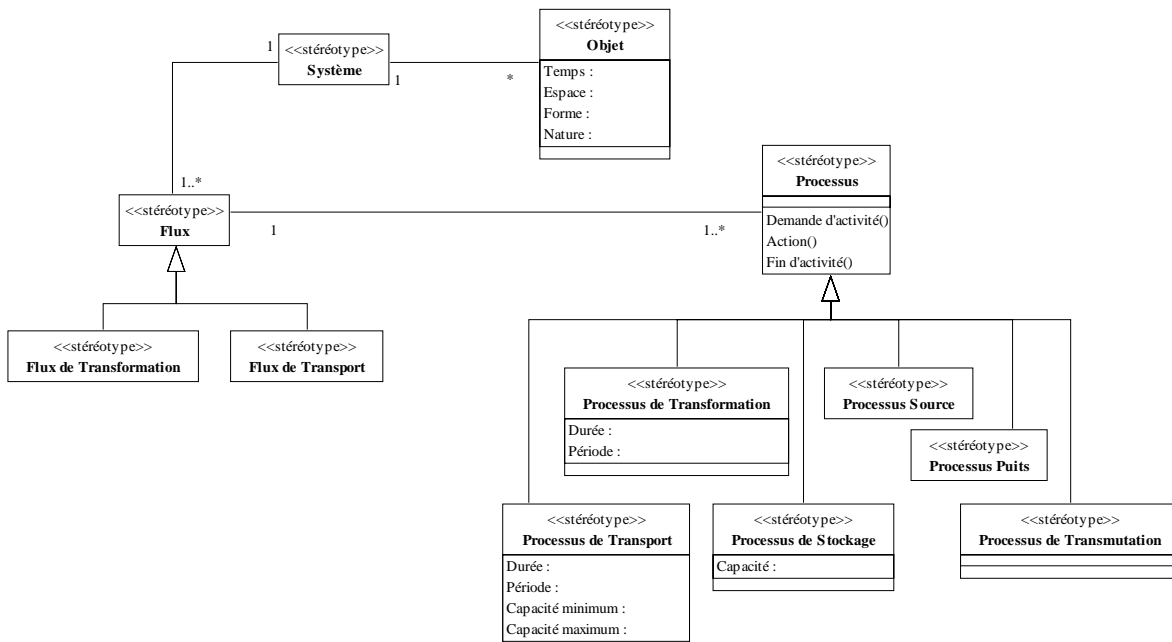


Figure 2-10 : Vue "éléments de base" du méta-modèle

3.1.3. Définition de la syntaxe « règles de construction »

Dans ce paragraphe, nous définissons des règles de construction des modèles pour l'étude des systèmes d'approvisionnement. Dans la partie précédente, nous avons proposé des briques de bases permettant de représenter chaque entité constituante de ce type de système. Il s'agit maintenant d'assurer la cohérence du modèle de flux d'approvisionnement. Cette cohérence ne peut être garantie que par l'énonciation de règles d'assemblage de ces briques de base. Pour garantir également la cohérence de notre démarche ces règles sont formalisées avec le langage UML.

3.1.3.1. Règles de précedence des processus

Les opérateurs systémiques sont régis par des règles de succession énoncées ci-dessous :

- ◆ Un opérateur de Transformation est obligatoirement suivi d'un opérateur de Transport (Transport aval)
- ◆ Un opérateur de Transformation est obligatoirement précédé d'un opérateur de Transport (Transport amont)

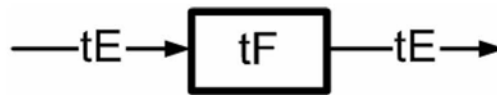


Figure 2-11 : L'enchaînement tE-tF-tE

- ◆ Un opérateur de Stockage est obligatoirement suivi d'un opérateur de Transport (Transport aval)
- ◆ Un opérateur de Stockage est obligatoirement précédé d'un opérateur de Transport (Transport amont)



Figure 2-12 : L'enchaînement tE-tT-tE

- ◆ Un opérateur Source est toujours suivi d'un opérateur de Transport

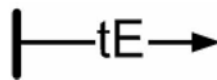


Figure 2-13 : L'enchaînement Source-tE

- ◆ Un opérateur Puits est toujours précédé d'un opérateur de Transport

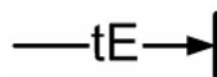


Figure 2-14 : L'enchaînement tE-Puits

Et par déduction :

- ◆ Un opérateur de Transport peut être suivi par un opérateur de Stockage ou de Transformation ou par un opérateur Puits
- ◆ Un opérateur de Transport peut être précédé par un opérateur de Stockage ou de Transformation ou par un opérateur Source.

Les mêmes règles s'appliquent pour les processus que nous avons définis. Ainsi un processus de transport peut être suivi ou précédé d'un processus de transformation ou d'un processus de stockage. Un processus de transport peut être suivi d'un processus Puits ou précédé d'un processus source.

De plus un processus de transport est exclusivement en aval ou en amont d'un et un seul autre processus. Un processus de transport ne peut être également à la fois transport amont et transport aval du même processus. Nous modélisons ces remarques par des contraintes du type « OU exclusif » (« XOR ») sur les liens entre les processus.

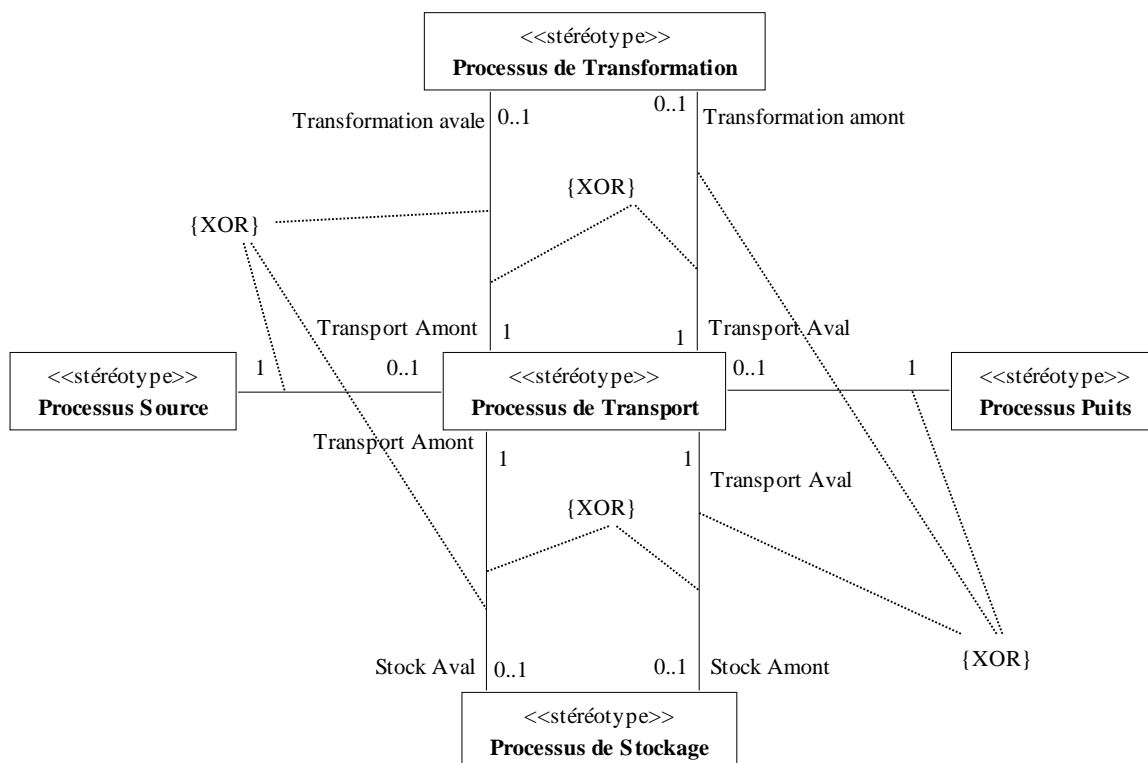


Figure 2-15 : Vue « règles de précédence » du méta-modèle

3.1.3.2. Règles de composition des flux

Un système d'approvisionnement peut être considéré comme la composition de plusieurs sous-systèmes ou flux. Lors de nos analyses, nous avons observé que deux types de sous-systèmes permettaient de construire un système global d'approvisionnement comme nous l'avons montré au paragraphe 3.1.2. Il s'agit du flux de Transport et du flux de Transformation.

Un intérêt de considérer un ensemble de processus comme une notion de flux est de définir le niveau de granularité du modèle. Par exemple la règle de décision suivante, pour la modélisation des processus de transport peut être établie : les processus de transport d'un flux de client ne seront pas modélisés. En effet, il est essentiel de modéliser le comportement du transport entre le fournisseur et le client, alors qu'il n'est pas utile de le faire pour les caristes de l'Usine Terminale.

Le flux de transport

Un flux de transport est défini comme étant un sous-système transportant des objets d'un stock amont vers un stock aval. Il sera composé de deux processus de stockage (aval et amont) et d'un processus de transport. Le comportement de ces trois entités devra être modélisé.

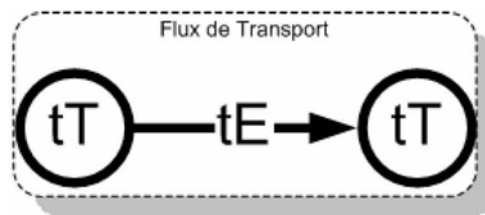


Figure 2-16 : Composition d'un "flux de transport"

Le flux de transformation

Un flux de transformation est défini comme étant un sous-système transformant des objets situés en attente dans un stock amont. Une fois transformés, ces objets sont placés dans un stock aval. Il sera composé alors de deux processus de stockage (amont et aval), d'un processus de transformation et d'après les règles de succession de deux processus de transport (la manutention entre les stocks et le processus de transformation). Le comportement de ces processus devra être modélisé sauf pour les processus de transport

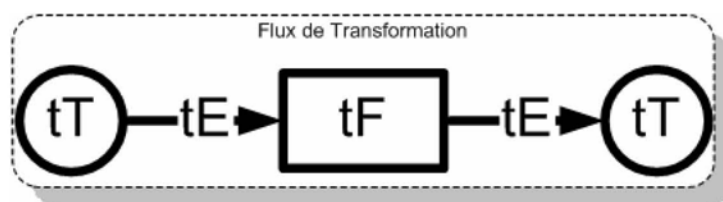


Figure 2-17 : Composition d'un "flux de transformation"

De la même manière que précédemment, nous pouvons modéliser cette composition de flux grâce à UML. Ces règles de composition sont données sur la figure 2-18.

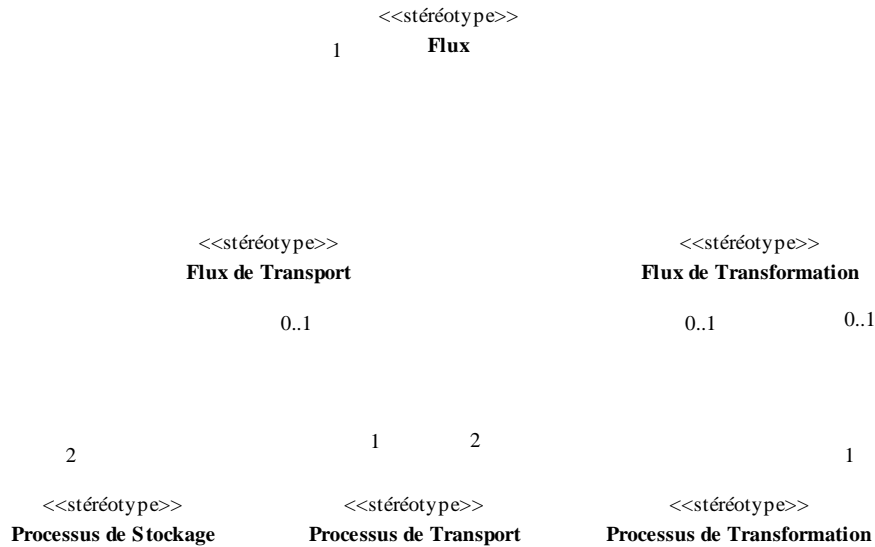


Figure 2-18 : Vue "règles de composition" du méta-modèle

3.2. Proposition d'une méthodologie

Dans l'optique de construire un modèle de flux logistique, nous proposons ici une méthodologie pour l'instanciation du méta-modèle. Elle se décompose en 4 phases. Les deux premières permettent de définir les éléments constitutifs du système envisagé, elles sont donc obligatoires. La troisième est à réaliser si un objectif de l'étude est d'analyser le comportement dynamique du système par la simulation par exemple.

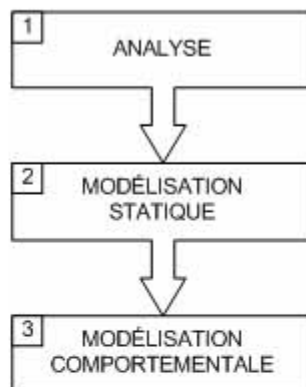


Figure 2-19 : Vue globale de la méthodologie

3.2.1. Phase d'analyse

Cette première phase doit permettre de définir les limites du système ainsi que les objets transitant dans le système (phase 1.1). Nous pouvons ensuite passer à la phase 1.2 qui consiste à suivre le cheminement d'un ordre dans le système. Nous pouvons alors noter les processus qui vont modifier cet ordre en respectant les règles de construction du méta-modèle. Pour compléter cette analyse, il faut intégrer la politique de gestion par les processus de type « source » et « puits ». Avec cette phase 1.3

nous définissons l'interface entre le système et l'environnement. Enfin la phase 1.4 a pour objectif de déterminer le niveau de granularité pour la phase de modélisation à proprement parlé. En effet nous devons spécifier ici les valeurs des attributs d'un ordre en s'appuyant sur les flux définis précédemment. Nous choisissons ici quels processus auront leur comportement modélisé.

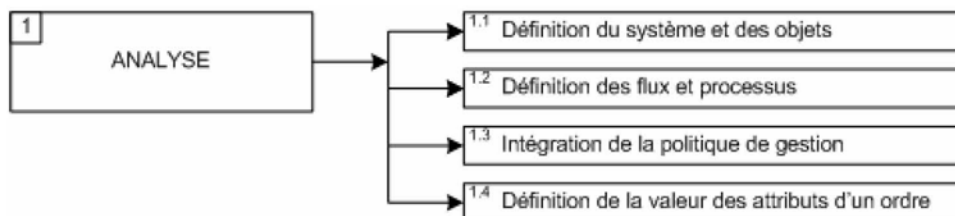


Figure 2-20 : Les étapes de la phase d'analyse

3.2.2. Phase de modélisation statique

La phase de modélisation correspond à la véritable étape d'instanciation du méta-modèle. Pour cela, il faut tout d'abord définir les grandes fonctions du système au travers de la construction du diagramme de cas d'utilisation (phase 2.1). L'étape de construction du diagramme de classes par instanciation du méta-modèle (phase 2.2) permet de spécifier les relations statiques entre les entités du système. Nous ne retrouvons dans ce diagramme que les classes stéréotypées du méta-modèle. De même il faut vérifier que les règles de composition et de précedence sont bien respectées. Enfin l'étape 2.3 permet, par exemple, d'ajouter des attributs aux classes, qui sont spécifiques au système étudié.

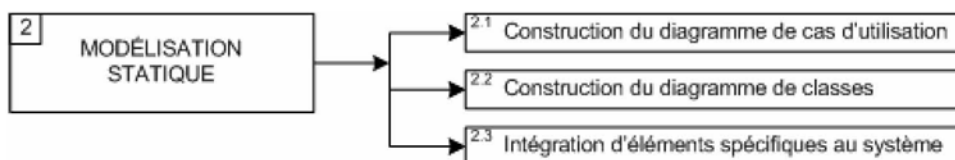


Figure 2-21 : Les étapes de la modélisation statique

3.2.3. Phase de modélisation dynamique

Enfin, la dernière phase permet de spécifier à la fois les échanges entre les entités mais aussi leur comportement. Il faut tout d'abord définir le diagramme d'états d'un ordre en correspondance avec la phase 1.4. Ensuite, nous construisons les diagrammes de collaboration (phase 3.2). On va définir ici les messages envoyés d'une entité à l'autre permettant d'activer l'opération correspondante. Le comportement interne des classes stéréotypées « *processus* » peut alors être spécifié via un diagramme d'états (phase 3.3).

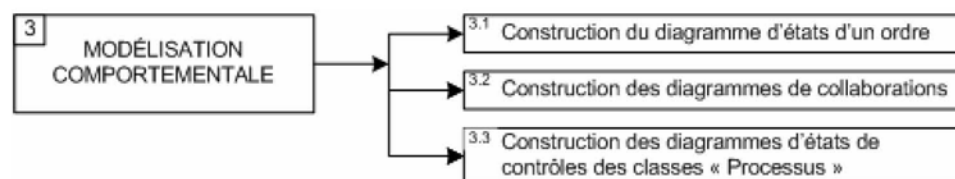


Figure 2-22 : Les étapes de la modélisation comportementale

3.3. Synthèse

Dans cette partie nous avons proposé un méta-modèle pour l'étude des systèmes d'approvisionnement. Ce méta-modèle repose sur les principes de la systémique que nous avons formalisés dans un langage objet. Un système d'approvisionnement est une boucle fermée ou ouverte, en fonction de sa politique de gestion, sur laquelle circulent des ordres. Ces ordres sont une représentation conceptuelle d'un bac de pièces qui peut exister réellement ou virtuellement : un bac de pièce à remplir (pour le Kanban, par exemple) ou une commande. Nous proposons ensuite des règles de construction d'un modèle permettant d'en assurer sa cohérence lors de l'instanciation des briques de base.

Notre proposition se veut générique dans le sens où nous proposons des entités simples du point de vue de leur conceptualisation. Ceci est motivé par les remarques que nous avons faites dans le premier chapitre. De par leur complexité, les systèmes d'approvisionnement ne peuvent être modélisés un à un, ce qui a fait émerger le besoin de formalisation d'un méta-modèle. Il doit maintenant pouvoir être instancié pour différents cas d'étude. Dans la suite de nos travaux, nous en montrons une application où nous allons appliquer la méthodologie proposée précédemment. Cependant, nous avons montré que ce méta-modèle peut être utilisé pour d'autres cas d'application, ce qui tendrait à prouver sa généralité. En effet, durant nos travaux de recherche (Petitjean, 2004) nous l'avons instancié pour modéliser le flux des containers de pièces dans le but d'en optimiser la dotation.

4. Un modèle de la chaîne logistique d'approvisionnement

PSA

L'objectif de cette partie est de montrer qu'il est possible de modéliser une chaîne logistique d'approvisionnement composée de plus de 300 fournisseurs et d'environ 5000 références de pièces. Pour ce faire, nous utilisons le méta-modèle que nous venons de proposer. L'instanciation de briques de base est essentielle puisqu'elle évite toute redéfinition du modèle. Si la configuration de la chaîne logistique change, alors il est facile de mettre à jour ce modèle. En effet les seules modifications seront effectuées au travers des attributs des entités du modèle (et donc au travers de données d'entrées d'un éventuel outil implémentant le modèle). Pour établir cette modélisation nous nous appuyons sur la méthodologie proposée dans la partie précédente.

4.1. Analyse du système

Dans cette section, nous proposons un modèle de la logistique d'approvisionnement d'une usine terminale. Nous débutons par une présentation de la relation client-fournisseur, puis nous utiliserons la représentation graphique systémique pour analyser un système d'approvisionnement élémentaire. Puis nous donnons une modélisation statique formalisée en UML de ce système et enfin la présentation de la dynamique entre les entités et leur comportement interne.

4.1.1. Définition du système et des objets

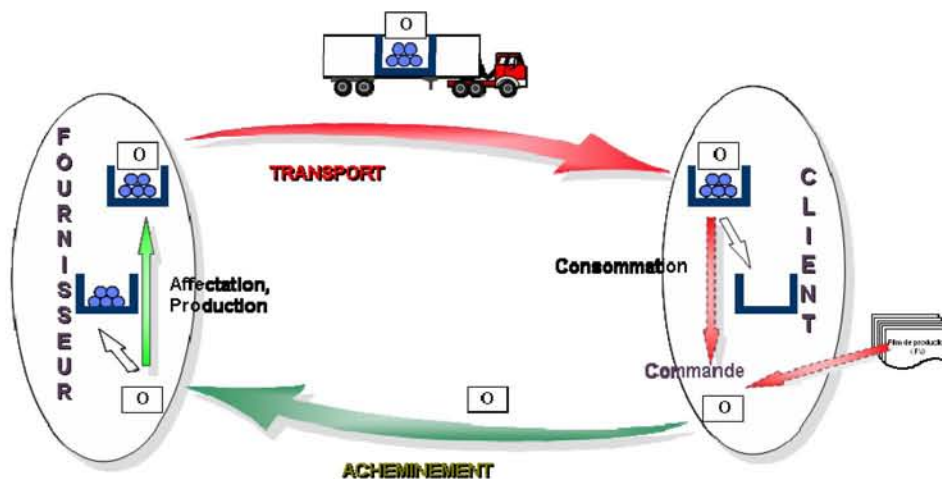


Figure 2-23 : Illustration d'un système d'approvisionnement élémentaire

4.1.1.1. Description

Un système d'approvisionnement réduit à sa plus simple expression peut être représenté par la Figure 2-23. A l'arrivée d'une commande, le fournisseur, dès qu'il est disponible, produit les pièces de la référence demandée, ou affecte la commande à un bac déjà prêt, et les conditionne dans des bacs ou Unités de Conditionnement (UC). Ces UC pleines sont ensuite stockées avant d'être transportées chez le client. Les bacs pleins sont de nouveau stockés en attente de consommation par le client.

Cela correspond à la relation classique entre un donneur d'ordre et un fournisseur. Cette description est commune à tous flux d'approvisionnement quelle que soit la politique de gestion adoptée.

4.1.1.2. Définition du système

Le système que nous voulons modéliser est constitué des flux des échanges entre le client et le fournisseur (l'envoi des commandes d'un côté et la livraison des pièces de l'autre). Le système est également composé des éléments internes à ces acteurs.

4.1.1.3. Définition des objets

Nous considérons que les objets modifiés par ce système sont des ordres. Nous considérons que lors de l'échange du client vers le fournisseur ce sont des ordres de fabrication (des commandes) pour le fournisseur. Lors de l'échange du fournisseur vers le client ce sont alors des caisses de pièces.

4.1.2. Définition des flux et processus

Pour cette approche d'analyse, nous considérons le système tel qu'il est représenté figure 2-23. Dans ce paragraphe nous utilisons les briques de bases ainsi que les règles de construction que nous avons énoncées dans le méta-modèle.

Chapitre 2

Proposition d'une modélisation pour l'évaluation des flux logistiques

Un système d'approvisionnement est composé de quatre sous-systèmes.

Les parties chez le client et le fournisseur sont deux flux de transformation. Par définition ils doivent être composés respectivement de deux processus de stockage, de deux processus de transport et d'un processus de transformation.

Chez le client nous trouvons les processus suivants, dans l'ordre du flux :

Stock avant Consommation	Le magasin de pièce au sein de l'usine terminale d'assemblage
Manutention avant Consommation	Le transport du bac plein par un manutentionnaire entre le magasin et le bord de ligne
Consommation	La consommation de pièces d'un bac par un ouvrier sur la ligne de montage
Manutention avant Acheminement	La transmission informatique de la consommation informatique
Stock avant Acheminement»	Le buffer informatique contenant le fichier des commandes avant sa transmission au fournisseur

Tableau 2-4 : Définition des processus d'un client

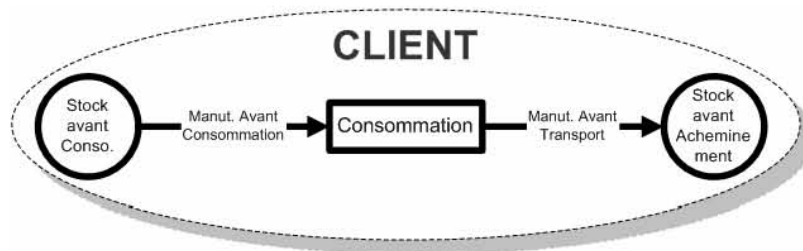


Figure 2-24 : Représentation systémique du Client

Chez le fournisseur nous trouvons les processus suivants, dans l'ordre du flux :

Stock avant Affectation	Le buffer informatique du fournisseur accumulant les commandes à traiter
Manutention avant Affectation	Le transport de l'ordre vers le stock de bacs pleins
Affectation	Le positionnement d'un ordre sur un bac de pièces plein
Manutention avant Transport	Le transport du bac de pièces vers les quais de chargement
Stock avant Transport	Les quais de chargement des camions chez le fournisseur

Tableau 2-5 : Définition des processus d'un fournisseur

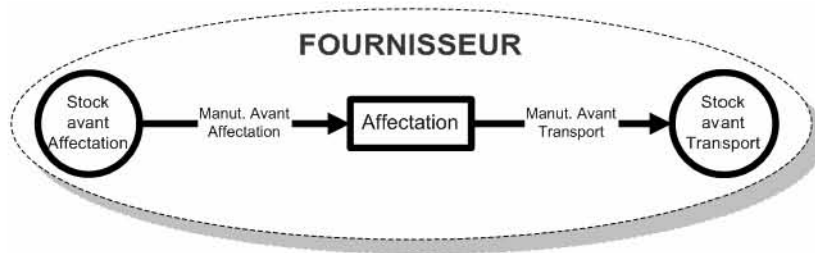


Figure 2-25 : Illustration systémique du Fournisseur

De plus le fournisseur et le client sont connectés via deux processus de modification de la caractéristique d'espace des ordres.

Le processus d'« Acheminement » qui déplace les ordres vides du client vers le fournisseur.

Le processus de « Transport » qui déplace des bacs pleins du fournisseur vers le client.

Ainsi un flux simple d'approvisionnement peut être représenté graphiquement comme sur la figure suivante.

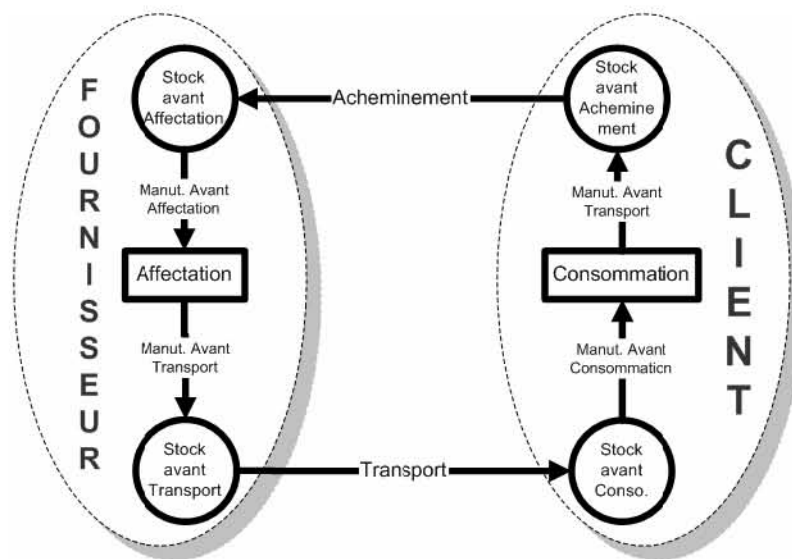


Figure 2-26 : Première représentation systémique d'un système d'approvisionnement

4.1.3. Intégration des politiques de gestion

Le nombre d'ordres dans le système n'est pas toujours constant. Il est alors nécessaire de définir des processus qui sont à la frontière du système où il sera possible d'intégrer la politique de gestion du système (MRP, Sparte, Kanban,...). En effet, ces processus font le lien entre l'environnement et le système avec la prise en compte à la fois des données internes (endogènes) au système (niveaux de stock) et des données externes (exogènes) au système (besoins en composants).

Par exemple, dans le cas d'une politique Recor, le nombre d'ordres est stable au cours du temps ; dès que le bac est vide, il devient une commande prête à être transmise au fournisseur. Alors que dans le cas d'un politique Sparte, les commandes sont calculées périodiquement et une fois que le bac est consommé, l'ordre associé est détruit.

Nous intégrons donc à ce stade de la modélisation deux nouveaux processus dans notre modèle. Un processus de type « *Source* » et un processus de type « *Puits* ». Nous décidons que ces processus sont placés chez le Client. En effet, nous sommes dans un contexte de production en flux tirés. Il est donc normal que ce soit le client qui gère le nombre d'ordres dans le système. Cette hypothèse est vraie dans notre cas d'étude car les Systèmes d'Ordres appartiennent à PSA. Nous pouvons alors modéliser totalement une relation entre un client et un fournisseur de la manière suivante.

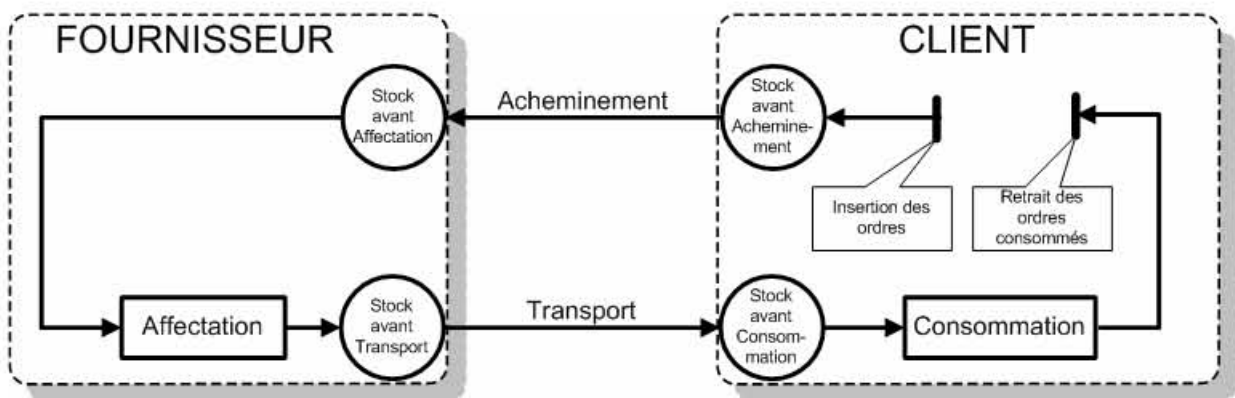


Figure 2-27 : Représentation systémique d'un flux élémentaire d'approvisionnement

Nous pouvons remarquer que pour certaines études, il est nécessaire de dissocier les flux de commandes (informationnels) des flux physiques. Ceci est possible en intégrant des processus de transmutation qui permette de les dissocier. Nous en avons montré leur utilisation dans (Villeminot *et al*, 2003). Elle permet d'étudier simultanément un système d'approvisionnement (flux d'approvisionnement et flux informationnel associé) et le circuit de retour des vides (*cf* figure 2-28). Dans le cas où les conteneurs coûtent chers, il peut être intéressant, après une phase d'optimisation de la dotation (pour minimiser l'investissement) d'étudier l'impact du circuit de retour des bacs sur vides sur le circuit d'approvisionnement (pénurie de bacs chez le fournisseur).

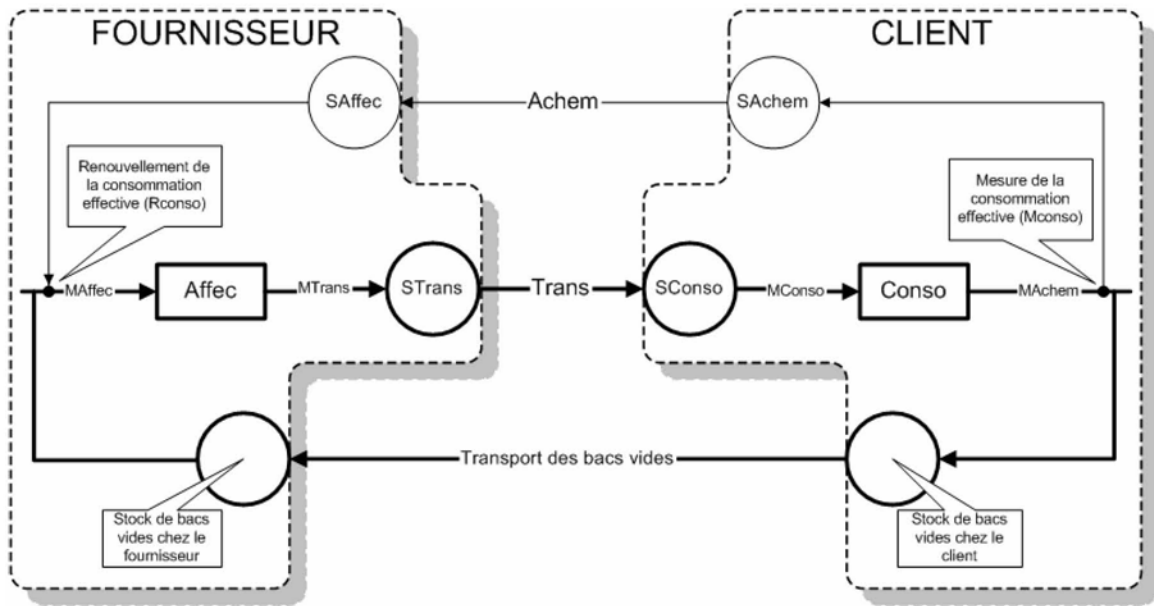


Figure 2-28 : Représentation systémique d'un flux d'approvisionnement et du circuit de retour des bacs vides associé

4.1.4. Définition de la valeur des attributs d'un ordre

Nous définissons les valeurs des attributs d'un ordre en suivant son parcours dans le système. Dans un repère où l'attribut d'espace est en abscisse et l'attribut de temps en ordonnée, une partition en huit zones apparaît. La figure 2-29 correspond à une représentation d'un système d'approvisionnement mise en relation avec les valeurs des attributs d'un ordre.

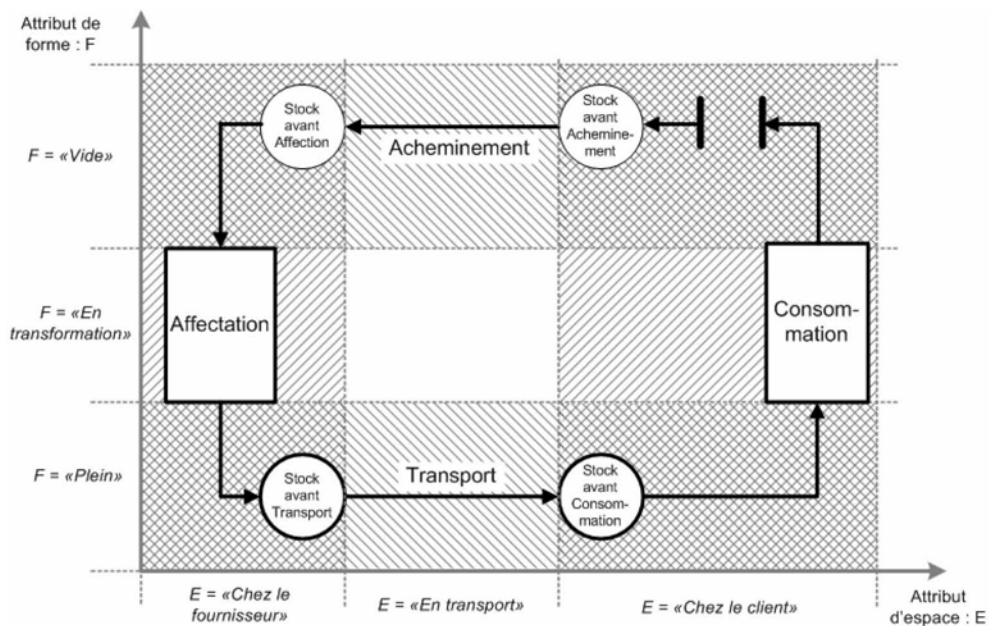


Figure 2-29 : Représentation systémique et valeurs des attributs d'un ordre

Nous voyons ici que nous considérons qu'un ordre est soit chez le fournisseur, soit chez le client ou soit en transport. Ce qui signifie que nous choisissons de ne pas modéliser le comportement des processus de manutention entre les stocks et le processus de consommation. Ceci est motivé par le fait que ce temps peut être considéré comme négligeable dans notre cas. D'autre part, ce temps peut être assimilé à une constante et donc pour connaître l'instant exact de consommation du bac dans le stock amont, il suffit de recalculer l'instant de consommation du bac relativement au processus de consommation.

Dans ce paragraphe nous venons d'analyser la composition d'un système d'approvisionnement élémentaire. Cette démarche a été permise par l'instanciation du méta-modèle. Pour poursuivre la modélisation de notre système, il nous faut maintenant spécifier les liens statiques entre les entités du système.

4.2. Modélisation statique

4.2.1. Construction du diagramme de cas d'utilisation

La première étape de la modélisation est la définition du système et de ses relations avec l'environnement extérieur. Cette description est purement fonctionnelle. La boucle d'approvisionnement est composée de cinq cas d'utilisation : « *Affecter, Produire* », « *Consommer* », « *Commander* », « *Acheminer* » et « *Transporter* ». Les acteurs de l'environnement qui agissent sur le système sont un « *Fournisseur* », un « *Client* », un « *Moyen d'acheminement* » et un « *Moyen de transport* ». Un diagramme de cas d'utilisation est utilisé pour décrire les interactions entre les acteurs de l'environnement et les cas d'utilisation du système.

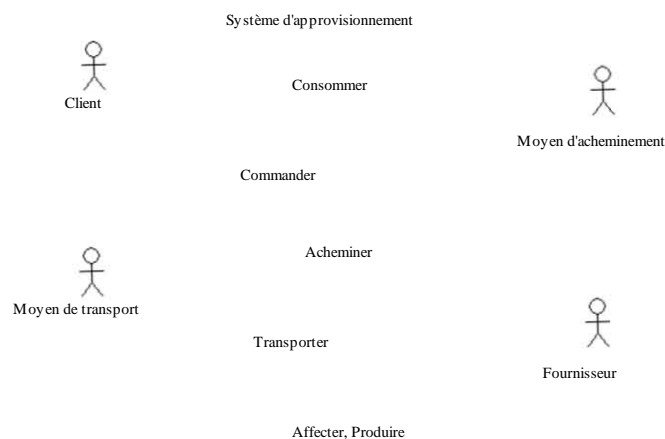


Figure 2-30 : Diagramme de cas d'utilisation d'un système d'approvisionnement

Une fois le système défini, il convient de préciser les interactions entre les acteurs pour chaque cas d'utilisation. UML fournit les diagrammes de classe pour la spécification des liens statiques entre les éléments du système. UML fournit également les diagrammes de collaborations permettant de montrer les messages échangés entre les entités du système.

Nous allons dans un premier temps expliciter les liens statiques en instanciant le méta-modèle que nous avons proposé. Puis nous établirons une modélisation dynamique de notre système.

4.2.2. Construction du diagramme de classes

4.2.2.1. Le système

Spécification des liens

Un système d'approvisionnement modifie les caractéristiques d'ordres. Celui que nous considérons peut être géré suivant deux types de politique : Recor ou Sparte. Dans le cas du Recor, il n'existera pas de processus de commande ni de processus de retrait d'ordres, contrairement à une politique Sparte. Par conséquent, il peut exister au maximum un processus de retrait et au maximum un processus de commande.

Un système d'approvisionnement est également composé de deux flux de transformation, l'un *client* et l'autre *fournisseur*, et de deux flux de transport, l'un *achemineur* et l'autre *transporteur*.

Spécification des attributs

Un système d'approvisionnement se caractérise par :

- ◆ un système d'ordres (SO) : il s'agit de la politique de gestion.
- ◆ une consommation moyenne journalière (CMJ) du composant : il s'agit d'une donnée prévisionnelle qui permet le dimensionnement.
- ◆ une Unité de Conditionnement (UC) : il s'agit du nombre de pièces contenues dans un bac.

Un première vue du diagramme de classes est donnée figure 2-31.

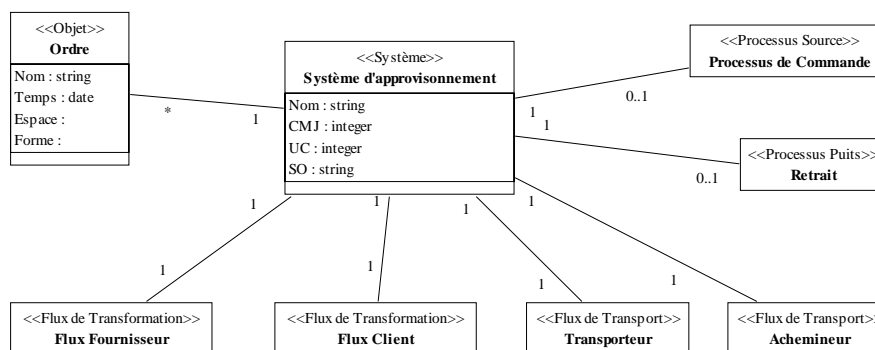


Figure 2-31 : Les entités en lien avec la classe "Système d'approvisionnement"

4.2.2.2. Les flux de transformation

Pour instancier les flux de transformation, nous suivons les règles énoncées dans le méta-modèle. Ainsi le flux fournisseur est composé :

- ◆ D'un stock amont
- ◆ D'une manutention amont
- ◆ Du processus d'affectation ou de production
- ◆ D'une manutention aval
- ◆ D'un stock aval

En ce qui concerne le flux client nous retrouvons le même schéma avec le processus de consommation. Par contre, c'est dans ce flux que nous rajoutons les processus de retrait et de commande.

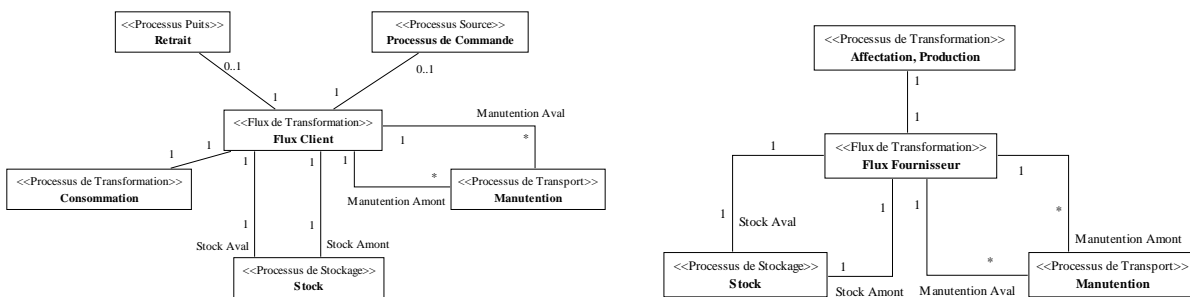


Figure 2-32 : les entités en lien avec les classes "Flux Client" et "Flux Fournisseur"

4.2.2.3. Les flux de transport

Nous appliquons la même démarche pour les flux de transport qui sont composés :

- ◆ D'un stock amont
- ◆ Du transport (respectivement de l'acheminement)
- ◆ D'un stock aval

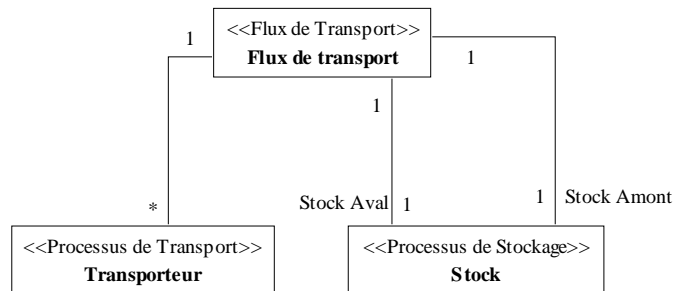


Figure 2-33 : les entités en lien avec les classes "Flux de transport"

4.2.2.4. Diagramme de classes d'un système élémentaire d'approvisionnement

Nous pouvons maintenant construire entièrement le diagramme de classes d'un système élémentaire d'approvisionnement d'une usine terminale. Ce diagramme qui va nous permettre de faire autant d'instanciation des différentes entités qu'il y a de flux logistiques (de système d'approvisionnement) à étudier. Pour une usine terminale, il faut entre 3500 et 5000 instances d'un système d'approvisionnement pour modéliser toute la logistique d'approvisionnement.

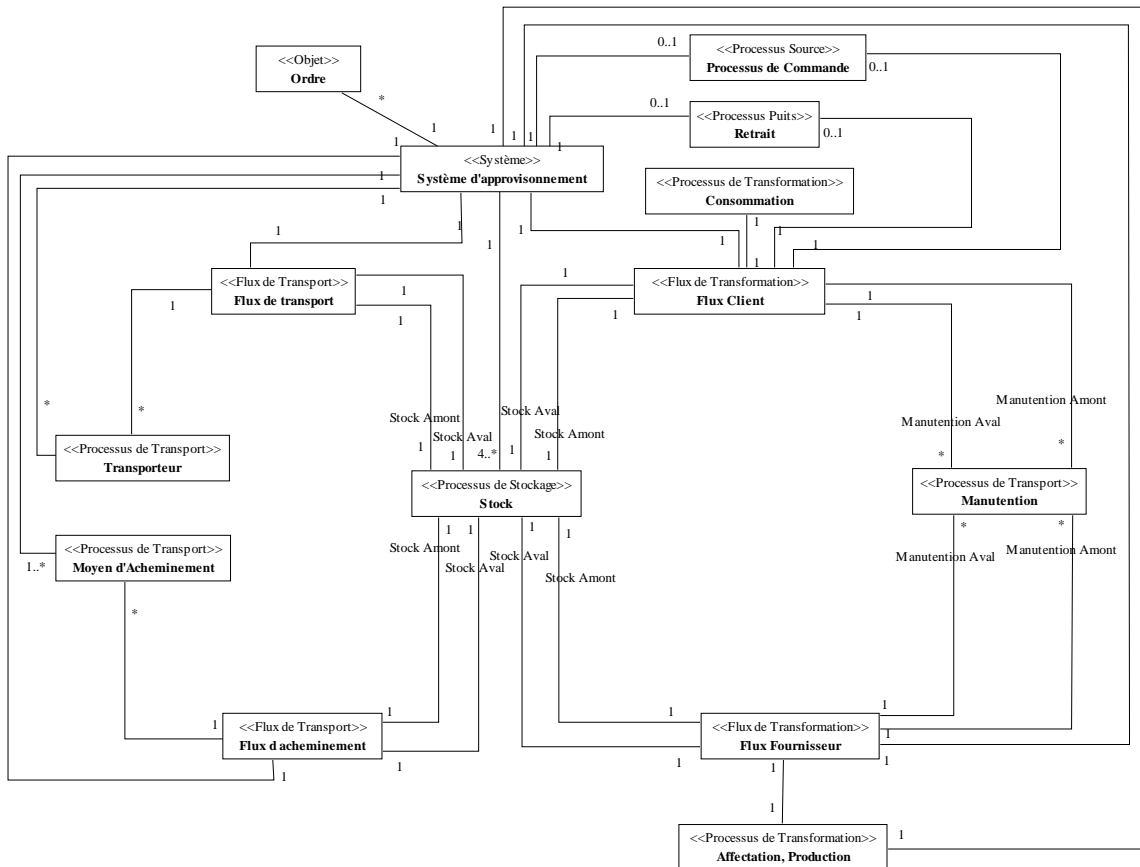


Figure 2-34 : Diagramme de classes d'un système élémentaire d'approvisionnement

4.3. Modélisation comportementale

L'étape suivante de la modélisation d'un système d'approvisionnement est la définition du comportement du système. Ceci consiste tout d'abord en la définition des valeurs des attributs des ordres. Grâce à cette analyse, nous décrivons le degré de granularité considéré pour la suite de la modélisation. Ensuite, il est nécessaire de décrire les échanges entre les entités du système en utilisant les diagrammes de collaboration. Enfin, le comportement propre à chaque entité est spécifié à l'aide des diagrammes d'états.

4.3.1. Construction du diagramme d'états d'un ordre

D'après le paragraphe 4.1.4, la figure 2-35 représente un plan (E, F) correspondant aux valeurs des attributs d'Espace et de Forme prises par un ordre lorsqu'il parcourt le système. Ces valeurs déterminent les différents états d'un ordre, formant également un plan fini de huit duets de la forme {E, F}. Les transitions sont validées par des messages transmis par les processus.

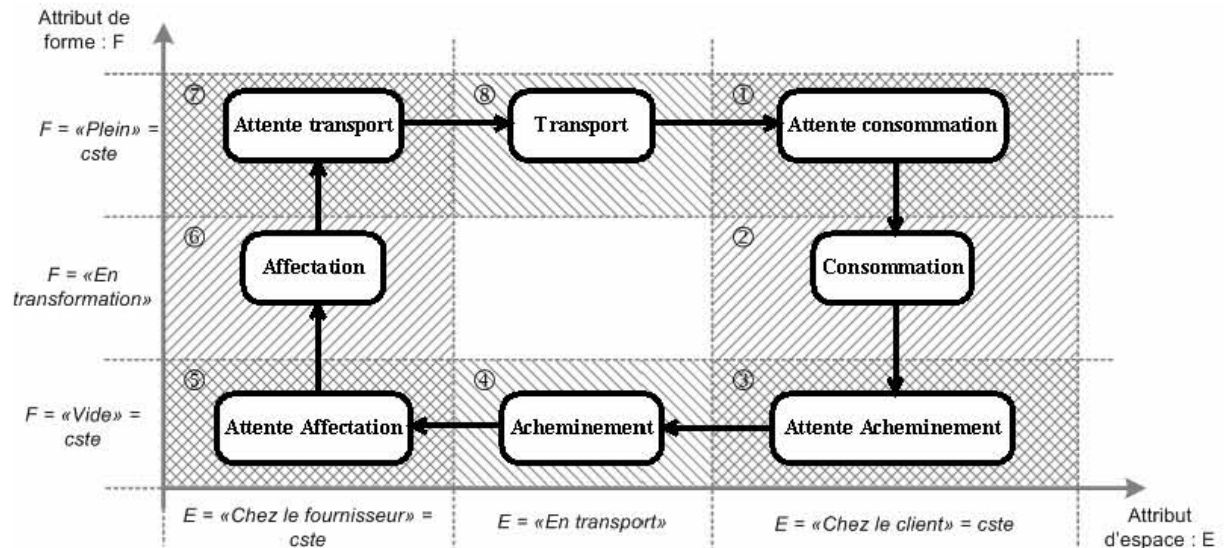


Figure 2-35 : Diagramme d'états d'un ordre

Un système d'approvisionnement est composé de N ordres. La somme des ordres dans chaque état à un instant t fournit l'état du système à cet instant. L'état d'un objet à un instant donné est l'ensemble des valeurs de tous ses attributs variables (Espace et Forme). L'état instantané du système est donné par l'ensemble des états de tous les objets à cet instant. La dynamique du système (évolution de l'état) va être représentée par la logique de fonctionnement du système c'est-à-dire des mécanismes plus ou moins complexes qui vont déclencher et caractériser les activités. Les événements correspondent donc aux changements d'état.

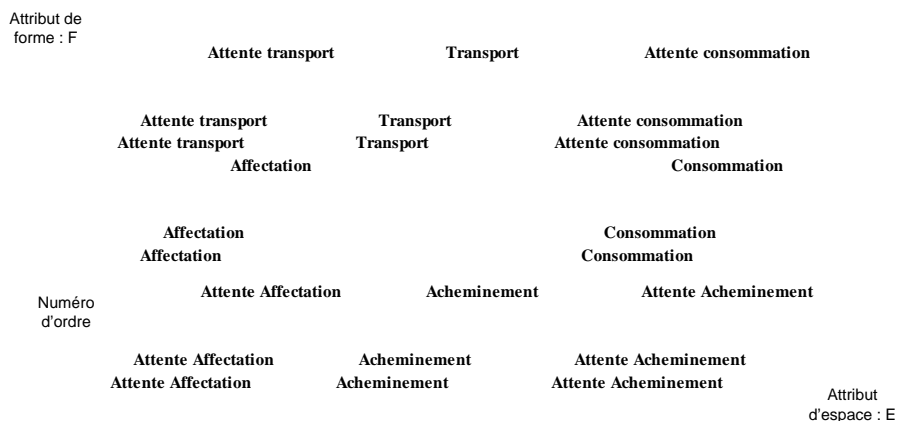


Figure 2-36 : Composition d'un système d'approvisionnement à N ordres

4.3.2. Construction des diagrammes de collaboration

Cette partie a pour objectif de préciser les relations dynamiques entre les classes composant un système d'approvisionnement lors de la réception d'un message demandant l'activité du processus.

Les diagrammes de collaboration précisent les liens entre les entités du système (ce sont des objets en UML ou des instances de classes). Chaque lien porte l'intitulé du message envoyé ou le nom de l'opération invoquée. Ces messages sont séquencés par des numéros (par exemple : 1 puis 1.1 puis 1.2 puis 2). Une contrainte dénommée « *lié* » est utilisée pour montrer que lorsqu'un des messages est envoyé, alors les autres sont également envoyés simultanément.

Nous ne montrons ici qu'un exemple d'application de la méthodologie ainsi pour faciliter la lecture nous ne développerons que le cas d'utilisation « *Consommer* ». Les autres diagrammes de collaboration peuvent être consultés dans l'annexe 1.

Nous avons adopté la démarche suivante : nous décrivons la séquence des opérations en langage naturel puis nous proposons une modélisation nous permettant de construire le diagramme de cas d'utilisation. Ces étapes sont représentées par les colonnes du tableau 2-6.

4.3.2.1. Exemple du cas d'utilisation « *Consommer* »

Sq	Réalité	Modélisation
1	Lorsqu'un véhicule arrive au point de monte de la référence considérée,	Lorsque le système d'approvisionnement demande la consommation d'une pièce,
1.1	l'opérateur vérifie que la pièce doit être montée sur ce véhicule.	le processus de consommation est activé (par l'appel de la fonction « <i>Demande d'activité</i> »).
1.1.1 & 2	Si il n'y a pas de bac entamé, l'opérateur entame un nouveau, puis l'opérateur monte la pièce sur le véhicule,	S'il n'y pas d'ordre en cours de consommation alors le processus de consommation invoque l'opération de fin d'activité du stock amont et le système met à jour les attributs de l'ordre. L'opération Début d'activité de la consommation est activée,
1.1.2 & 3	enfin si le bac est vide, il informe qu'un bac vient d'être vidé (par une étiquette ou par un pointage du code-barres).	enfin si l'ordre en cours de consommation est vide, alors le processus de consommation active l'opération « <i>Début d'activité</i> » du stock aval et le système met à jour les attributs de l'ordre.

Tableau 2-6 : Description du cas d'utilisation "Consommer"

Dans ce paragraphe nous avons proposé une modélisation des interactions entre les classes, entités composantes d'un système d'approvisionnement. Cela permet de spécifier les interactions entre ces classes. Afin d'achever la modélisation entière du comportement du système, il faut maintenant spécifier le comportement interne de chacune de ces entités.

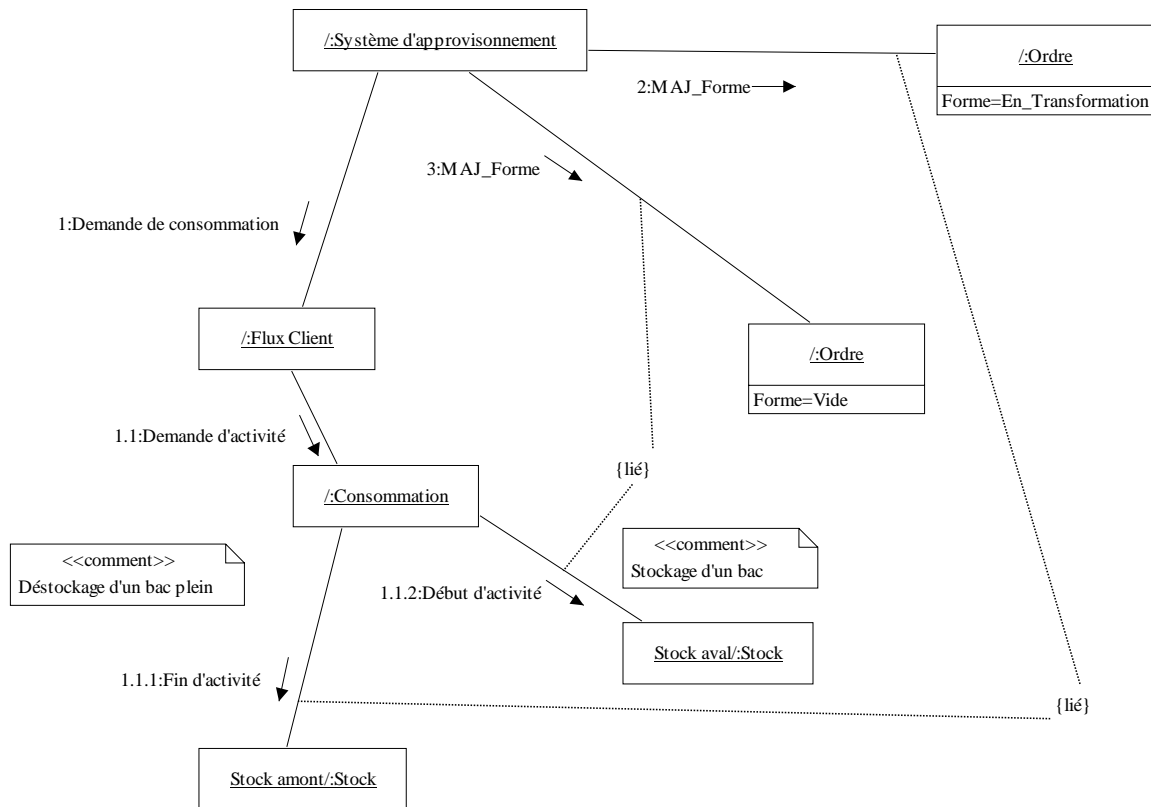


Figure 2-37 : Diagramme de collaboration du cas d'utilisation « Consommer »

4.3.3. Diagrammes d'états de contrôle des classes

La dernière phase de la modélisation d'un système d'approvisionnement est maintenant abordée. Le comportement interne des entités d'un système d'approvisionnement doit être précisé. Pour ce faire nous utilisons les diagrammes d'états fournis par UML. Ils nous permettent de décrire l'enchaînement des états d'une classe ainsi que les événements validant une transition.

Nous ne préciserons pas ici les diagrammes de contrôle de toutes les classes, nous aborderons simplement à titre d'exemple celui de la classe « *Consommation* » nous montrons le diagramme d'états résultant sur la figure ci-après. L'annexe 2 donne le détail du fonctionnement interne des classes.

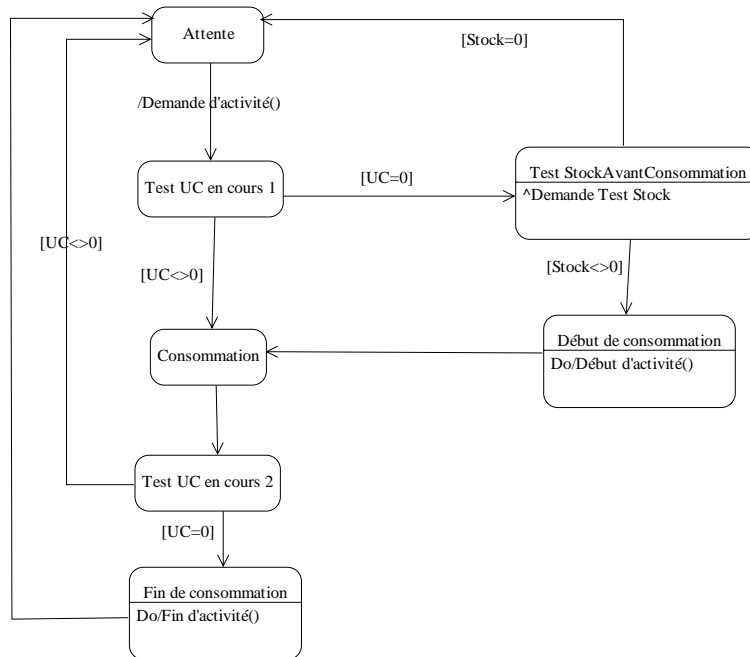


Figure 2-38 : Diagramme d'états de contrôle de la classe "Consommation"

4.4. Synthèse

L'objectif de cette partie était de proposer une modélisation de la chaîne logistique d'approvisionnement spécifique au groupe PSA. Pour ce faire nous avons instancié le méta-modèle proposé précédemment. En suivant la méthodologie de la section 3.2, nous sommes parvenu à établir cette modélisation. Nous avons tout d'abord analysé et décomposé un système d'approvisionnement élémentaire puis nous en avons modélisé les liens statiques entre ses entités. La dernière phase a permis de spécifier les échanges dynamiques entre les entités ainsi que leur comportement. Nous avons donc une modélisation statique et comportementale de la logistique d'approvisionnement.

Afin de poursuivre notre démarche d'amélioration de la logistique d'approvisionnement, il est nécessaire de se doter d'un système d'indicateurs pertinents.

5. Evaluation de performances

Après avoir défini ce que nous entendons par *évaluation de performances* nous proposons dans cette partie un système d'indicateurs pertinents pour le problème qui nous est posé.

5.1. La mesure des performances d'une chaîne logistique

La performance d'un système industriel ne trouve pas une définition unique. Elle dépend notamment du cadre dans lequel elle s'inscrit. Comme le remarquent Marcon *et al* (2003), elle peut être *performance-résultat* (un exploit, un résultat remarquable), *performance-meilleur résultat* (le record

d'un sportif), *performance-résultat idéal* (résultat obtenu par un matériel), et *performance-action* (une représentation théâtrale). Cependant Bourguignon (1995), en se plongeant dans le domaine des sciences de gestion, déduit que la performance dépend d'un objectif, qu'elle peut être multidimensionnelle (si elle dépend de plusieurs objectifs) et qu'elle est un sous-ensemble de l'action (car elle en est son résultat et qu'elle n'existe pas sans l'action). Et si maintenant nous considérons notre domaine (les sciences de l'ingénieur), la notion de performance n'est pas définissable globalement : chaque travail définit la performance qu'il considère et il est rare de trouver des travaux sans l'évaluation d'une performance.

Nous voyons donc qu'il est nécessaire d'une part de définir précisément la performance que nous cherchons à évaluer dans un souci, d'une part de communication, et d'autre part de bonne compréhension.

La chaîne logistique d'approvisionnement d'une usine terminale automobile constitue le périmètre de nos travaux. Idéalement la finalité de nos travaux devrait permettre l'évaluation de la performance de tous les éléments de ce périmètre. Cette remarque introduit la différenciation entre la performance locale et la performance globale. En effet dans notre contexte la performance de chaque entité (voire de chaque fonction des entités) n'a de sens que si elle permet d'atteindre le niveau requis pour la performance globale du système (Ducq *et al*, 2003). C'est d'ailleurs ce que tend à démontrer Goldratt dans *Le but* (Goldratt, 1993) et qui peut se résumer par : la somme des optimums locaux n'est pas égale à l'optimum global.

Lorsque la problématique de la modélisation d'une chaîne logistique est abordée sous l'angle de l'évaluation de performances les indicateurs utilisés peuvent être (Rota-Frantz *et al*, 2001) :

- ◆ Le taux de service client (pourcentage des commandes satisfaites)
- ◆ Le délai moyen nécessaire pour satisfaire une commande
- ◆ Le niveau moyen des stocks (par produit et par zone de stockage)

Dans un état de l'art dressé par Persson *et al* (2002) sur l'évaluation de performance de la chaîne logistique, on peut distinguer deux catégories d'indicateurs : les coûts et le temps de réponse du fournisseur. Cependant, pour évaluer une performance globale d'une chaîne logistique, il nous semble que ces deux aspects sont insuffisants et qu'il est plus pertinent de considérer la valeur primitive ou élémentaire des indicateurs. Par exemple, un stock engendre des coûts, mais la valeur primitive qui doit être mesurée est le niveau du stock (qu'il soit minimum, moyen ou maximum). Dans ce sens la Biswas *et al* (2004) proposent une typologie des performances mesurables d'une chaîne logistique.

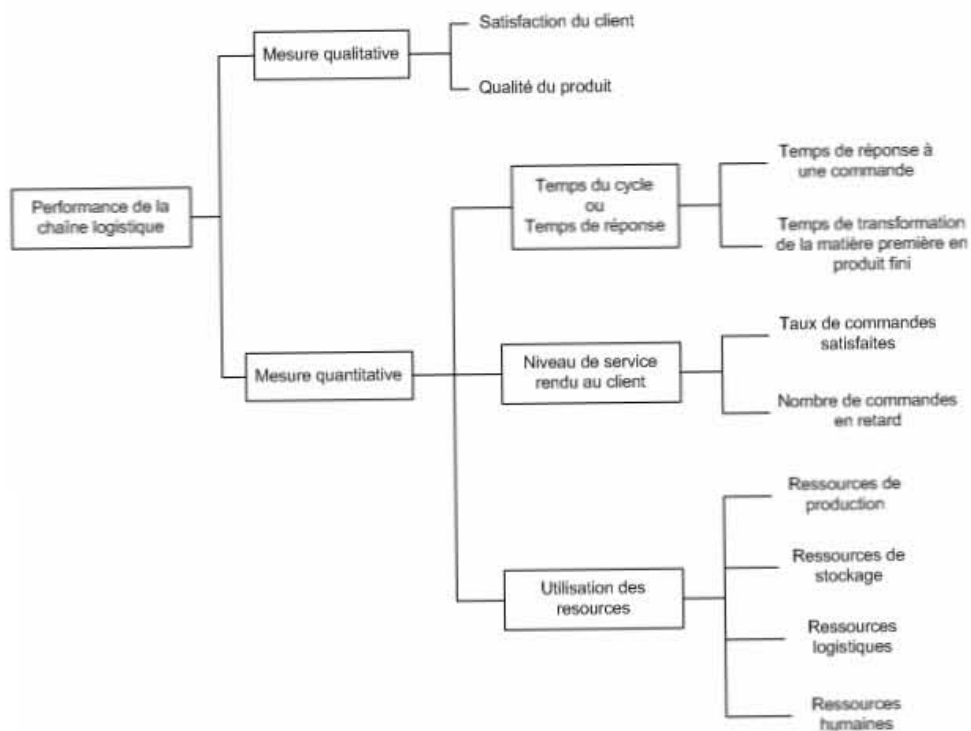


Figure 2-39 : Classification de la performance mesurée d'une chaîne logistique d'après (Biswas et al, 2004)

En nous appuyant sur cette classification (figure 2-39), nous montrons dans la partie suivante quels pourraient être les indicateurs reflétant la performance de notre système logistique. Nous nous focaliserons sur des mesures quantitatives. Des mesures qualitatives nous semblent difficiles à implémenter dans le cadre d'une simulation informatique

5.2. Mesure quantitative des performances de notre système

Le périmètre de notre étude, et donc du modèle que nous proposons, concerne la logistique d'approvisionnement d'une Usine Terminale de montage automobile. Plus précisément il s'agit de toutes les relations donneur d'ordres–fournisseurs modélisées dans la partie précédente. Pour construire notre système d'indicateurs globaux, il faudra définir des indicateurs sur chacun des acteurs participant à la relation et donc pouvant être candidat à une amélioration de la performance de la logistique d'approvisionnement.

5.2.1. Temps de réponse

Le temps de réponse de notre système peut être mesuré d'une manière globale : il correspond au temps entre l'émission d'une commande vers le fournisseur et la réception du produit fini chez le client.

L'objectif ici est de minimiser ce temps de réponse et donc de minimiser chacun des temps élémentaires. Dans notre cas, ce temps correspond en fait au préavis de commande, c'est-à-dire au

temps accordé contractuellement au fournisseur pour satisfaire la commande de l'usine terminale. Avec une vue opérationnelle, l'objectif est de respecter ce délai, mais avec une vision stratégique, on cherche à le réduire dans un souci d'amélioration de la flexibilité et de la réactivité.

5.2.2. Niveau de service rendu au client

Dans le contexte de la construction automobile une des facettes du niveau de service rendu au client final est le respect du délai de livraison annoncé à la commande du véhicule. Ce respect se décline tout au long de la chaîne logistique et donc en usine terminale. Il est alors essentiel que la date et l'heure de fabrication de chaque véhicule soient respectées. Dans notre périmètre, cela équivaut à dire que tous les composants du véhicule doivent être présents au moment où ils se présentent au point de montage. Sinon le véhicule doit être retouché en fin de ligne et le délai de fabrication n'est plus respecté. Ainsi le niveau de service peut être mesuré de manière globale en comptabilisant le nombre de véhicules incomplets, et de manière locale en comptabilisant le nombre de ruptures de stock pour chaque référence.

5.2.3. Utilisation des ressources

Les ressources d'un système peuvent être de natures différentes : celles où on ajoute de la valeur au produit, celles qui le transportent et celles qui le stockent. Avec des ressources de production on va chercher à maximiser le temps de travail : mesure ratio entre le temps de travail effectif et le temps d'ouverture. Sur des ressources de transport on va chercher à maximiser le taux de remplissage de chaque moyen de transport. Par contre avec des ressources de stockage, on va bien évidemment minimiser le remplissage des stocks.

5.3. Construction du système d'indicateurs

Le groupe PSA, n'est pas encore entré entièrement dans une démarche d'intégration de tous les acteurs de la chaîne logistique. La relation qui unit PSA et un fournisseur est purement contractuelle : PSA s'engage à respecter un certain niveau de commandes sur différents horizons et le fournisseur en contre partie s'engage à respecter les délais et la qualité des livraisons en usine terminale, avec l'organisation du transport à la charge du fournisseur. Cette remarque réduit le champ d'action de nos travaux. Nous nous concentrerons essentiellement à optimiser le fonctionnement des entités dont le groupe PSA peut modifier des leviers d'actions.

De plus à l'origine de nos travaux une question avait été posée sur la possibilité de réduire le niveau des stocks en Usine Terminale tout en garantissant le même nombre de véhicules complets. Cette problématique s'intègre au sein d'objectifs globaux du groupe, à savoir la réduction de tous les types de stocks et l'augmentation du nombre de véhicules bons directement en sortie de ligne. Nous devons

alors construire pour répondre au problème posé, un système d'indicateurs pertinents et prenant en compte cette double dimension.

5.3.1. Indicateurs élémentaires

5.3.1.1. Indicateurs de niveau de service

Pour la qualité de service rendue en usine terminale, nous avons utilisé deux types d'indicateurs : le nombre de rupture et le taux de service véhicule

Taux de service pièce (TSpc)

L'indicateur « *Taux de service pièce* » est évalué par chaque composant considéré. Sa valeur est incrémentée lorsque le stock du composant est nul alors qu'un véhicule entrant sur la ligne de montage consomme ce composant ; il est donc égal au nombre de ruptures de stock du composant. L'objectif est de tenir disponible des pièces en stock pour répondre à toutes les demandes en composants de la ligne.

Taux de service véhicule (TSvh)

Le taux de service véhicule est un indicateur global, dans le périmètre que nous considérons. Il est calculé par le ratio entre le nombre de véhicules ayant reçu tous ses composants (ou le nombre de véhicules incomplets) et le nombre de véhicules total sur l'horizon considéré. Il est donc exprimé en pourcentage.

$$TSvh = 1 - \left(\frac{Nb_véhicules_incomplets}{Nb_véhicules_total} \right) = \frac{Nb_véhicules_complets}{Nb_véhicules_total}$$

Lien entre TSpc et TSvh

Nous pouvons quantifier le lien entre le taux de service pièce et le taux de service véhicule avec des considérations probabilistes. Si quatre pièces à assembler ont un *TSpc* de 99% alors la probabilité de pouvoir les assembler est de 96%, soit $(0.99)^4$. Ceci nous conduit à dire, en considérant une probabilité identique de présence pour toutes les pièces que :

$$TSvh = (TSpc)^{nb\ de\ familles}$$

« *Nb de familles* » est égale au nombre de familles de composants gérées dans l'usine terminale.

Un objectif du groupe est d'obtenir un taux de service véhicule (*TSvh*) égale à 99%. En estimant qu'il existe environ un millier de familles de pièces alors il est nécessaire d'assurer un taux de service de 99,999% pour chaque référence, ce qui représente environ 3300 ruptures de stock pour une année de production (221 jours ouvrés et 1500 véhicules/jour) !

5.3.1.2. Indicateurs d'utilisation des ressources de stockage

Indicateurs locaux

Pour la valeur des stocks en usine terminale, il est nécessaire de mesurer des indicateurs élémentaires. Il faut alors mesurer pour chaque référence, le nombre de pièces minimum, moyen et maximum. Par la suite nous nous intéresserons essentiellement au niveau de stock moyen pour la référence i considérée. Nous le notons $Smoy_i$.

Indicateurs globaux

Pour construire des indicateurs globaux (du stock total en usine terminale), il est nécessaire de se rapporter à une unité de référence ; les différents composants sont hétérogènes en terme d'encombrement, de taux de consommation ou de prix. Il n'est donc pas possible de sommer un nombre pièces, il faut se rapporter à une unité homogène. Dans ces conditions celle qui est la plus généralement admise est l'unité monétaire. Ainsi pour construire un indicateur global de niveau de stock nous pouvons considérer le stock moyen valorisé de chaque référence, qui est la somme pondérée par le prix des stocks moyens en nombre de pièces.

Soit :

- ◆ $Smoy_i$, le stock moyen de la référence i , en nombre de pièces.
- ◆ $SVmoy_i$, le stock moyen valorisé de la référence i , en Euros.
- ◆ α_i , le prix unitaire de la référence i , en Euros.
- ◆ I_{SV} , l'indicateur de stock total moyen valorisé à l'usine terminale, en Euros.

Alors :

$$I_{SV} = \sum_i SVmoy_i = \sum_i \alpha_i \cdot Smoy_i$$

Cependant, une seconde unité homogène et additionnable peut être considérée : le volume d'encombrement des stocks. De la même manière que précédemment, nous construisons l'indicateur I_{SVol} , l'indicateur d'encombrement volumique du stock total, en mètre cube.

Soit :

- ◆ $Smoy_i$, le stock moyen de la référence i , en nombre de pièces.
- ◆ $SVolmoy_i$, l'encombrement volumique moyen du stock de la référence i , en m^3 .
- ◆ UC_i , l'Unité de Conditionnement ou le nombre de références contenues dans un bac de pièces de la référence i , en nombre de pièces.
- ◆ Vol_i , le volume du bac de pièces de la référence i , en m^3 .
- ◆ I_{SVol} , l'indicateur d'encombrement volumique du stock total à l'usine terminale, en Euros.

Alors :

$$I_{SVol} = \sum_i SVolmoy_i = \sum_i \frac{Vol_i}{UC_i} Smoy_i$$

5.3.2. Indicateurs de coût

5.3.2.1. Coût de rupture

Le coût de rupture de stock est difficilement quantifiable. En effet celui-ci est dépendant de la criticité de la pièce. Ce critère peut être qualifié par :

- ◆ La position dans la gamme du point de monte de la pièce : une pièce montée en début de gamme peut interdire toute la suite du montage, comme les faisceaux par exemple. Dans ce cas il faudrait valoriser le coût de la reprise du véhicule en sortie de ligne.
- ◆ L'impact sur le flux principal de véhicule : Afin de pallier le manque de pièces, une décision de blocage peut être prise. Elle peut engendrer notamment une prise de retard ou des violations de contraintes et donc une augmentation de la charge des postes. C'est sur ce point que la valorisation est complexe, des travaux au sein du groupe sont d'ailleurs en cours afin de tenter d'évaluer économiquement le coût de la violation d'un critère d'ordonnement.

Ainsi pour garder, une valeur explicite, nous nous contenterons de mesurer le nombre de ruptures sur chaque référence de pièce ainsi que le taux de service véhicule.

5.3.2.2. Coût de détention ($C_{dét}$)

Les stocks de composants sont des capitaux qui sont gelés et qui interdisent à l'entreprise de les faire fructifier dans un autre actif. Il faut donc définir un coût dépendant de deux facteurs :

- ◆ Un taux reflétant le manque à gagner dû à l'immobilisation d'une unité monétaire pendant un an, généralement appelé « *Taux de détention* » ou « *Taux d'opportunité* »
- ◆ Une somme monétaire moyenne immobilisée pendant un an.

Si le deuxième facteur est facilement identifiable (nous venons de le définir auparavant), le premier est plus complexe et plus subjectif. *Ce taux doit correspondre à la rentabilité de l'investissement le plus rentable que l'entreprise n'a pu réaliser faute de moyens financiers* (Giard, 2003). Pour l'heure nous le noterons $T_{dét}$ et nous en donnerons une valeur lors de l'application industrielle dans le chapitre 4. Le coût de détention est exprimé comme suit :

$$C_{dét} = T_{dét} \cdot I_{SV} = T_{dét} \sum_i \alpha_i \cdot Smoy_i$$

Avec :

- ◆ $T_{dét}$, le taux de détention.
- ◆ α_i , le prix unitaire de la référence i , en Euros.

- ◆ $Smoy_i$, le stock moyen de la référence i , en nombre de pièces.
- ◆ I_{SV} , l'indicateur de stock total moyen valorisé à l'usine terminale, en Euros.

5.3.2.3. Coût de stockage (C_{stk})

L'activité de stockage de composants engendre un coût pour une entreprise, car il implique des charges de location des bâtiments, d'imposition, d'entretien, de chauffage. Ces facteurs peuvent être variables en fonction du composant envisagé et peuvent évoluer par palier. Cependant nous estimons que sur nos périodes d'observation l'activité peut être considérée comme constante et donc que si nous estimons un coût moyen d'installation (Ct_{inst}) par unité de surface, la valeur du coût de stockage aura une signification économique. Nous avons vu que nous avons à notre disposition un indicateur de niveau d'encombrement moyen, il faut donc pouvoir rapporter ce volume d'encombrement en une surface occupée. Ainsi, nous utiliserons le coefficient Rb , un ratio brut qui donne la surface occupée pour le volume stocké d'une référence. Il est donné en fonction de paramètres tels que la gerbabilité⁶ des conditionnements. Le coût de stockage est donc exprimé comme suit :

Avec :

- ◆ Rb_i , le ratio brut qui donne la surface occupée par le volume du composant i , en m^2/m^3 ;
- ◆ Rb_{moy} , le ratio brut moyen qui donne la surface occupée pour un volume donné, en m^2/m^3 ;
- ◆ Ct_{inst} , le coût moyen d'installation par unité de surface, en Euros par an ;
- ◆ Vol_i , le volume du bac de pièces de la référence i , en m^3 ;
- ◆ UC_i , l'Unité de Conditionnement ou le nombre de références contenu dans un bac de pièces de la référence i , en nombre de pièces ;
- ◆ $Smoy_i$, le stock moyen de la référence i , en nombre de pièces ;
- ◆ I_{SVol} , l'indicateur d'encombrement volumique du stock total à l'usine terminale, en Euros.

Alors :

$$C_{stk} = Ct_{inst} \sum_i Rb_i \cdot Smoy_i \frac{Vol_i}{UC_i}$$

Si maintenant nous évaluons le coefficient Rb pour l'ensemble des références, à une valeur moyenne, Rb_{moy} , alors :

$$C_{stk} = Rb_{moy} \cdot Ct_{inst} \cdot I_{SVol} = Rb_{moy} \cdot Ct_{inst} \sum_i \frac{Vol_i}{UC_i} Smoy_i$$

⁶ La gerbabilité reflète la possibilité d'empiler les bacs de pièces. Elle est égale au nombre d'étages possibles

5.3.2.4. Coût de possession (C_{pos})

Le coût de possession est égal à la somme du coût de détention et du coût de stockage. Il est donc égal à :

$$C_{pos} = C_{dét} + C_{stk} = Rb_{moy} \cdot Ct_{inst} \sum_i \frac{Vol_i}{UC_i} Smoy_i + T_{dét} \sum_i \alpha_i \cdot Smoy_i$$

5.4. Objectifs de l'évaluation de performances

Le but de l'évaluation de performances de notre modélisation de flux logistique est de trouver un paramétrage des systèmes d'approvisionnements qui maximise le Taux de service véhicule et qui minimise le coût de possession. Or ces deux objectifs sont antagonistes. En effet pour obtenir la meilleure qualité de service, il est possible d'augmenter les niveaux de stocks (pour éviter toute rupture). Alors que pour diminuer le coût de possession, il faut les diminuer. Le but est alors de trouver le meilleur compromis pour obtenir une qualité de service maximale tout en minimisant les coûts.

Ces objectifs sont atteints grâce à une implémentation directe dans la modélisation UML. Un attribut mémorisant la valeur de l'indicateur concerné est ajouté à la classe correspondante. Nous rajoutons également une opération de calcul de ces indicateurs. Ainsi nous aurons par exemple des attributs nommés *niveau moyen*, *niveau minimum* et *niveau maximum* et une opération *calcul des indicateurs* sur chaque classe stéréotypée « *processus de stockage* ».

6. Conclusion

Dans le premier chapitre nous avons montré que la chaîne logistique d'approvisionnement était caractérisée par une forte diversité. De plus le nombre des relations (près de 5000) entre une usine terminale et ses fournisseurs, associé aux interactions difficilement prévisibles entraînent une complication du problème. Après avoir qualifié le système étudié nous avons choisi de nous appuyer sur les concepts issus de la systémique pour poursuivre nos travaux. Un méta-modèle pour les flux logistiques a été proposé permettant d'introduire la généricité nécessaire à notre problématique. En complément, nous proposons une méthodologie d'instanciation de ce méta-modèle. Pour tenter de prouver sa généricité, nous l'avons instancié pour étudier les flux de containers.

Une modélisation de la logistique particulière au groupe PSA Peugeot Citroën, a ensuite été proposée. Pour ce faire nous avons mis en pratique tour à tour les trois étapes de la méthodologie. Nous sommes parvenus à formaliser les liens entre les entités mais aussi à décrire la dynamique du système. Enfin nous avons construit un système d'indicateurs pertinent par rapport à notre problématique.

La suite du travail consiste à matérialiser cette modélisation au travers d'outils informatiques pour pouvoir la mettre en œuvre dans l'objectif de répondre à notre problématique. Cependant le nombre de

Chapitre 2

Proposition d'une modélisation pour l'évaluation des flux logistiques

données et d'entités à gérer pourrait encore se révéler être un obstacle. Nous pourrions ainsi vérifier que notre approche permet la faisabilité de la construction d'un modèle et d'un outil de simulation basée sur notre modélisation.

CHAPITRE 3

ETUDE ET SPECIFICATION D'UNE PLATEFORME DE SIMULATION

Etude et spécification d'une plateforme de simulation

1. Introduction

Nos travaux visent à améliorer la vision globale de la chaîne logistique d'approvisionnement. Pour ce faire nous avons proposé un méta-modèle pour la construction de modèles des flux logistiques. Ce méta-modèle est composé de briques de base et de règles de construction. Nous l'avons instancié dans le cadre de la modélisation de la logistique d'approvisionnement d'une usine terminale de montage automobile par ses fournisseurs de premier niveau. Dès lors nous avons une modélisation statique des liens entre les éléments de cette logistique, mais aussi une vue de la dynamique de ces relations (échange d'informations) et du comportement interne des entités. Cette modélisation et notre démarche doivent être validées.

Nous avons fait le choix d'utiliser une démarche appuyée sur la Peugeot Citroën pour donner une certaine genericité aux modèles. Il faut maintenant vérifier que le modèle est utilisable pour tous les flux d'approvisionnement et que chaque flux est instanciable par le seul renseignement de ses attributs. De plus, nous avons fait le choix d'un langage de modélisation de type objet en justifiant que cette approche permettait de créer de multiples instances. Ainsi nous pouvions lever la difficulté qui résidait dans la complexité de la problématique, à savoir le nombre de flux d'approvisionnement à modéliser. Nous devons alors montrer que l'approche que nous avons adoptée permet de mettre en œuvre les modèles proposés au travers d'un outil de simulation

Un des objectifs de nos travaux étaient d'obtenir un outil d'aide à la décision axé principalement sur la simulation des flux d'approvisionnement. Pour utiliser cet outil dans le monde industriel nous devons le soumettre à des contraintes : les modèles doivent notamment pouvoir être maintenus facilement et les concepts mis en œuvre dans nos travaux doivent aussi être transparents à l'utilisateur. Sa pérennité tient également au niveau de représentativité des résultats de simulation par rapport à la réalité.

Ce chapitre montre comment nous avons matérialisé les modèles proposés au chapitre précédent. Nous justifions le choix d'une technologie pour l'implémentation des modèles de simulation qui s'est orientée vers une solution propre à nos travaux. Nous présentons ensuite l'architecture et les spécifications de la plateforme de simulation répondant aux contraintes industrielles. Enfin nous nous attacherons à montrer comment nous avons validé les résultats de simulation.

2. Choix de la solution technique

2.1. Les outils du marché

Utiliser un outil de simulation existant offre des avantages. Pour certains des bibliothèques d'objets peuvent déjà exister : du temps peut être gagné pour la phase d'implémentation. Un autre atout certain concerne la gestion de l'avance du temps lors de la simulation. En effet sur ces outils il existe déjà un moteur de simulation qui gère les événements de simulation. De nouveau du temps peut être gagné pour le développement et pour le débogage. Cependant des coûts financiers, de licences ou développement spécifique, peuvent apparaître. Nous montrons dans ce paragraphe deux voies qui ont été envisagées.

2.1.1. Les généralistes

Les logiciels de simulation à événements discrets existent sur le marché depuis fort longtemps. Ils utilisent pour la plupart d'entre eux le concept des files d'attente. La plupart des travaux ayant traité du flux principal de véhicules, au sein du groupe PSA Peugeot Citroën, s'appuient notamment sur le logiciel Arena[®] ; une bibliothèque spécifique (MUSE⁷) a par ailleurs été développée pour la simulation des processus de fabrication de PSA Peugeot Citroën.

Dans ces conditions nous nous sommes dirigés dans un premier temps vers un logiciel de simulation de ce type et plus particulièrement vers Arena[®], pour l'implémentation physique de nos modèles de simulation. Dans ce sens, des travaux de modélisation de flux d'approvisionnement gérés en Recor, ont déjà été menés (Degrès, 2002). Les conclusions de ces travaux faisaient apparaître que le nombre de flux simulés était un facteur limitant : au-delà de dix flux le temps de simulation n'est plus acceptable. Dans ce type de travail, l'objectif est tourné vers l'analyse d'un flux d'approvisionnement en vue de déterminer l'influence de paramètres principaux sur cet unique flux.

Le logiciel Arena[®] n'est donc pas adapté en l'état, à notre problématique. Par exemple, aujourd'hui les objets simulés ne peuvent avoir qu'un nombre limité d'attributs à valeur booléenne. Un véhicule peut être caractérisé par près de trois cents attributs non binaires, qui sont indispensables pour relier le flux véhicules avec les flux d'approvisionnement (*cf.* annexe 3). Pour résoudre ce problème, on pourrait imaginer le développement spécifique d'une base de données - interface entre les ordres de fabrication et les composants. Adopter cette solution aurait engendré un certain nombre de coûts, en temps et financiers, pour un résultat que nous ne garantissons pas. Nous avons donc fait le choix d'abandonner cette piste.

⁷ MUSE : Modélisation d'USine terminalE

2.1.2. Les outils liés à un formalisme

Certains logiciels de simulations implémentent directement un formalisme de spécifications comportementales. La modélisation que nous avons proposée repose, pour cette partie comportementale, sur l'utilisation de graphes d'états. On peut alors penser qu'il est possible de la traduire en réseaux de Petri (Cardoso *et al*, 2001). De plus le nombre de flux peut être pris en compte au travers de la coloration des réseaux, ce qui permet de simuler plusieurs flux d'approvisionnement simultanément (Moore *et al*, 1999). L'utilisation des réseaux de Petri offre également l'avantage de pouvoir vérifier certaines propriétés (atteignabilité, vivacité,...) (Proth *et al*, 1997) (He *et al*, 2000).

Les contraintes fortes dictées par notre problématique nous ont conduit à choisir un des outils les plus complets du marché. Il s'agit du logiciel *DesignCPN*[®], développé par l'université d'Aarhus, au Danemark (DesignCPN, 1993). Petitjean *et al* (2004) présentent l'étude qui a été menée dans le but d'évaluer la faisabilité et la viabilité industrielle de l'utilisation des réseaux de Petri pour nos travaux.

Après cette étude, il semble que l'utilisation des réseaux de Petri pour simuler la logistique d'approvisionnement d'une usine terminale est envisageable. Sa transposition à un problème réel de taille importante (en nombre de flux) a été prouvée. Cependant il est possible de simuler beaucoup de flux d'approvisionnement mais l'augmentation de la période de simulation engendre une évolution exponentielle du temps d'initialisation des réseaux. Nous devons en effet créer une place pour chaque passage de véhicules (1500 par jour) car *DesignCPN*[®] ne peut lire un film de production en cours de simulation.

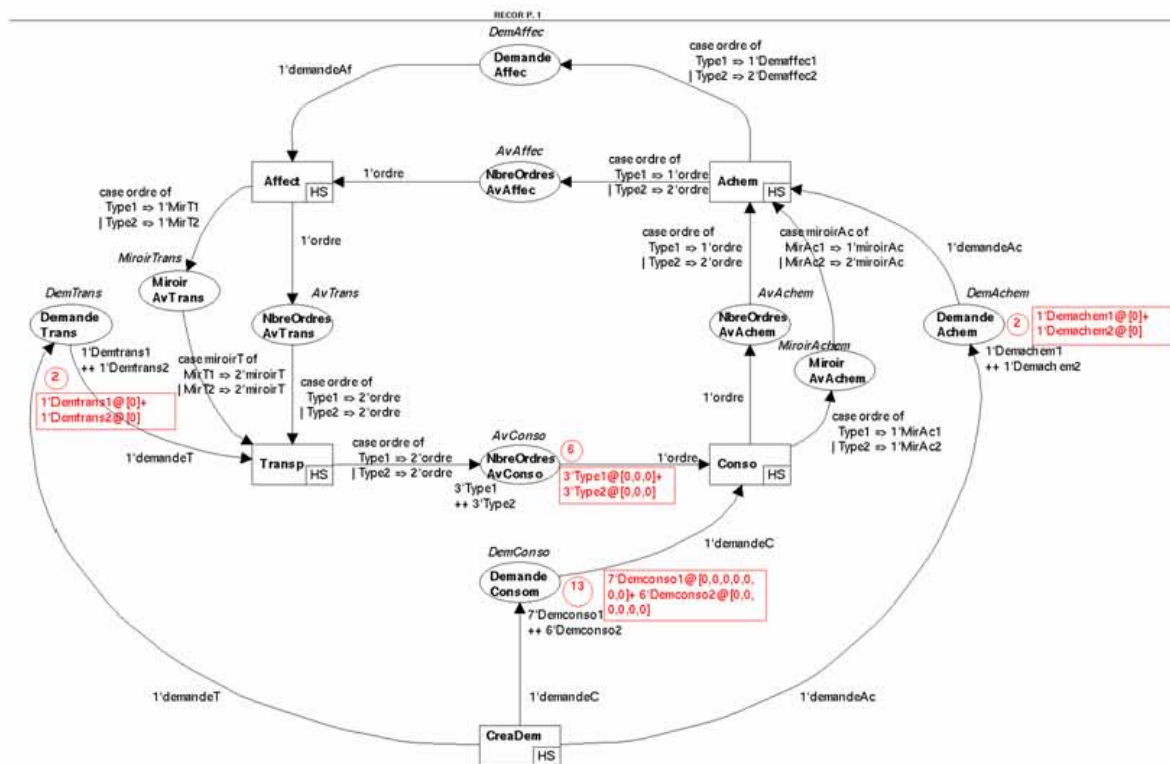


Figure 3-1 : Vue du réseau de Petri principal

Nous pouvons conclure que le choix des réseaux de Petri pour instancier et simuler nos modèles est envisageable. Grâce à la coloration des réseaux et à l'utilisation d'une démarche de type objet, il a été possible de lever la complexité du problème. Cependant il n'est pas possible d'étudier une période intéressante de simulation. Pour ces raisons nous nous sommes alors tournés vers une solution spécifique à nos travaux, bien qu'une collaboration avec l'université développant *DesignCPN*[®] aurait pu être envisagée pour corriger les déficiences de cet outil.

2.2. Choix effectué

L'utilisation d'un logiciel de simulation du marché semble être trop coûteuse (en temps et en euros) pour implémenter nos modèles. Par ailleurs, nous avons montré que les réseaux de Petri colorés pouvaient être adaptés pour mener à bien notre démarche. Mais les logiciels offrant la possibilité de les simuler ne pouvaient pas supporter le problème habituel d'explosion combinatoire. Par conséquent nous nous sommes tournés vers une solution de développement d'une plateforme de simulation propre à nos travaux. Avant d'en étudier les avantages, nous proposons de comparer cette démarche à celle aboutissant aux réseaux de Petri.

En ce qui concerne la création du modèle de la logistique d'approvisionnement d'une usine terminale dans une démarche de développement informatique, il est nécessaire de traduire tous les diagrammes en code informatique. Alors que pour les réseaux de Petri, il a fallu construire des réseaux génériques traduisant les diagrammes UML. Remarquons que pour cette phase il est assez naturel de traduire des spécifications UML en code informatique alors que pour les réseaux de Petri, il a fallu suivre une progression rigoureuse pour garantir la cohérence de nos travaux (Petitjean *et al*, 2004).

Pour passer du modèle UML vers le squelette du code informatique, il est nécessaire d'instancier les classes en objets et de renseigner la valeur des attributs de chaque objet (et ce, quelque soit le langage informatique utilisé). Pour les réseaux de Petri, il est nécessaire ici de colorer et de temporiser le réseau.

Par ailleurs pour les deux approches, il faut prévoir deux modules autour du modèle de simulation : un pour la connexion avec les systèmes d'information pour le paramétrage des modèles en fonction de la réalité, et un de traitement des résultats de simulation.

Enfin un point essentiel concerne la gestion de l'avance du temps. En effet pour la simulation des réseaux de Petri, le noyau de simulation est intégré à l'outil alors que pour un développement spécifique, ce moteur devra entièrement être construit. Cet état de fait peut être handicapant. Par exemple nous ne pouvons intervenir sur la gestion des événements dans le noyau, des indéterminismes de franchissements de transitions non maîtrisés peuvent être rencontrés.

Le tableau 3-1 synthétise les différences entre les deux voies prospectées.

Phase	Approche	Caractéristiques
Méta-Modèle		UML, diagrammes de classes, de collaborations et d'états
Modèle	Développement	Traduction des diagrammes UML en code informatique Liens statiques et comportements Développement du moteur de simulation
	Réseaux de Petri	Traduction en graphe générique Moteur de simulation intégré à l'outil
Modèle de simulation	Développement	Instanciation des classes en objets Renseignement des attributs
	Réseaux de Petri	Spécialisation des sous-RdP (Taille de lot,...) Coloration des RdP Temporisation des RdP

Tableau 3-1 : Les caractéristiques des approches envisagées en fonction de la phase de la démarche

On peut remarquer ici que la démarche que nous avons adoptée est proche d'une approche de type MDA (Model Driven Architecture) (Skene *et al*, 2003). En effet la modélisation proposée permet une implémentation sur différentes plateformes (Réseaux de Petri, C++, Java,...). Nous avons séparé les spécifications fonctionnelles de notre système d'une quelconque implémentation sur une plateforme logicielle. La suite de ce chapitre montre la poursuite de cette démarche par la présentation des spécifications de l'outil de simulation.

3. Spécifications de la plateforme de simulation

3.1. Introduction

Pour fournir aux besoins émis par le groupe PSA Peugeot Citroën nous avons choisi de nous diriger vers l'utilisation de la simulation discrète. Nous avons montré que nous avons besoin de construire une plateforme de simulation ; nous l'avons nommée « SimAppro »

Cet outil informatique doit, non seulement, valider la démarche que nous avons suivie, mais aussi pouvoir être utilisé par des experts en logistique. Cette réalisation doit par ailleurs prendre en compte les contraintes industrielles qui avaient été posées.

3.2. Architecture fonctionnelle de l'application

Avant d'aborder le développement à proprement parlé de la plateforme, attachons-nous à construire une architecture fonctionnelle. C'est ici que nous devons lever les contraintes industrielles suivantes :

- ◆ La plateforme doit pouvoir être connectée aux systèmes d'information de l'entreprise (paramètres des flux d'approvisionnement, film de production,...)
- ◆ L'utilisateur final ne doit pas être un expert en modélisation
- ◆ Les résultats de simulation doivent pouvoir être interprétés par les experts en logistique.

Ainsi, nous constituons une architecture composée de trois modules principaux.

Le module d'interfaçage (module « 1-Interfaçage » sur la figure 3-2), permet de connecter les systèmes d'information de l'entreprise à la plateforme de simulation. Nous pouvons utiliser les différents formats issus des systèmes industriels pour les mettre au format interprétable par SimAppro. C'est ici également que nous gérons la nomenclature. Etant différente pour chaque véhicule, il faut procéder à son calcul à chaque passage d'une caisse dans l'atelier de montage.

Ces données d'entrée sont ensuite délivrées au moteur de simulation (module « 2-Moteur de simulation »). Nous nous trouvons au cœur de la plateforme de simulation composée de deux parties. La première concerne la gestion événementielle de la simulation. La seconde partie intègre totalement le méta-modèle que nous proposons ; cette partie est également générique et peut être réemployée.

Enfin les résultats de simulation sont stockés et mis en forme dans le dernier module (module « 3-Traitement »). Il peut être personnalisé en fonction des besoins du cas d'étude moyennant quelques développements supplémentaires.

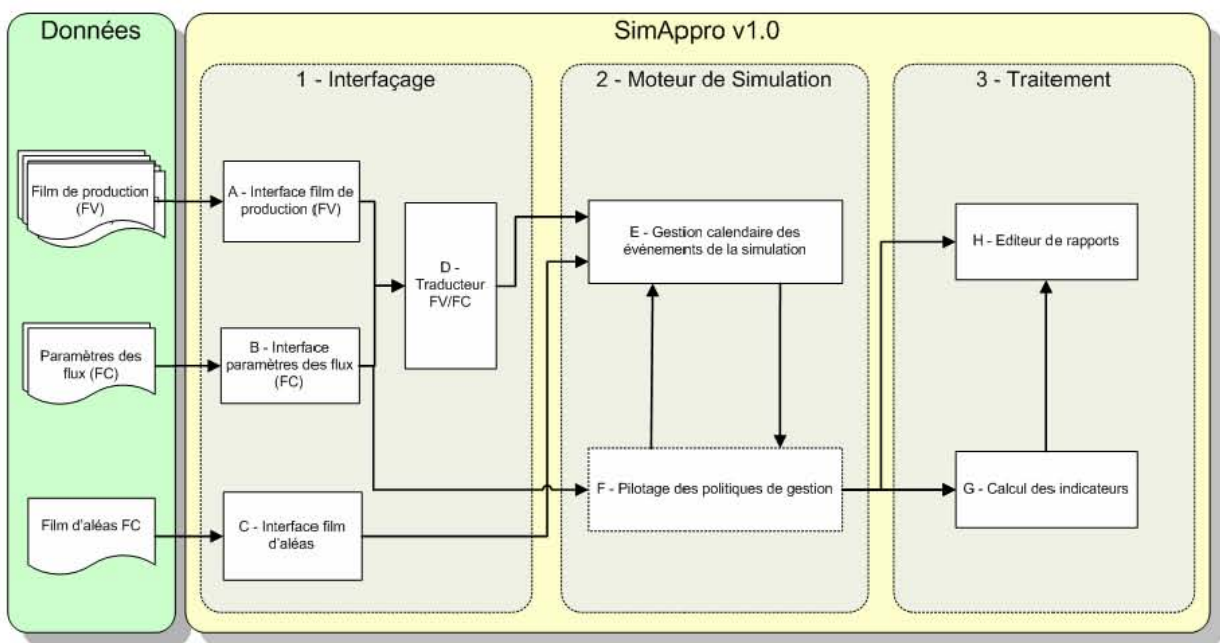


Figure 3-2 : L'architecture modulaire de la plateforme de simulation SimAppro

Avant d'approfondir chaque fonction, décrivons en quelques lignes la solution technique de développement retenue ici. Nous avons fait le choix de développer le moteur de simulation en C++ compilé sous forme d'une bibliothèque de composants objets (ActiveX) (cf Annexe 6); ce qui nous permet de réutiliser totalement cette bibliothèque pour d'autres exemples d'application. Cette bibliothèque intègre la fonction de décomposition des ordres de fabrication en composants, le calcul des indicateurs élémentaires (cf chapitre 2 §5) et l'édition d'un rapport de simulation générique. Les fonctions d'interfaçage avec les données d'entreprise ou avec l'homme (IHM) ont été développées pour ce cas d'application particulier, en Visual Basic.

3.3. Module de pilotage

Le module de pilotage est le cœur de la plateforme de simulation. En effet, nous y trouvons à la fois le modèle de la logistique d'approvisionnement, mais aussi le moteur de simulation.

3.3.1. Pilotage des Politiques de Gestion

Ce module émule les règles de gestion des politiques d'approvisionnement de type « RECOR » et de type « Sparte ». Il prend en charge l'instanciation des flux en fonction des différents paramètres. Les fonctions F.2 et F.3, permettent de simuler le comportement des acteurs des flux d'approvisionnement (client, fournisseur, transport). Ce module est, en fait la traduction en code informatique, du modèle de la logistique d'approvisionnement proposé au chapitre précédent.

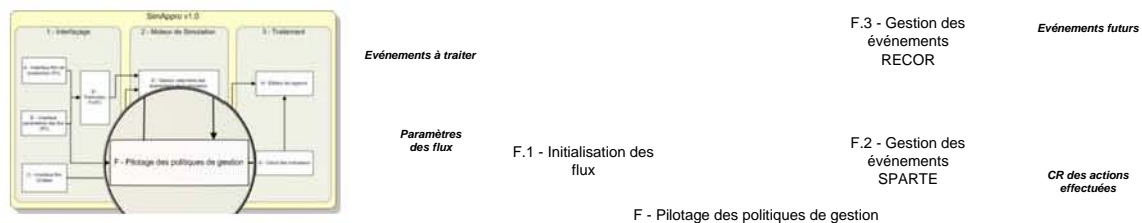


Figure 3-3 : La fonction de pilotage des politiques de gestion et son contexte

3.3.2. Gestion calendaire des Evénements de la Simulation

Pour la simulation discrète, deux méthodes principales sont envisageables pour faire avancer le temps. Elles sont décrites par Bel (1998) et Thierry (2003). La première est la *méthode par incrément* : le temps progresse par intervalles fixes définis par une période d'échantillonnage. La seconde est la *méthode du prochain événement* : dans laquelle on traite chaque événement de simulation lorsqu'il se produit : l'horloge de la simulation avance par saut de date d'événement à date d'événement. C'est cette méthode qui a été choisie pour SimAppro.

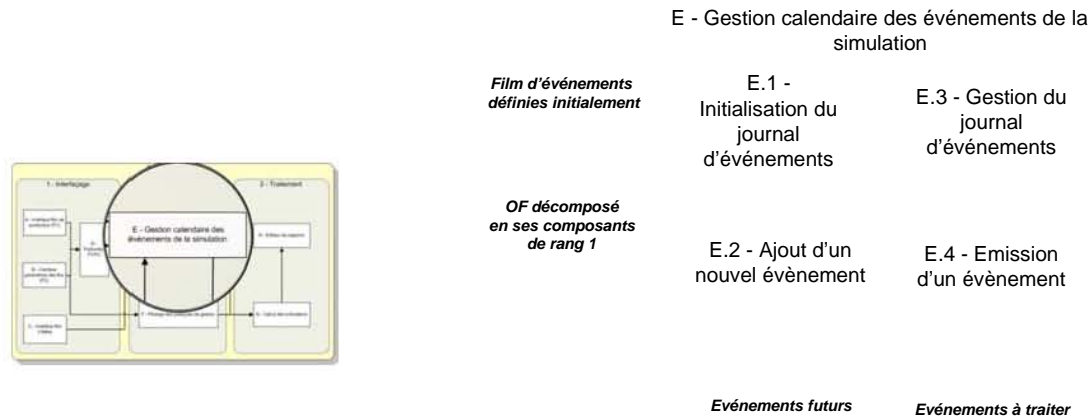


Figure 3-4 : La fonction de gestion calendaire des événements de simulation et son contexte

Ce module gère un journal d'événements, ou échéancier ; c'est donc le moteur de simulation. Cette méthode a pour avantage de ne pas voir les intervalles d'inactivité (du système réel) et donc éventuellement de gagner du temps de calcul. Par exemple si l'usine terminale est fermée la nuit alors aucun temps de calcul ne sera utilisé pour simuler cette période.

Cet échéancier est initialisé avec les premières dates connues pour chaque type d'événement (le premier calcul de commandes, par exemple). Ces événements sont envoyés aux fonctions de pilotage des politiques de gestion. Un fois traité, un compte rendu est renvoyé au moteur de simulation avec, le cas échéant, la (les) date(s) du (des) prochain(s) événement(s) prévisionnel(s) qui a(ont) calculée(s) par ces fonctions. Par exemple lorsque la fonction de pilotage gère le départ d'un processus de transport, elle va à la fois calculer la date d'arrivée mais aussi la date de départ du prochain camion. Ces deux événements sont retournés à ce module qui va les insérer dans l'échéancier.

3.4. Module d'interface

Une des contraintes qui nous est imposée est la connexion de la plateforme de simulation avec les systèmes d'information de l'entreprise. Pour y répondre et quelque soit la méthode d'instanciation (réseaux de Petri, C++, outil généraliste) envisagée, il est toujours indispensable de mettre en place un module d'interface. Le détail de l'Interface Homme-Machine (IHM) est consultable dans l'annexe 5

3.4.1. Connexion avec les systèmes d'information

Le module d'interface de SimAppro permet de mettre au format de SimAppro et de charger toutes les données nécessaires à l'instanciation du modèle de simulation. Nous trouvons les trois fonctions suivantes.

La fonction « *Interface paramètres des flux* » lance le chargement des différents paramètres flux d'approvisionnement (politique de gestion, durées, périodes, taille de lot,...). Le fichier correspondant contient toutes les données nécessaires à l'instanciation des flux à étudier, soit environ trente paramètres pour chacune des références simulées. Elles sont de plus issues de différents systèmes d'information. On pourra trouver la structure de ce fichier en annexe 3.

La fonction « *Interface Flux Véhicules* » fournit les films de production d'automobiles. Ces fichiers « Film de production » sont des listes d'ordres de fabrication ordonnées en fonction de leur instant de passage à un point de flux. Ce fichier comporte sur chaque ligne la désignation de l'ordre de fabrication et sa description. Dans le cas du Recor, un seul point de consommation est considéré, on a donc un seul film d'OF. Pour le Sparte, les composants sont commandés en J-5, mais cette commande prend en compte ce qui a déjà été commandé, mais aussi les OF qui sont dans tout le portefeuille d'OF (de J-5 à J0). Ainsi, six films sont nécessaires pour simuler les flux Sparte.

La fonction « *Interface film d'aléas* » permet de charger dans le module de pilotage de la simulation les aléas prédéfinis (date et durée d'indisponibilité). On peut ici définir des indisponibilités de durée connue d'une ressource de la logistique d'approvisionnement. L'intérêt de cette fonction est de pouvoir quantifier l'impact de cet aléa sur les niveaux de stock en usine terminale, par exemple.

Nous trouvons aussi dans ce module la fonction qui permet de décomposer un ordre de fabrication, et donc un véhicule, en tous ses composants.

3.4.2. Traducteur FV/FC

La fonction « Traducteur FV/FC » est la partie qui permet de faire le lien entre le flux principal de véhicules et tous les flux d'approvisionnement. Nous proposons donc de nous arrêter sur cette fonction, pour expliquer la gestion de la nomenclature.

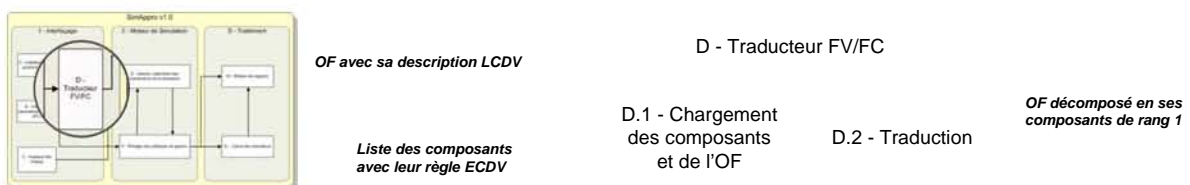


Figure 3-5 : La fonction "Traducteur FV/FC" et son contexte

3.4.2.1. Fonctionnalité

Il a pour rôle de décomposer un OF ou une liste d'OFs en composants. En entrée, il est nécessaire de fournir le (les) OF(s) avec leur description et la liste des composants avec leur règle d'affectation (ECDV). Et il doit produire une matrice croisée donnant en ligne le (les) OF(s), en colonne les

références des composants, et à l'intersection le nombre de pièces de la référence, consommé par l'OF (tableau 3-2).

	Composant 1	Composant 2	...	Composant M
OF 1	2	0	...	4
OF 2	0	1	...	0
...
OF N	1	3	...	1

Tableau 3-2 : Exemple de matrice croisée entre Ordres de Fabrication et composants

3.4.2.2. Les règles de rattachement de nomenclature

Pour obtenir la composition en articles d'une description véhicule, il est nécessaire d'établir des liens entre la nomenclature articles et la nomenclature véhicule. Afin de limiter le nombre de liens à gérer entre ces deux nomenclatures, la notion d'ECDV (Eléments Communs de Définition Véhicules) a été créée. Les ECDV sont également utilisés pour des besoins de comptage ou pour faire des rattachements entre les véhicules et certaines entités (ressources industrielles, gammes de montage..).

Exemples :

- ◆ On veut compter tous les véhicules de type 206 ayant un toit ouvrant
- ◆ On veut rattacher des gammes de montage aux véhicules pour déterminer la charge de montage de ces véhicules
- ◆ On veut rattacher des ressources industrielles aux véhicules

3.4.2.3. Forme générale de l'ECDV

L'ECDV est une expression logique (composée du centre de montage, de la famille du véhicule et de règles) qui définit un ensemble de descriptions véhicules possédant des caractéristiques remarquables communes. Cette expression est codifiée à partir d'attributs selon une syntaxe particulière.

L'ECDV s'exprime sous la forme générale suivante : <Centre de montage>.<famille><séparateur logique><attribut>...<séparateur logique><attribut>*, avec :

<Centre de montage>		sur 2 caractères (ex : '89' pour Sochaux)
<Famille>		sur 4 caractères (ex : 1PT1 pour 206 Berline)
<Attributs de base>		sur 3 caractères (ex : EOE pour finition XR)
<Attributs de conception hors attributs de base>		sur 4 caractères (ex : 'RE01' pour réfri standard)
<Séparateurs logiques>		
	Attribut1.attribut2	signifie attribut1 ET attribut2
	(attribut1)	signifie SAUF attribut1
	attribut1/attribut2	signifie attribut1 OU attribut2
	attribut1<attribut2/attribut3	signifie attribut1 FACTEUR DE attribut2/attribut3 soit attribut1.attribut2/attribut1/attribut3 (dans ce cas, l'expression est composée de deux règles)
Le caractère * signifie « fin d'expression »		

Tableau 3-3 : Règles de d'interprétation de l'ECDV

La représentation UML de la structure ECDV est donnée sur la figure 3-6.

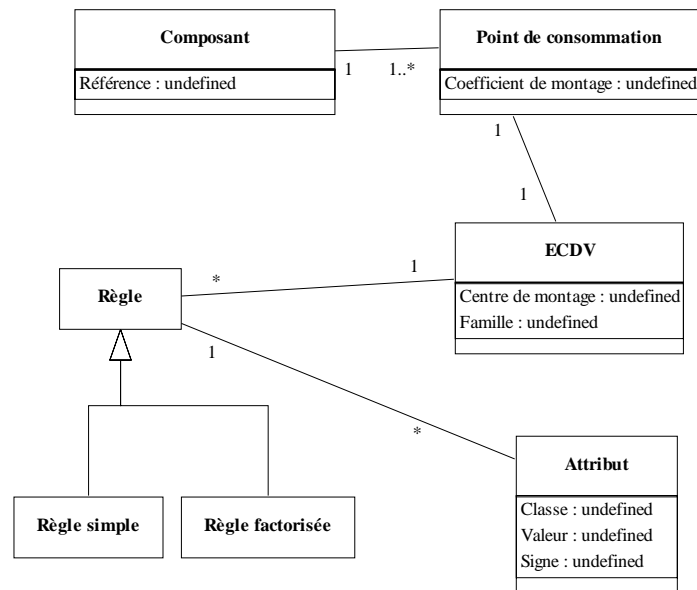


Figure 3-6 : Modélisation UML de la structure ECDV

3.4.2.4. Exemple d'ECDV et utilisation

L'ECDV 89.1PD9.RE01.S200/CX01.S201* définit l'ensemble : 406 berline montée à Sochaux (avec réfrigération standard ET sans remodelage) OU (avec remodelage ET conduite à gauche)

La création d'un lien entre articles et ECDV signifie que cet article entre dans la composition de toutes les descriptions véhicule qui vérifient cet ECDV.

Ceci est utilisé :

- ◆ pour connaître les pièces rattachées à un véhicule
- ◆ pour connaître les gammes de montage associées aux véhicules
- ◆ pour réaliser du comptage : par exemple savoir combien de fois une ressource est sollicitée et ainsi optimiser l'ordonnancement des véhicules
- ◆

3.5. Module de traitement

Jusqu'ici nous avons implémenté la modélisation de la logistique d'approvisionnement et nous pouvons connecter SimAppro aux systèmes d'information de l'entreprise. Nous avons maintenant besoin d'intégrer une fonction pour le calcul des indicateurs ainsi qu'une fonctionnalité d'édition de rapports. La première fonction a été abordée dans la partie « Evaluation de performances » du chapitre 2, nous abordons le moyen de calcul des indicateurs.

3.5.1. Calcul dynamique des indicateurs

L'évaluation de performances de notre logistique d'approvisionnement se fait par l'intermédiaire de différents indicateurs. Le premier indicateur concerne le niveau de stock exprimé en maximum, minimum et en moyenne, ils sont calculés dynamiquement en cours de simulation. Nous calculons des indicateurs locaux, pour chaque stock par exemple, mais aussi des indicateurs globaux, sur la globalité de l'usine.

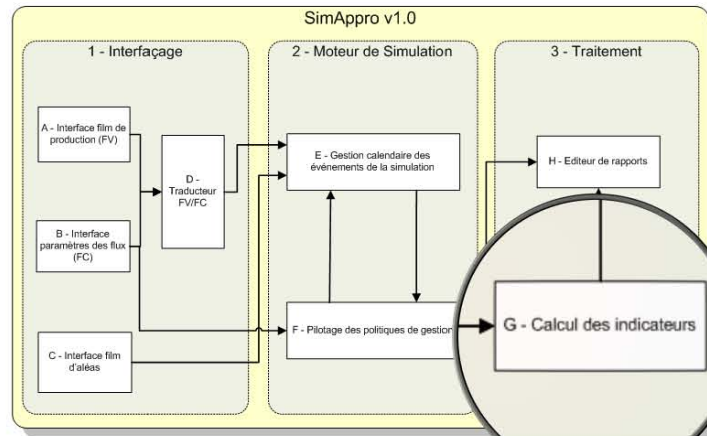


Figure 3-7 : La fonction de calcul des indicateurs dans son contexte

Les indicateurs minimum et maximum sont recalculés à chaque mouvement de stock. En ce qui concerne le calcul du stock moyen dynamique nous avons appliqué la formule suivante :

Soit :

- ◆ $S_j(t_i)$, la valeur du stock de la référence j , au temps t_i , en nombre de pièces.
- ◆ $S_{moy_j}(t_i)$, le stock moyen de la référence j , au temps t_i en nombre de pièces.

Alors :

$$S_{moy_j}(t_i) = \frac{S_{moy_j}(t_{i-1}).(t_{i-1} - t_0) + S_j(t_i).(t_i - t_{i-1})}{t_i - t_0}$$

Le second indicateur concerne la qualité de service. Ici nous avons mis en place deux types de compteurs. Le premier comptabilise le nombre de ruptures de stock pour chaque référence. Le second reflète le nombre de véhicules incomplets ; dès qu'un composant appelé par un véhicule n'est pas en stock, le véhicule est considéré comme incomplet.

3.5.2. Edition du fichier de résultats

Nous avons besoin ici d'un fichier de résultats génériques pouvant être utilisé pour des analyses approfondies. Il est composé de trois parties différentes.

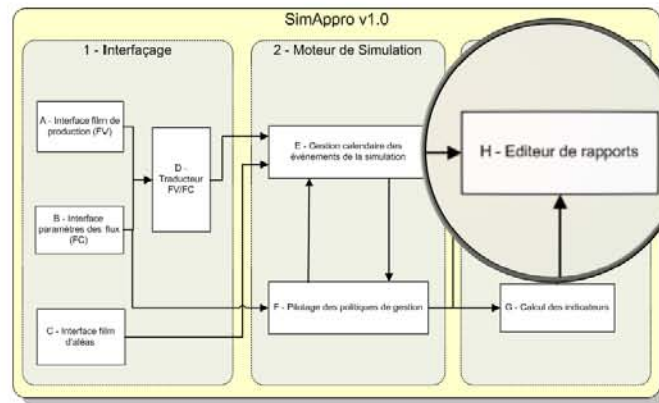


Figure 3-8 : Le contexte de la fonction d'édition de rapports

La première partie concerne l'historique de certains événements de simulation (pouvant être sélectionnés par l'utilisateur). Ces informations peuvent être destinées à des fins de débogage de l'application mais elles peuvent également servir à établir un graphique de suivi des stocks de composants. Le tableau suivant représente un exemple d'événement tracé.

06/01/2004 12 :12 :05 1490426080 : CAPTEUR SAC NBJAN EvFinTransport 45

Tableau 3-4 : Exemple d'événement tracé

La seconde partie du fichier résultats est un récapitulatif de la valeur des indicateurs locaux à la fin de la simulation pour chacune des références. Dans notre cas d'étude, nous avons choisi de calculer les indicateurs de coût de stock.

1490426081 :							
CAPTEUR	786.44	191.25	977.69	0	507	1891	1209.916
ESSAI							
1490426080 :							
CAPTEUR SAC	8010.33	191.25	8201.58	0	10282	14782	12323.59

Tableau 3-5 : Exemple d'indicateurs locaux calculés

Finalement la troisième partie du fichier nous donne les indicateurs globaux. A la fois les valeurs de coût lié au stock pour la totalité des références simulées, mais aussi l'indicateur global de qualité de service.

TOUS	8796.77	382.50	9179.27
NbVehiculesIncomplets	8		
NbVehiculesTotal	6559		

Tableau 3-6 : Exemple d'indicateurs globaux calculés

4. Validation de la plateforme de simulation

Dans le premier chapitre nous avons exprimé la problématique de la thèse, dans le second, explicité notre démarche et proposé une modélisation de la logistique d'approvisionnement d'une usine terminale par instanciation d'un méta-modèle de flux logistique. Dans ce troisième chapitre, nous avons développé les spécifications d'une plateforme de simulation. Pour la complétude de nos travaux, il nous faut maintenant valider ces étapes. Ainsi dans cette partie, nous devons valider l'implémentation de modèles spécifiques à PSA. Nous entendons ici, par le terme *validation* la comparaison de résultats simulés avec des résultats disponibles dans la réalité. Nous nous concentrerons sur la politique de gestion de type Sparte, cette configuration étant non seulement le mode de fonctionnement cible du groupe, mais aussi celui qui demande le plus de travaux pour la validation. Par ailleurs la validation globale de la démarche est évoquée dans le chapitre suivant.

La phase de validation évoquée ici porte sur une période de simulation d'un mois, soit environ 40000 véhicules fabriqués. L'échantillon de test est constitué de plus de 2000 composants. En considérant qu'environ 400 d'entre eux sont montés sur chaque véhicule, cela fait environ 16 millions de mouvements de stock. Il faut de plus calculer la valeur du lien OF-composant sur chaque véhicule pour les 2000 composants considérés, soit environ 400 millions d'opérations de traductions. Par conséquent nous avons besoin de définir précisément ce que nous voulons valider d'une part et d'autre part de construire un échantillon de composants représentatifs.

4.1. Construction du plan de validation

Le démonstrateur SimAppro émule en partie la chaîne informatique des traitements depuis la prise en compte de l'ordre de fabrication dans la planification, puis le calcul de la commande et enfin sa réception et sa consommation en usine terminale (*cf.* chapitre 1 §1.4).

La décomposition d'un ordre de fabrication en composants est la première opération à émuler. En effet c'est au travers de celle-ci qu'il est possible d'ordonner la consommation d'une pièce dans un stock et de planifier les besoins futurs en composants. Or c'est un calcul qui s'appuie sur un algorithme spécifique, il nous faut donc valider son implémentation correcte dans SimAppro. Nous débuterons par cette étape (validation 1 sur la figure 3-9).

Le calcul des commandes envoyées au fournisseur s'appuie également sur des algorithmes propres au groupe PSA Peugeot Citroën. Ces algorithmes sont compliqués car ils font intervenir des formules de calcul différentes en fonction de la configuration des paramètres du flux. Nous définirons donc pour cette phase les différentes configurations possibles avant de valider l'algorithme de calcul des ordres de livraison (ou commandes) intégré dans SimAppro (validation 2 sur la figure 3-9).

Nous venons de définir la validation de deux algorithmes, il faut maintenant envisager la dynamique des flux d'approvisionnement. Nous la considérons tout d'abord sans effectuer le calcul des commandes (nous utiliserons le résultat des systèmes de PSA). Par contre nous avons besoin d'avoir

validé la première phase. Cette phase permet de discuter de la conformité du modèle de simulation (validation 3 sur la figure 3-9).

Finalement nous envisageons une phase où les deux algorithmes sont actifs (validation 4 sur la figure 3-9) et nous pourrions conclure quant à la validité globale de la plateforme de simulation.

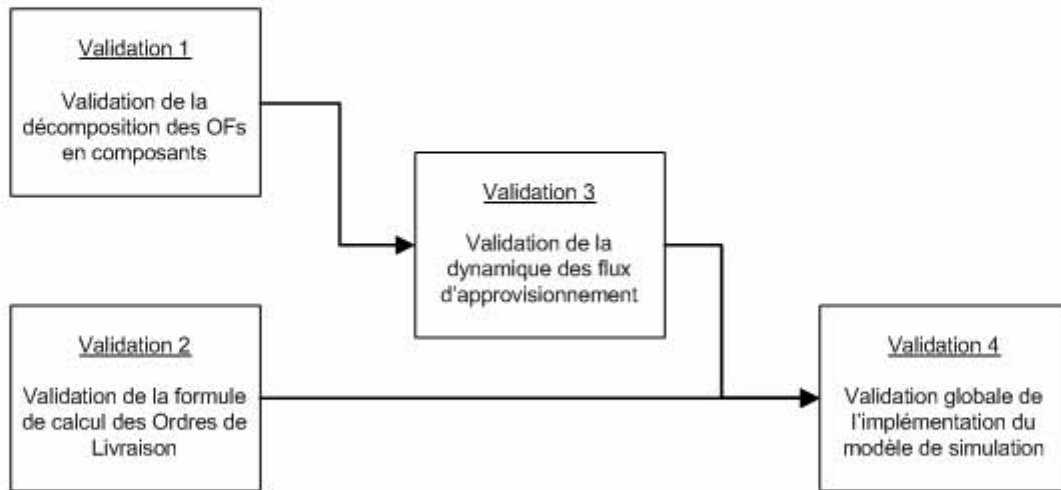


Figure 3-9 : Méthodologie de validation de la plateforme SimAppro

4.2. Construction de l'échantillon de validation

4.2.1. Définition des termes employés

Avant de construire l'échantillon de validation, attachons nous à définir la terminologie employée au sein du groupe PSA Peugeot Citroën. Elle nous permet d'exprimer par la suite les différentes configurations offertes pour le paramétrage d'un flux d'approvisionnement géré en Sparte.

- ◆ *Stock réel* : Le stock pris en compte pour le calcul de la commande est effectivement celui présent dans l'usine.
- ◆ *Stock fictif* : Le stock pris en compte pour le calcul de la commande est celui qui devrait être dans l'usine si tous les véhicules prévus, et seulement eux, avaient été produits.
- ◆ *NBJPC* : Coefficient servant à calculer la quantité de pièces nécessaire pour sécuriser les stocks. Il s'applique aux besoins passés, par rapport au moment de la commande. Il s'exprime en nombre de jours
- ◆ *NBJAN* : Coefficient servant à calculer la quantité de pièces nécessaire pour sécuriser les stocks. Il s'applique aux besoins futurs, par rapport au moment de la commande. Il s'exprime en nombre de jours.
- ◆ *Quantité fixe* : Quantité de pièces nécessaire pour sécuriser les stocks. Elle s'exprime en nombre de pièces.
- ◆ *Suivi de l'en-cours Bord de Ligne Calculé* : Le stock en bord de ligne est suivi à la pièce près.
- ◆ *Suivi de l'en-cours Bord de Ligne non calculé* : Le stock en bord de ligne est suivi à l'unité de conditionnement près.

4.2.2. Les Différentes Instances du Sparte

Les différentes configurations pour le calcul des ordres de livraison en Sparte doivent nous donner les classes de composants de notre échantillon. Ainsi nous construisons le diagramme de choix des paramètres d'un flux Sparte. Les paramètres présentés sur la figure suivante peuvent être modifiés pour obtenir l'ensemble des configurations envisageables.

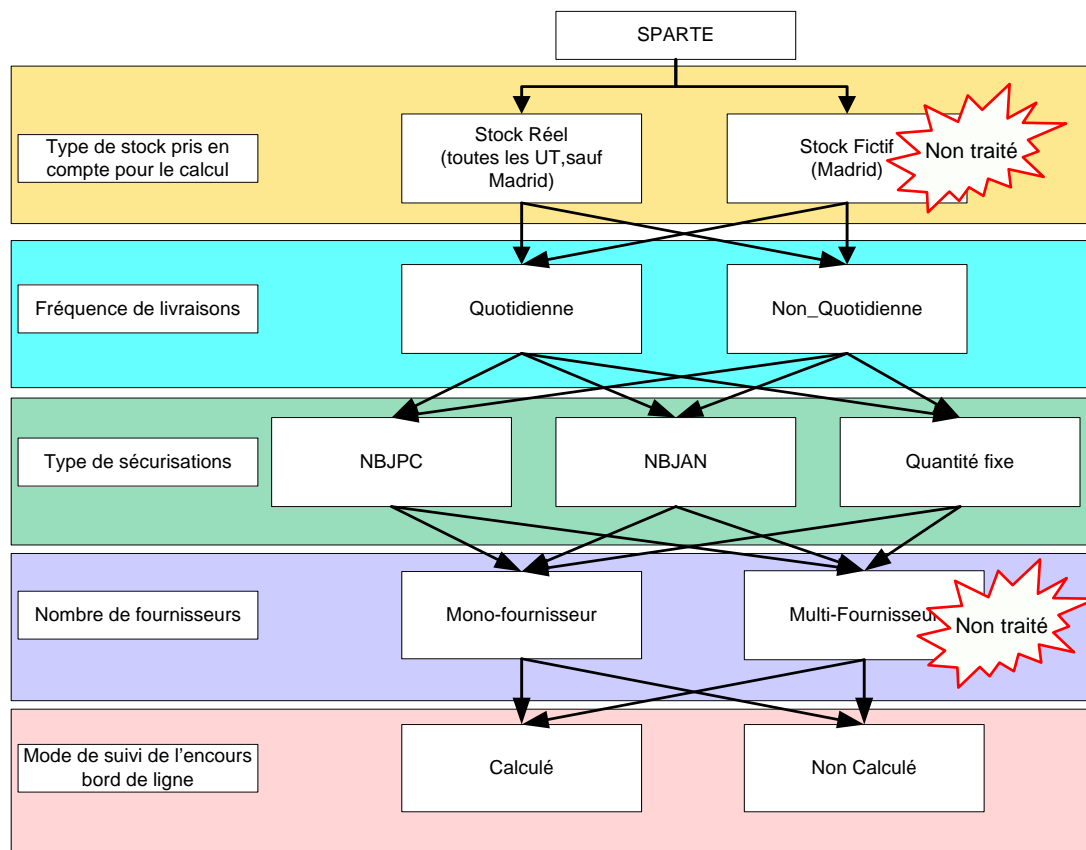


Figure 3-10 : Configurations possibles d'un flux géré en Sparte

Comme nous l'avons indiqué sur la figure 3-10, il peut-être construit à partir de cinq grands critères. Les choix effectués impactent essentiellement sur la formule de calcul des commandes à appliquer pour chaque composant.

Nous avons choisi, de ne pas prendre en compte le cas où le type de stock considéré pour le calcul est un stock fictif car il ne concerne qu'une seule usine terminale du groupe.

Nous avons également écarté le cas où une référence est livrée par plusieurs fournisseurs. Ce cas correspond d'ailleurs à une hypothèse première de la thèse qui consistait à dire qu'un flux correspondait à une seule référence et n'était livré que par un unique fournisseur. Cette hypothèse est vérifiée dans 99% des cas.

Nous réduisons la combinatoire de 112 configurations possibles à 28, mais représentant plus de 90% des cas sur l'ensemble des usines terminales du groupe.

4.2.3. Composition de l'échantillon

Les premiers résultats de validation ont été obtenus sur les flux d'approvisionnement du site de Poissy, pour des raisons de proximité. Ce site comptabilisait lors de la période de validation, 2118 références gérées en Sparte. La période de simulation s'étendait alors du 15 septembre 2003 au 15 novembre 2003. Pour information, nous présentons en annexe 4.1 le nombre de références pour chaque configuration de Sparte ainsi que le pourcentage correspondant sur le site de Poissy. Ceci nous a permis de construire l'échantillon représentatif de composants pour les différentes phases de validation.

4.3. Validation de l'implémentation de la modélisation

Rappelons que le plan de validation du module Sparte de SimAppro se déroule en 4 phases :

- ◆ Validation 1 : Emulation de l'application «CBJ» pour le calcul des besoins journaliers
- ◆ Validation 2 : Calcul des Ordres de Livraison
- ◆ Validation 3 : Validation dynamique des niveaux de stocks
- ◆ Validation 4 : Validation globale

Ces 4 phases présentées sur la figure 3-11 sont explicitées dans les paragraphes suivants.

4.3.1. Phase 1 – Validation du calcul des Besoins Journaliers

L'application CBJ fournit à partir d'une liste journalière d'Ordres de Fabrication et leur description, la consommation de chaque composant pour la période concernée. Il s'agit donc de vérifier que le module « Interface FV/FC » de SimAppro est capable de décomposer correctement un OF en ses composants. Cette phase est effectuée sur l'ensemble des références.

En entrée de ce module, nous trouvons le portefeuille d'ordres de fabrication et leur description (LCDV 24 et LCDV étendu *cf.* annexe 3.2) par jour d'une part. D'autre part, nous avons la liste des composants (références) avec leur(s) règle(s) de rattachement (ECDV).

En sortie, nous obtenons une matrice croisée (OFs x Références), avec à l'intersection la consommation de l'OF sur le composant.

Il est donc facile de sommer la consommation d'une référence pour chaque journée du portefeuille. Ce résultat sera comparé au Besoin Brut Journalier calculé par CBJ par jour et par référence.

4.3.2. Phase 2 – Validation du calcul des Ordres de Livraison

Cette phase consiste à valider la formule de calcul des Ordres de Livraison qui est implémentée au sein de SimAppro. Cette phase est réalisée sur l'échantillon représentatif des références gérées en Sparte.

En entrée, nous trouvons toutes les données nécessaires à ce calcul. Ces données sont exactement celles qui sont prises en compte pour le calcul dans l'application industriel Pégase. C'est-à-dire que nous utilisons l'information du niveau de stock, les Besoins Bruts de chaque référence par jour et les Ordres de Livraisons calculés les jours précédents.

En sortie, nous obtenons l'Ordre de Livraison, plus communément appelé *Commande*, envoyé à chaque fournisseur pour chaque référence.

Le résultat de ce calcul sera comparé à celui fourni réellement par Pégase.

4.3.3. Phase 3 – Validation dynamique des niveaux de stocks

L'objectif de cette étape est de valider le comportement du niveau de stock au sein de l'Usine Terminale et donc de valider la consommation en composant. Les niveaux de stock dépendent bien évidemment des commandes qui sont faites aux fournisseurs. Ainsi nous ne pouvons pas intégrer le calcul des commandes en simulation pour valider les niveaux de stocks. Nous avons alors décidé de fixer le calcul des commandes. Pour ce faire nous avons utilisé les commandes qui ont été réellement faites aux fournisseurs. Cette phase est effectuée sur l'échantillon représentatif.

En entrée nous utilisons, les films de production physique ainsi que les références considérées et leur règle de rattachement. Nous utilisons également les commandes calculées dans la réalité par l'application industrielle « Pégase ».

En sortie, nous obtenons la valeur du stock avant consommation à chaque instant de la période de simulation. Nous pouvons remarquer que nous ne pouvons pas obtenir des données réelles similaires. En effet nous ne disposons que d'une valeur échantillonnée (une fois par jour) de chaque niveau de stock. Nous comparons alors la valeur du stock simulé au même instant de la journée que celle remontée dans les systèmes d'information.

4.3.4. Phase 4 – Validation dynamique des niveaux de stocks et du calcul des Ordres de Livraison simultanément

Cette dernière phase de validation doit permettre de confirmer que notre modélisation est capable de se comporter comme dans la réalité. C'est-à-dire que nous chercherons à retrouver, non seulement les mêmes niveaux de stocks, mais aussi les mêmes commandes passées aux fournisseurs.

En entrée, nous utilisons le film de production réel et les Besoins Bruts de chaque référence calculés par CBJ. Cette phase est effectuée sur l'échantillon représentatif.

En sortie, nous obtenons également l'information du niveau de stock qui sera utilisée de la même manière que dans la phase 3. Nous obtenons également les commandes calculées par le simulateur

chaque jour et pour chaque référence. Elles seront comparées à celle effectivement calculées par Pégase.

4.3.5. Synthèse

Nous venons de construire le plan de validation complet de l'implémentation non seulement de la modélisation proposée, mais aussi des algorithmes de calcul spécifiques. Il peut être formalisé comme sur la figure 3-11. La suite de cette partie va s'attacher à montrer quelques résultats de validations.

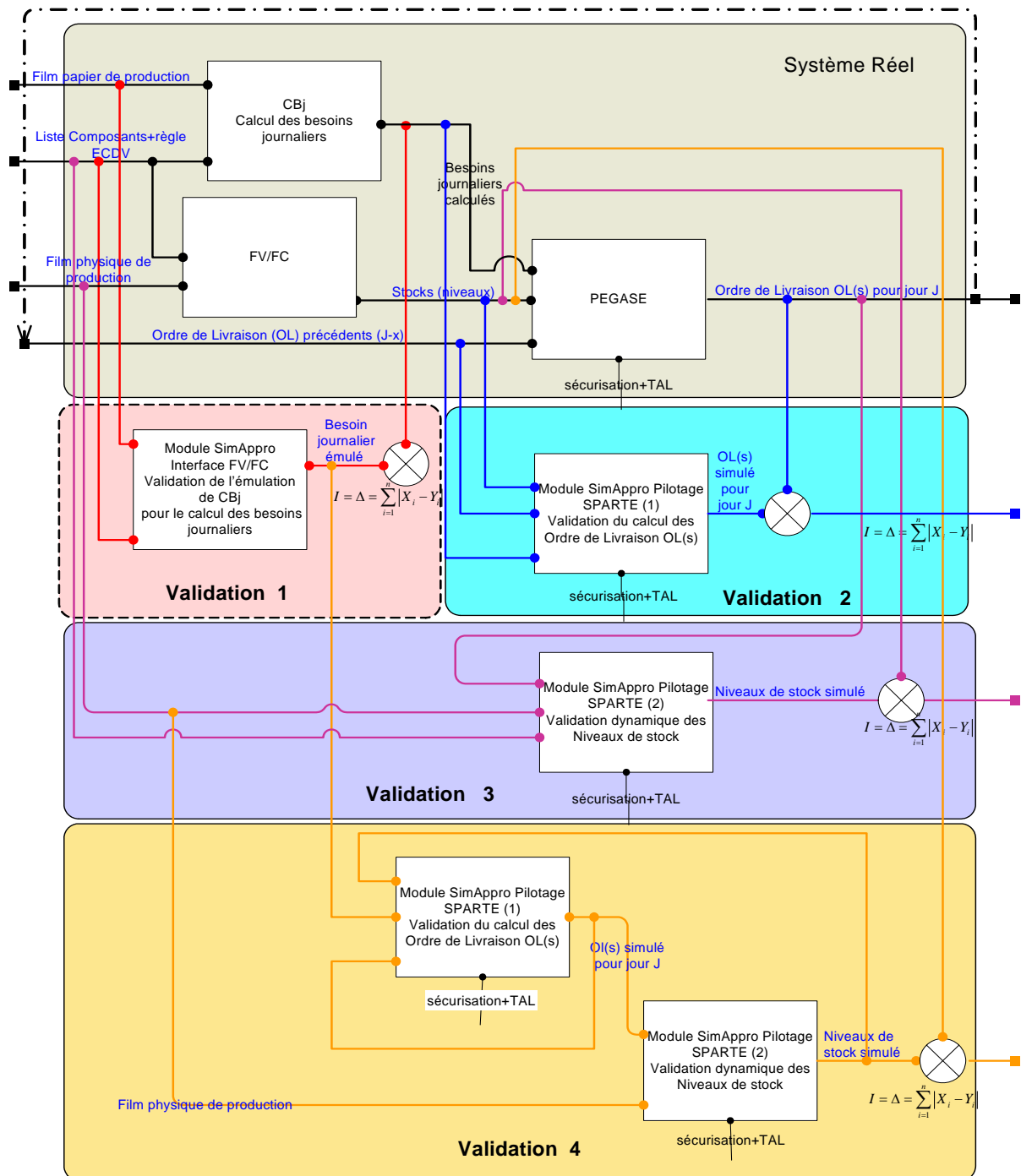


Figure 3-11 : Schéma général de la méthodologie de validation

4.4. Résultats de validation

Cette partie montre quelques résultats de validation. En ce qui concerne la première phase, le décomposeur implémenté dans SimAppro est capable de fournir exactement les mêmes résultats que ceux des systèmes de production ; nous ne détaillerons pas sa validation.

4.4.1. Phase 2 : Validation du calcul des Ordres de Livraison

Nous avons effectué ce test sur l'échantillon représentatif des références, et plus particulièrement celles dont la configuration tient une part importante dans la répartition des configurations. Nous avons donc pris en compte 8 configurations représentant 95 % des références gérées en Sparte sur Poissy.

Cette phase valide en fait l'algorithme de calcul qui est implémenté dans SimAppro. En première approche, cette phase ne paraît pas poser de problèmes. Mais dans notre contexte, il a fallu tout d'abord identifier quel était l'algorithme mis en place dans les systèmes informatiques (annexe 4.2).

Les résultats pour la configuration la plus représentée sont donnés sur la figure 3-12. La configuration est rappelée à gauche du graphique. Celui-ci montrant le nombre de références en fonction de l'écart entre les résultats réels et l'émulés en nombre de bacs.

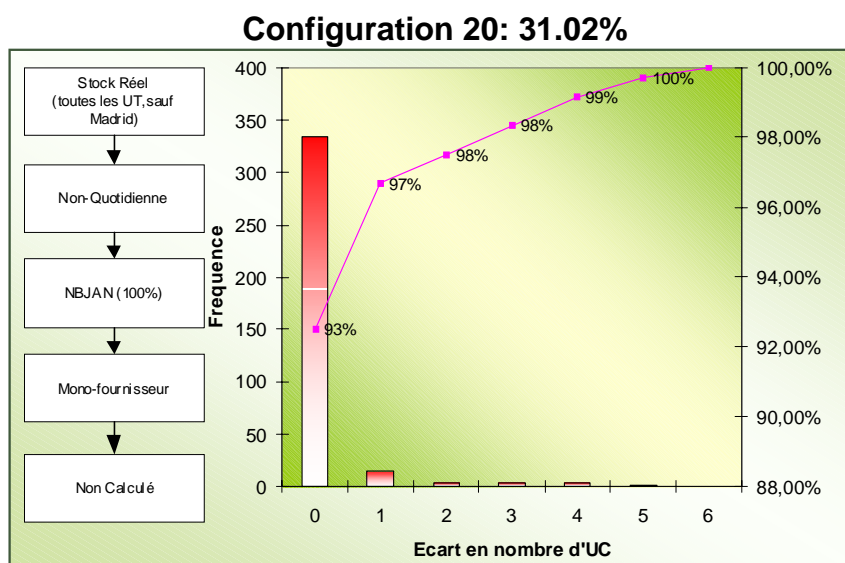


Figure 3-12 : Résultats de validation Phase 2

Ces résultats montrent donc globalement que nous sommes capables de calculer exactement la même valeur de l'Ordre de Livraison sur 94 % des références. Si on prend en compte les erreurs dues aux arrondis d'Unité de Conditionnement, le pourcentage s'élève alors à 98 % sur l'ensemble des configurations. Les 2% reste peut être expliqué par des interventions manuelles sur site ou par des composants qui ne vérifient pas nos hypothèses de départ. Nous considérons ce résultat suffisamment probant pour valider le modèle et son implémentation informatique.

4.4.2. Phase 3 : Validation dynamique des niveaux de stocks

4.4.2.1. Remarques

Pour cette phase également, nous nous sommes confrontés à la réalité des systèmes d'information. Au demeurant, il n'est pas compliqué de comparer une évolution des niveaux de stock simulés à ceux constatés dans les magasins en usines terminales. Cependant deux problèmes sont apparus. Tout d'abord, nous ne sommes pas en mesure de connaître l'évolution mouvement après mouvement de chaque stock de composants. La mémorisation de toutes ces données n'est pas envisageable pour nos systèmes : nous ne pouvons connaître qu'une seule valeur par jour. Ce qui induit implicitement une sensibilité des valeurs à comparer par rapport à l'instant de l'échantillonnage

La seconde difficulté est la représentativité des données. En effet dans le simulateur, nous avons pour ambition de donner une image du fonctionnement réel ; et donc de la comparer directement à la réalité. Or ceci est impossible, nous ne pouvons que la comparer à une autre image virtuelle : la valeur d'un niveau de stock mémorisée dans un système informatique. Ainsi pour montrer que notre plateforme émulait véritablement la réalité, il a fallu au préalable appréhender la distance entre chaque donnée dans les systèmes d'information PSA, la réalité et la simulation. Cette analyse est présentée en annexe 4.3.

4.4.2.2. Configuration de simulation

Nous ne présentons ici que les résultats concernant une configuration unique. La référence choisie correspond à la configuration 3 (Stock réel, livraisons quotidiennes, 100% de NBJAN, mono-fournisseur et suivi en-cours BdL calculé).

La période de simulation s'étend du 15 septembre 2003 au 21 novembre 2003.

4.4.2.3. Résultats

Sur le graphique suivant, nous visualisons quatre courbes de niveau de stock de la référence étudiée.

La première, ligne fine (—), montre l'évolution du stock avant consommation lors de la simulation en « temps réel ». Cette information ne peut pas être comparée à la réalité car nos systèmes d'information ne nous le permettent pas.

La deuxième courbe, (—), représente une image réelle du stock à un instant t.

La troisième courbe, (—), représente le stock dans la simulation à 00h00.

Enfin, la quatrième courbe, (—), représente le stock dans la simulation à 00h00 corrigé des avance/retard de livraisons réelles.

Les courbes à comparer sont donc la courbe bleu clair et la courbe rose.

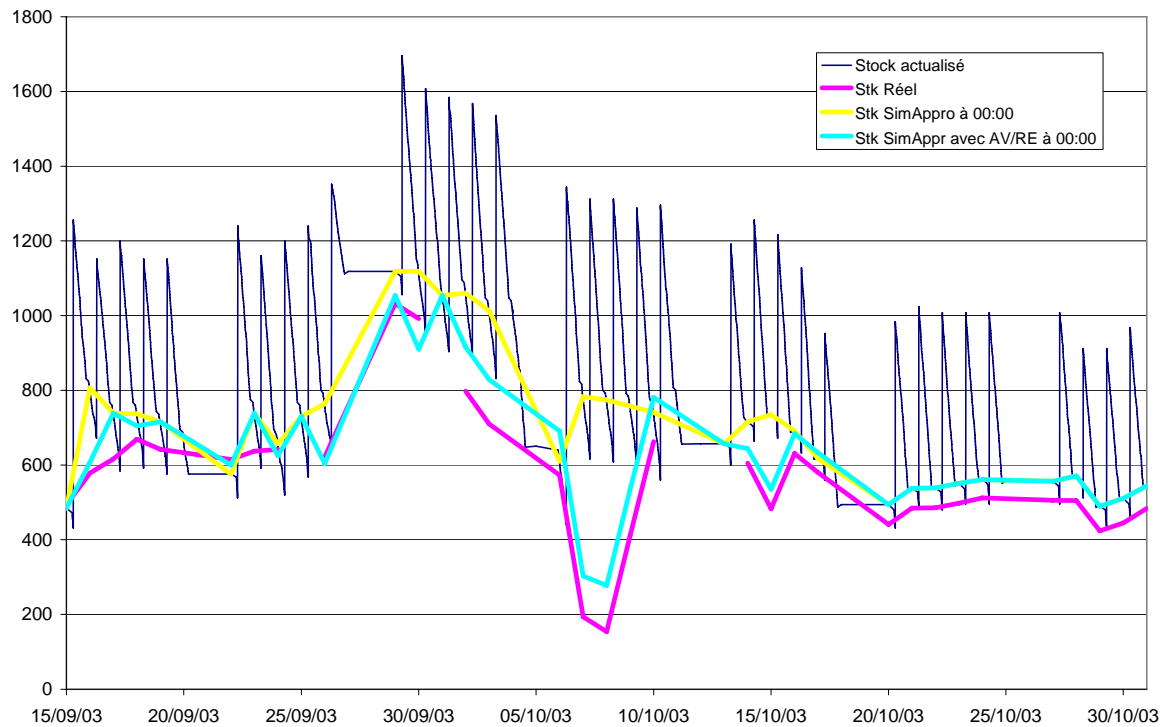


Figure 3-13 : Résultats de validation Phase 3 (du 15/09/03 au 1/11/03)

Une première remarque est que les niveaux de stock réel et simulé suivent une même tendance. Cependant les écarts constatés sont relativement stables. Nous pouvons les quantifier en moyenne à 57,5 pièces par jour, soit un écart moyen de 10 %. Nous estimons donc que le modèle est fiable à 90 %. Ce résultat n'étant pas satisfaisant, nous avons tenté de l'expliquer.

Durant la période d'échantillonnage, l'usine terminale a changé de mode de fonctionnement. En effet au 14 octobre, elle a évolué d'un mode fonctionnement en 3x8 vers du 2x8. Cependant ceci n'explique pas les écarts constatés au début de la période.

Par ailleurs, le niveau de stock dit « réel » est sensé représenter la valeur du stock à un instant t . Cet instant n'est pourtant pas facilement identifiable. Il semblerait que ce soit minuit. De plus, cette valeur de stock réel est composée de deux valeurs issues de systèmes informatiques différents. Nous pouvons donc penser que ces deux composantes sont des images de la réalité à deux instants différents de la nuit.

Les horaires d'ouverture de l'usine terminale ont changé durant la période de simulation, elle a en effet cessé de produire la nuit. Nous avons alors mené une étude plus approfondie sur la période du 14 octobre au 31 octobre 2003. Nous montrons effectivement que les facteurs d'écart seront gommés. Les résultats sont présentés sur le graphique suivant.

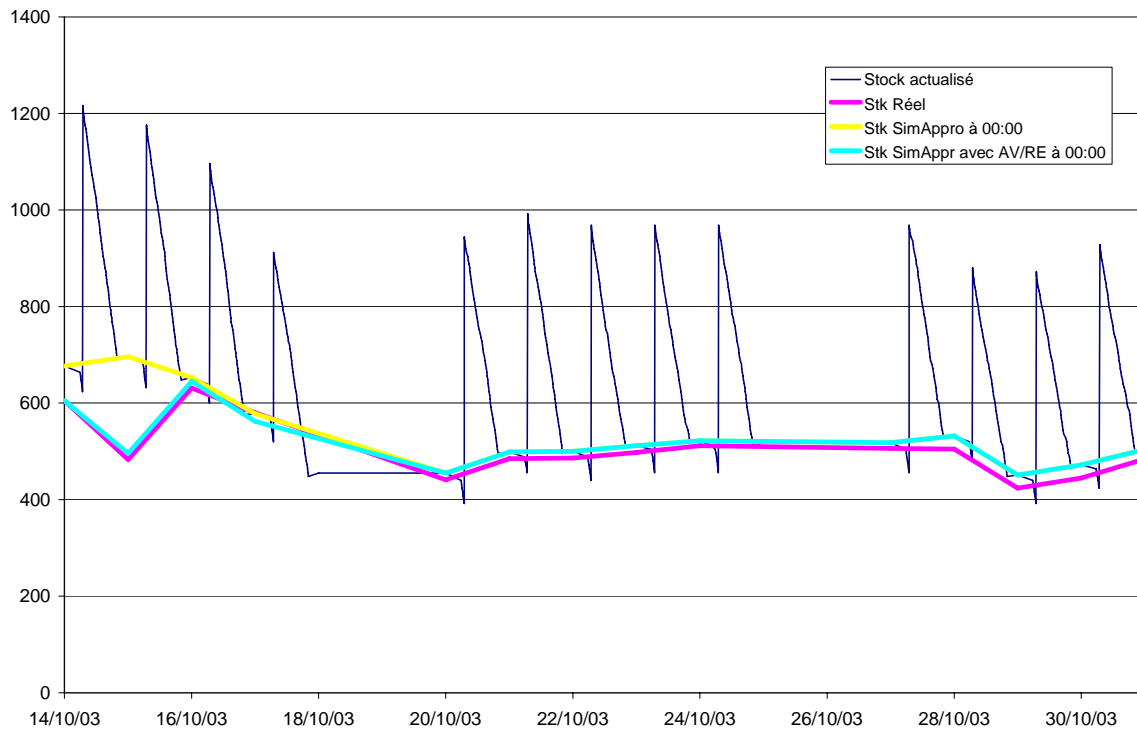


Figure 3-14 : Résultats de validation Phase 3 (du 14/10/03 au 1/11/03)

Sur cette période, nous constatons une nette amélioration des écarts. En effet, nous avons un écart moyen de 13 pièces soit 2 % d'erreur. Ceci confirme en partie les explications données précédemment. Nous pouvons donc conclure que notre modèle, sur une production en 2x8, est capable de simuler un niveau de stock avec une précision de 98 %.

4.4.3. Phase 4 : Validation dynamique des niveaux de stock et du calcul des Ordres de Livraison simultanément

4.4.3.1. Configuration de simulation

La référence dont les résultats sont montrés ici, correspond à la configuration 3 (Stock réel, livraisons quotidiennes, 100% de NBJAN, mono-fournisseur et suivi en-cours Bord de Ligne Calculé).

La période de simulation s'étend du 15 septembre 2003 au 21 novembre 2003.

4.4.3.2. Résultats

Sur le graphique suivant, nous visualisons deux courbes de niveau de stock de la référence étudiée.

La première courbe, (———), représente une image réelle du stock à un instant t.

La seconde courbe, (———), représente le stock dans la simulation à 00h00 corrigé des avance/retard de livraisons réelles.

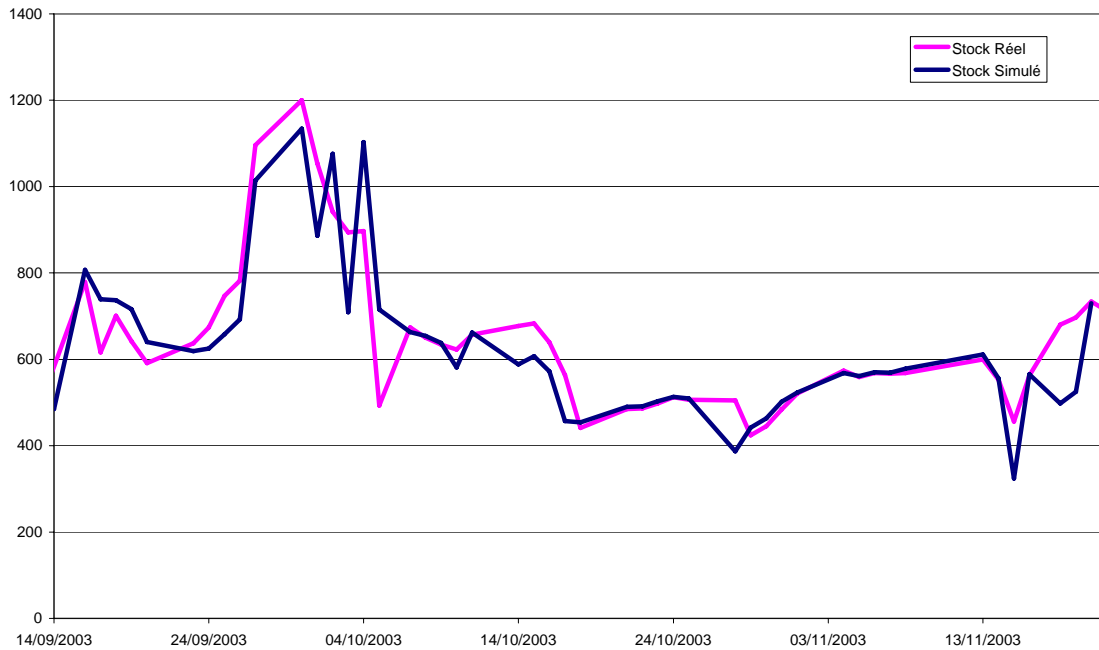


Figure 3-15 : Résultats de validation Phase 4

Nous constatons sur ce graphique que le niveau de stock simulé suit la même tendance que le stock réel. Cependant nous observons des écarts, notamment en début de simulation. Nous avons déjà montré que sur cette période l'usine terminale fonctionnait en 3x8. Nous retrouvons donc ici la sensibilité à l'instant d'échantillonnage de la valeur des niveaux de stock. Sur la deuxième partie du graphique, nous constatons certains écarts importants. Nous les avons expliqués et nous avons déterminé ici que des interventions manuelles avaient été effectuées. En effet ces écarts sont représentatifs d'une modification d'un paramètre influant sur la formule de calcul, à savoir le coefficient d'ouverture de l'usine.

Malgré les quelques incertitudes du modèle, nous considérons qu'il nous fournit une image plausible de la réalité.

4.5. Synthèse sur la validation

Le plan de validation explicite concerne uniquement les références gérées en Sparte. Nous avons éludé volontairement le mode Recor, bien qu'ayant été effectué également. En effet, nous avons voulu ici montrer comment un problème simple théoriquement, peut devenir compliqué lorsque nous nous retrouvons confrontés à la réalité industrielle. Par exemple, le fait de comparer deux chiffres, l'un donnant un niveau de stock simulé, l'autre le même niveau de stock supposé réel, peut soulever un autre problème : la représentativité des données issues des systèmes d'information de l'entreprise

Plus précisément, sur la validation de notre plateforme de simulation, nous pouvons conclure que les résultats que nous fournissons sont représentatifs de la réalité. Sur ce point également, nous pouvons remarquer que nous avons effectué une validation par rapport à notre problématique : la maîtrise des

stocks de composants en usine terminale. Nous sommes en mesure de dire que notre modèle, et par conséquent notre plateforme, est capable de donner une bonne image de l'évolution de ces stocks.

5. Conclusion

L'objet de ce chapitre était l'étude et la spécification d'une plateforme de simulation, matérialisant la modélisation que nous avons proposée dans le chapitre précédent. Pour la construire, nous nous sommes attachés dans un premier temps à choisir une solution technique. Pour cela nous pouvions opter pour l'utilisation d'un logiciel de simulation généraliste où aucun développement informatique ne semblait nécessaire et où le groupe PSA Peugeot Citroën avait déjà capitalisé de l'expérience. Cependant la taille du problème est une contrainte trop forte pour cette option. Nous pouvions alors nous diriger vers un logiciel de simulation implémentant un formalisme spécifique tels que les réseaux de Petri avec *Design-CPN*[®]. Là aussi de nombreux travaux sur le sujet existent et il n'était pas utile d'envisager un développement informatique. De nouveau nous avons été confronté à la taille du problème. En effet une simulation d'**un mois** de production à **1500 véhicules** par jour sur **5000 composants** donnent un total de plus **40 millions d'événements** à traiter et de **1,2 milliard d'opérations** de traduction à effectuer, dans un temps raisonnable. Finalement nous avons retenu la solution d'un développement complet et spécifique.

Nous avons alors décrit les spécifications de la plateforme de simulation de la logistique d'approvisionnement d'une usine terminale que nous avons nommée *SimAppro*. L'architecture technique sur laquelle repose cette application est constituée de trois modules principaux, répondant notamment à des contraintes industrielles : un module d'interfaçage pour la connexion aux données de l'entreprise, un moteur de simulation intégrant la modélisation proposée et un module de traitement des résultats de simulations.

Finalement, cet outil a fait l'objet d'une étude de validation. Celle-ci devait conclure quant à la bonne implémentation des algorithmes de calcul spécifique du groupe PSA, mais elle devait également valider la bonne modélisation de la dynamique d'un système d'approvisionnement et donc de la bonne spécification du comportement des entités. Cette étape a montré que les résultats de simulation étaient conformes à la réalité.

Il nous reste maintenant à valider le bien-fondé de la démarche que nous avons adoptée. Pour ce faire nous proposons dans le chapitre suivant de montrer une application industrielle complète. Elle montre une utilisation possible de *SimAppro* qui répond à une question issue de notre problématique, à savoir l'aide au dimensionnement global de la sécurisation des stocks de composants en Usine Terminale.

CHAPITRE 4

APPLICATION INDUSTRIELLE

Chapitre 4

Application industrielle

1. Introduction

Après avoir proposé un modèle de la logistique d'approvisionnement d'une usine terminale de montage automobile, nous nous sommes attachés à démontrer la faisabilité de la construction d'une plateforme de simulation répondant aux attentes industrielles. Dans ce chapitre, nous nous emploierons à montrer un cas d'application de nos travaux. Cette étude concerne le dimensionnement de niveau de sécurisation des flux approvisionnés avec une gestion en Sparte. Après avoir rappelé les faits nécessitant une sécurisation des stocks, nous justifierons le choix de l'usine terminale sur laquelle notre étude s'est focalisée. Nous ferons ensuite une analyse des gains envisageables par une étude statique, telle qu'elle peut être menée avec les outils actuels. Enfin nous montrerons comment la simulation dynamique peut aider pour l'adaptation des niveaux de sécurisation. Ce sera l'occasion de mettre en évidence les avantages de ce moyen et l'utilisation didactique qui peut en être faite.

2. Pourquoi sécuriser un stock ?

Avant d'expliquer pourquoi il est nécessaire de sécuriser un stock de composants, regardons quelle est sa fonction dans le cadre d'un système d'approvisionnement. Tout comme une cuve de liquide, un stock de composants se remplit avec un débit d'entrée D_e (livraison de 1440 composants une fois par jour) et se vide avec un débit de sortie D_s (consommation d'un composant par minute). La fonction principale d'une cuve comme d'un stock, est alors de réguler le flux. Cette fonction permet de supporter des désynchronisations du circuit de vidange (la demande en composants) et du circuit d'alimentation (l'approvisionnement des composants). Ces stocks se comportent comme une zone tampon amortissant les variations instantanées des débits d'entrée et de sortie. Cependant pour assurer une bonne qualité de service, il est nécessaire d'anticiper ces variations et éventuellement d'en connaître l'amplitude maximale, dans le but de mettre en place une sécurisation du stock efficace. L'objectif global est d'assurer constamment un débit de sortie tout en maintenant le niveau le plus bas possible.

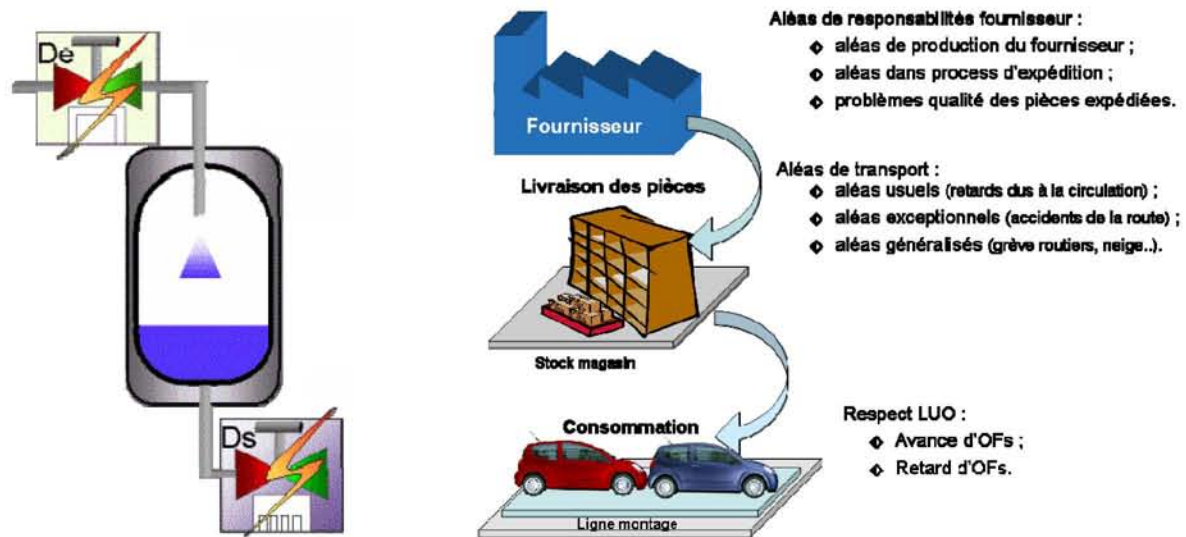


Figure 4-1 : Analogie entre un stock de composants et une cuve de liquide

Un stock de composants peut être scindé en trois parties. La première consiste à assurer les disponibilités de pièces pour des consommations prévues entre deux livraisons ; c'est sa fonction principale. Les deux autres parties constituent la part de sécurisation : une première part pour les aléas amont ou d'approvisionnement et une seconde pour absorber les variations du film réel de fabrication par rapport au programme prévisionnel (non-respect de la LUO).

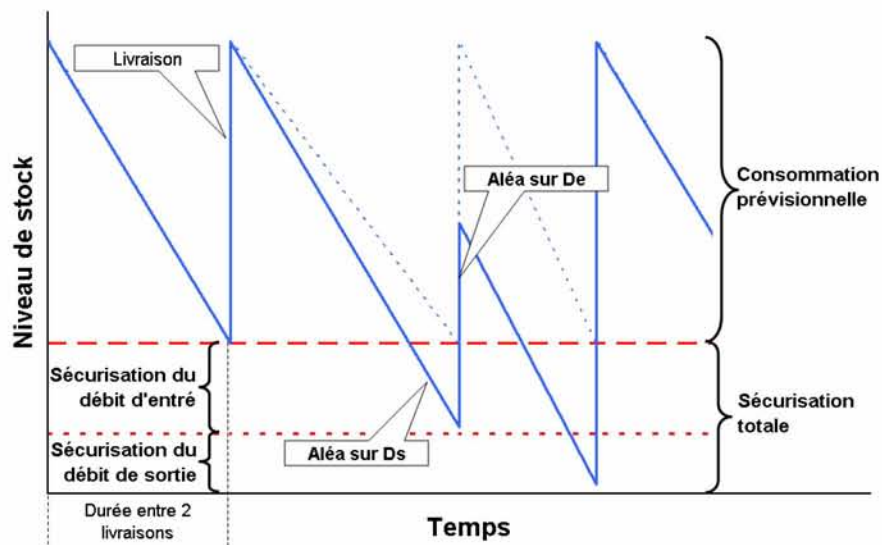


Figure 4-2 ; Evolution d'un stock de composant et les sécurisations à mettre en place

Les aléas sur le débit d'entrée peuvent survenir lors du transport ou lors de la production chez le fournisseur. Quant aux aléas sur le débit de sortie, ils sont présents uniquement à cause des avances et des retards de passage des véhicules, par rapport à la séquence initialement prévue (figure 4-1).

Comme nous l'illustrons sur la figure 4-3, un aléa peut être décomposé en deux sous parties : une partie composée d'aléas « usuels » et une autre d'aléas « exceptionnels ». Pour la première partie des données sont disponibles dans les systèmes d'information. Il est possible par exemple d'avoir accès

aux horaires d'arrivée effectifs de chaque camion ou de disposer des films de production. Dans ces conditions on peut envisager de mener des études dans le but de déterminer des lois statistiques représentatives de ces aléas « usuels ». Pour les aléas exceptionnels, il faut plutôt évaluer le coût leur sécurisation et le mettre en balance avec une notion de risque. Par exemple il faut répondre à une question du type : est-il nécessaire de sécuriser les stocks de telle façon à absorber un accident survenant une fois par an ? Implicitement cela revient à considérer les coûts de cette sur-sécurisation par rapport aux coûts de rupture d'approvisionnement. Pour ce type d'aléa exceptionnel, la réponse n'est pas évidente. En effet, prendre le risque d'une rupture d'un composant peut être identique à prendre le risque de stopper la production. Des études économiques doivent alors être menées au cas par cas. Nous pouvons remarquer de plus qu'un aléa exceptionnel sur le débit d'entrée peut entraîner un aléa exceptionnel sur le débit de sortie, et vice-versa. Par exemple s'il survient une rupture sur un composant, on peut bloquer les véhicules consommant ce composant. Or d'autres vont les remplacer et peuvent consommer d'autres composants initialement non prévus et ainsi générer d'autres ruptures

En ce qui concerne les aléas usuels, il faut mettre en place des palliatifs sur deux niveaux. D'un côté, il faut bien sûr établir un plan d'actions pour réduire ces aléas : accompagner le fournisseur dans une démarche d'amélioration de la qualité, par exemple. La seconde facette est la mise en place d'une sécurisation dimensionnée au plus juste.

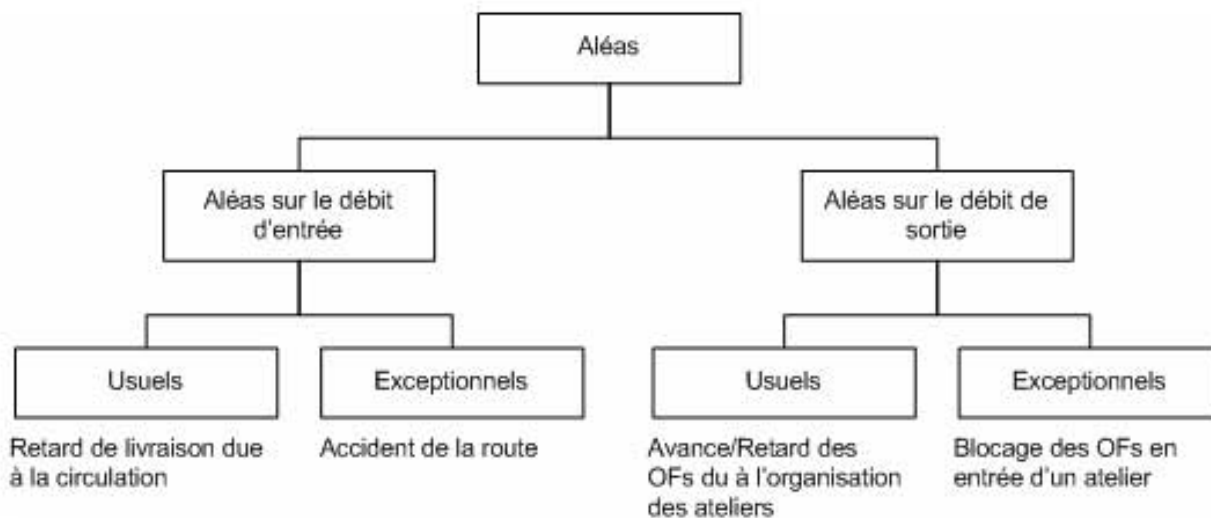


Figure 4-3 : Typologie des aléas

Le cas d'étude présenté ici traite uniquement du dimensionnement de la part de sécurisation pour les aléas du type « usuels » du débit de sortie (non-respect de la LUO). Cette étude a été conduite dans le cadre d'un projet d'avance de phase intitulé « Contribution à la détermination de la sécurisation juste nécessaire des stocks de composants en usine terminale : Application à l'usine terminale d'Aulnay pour les références gérées en Sparte ».

L'intégralité de cette étude repose sur des données réelles de production c'est-à-dire le paramétrage de 1344 flux d'approvisionnement, mais aussi sur le film de production qui nous donnera notre débit de

sortie d'un mois de production. Ces 1344 flux sont tous gérés avec une politique de gestion de type Sparte. Ce choix a été fait en fonction par rapport aux hypothèses (dimensionnement pour les aléas usuels du D_s). En effet pour cette politique les commandes sont calculées pour satisfaire les besoins de la production future (5 jours après) donnée lors de la construction de la LUO. Pour une politique de type Recor le dimensionnement des sécurisations est établi pour des volumes de production prévisionnels mensuels. Le désordre de la LUO n'a pas d'impact dans ce cas, à condition que les volumes soient respectés.

De plus, nous n'agissons que sur un seul levier d'action. Il s'agit du paramètre « Nombre de Jours par Anticipation (NBJAN) ». Une commande de composants est calculée le jour J pour être livrée le jour $J+3$, par exemple. Nous la notons (OL_{J+3}). Elle doit satisfaire les besoins de J , noté B_J , à $J+3$, noté B_{J+3} . Des commandes ont déjà été passées entre J et $J+2$ et des pièces sont déjà en stock le jour J du calcul (Stk). Sans sécurisation on va donc passer une commande égale aux besoins de $J+3$. Nous l'exprimons par la formule suivante :

$$OL_{J+3} = \sum_{i=J}^{i=J+3} B_i - Stk - \sum_{i=J}^{i=J+2} OL_i$$

Si maintenant nous considérons la sécurisation, nous allons prendre en compte une partie (égale à NBJAN jours) des besoins des jours suivants $J+3$. Par exemple si NBJAN=0,6 jours alors :

$$OL_{J+3} = \sum_{i=J}^{i=J+3} B_i - Stk - \sum_{i=J}^{i=J+2} OL_i + 0,6 \cdot B_{J+4}$$

On va donc sécuriser les stocks en considérant une éventuelle consommation le $J+3$ alors qu'elle est prévue à $J+4$.

3. Etude statique préliminaire

3.1. Etat des lieux

Afin de définir l'usine terminale sur laquelle nous allons nous concentrer, nous avons tout simplement calculé la moyenne des sécurisations appliquées aux références gérées en Sparte sur différentes Usines Terminales du groupe. Nous avons alors constaté que l'UT d'Aulnay avait **2,79 jours** de sécurisation en moyenne alors que Poissy affichait **0,8 jours**. Le graphique de la figure 4-4 exprime la répartition du nombre de jours de sécurisation. Nous comparons Aulnay et Poissy.

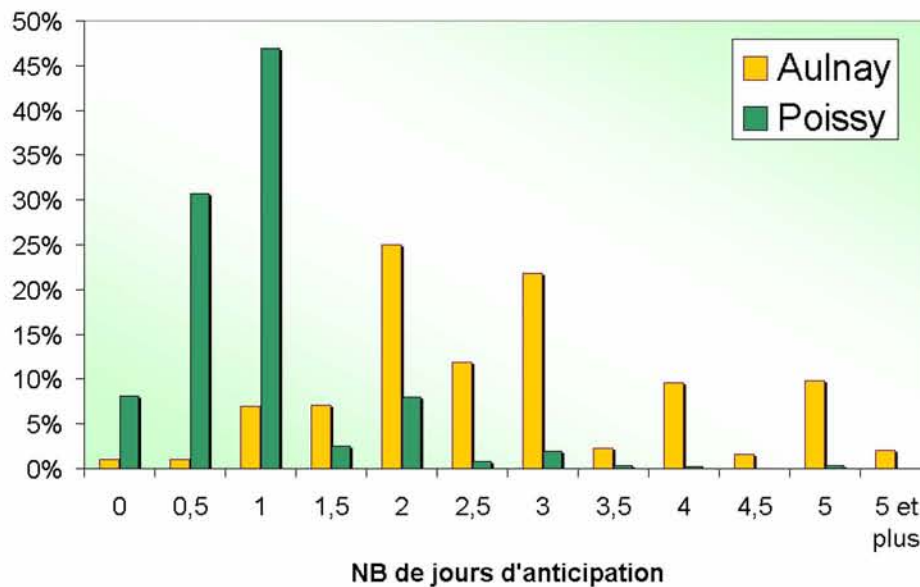


Figure 4-4 : Comparaison de la répartition des sécurisations entre Aulnay et Poissy

Si nous considérons plus particulièrement l'usine terminale d'Aulnay, il est à noter que certains composants sont sécurisés jusqu'à 20 jours. Afin de cartographier de manière générale l'ensemble des sécurisations NBJAN (en ordonnée), nous illustrons la répartition des sécurisations pour tous les composants en SPARTE (numéro de composant en abscisse) sur la figure 4-5.

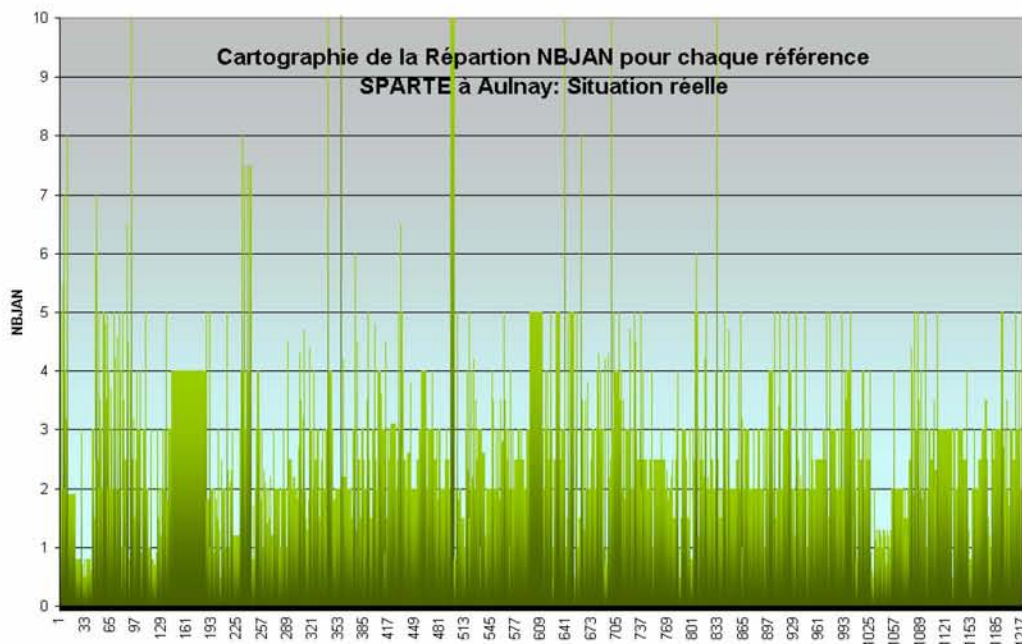


Figure 4-5 : Cartographie des niveaux de sécurisation réels de l'UT d'Aulnay

Le graphique de la figure 4-6 nous donne la répartition de la valorisation de la sécurisation des stocks de composants en fonction d'intervalles de NBJAN.

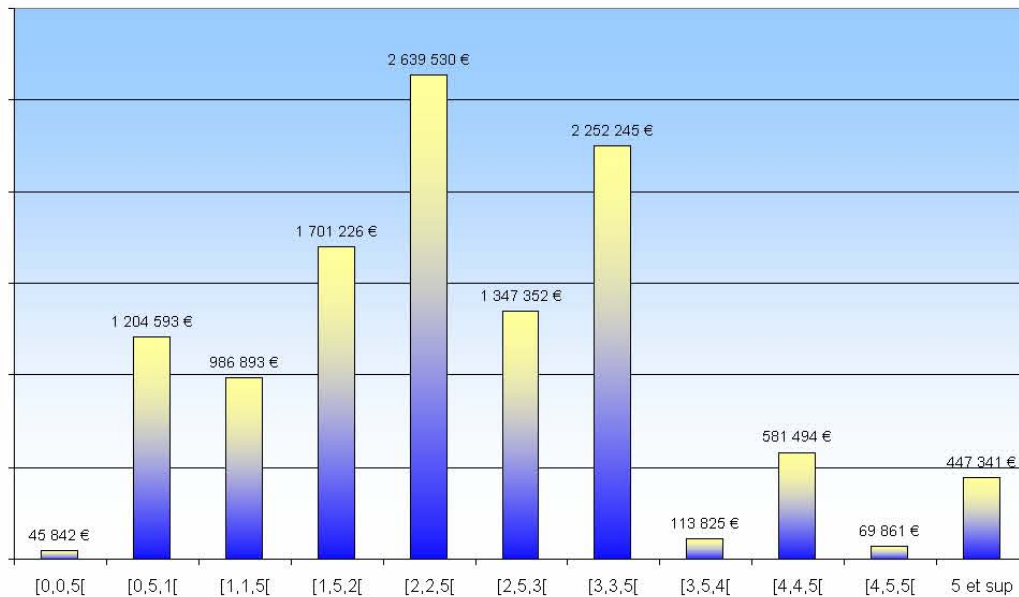


Figure 4-6 : Répartition de la valorisation de la sécurisation des stocks

Ceci montre que plus de 65% de la valeur immobilisée pour sécurisation correspond à un NBJAN supérieur à 2 jours. Ce chiffre augmente à près de 90 % pour des sécurisations supérieures à une journée. Or les objectifs de fabrication indiquent que tous les véhicules doivent être fabriqués dans la journée prévue et ne doivent pas avoir plus d'une demie journée d'avance. Par conséquent les gains potentiels *a priori* sur la valeur immobilisée en stocks de composants paraissent importants.

3.2. Indicateurs utilisés

La première partie de l'étude vise à quantifier un premier gain financier envisageable. Pour ce faire nous utiliserons les indicateurs définis au chapitre 2. Seule la part de stock correspondant à la sécurisation est utilisée pour calculer ces indicateurs. Ainsi nous aurons un stock moyen de sécurité plutôt qu'un stock moyen total.

Nous avons besoin d'évaluer différentes valeurs dans les formules de calcul. Ainsi le taux de détention⁸ ($T_{dét}$) est évalué à 12,5% chez PSA, le ratio donnant la surface occupée par un volume donné (Rb_{moy}) est égal à 1.5 m²/m³ et enfin le coût moyen d'installation par unité de surface (Ct_{inst}) est estimé à 100 €/an/m².

3.3. Evaluation des gains envisageables

Mesurer les gains envisageables d'une réduction des niveaux de sécurisation peut être faite assez rapidement, mais d'une manière plutôt grossière. Notre objectif est ici de confirmer la rentabilité d'une

⁸ Taux de détention ($T_{dét}$) : Ratio entre la valeur de l'immobilisation moyenne pendant un an, et ce qu'aurait pu devenir cette valeur si elle avait été investie.

telle action. Ainsi une méthode pour évaluer les gains potentiels consiste simplement à fixer un niveau plafond pour toutes les références. Si le niveau actuel est supérieur à ce plafond alors nous le réduisons à ce niveau plafond. Nous évaluons les indicateurs de coût pour cette situation. On peut réitérer en décrémentant la valeur du plafond.

Les résultats sont présentés sur les trois graphiques ci-dessous. Sur chaque graphique, deux valeurs sont rapportées. La première correspond au gain possible pour le coût considéré, et la seconde (de l'ordre de l'euro) correspond à ce gain rapporté par véhicule produit sur 1 an.

Les trois graphiques s'interprètent de la même manière. Par exemple, pour le graphique illustrant les gains sur le coût de détention (figure 4-7) si nous plafonnons les sécurisations NBJAN à 1.5 jours alors le gain sur le coût de détention est de **476 683 €** par an ce qui correspond à un gain de **1,06€ par véhicule**. Alors que si nous le plafonnons à 4 jours alors le gain n'est que de 24 112 €, soit 0,05 € par véhicule produit. Remarquons cependant que nous pouvons comparer les coûts réels aux coûts mesurés après réduction des sécurisations tant que le plafond est supérieur à 1,5⁹. En effet nous ne dimensionnons qu'une partie de la sécurisation totale alors que nous ne pouvons pas les dissocier sur la situation réelle.

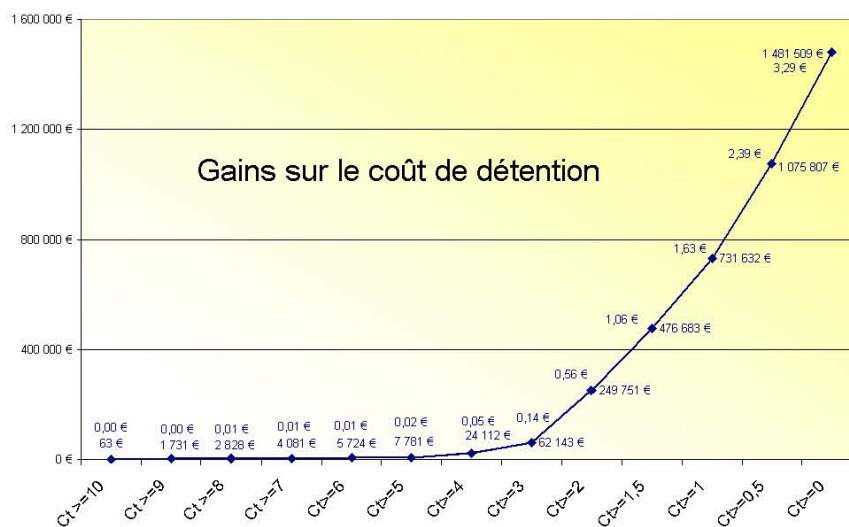


Figure 4-7 : Gains envisageables sur le coût de détention

De la même manière, le second graphique (figure 4-8) exprime le gain sur le coût de stockage.

⁹ Ce chiffre est donné au regard de la situation constatée sur l'usine terminale de Poissy

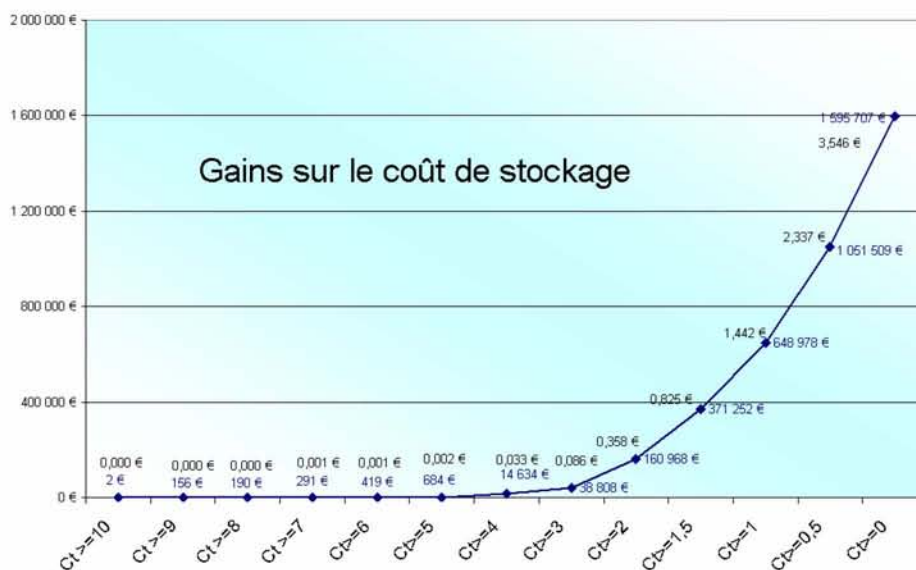


Figure 4-8 : Gains envisageables sur le coût de stockage

Si nous plafonnons par exemple les sécurisations NBJAN à 1,5 jours alors le gain sur le coût de stockage est de **371 252 €** par an ce qui correspond à un gain de **0,825 €** par véhicule.

Enfin, le troisième graphique (figure 4-9) correspond au gain total soit la somme des deux premiers



Figure 4-9 : Gains envisageables sur le coût de possession

Si nous plafonnons les sécurisations NBJAN à 1,5 jours alors le gain total est de **847.935 €** par an ce qui correspond à un gain de **1,88 €** par véhicule.

3.4. Conclusion de l'étude statique

Cette étude de l'existant permet d'obtenir un premier ordre de grandeur quant aux gains envisageables en diminuant les sécurisations pour les composants gérés en Sparte sur Aulnay. Grâce à notre système d'indicateurs, il est possible d'évaluer un gain en menant une simple étude statique.

Cependant il paraît difficile de donner une valeur de sécurisation à mettre en place sans la confronter à une valeur de qualité de service rendu. De même nous avons établi une valeur plafond de sécurisation pour l'ensemble de références. Or nous avons montré auparavant qu'il était nécessaire de dimensionner la sécurisation individuellement, mais en considérant globalement la chaîne logistique d'approvisionnement, du fait des interactions entre les flux. Des études statistiques ont déjà menées et fournissent des règles de dimensionnement intégrant les paramètres individuels des flux. Mais cela ne permet toujours pas la prise en compte des interactions, et ne fournit pas une valeur de qualité de service.

Dans la suite de cette étude, nous nous attacherons à montrer que grâce à la simulation à l'aide de l'outil SimAppro, il est possible de dimensionner chaque flux en considérant globalement la logistique d'approvisionnement. Nous sommes en effet capable de simuler simultanément tous les flux en évaluant dynamiquement la qualité de service.

On rappelle que la qualité de service est le ratio entre le nombre de véhicules complets et le nombre total de véhicules produits. Elle est égale à environ 99% dans la réalité sur la période de test considérée.

4. Etude par simulation dynamique

4.1. Généralités

La plateforme de simulation SimAppro permet de simuler l'ensemble des flux gérés en Sparte entre un fournisseur et une usine terminale. Les simulations, présentées ici, sont réalisées à partir des données réelles extraites des systèmes d'information de l'entreprise.

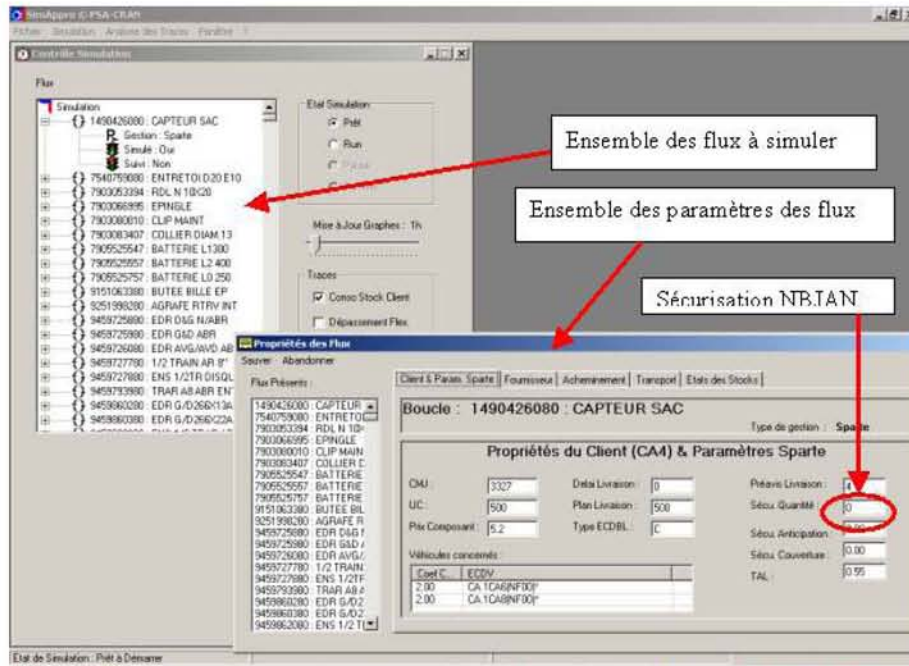


Figure 4-10 : Interface graphique de SimAppro

La figure 4-10 montre l'interface graphique de SimAppro. Nous pouvons visualiser l'ensemble des flux simulés, mais aussi les paramètres de chaque flux. La figure 4-11 montre la visualisation de différents flux avec la valeur des stocks du flux et surtout le graphique d'évolution du stock en usine terminale

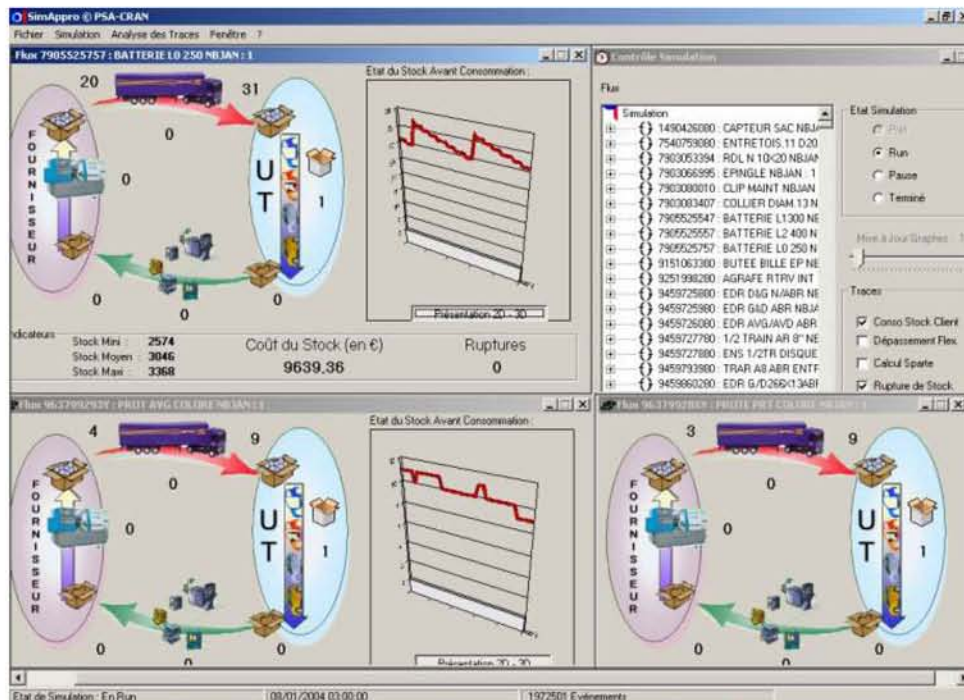


Figure 4-11 : Visualisation des flux et de l'évolution des niveaux de stock

4.2. Méthodologie

4.2.1. Simulation de référence

La méthodologie envisagée propose de débiter par une simulation de référence permettant de simuler la réalité. On entend par réalité d'un côté le physique de l'UT : la liste d'OFs (LUO) réellement engagée en entrée montage ainsi que les niveaux de stocks initiaux. Cette partie est représentée par le niveau B du schéma de principe illustré figure 4-12. Nous utilisons également les paramètres réellement renseignés dans les systèmes des flux et notamment les paramètres de sécurisation, pour chacune des références. Cette partie est figurée par le niveau A. Au terme de la simulation nous calculons les indicateurs locaux pour chaque flux (Stock moyen en nombre de pièces) et les indicateurs globaux de coût et de qualité de service (Taux de Service véhicule, TS_{vh})

Cette simulation doit représenter la référence (en terme d'indicateurs de coût et de qualité de service) que l'on cherchera à optimiser par le biais des paramètres de sécurisations NBJAN afin de répondre à l'objectif de minimisation de l'indicateur de stock IM_{Qstock} pour un taux de service (TS_{vh}) donné.

Nous rappelons que dans cette simulation, nous ne prenons pas en compte les aléas fournisseurs (aléas sur le débit d'entrée sur le schéma).

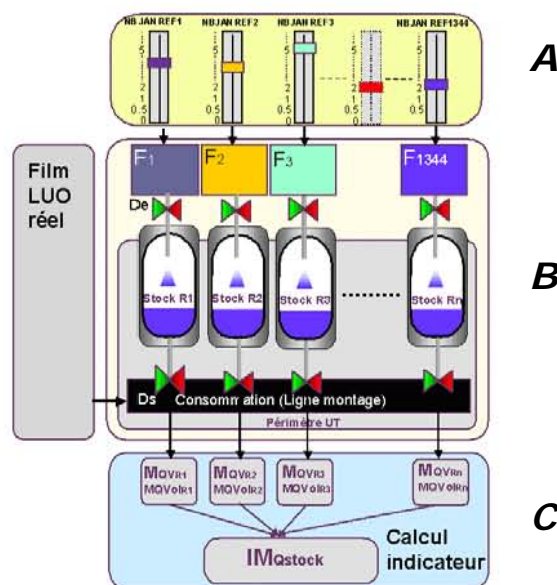


Figure 4-12 : Schéma de principe

4.2.2. Simulation du scénario de l'étude statique

La seconde phase intègre la première stratégie évoquée dans l'étude statique. Pour ce faire nous proposons de rejouer le scénario de l'étude statique. Nous allons donc effectuer plusieurs itérations de

simulation tant que la valeur plafond n'est pas égale à zéro. L'heuristique de réduction des sécurisations est ici très simple. Lors de l'étude statique, nous avons identifié qu'aucun gain n'était possible avant une valeur plafond de la sécurisation égale à 5 jours. Nous prendrons cette valeur pour initialiser l'heuristique.

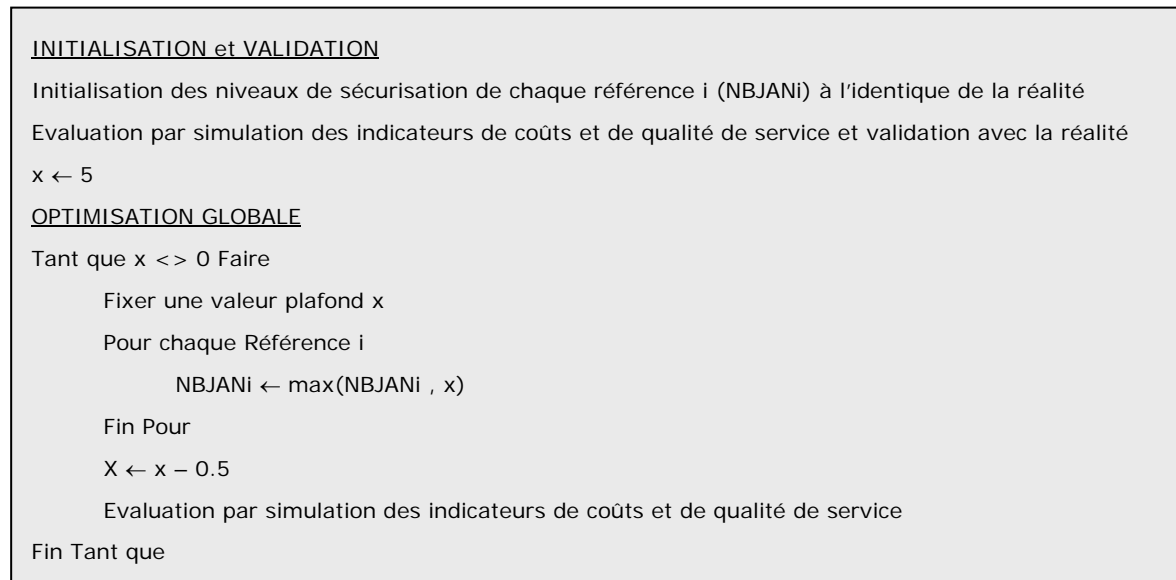


Figure 4-13 : Algorithme du scénario de l'étude statique

4.3. Analyse des résultats de la campagne de simulation

4.3.1. Résultats et analyse de la simulation de référence

Le tableau ci dessous exprime le résultat de la simulation de référence. Elle utilise le film qui a été réellement engagé en fabrication et le paramétrage réel. Nous rejouons ce qui c'est déroulé sur la période étudiée. Ces résultats nous donnent les indicateurs supposés représenter la réalité.

Coût de détention	Coût de stockage	Coût de possession	Qualité de service
2 604 161€	2 562 059 €	5 166 220€	99,4%

Tableau 4-1 : Résultats de la simulation de la situation réelle

Au terme de la première simulation, nous avons voulu nous assurer qu'il n'existait pas de paramètres introduisant un biais dans nos résultats, pour valider nos résultats. Lors de la phase de spécification de la plateforme nous avons constaté que le paramètre « Temps d'Attente Livraison » (TAL) était un facteur influent sur le niveau de stock et sur la qualité de service. Ce paramètre s'il mal renseigné, peut se comporter comme le paramètre de sécurisation par anticipation (NB JAN). Il va donc élever le niveau moyen de stock et améliorer la qualité de service, tout comme dans la réalité.

Pour pouvoir agir sur notre levier sans fausser les résultats, nous avons annulé ce biais par modification du paramétrage. Les résultats faisant suite à cette correction sont donnés dans le tableau 4-2. Cette fois, ces indicateurs nous donne notre référence pour la suite des travaux. Ils correspondent

à une situation telle qu'elle aurait du être constatée dans la réalité si tous les paramètres avaient été correctement renseignés par rapport à leur fonctionnalité.

Coût de détention	Coût de stockage	Coût de possession	Qualité de service
2 209 601 €	2 262 132 €	4 471 732€	93,4%

Tableau 4-2 : Résultats de la simulation de référence

L'objectif est donc de minimiser le coût total tout en gardant une qualité de service au moins égale à **93,4 %**. La période de simulation correspond au mois de Janvier 2004. Le nombre de véhicule simulé dans la période est de **39049**.

4.3.2. Résultats et analyse de la simulation

Pour simuler le scénario de l'étude statique, nous avons procédé par succession d'itérations. Chacune des simulations correspond à une configuration des niveaux de sécurisation. Sur la figure 4-14, nous représentons la situation initiale et la configuration de l'itération où la valeur plafond est égale à 3.

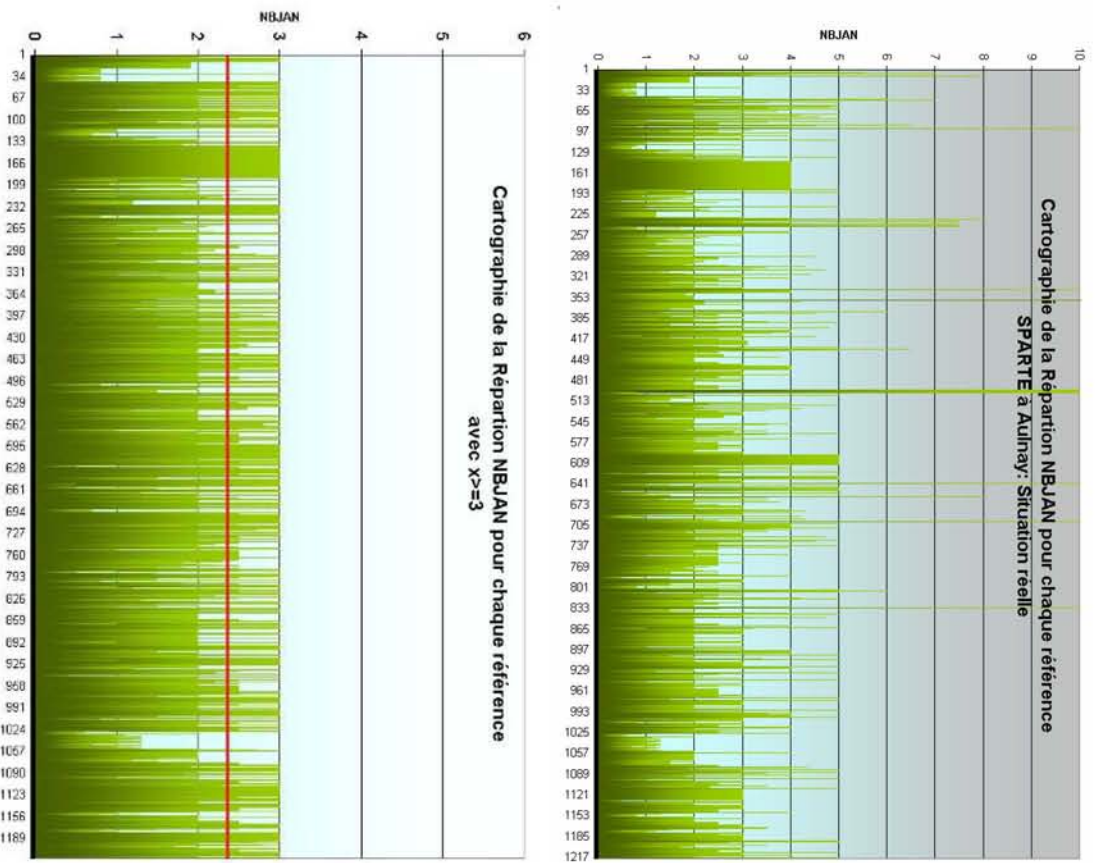


Figure 4-14 : Cartographie des niveaux de sécurisation de la situation initiale et d'une itération

Il nous faut maintenant analyser les résultats des simulations en terme de gains sur les indicateurs de coûts. Le graphique de la figure 4-15 exprime de nouveau le gain sur le coût de possession. Nous rapportons également le gain au véhicule.



Figure 4-15 : Gains sur le coût de possession de la première stratégie

Dans la première partie concernant l'étude « statique », nous montrons des gains supérieurs. En effet, pour un $NBJAN \leq 5$, les gains étaient de 874 935 € alors que nous obtenons 530 284 € par la simulation, soit 1,88 € contre 1,18 € pour le gain rapporté au véhicule. Nous pouvons l'expliquer simplement par la taille de la période de simulation, c'est à dire le nombre de véhicules simulés.

La période étudiée est de 1 mois soit 39049 véhicules. En effet les indicateurs sont calculés à partir du stock moyen de chaque composant, soit la dernière valeur de la moyenne dynamique. Or si nous observons le graphique de la figure 4-16 qui représente l'évolution du niveau de stock d'un composant pour la situation initiale et pour une configuration où le NBJAN a été abaissé. Sur ce même graphique nous représentons aussi l'évolution du stock moyen (l'indicateur élémentaire pour le calcul des coûts). Nous voyons alors que cet indicateur n'est encore à son régime stationnaire, il n'a pas atteint son asymptote. Il pourrait encore décroître si la période de simulation était plus importante.

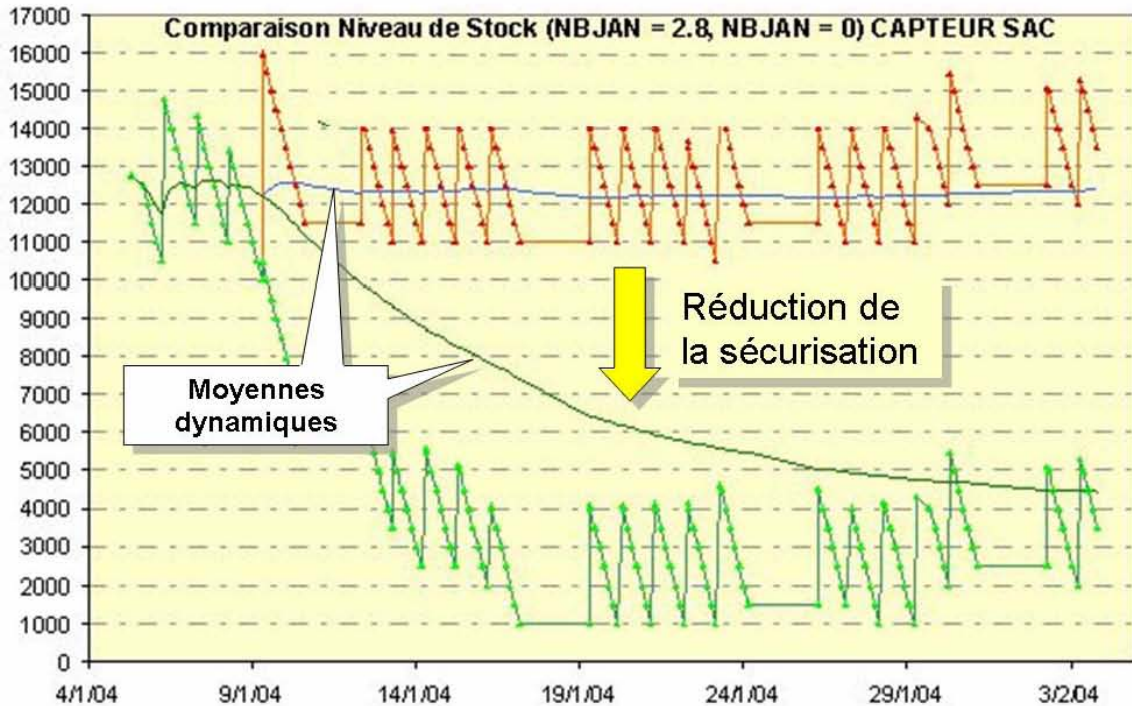


Figure 4-16 : Comparaison de l'évolution des stocks avec $NBAN=2,8$ et $NBAN=0$.

4.3.3. Mesure de la Qualité de service.

Nous rappelons les résultats de la simulation référence (réalité ajustée) sur le tableau 4-2.

2 209 601 €	2 262 132 €	4 471 732€	93,4%
-------------	-------------	------------	-------

Tableau 4-2 : Résultats de la simulation de référence

L'intérêt d'effectuer la simulation du scénario de l'étude statique réside en partie dans les résultats suivants. Nous sommes en mesure désormais de quantifier l'impact de la réduction des sécurisations avec l'heuristique utilisée sur la Qualité de service. C'est cet indicateur qui nous intéresse principalement puisque l'objectif de trouver le niveau de stock le plus bas ne l'altérant pas.

Avec la stratégie adoptée, certes nous réduisons de manière drastique les coûts liés aux stocks de composants, mais nous altérons également le niveau de service. On peut cependant remarquer que ce dernier reste quasiment égal pour un niveau de sécurisation plafonné entre 1,5 et 2 jours.

NBJAN max	Gain total	Gain rapporté au véhicule	Qualité de service
5,0	3 523 €	0,01 €	93,45%
4,5	6 926 €	0,02 €	93,45%
4,0	11 493 €	0,03 €	93,45%
3,5	30 673 €	0,07 €	93,43%
3,0	46 062 €	0,10 €	93,43%
2,5	124 245 €	0,28 €	93,43%
2,0	241 034 €	0,54 €	93,08%
1,5	530 284 €	1,18 €	92,35%
1,0	915 772 €	2,04 €	90,51%
0,5	1 423 102 €	3,16 €	83,30%
0	1 857 951 €	4,13 €	46,57%

Tableau 4-3 : Résultats des simulation de la première stratégie

4.4. Synthèse

Avec cette première phase nous avons montré qu'en plafonnant toutes les sécurisations entre 1,5 et 2 jours, le taux de service véhicule ne serait pas diminué alors que des gains importants sur les coûts de stockage peuvent être envisagé. En fait, nous venons de procéder à un dimensionnement que nous pouvons qualifier de global. Cependant, nous avons montré également qu'il n'est pas optimal de dimensionner la part de sécurisation pour le non-respect des prévisions de fabrication de cette manière (i.e. : fixer une valeur de NBJAN (1,5 par exemple) pour l'ensemble des références de l'UT). Pour obtenir un meilleur résultat il faudrait fixer cette valeur de manière unitaire pour chaque référence en prenant en compte la globalité des flux d'approvisionnement d'une Usine Terminale.

5. Une boucle décisionnelle pour le dimensionnement global

A partir des résultats obtenus dans le cadre de la première stratégie, nous proposons un algorithme d'optimisation permettant de déterminer la sécurisation juste nécessaire pour chaque composant. Il est donc nécessaire de ne plus avoir un et un seul indicateur de qualité de service comme nous l'avions exprimé dans les parties précédentes, bien que cet indicateur soit une fonction agrégée de chaque indicateur de rupture de chaque véhicule. Nous allons désormais considérer l'indicateur pour chaque composant par son nombre de rupture effectif. Ainsi nous pourrions envisager de dimensionner les sécurisations unitairement.

5.1. Proposition d'un algorithme d'optimisation

L'algorithme que nous proposons se scinde quatre étapes de simulation. La première donne la situation de référence. Les deux suivantes permettent de fixer en une simulation chacune les bornes

minimales et maximales pour initialiser l'heuristique de l'étape 4. Cette dernière est une itération de plusieurs simulations permettant d'obtenir un niveau de sécurisation adapté à chaque référence en fonction d'une perturbation du film de production.

Nous souhaitons dimensionner la sécurisation avec une précision au dixième de jours. Si nous utilisons une stratégie de réduction pas à pas d'une sécurisation initiale, par exemple 10 jours, il faudrait 100 itérations pour obtenir un paramétrage optimal. Par conséquent nous nous sommes tournés vers un algorithme dichotomique. Avec les mêmes conditions, l'algorithme converge à la neuvième itération.

5.1.1. Etape 1 – Simulation de référence

La première étape consiste à lancer la simulation de référence afin de calculer le nombre de ruptures sur chaque référence en fonction du paramétrage réel des sécurisations NBJAN

Cette simulation doit permettre de localiser les composants en rupture et le nombre de ruptures par composant, le taux de service pièce ($TSpc$). Nous calculons également comme décrit dans les paragraphes précédents les coûts liés à cette sécurisation, ainsi que la qualité de service globale, le taux de service véhicule ($TSvh$).

5.1.2. Etape 2 – Détermination de la qualité de service maximum

La seconde étape consiste à déterminer la qualité de service optimale pouvant être obtenue avec la situation de référence étudiée. Pour ce faire, nous paramétrons tous les paramètres NBJAN avec la valeur maximale de la sécurisation observée.

Cette situation permet en effet d'optimiser au mieux la qualité de service au détriment du coût. Cette étape permet uniquement de déterminer globalement et au niveau de chaque composant le nombre de rupture minimale pouvant être obtenu dans les conditions initiales de l'étude.

Nous testons ici la borne maximale de l'algorithme dichotomique.

5.1.3. Etape 3 – Détermination du coût de possession minimal

Cette étape a pour objectif de paramétrer la sécurisation à 0 de tous les composants dont leur nombre de ruptures respectifs est égal à 0. Concernant les composants en rupture, leur sécurisation est paramétrée avec la valeur maximum.

Nous testons ici la borne minimale de l'algorithme dichotomique.

5.1.4. Etape 4 – Adaptation des sécurisations

L'étape 4 correspond à la stratégie à proprement parler. Elle consiste à augmenter les sécurisations des composants qui sont en rupture, et de diminuer les sécurisations pour lesquels les composants ne sont

pas en rupture. L'incrémentation et la décrémentation des sécurisations sont réalisées de manière dichotomique. Nous présentons l'heuristique sur la figure suivante.

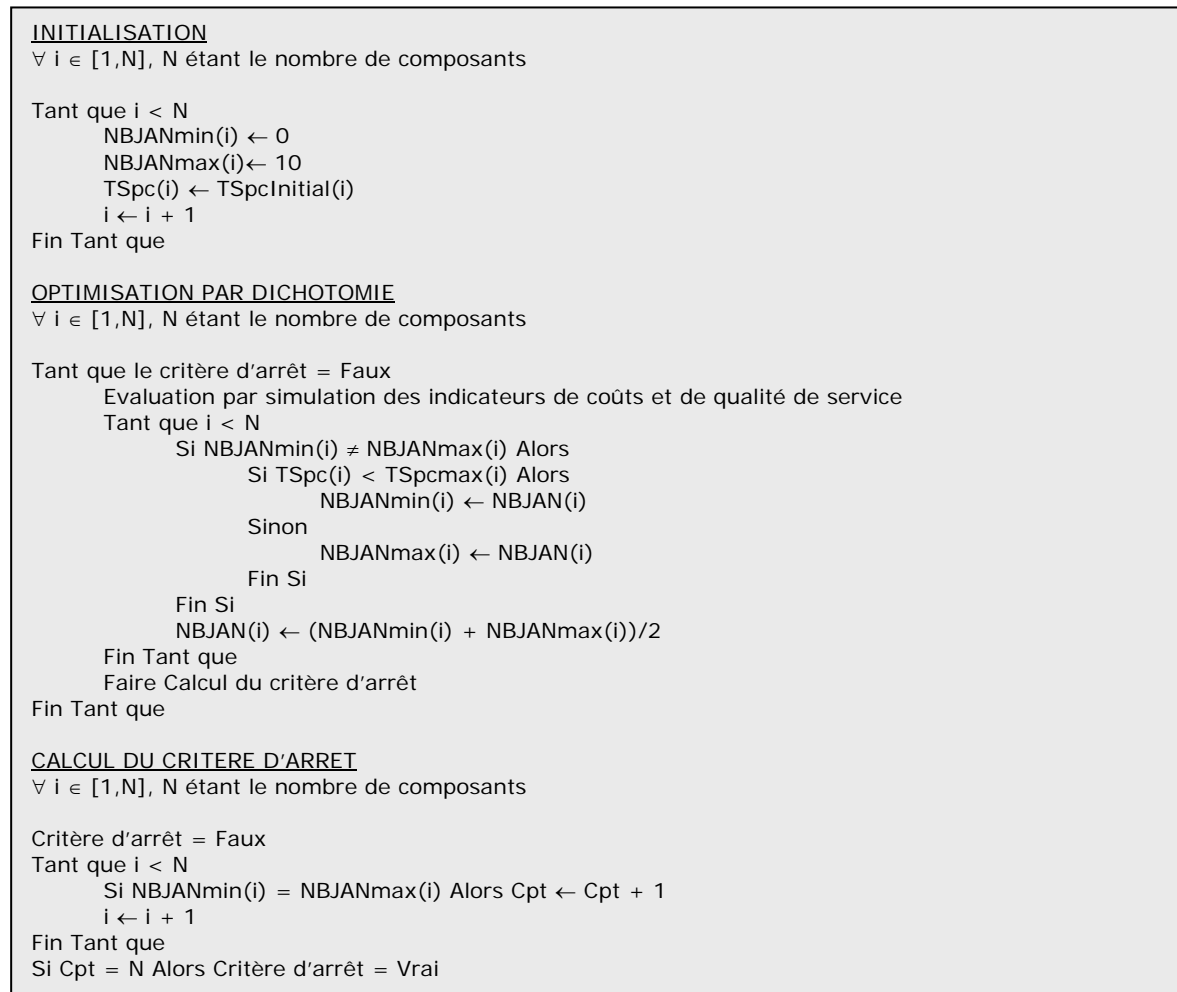


Figure 4-17 : Heuristique de calcul des niveaux de sécurisations des itérations de l'étape 4

5.2. Résultats d'une optimisation

Nous présentons un résultat de l'algorithme d'optimisation. L'algorithme a déterminé en 9 itérations la solution optimale au niveau des sécurisations NBJAN sur l'ensemble des 1300 références. Le temps de simulation total est d'environ **1 heure**.

Les graphiques ci-dessous présentent la cartographie des sécurisations en situation initiale (paramétrage réel) (figure 4-18), ainsi que la cartographie du paramétrage optimal (figure 4-19). La moyenne des sécurisations est figurée par une ligne horizontale.

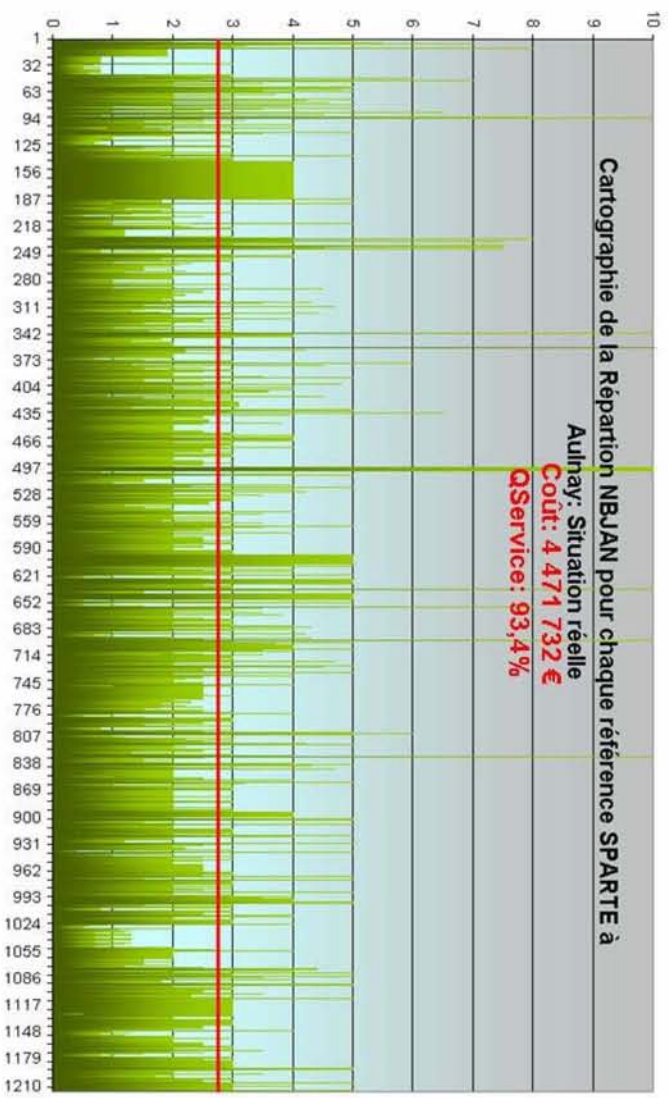


Figure 4-18 : Résultats de la simulation du paramétrage de référence

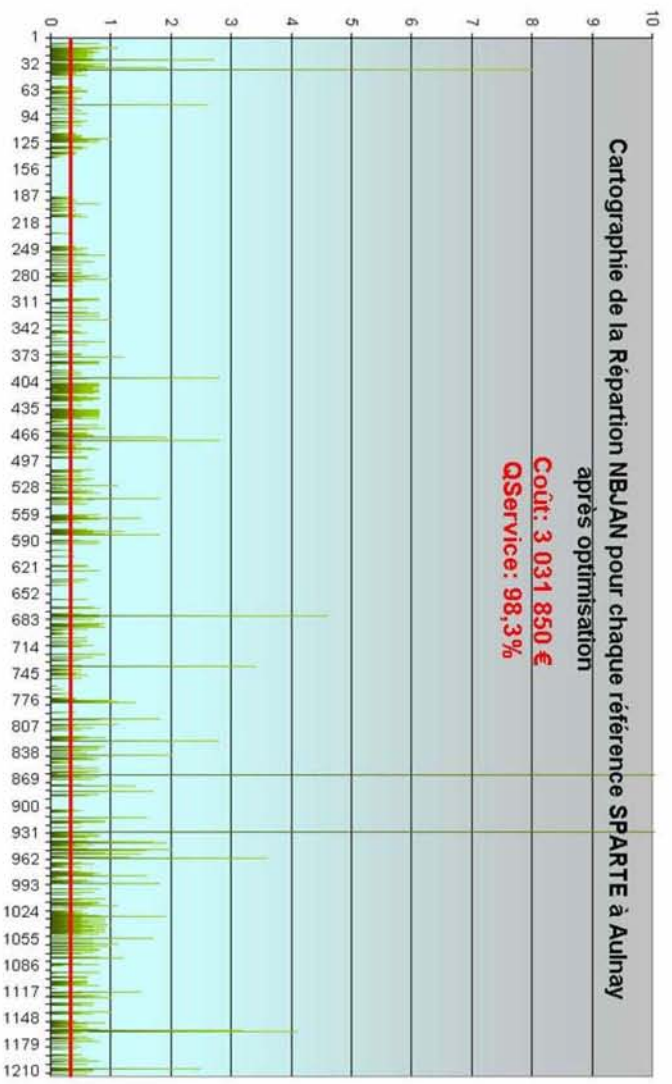


Figure 4-19 : Résultats de la simulation du paramétrage optimisé

Après optimisation, en comparant ces deux graphiques, on observe tout d'abord une baisse significative des coûts de stockage. Cependant il est à relativiser : en effet pour la situation initiale tous les aléas sont pris en compte alors que pour la situation finale nous ne voyons que la sécurisation palliant le non-respect de la LVO.

Le résultat le plus intéressant concerne la qualité de service.

Rappelons tout d'abord les hypothèses de la situation initiale. Pour cette phase nous avons ajusté les horaires d'arrivée des camions en fonction de la valeur du TAL. Le faible taux de qualité de service de la situation initiale s'explique par cette hypothèse (une partie du TAL peut servir de sécurisation dans la réalité). Ensuite, dans la situation finale nous ne pouvons pas obtenir un taux de service de 100% en raison des conditions initiales de simulation (Niveaux de stock initiaux, commandes déjà calculées). Toutes les ruptures ont lieu en début de simulation, période où ces conditions initiales ont encore une influence. La simulation nous permet de tester un paramétrage des flux d'approvisionnement correspondant à la véritable fonction de chacun des paramètres.

Pour la première stratégie, nous avons noté que plus le niveau de sécurisation global était abaissé, plus nous altérons le taux de service véhicule. Dans cette stratégie d'optimisation par dichotomie, nous obtenons une moyenne des niveaux de sécurisation plus bas que la situation initiale alors que nous avons augmenté le taux de service véhicule. Ceci est permis par l'adaptation de la sécurisation de chaque référence de manière unitaire pour optimiser son propre taux de service pièce. Ainsi nous confirmons un résultat connu dans la littérature, mais peu appliqué sur des cas industriels de cette taille : le taux de service global peut être amélioré en considérant chaque composant unitairement.

6. Conclusion et perspectives

Ce chapitre montre une utilisation de la plateforme de simulation SimAppro pour une application industrielle. La démarche que nous avons adoptée débute par une étude des gains potentiels d'une réduction des niveaux de sécurisation. Cette première partie peut être effectuée simplement. Cependant des gains peuvent être exprimés, mais la qualité de service est impossible à quantifier précisément. L'utilisation de SimAppro offre désormais cette possibilité. Nous l'avons montré en appliquant la stratégie de la première partie. En poursuivant cette étude, nous utilisons une heuristique pour démontrer que le dimensionnement unitaire des flux d'approvisionnement en considérant globalement la logistique permet d'en améliorer les performances.

Ce chapitre permet également de valider notre démarche. Les résultats obtenus permettent de montrer l'intérêt de simuler la totalité des flux d'approvisionnement simultanément. De plus le choix d'avoir fait le choix d'une modélisation de type objets appuyée sur des concepts systémiques permet d'obtenir un modèle de simulation de tous les flux gérés dans une usine terminale. Les choix techniques établis pour le développement de SimAppro permettent d'obtenir des temps de simulation acceptables ; il faut environ 5 minutes pour simuler un mois de production avec un ordinateur de bureau.

En ce qui concerne les perspectives, deux grands axes sont envisagés pour consolider les résultats présentés dans ce chapitre. Le premier se préoccupe de la perturbation sur le débit de sortie, c'est-à-dire le respect du programme de production (Perturbation usine). Il serait très intéressant de pouvoir

identifier différentes fonctions, règles ou abaques pour fournir une aide au paramétrage des sécurisations.

- ◆ en fonction du taux de monte : Existe-t-il une règle, à perturbation constante, entre la valeur du NBJAN et le taux de monte de la référence ? Faut-il sécuriser une référence montée sur tous les véhicules ?
- ◆ en fonction du respect du volume journalier de production. Comment faut-il sécuriser pour prendre en compte un dépassement de volume de production ?
- ◆ en fonction du niveau de respect de la LUO. Quel est l'impact du niveau de respect de la LUO sur les sécurisations à mettre en place ?

La seconde perspective, basée sur la méthodologie proposée dans l'étude présentée, vise quant à elle, à prendre en compte les aléas sur le débit d'entrée, c'est à dire les perturbations liées aux fournisseurs et transports. Pour cela un certain nombre d'études statistiques devront être menées pour identifier les lois modélisant les aléas usuels du débit d'entrée. Une évolution mineure de SimAppro devra être envisagée pour les implémenter.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion

Les travaux de cette thèse ont permis d'aborder la problématique de la modélisation de la chaîne logistique d'approvisionnement d'une usine terminale de montage automobile. A partir d'une expression de besoin émise par la Direction de la Fabrication du groupe, les travaux ont abouti à la spécification et à la réalisation d'une plateforme de simulation opérationnelle. Pour ce faire la problématique complexe de la relation client–fournisseurs est analysée et formalisée ; un cadre théorique permettant sa résolution est proposé.

L'approche novatrice consistant à considérer l'ensemble des flux d'approvisionnement a permis de faire émerger l'apport scientifique principal des travaux. Celui-ci réside alors dans la proposition du méta-modèle fournissant un ensemble de briques de base, associé à des règles de construction. Appuyé sur les concepts systémiques, il permet la description des flux logistiques élémentaires. La méthodologie que nous lui avons adjointe, est nécessaire pour guider l'expert en modélisation dans le cadre de sa mise en application, et donc la conception d'un modèle spécifique. Une des difficultés rencontrées a été de situer le niveau de granularité au regard de la masse d'informations générées par les diversités liées au monde automobile.

Tout au long de nos travaux nous avons voulu conserver une certaine complétude dans notre démarche. Pour ce faire, nous avons alors étendu le méta-modèle d'UML, ce qui permet d'adapter le démonstrateur aux différentes chaînes logistiques rencontrées dans le groupe. Ainsi nous avons pu répondre aux attentes du sujet de thèse exposé initialement, à savoir la modélisation de logistique d'approvisionnement du groupe PSA Peugeot Citroën. Cependant, une modélisation n'était pas suffisante, il fallait la mettre en œuvre. Pour cela, nous avons choisi de développer une plateforme de simulation spécifique pour répondre aux contraintes industrielles telles que la connexion aux systèmes d'information ou l'intégration des algorithmes de calcul propre à PSA.

Après avoir validé la plateforme par rapport à la réalité, nous avons pu étudier une application industrielle. Nous avons ainsi montré qu'il était nécessaire de considérer globalement la logistique d'approvisionnement pour pouvoir établir une véritable évaluation de la performance des modes de fonctionnement.

Perspectives

D'autres modes de fonctionnement des approvisionnements existent chez d'autres constructeurs. Cela concerne aussi bien les politiques de gestion que l'organisation physique des flux. D'après un benchmark avec d'autres groupes, PSA veut améliorer la qualité de vie au poste de travail à la fois dans les usines actuelles tout comme dans les futurs centres de production. Pour ce faire il est nécessaire d'adapter nos modes de fonctionnement logistique. Ces adaptations concernent à la fois l'organisation des flux physiques mais aussi les règles de pilotages des relations client–fournisseurs.

Ces innovations introduisent une nouvelle complication de la problématique : de nouvelles entités élémentaires apparaissent. Dans ces conditions, l'étude de ces nouvelles orientations nécessite de faire évoluer notre modélisation, tout en s'appuyant sur la même méta-modélisation. Nous pourrions citer notamment la possibilité d'enchaîner deux boucles d'approvisionnement. Pour ce faire il sera nécessaire de spécifier le couplage d'un flux de transformation « client » avec des flux de transformations « fournisseur » par le biais de liens de nomenclature.

Dans nos travaux nous avons pris en compte le flux informationnel entre le client et le fournisseur et le flux physique inverse. Dans (Petitjean, 2004), nous avons instancié le méta-modèle pour l'étude des flux physiques du client vers le fournisseur (retour des bacs vides). Une perspective fortement envisagée est d'agréger ces deux travaux pour obtenir une modélisation de tous les flux informationnels et physiques. Nous pourrions étudier ainsi l'impact de l'organisation des flux de retour des bacs vides sur les stocks de composants en usine terminale (pour que le fournisseur puisse produire un bac de pièces plein il a besoin d'un bac vide).

La plateforme de simulation SimAppro est exploitée dans le cadre d'une relation directe entre un client et un fournisseur, mais sur l'ensemble des flux d'approvisionnement. Afin de tester de nouvelles organisations et des nouvelles structures logistiques, nous allons utiliser les briques de bases du méta-modèle comme une bibliothèque, permettant la création de schémas de flux divers (insertion d'autres processus de stockage entre le fournisseur et le client,...)

Cette thèse est la première brique « opérationnelle » d'une problématique complexe. Elle a permis de doter le groupe d'un outil d'aide à la décision. Grâce à ce dernier, nous pouvons dès à présent envisager une nouvelle façon d'aborder des questions récurrentes et pas forcément récentes. La première piste d'étude concerne la suite directe de l'application industrielle présentée dans ce manuscrit. Cette étude consiste à proposer un dimensionnement des sécurisations pour pallier les aléas amont à l'usine terminale. (écarts sur les dates de livraison, problèmes récurrents sur la qualité des pièces livrées,...). Pour ce faire il est indispensable de guider la recherche de solutions par un couplage Recherche Opérationnelle et/ou Intelligence Artificielle / Simulation. Une étude complémentaire devra montrer la robustesse du dimensionnement proposé par rapport à différentes perturbations de la Liste Unique Ordonnée.

Conclusion et perspectives

Pour accroître la réactivité aux aléas, il est nécessaire de se doter d'un outil d'aide à la décision. SimAppro peut répondre à cette fonctionnalité. Son utilisation dans un tel cas de figure fait l'objet d'une étude permettant de tester différents types d'aléas dans le but de fournir des grilles de décision aux approvisionneurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Ait Hssain, 2000

Ait Hssain A., *Optimisation des flux de production, méthodes et simulation*, Collection Techniques et Ingénierie, Editions Dunod - L'Usine Nouvelle, Paris, 2000.

Baratou, 1998

Baratou P., *Gestion réactive des stocks intermédiaires d'un flux de production automobile*, Thèse de doctorat, Université des Sciences et technologies de Lille, Lille, 1998.

Barros *et al*, 2001

Barros L., Riley M., Brown D., *Special millennium issue of the EJOR : a global view of industrial logistics*, European Journal Of Operational Research, n°129, pp 231 à 234, 2001.

Beamon, 1998

Beamon B.M., *Supply chain design and analysis : models and methods*, International Journal of Production Economics, Vol. 55, pp. 281-294.

Behr, 2000

Behr N., *Matching et organisation de la distribution automobile*, 10ème Rencontres Internationales du GERPISA, Paris, 2002.

Bel, 1998

Bel G., *Aide à la conception et à la conduite de systèmes à événements discrets : Application aux systèmes de production*, Habilitation à diriger des recherches, Université Paul Sabatier, Toulouse, 1998.

Bernier, 2000

Bernier V., *Sur une nouvelle politique de gestion de flux : le cadencement reséquençable*, Thèse de doctorat, Grenoble, 2000.

Biswas *et al*, 2004

Biswas S., Narahari Y., *Object oriented modeling and decision support for supply chains*, European Journal of Operational Research, n°153, pp. 704-726, 2004.

Références bibliographiques

Bollon, 2001

Bollon J.-M., *Etudes de différentes politiques de pilotage de systèmes de production*, Thèse de doctorat, Grenoble, 2001.

Bon-Bierel, 1995

Bon-Bierel E., *Contribution à l'intégration des modèles de systèmes de production manufacturière par méta-modélisation*, Thèse de doctorat, Nancy 1995.

Booch *et al*, 2000

Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I., *Le guide l'utilisateur UML*, Eyrolles, Paris, 2000.

Bourguignon, 1995

Bourguignon A., *Peut-on définir la performance ?*, Revue française de comptabilité, 1995.

Braesch *et al*, 1995

Braesch C., Haurat A., *La modélisation systémique en entreprise*, Hermès, Paris, 1995.

Brinzei *et al*, 2002

Brinzei N., Amodeo L., Ferney M. et Draghici G., *Modélisation UML des systèmes de production manufacturiers*, Conférence Internationale d'Ingénierie Intégrée, Timisoara, Roumanie, 25-26 avril 2002.

Bruniaux, 2000

Bruniaux R., *Simulation continue de réseaux de sites industriels : Application aux chaînes logistiques dans le secteur Automobile*, Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal-Clermont II, Clermont-Ferrand, France, 2000.

Campagne, 2001

Campagne J.-P., *La problématique de la maîtrise des flux*, Chapitre 1 de l'ouvrage collectif coordonné par J.-P. Campagne et P. Burlat « Maîtrise et organisation des flux industriels », IC2 productique, Hermes, 2002.

Campagne *et al*, 2001

Campagne J.-P., Grimaud F., Hacid S., *Production cyclique : application et évaluation par simulation chez un équipementier automobile*, 3^{ème} conférence francophone de Modélisation et Simulation, MOSIM'01, Troyes, France, 25-27 avril 2001.

Références bibliographiques

Cardoso *et al*, 2001

Cardoso J., Sibertin-Blanc C., Soulé-Dupuy, *Une sémantique formelle des diagrammes d'interaction d'UML via les réseaux de Petri*, Formalisation des Activités Concurrentes, journées FAC'2001, Toulouse, 25 et 26 avril 2001.

Carney, 2004

Carney D., *Building vehicles to order*, Automotive Engineering International, mai 2004.

Cavaliere, 2002

Cavaliere D., *DAMeSi : un profil UML pour l'évaluation de performances des systèmes d'automatisation distribués*, Thèse de doctorat, Nancy, 2002.

Cavory *et al*, 2000

Cavory G., Frayret J.-M., D'Amours S., *Conception des réseaux logistiques : mesure de la fiabilité et planification d'accélérateurs*, 3^{ème} Rencontres Internationales de la Recherche en Logistique, RIRL 2000, Trois-Rivières, Canada, 9-10 mai 2000.

Chang *et al*, 2001

Chang Y., Makatsoris H., *Supply chain modeling using simulation*, International Journal of Simulation, Vol. 2, Issue 1, pp. 24-30.

Charpentier *et al*, 2003

Charpentier P., Villeminot A., Muhl E., Bron J.-Y., *Vers l'ingénierie numérique de la chaîne logistique*, 3^{ème} colloque international « Conception et Production Intégrées », CPI'2003, Meknès, Maroc, 22-24 octobre 2003.

Colomb *et al*, 1998

Colomb P., Devulder C., *Mise en place des flux synchrones dans l'industrie automobile : cas d'un équipementier sur le site de Renault Brésil*, Logistique & Management, vol 6, n°2, p. 31-40, 1998.

Comby, 1996

Comby G., *Aide au séquençement des produits sur une ligne de fabrication multi modèles*, Thèse de doctorat, INSA Lyon, 1996.

Correa, 1994

Correa H.L., *The flexibility of technological and human resources in automotive manufacturing*, Integrated manufacturing systems, vol 5, n°1, p. 33-40, 1994.

Références bibliographiques

Danjou *et al*, 1999

Danjou F., Giard V., Indicateur de performance et stocks de sécurité de composants optionnels, sur ligne de production perturbée, Cahier de recherche du GREGOR, 99-14, IAE de Paris, 1999.

Degrès, 2002

Degrès L., Dimensionnement d'une boucle kanban de production avec consommation et production par campagnes, Rapport de DEA, Ecole Centrale Paris, France, 2002.

Delaval, 1997

Delaval M., Séquencement des lignes d'assemblage à modèles mélangés, Thèse de doctorat, Lille, 1997.

De Rosnay, 1975

De Rosnay J., *Le macroscope*, Collection Points, Ed. Le Seuil, 1975

DesignCPN, 1993

DesignCPN[®], *DesignCPN programmer's reference and guide, version 4.0*, University of Aarhus, Dannemark, 1993.

Disney *et al*, 2003

Disney S.M., Towill D.R., *The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in Supply Chains*, International Journal of Production Economics, 2003, p.199-215.

Ducq *et al*, 2003

Ducq Y., L. Berrah, O. Sénéchal, *L'évaluation des performances des systèmes de production : évolution et enjeux*, Chapitre 1 de l'ouvrage collectif dirigé par C. Tahon « Evaluation des performances des systèmes de production », IC2 productive, Hermes-Lavoisier, 2003.

Galland, 2003

Galland S., Grimaud F., Beaune P., Campagne J.P., *MAMA-P : An introduction to a methodological approach for the simulation of distributed industrial systems*, International Journal of Production Economics, vol. 85, pp. 11-31, 2003.

Ganeshan *et al*, 1998

Ganeshan R., Jack E., Magazine M.J., Stephens P., « A taxonomic review of supply chain management research », dans *Quantitative Models for Supply Chain*

Références bibliographiques

Management, Tayur, Ganeshan, and Magazine editors, Kluwer Academic Publishers, 1998, 839-879.

Giard, 2003

Giard V., « Logistique et transport », Chapitre XII de l'ouvrage *Gestion de la production et des flux*, Economica, Paris, 2003

Goetschalckx *et al*, 2002

Goetschalckx M., Vidal C.J., Dogan K., Modeling and design of global logistics systems : A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms, *European Journal of Operational Research*, n°143, p. 1-18, 2002.

Goldratt, 1993

Goldratt E., *Le But*, Edition AFNOR, France, 1993.

Guerre-Chaley, 1995

Guerre-Chaley F., *Sur les Séquencements en unité de production automobile*, Thèse de doctorat, Grenoble, 1995.

He *et al*, 2000

He D.W., Stege B., Tolle H., Kusiak A., *Decomposition in automatic generation of Petri nets for manufacturing system control and scheduling*, *International Journal of Production Research*, n°38, p. 1437-1457, 2000.

Hollocks *et al*, 1997

Hollocks B-W, Goranson H-T, Shorter D-N, Vernadat F, *Assessing Integration for Competitive Advantage, Workshop 2, Working Group 1*, *Enterprise and Integration : Building International Consensus*, Berlin, p. 96-111, 1997.

Holweg *et al*, 2002

Holweg M., Bicheno J., *Supply chain simulation – a tool for education, enhancement and endeavour*, *International Journal of Production Economics*, n°78, p. 163-175, 2002.

Joly *et al*, 2004

Joly A., Frein Y., Gauthier D., Bernier V., *Sequencing mixed model assembly lines considering painting and assembly constraints*, *Project Management and Scheduling, PMS'04*, Nancy, France, 2004.

Références bibliographiques

Julka *et al*, 2002

Julka N., Srinivasan R., Karimi I., *Agent-based supply chain management – 1 : framework*, Computers and Chemical Engineering, n°26, p. 1755-1769, 2002.

Kleijnen, 2004

Kleijnen J.P.C., *Supply chain simulation tools and techniques : a survey*, International Journal of Simulation and Process Modelling, à paraître.

Kobryn, 1999

Kobryn C., UML 2001 : A standardization odyssey, Communications of the ACM, Vol 42., n° 10, Octobre 1999.

Le Gallou, 1992

Le Gallou F., Bouchon-Meunier B., *Systémique, Théorie et applications*, éditions Lavoisier, 1992

Le Moigne, 1977

Le Moigne J.-L., *La Théorie du Système Général*, éditions PUF, 1977.

Le Page, 1993

Le Page P., *Analyse des relations clients-fournisseurs par une approche multi-agent*, Thèse de doctorat, Toulouse, 1993.

Lee *et al*, 2002

Lee Y.H., Cho M.K., Kim S.J., Kim Y.B., *Supply chain simulation with discrete-continuous combined modeling*, Computers & Industrial Engineering, n°43, p. 375-392, 2002.

Leger *et al*, 1999

Leger J-B, Iung B, Ferro De Beca A, Pinoteau J, *An innovative approach for new distributed maintenance system: application to hydro power plants of the REMAFEX project*, Computers in Industry, Volume 38, Issue 2, Pages 131-148, March 1999.

Liman, 1999

Liman S., *Contribution à la modélisation et à la simulation des systèmes de production et de services : Proposition d'une méthode basée processus, UML et réseaux de Petri objets*, Thèse de doctorat, Grenoble, 1999.

March *et al*, 1977

March J.-G., Simon H.-A., *Les organisations*, éd. Dunod, 1977.

Références bibliographiques

Marcon *et al*, 2003

Marcon E., O. Sénéchal, P. Burlat, *Concepts pour la performance des systèmes de production*, Chapitre 2 de l'ouvrage collectif dirigé par C. Tahon « Evaluation des performances des systèmes de production », IC2 productique, Hermes-Lavoisier, 2003.

Maret, 1995

Maret P., *Modélisation et réutilisation des savoir-faire. Application à l'activité de conseil aux organisations*, thèse de doctorat de l'INSA de Lyon, 1995.

Mayer, 1995

Mayer F., *Contribution au Génie Productique : application à l'Ingénierie Pédagogique en Atelier Inter-établissements de Production Lorrain*, Thèse de doctorat, Nancy 1995.

Miltenburg, 1989

Miltenburg J., *Level schedules for mixed-model assembly lines in just in time production system*, Management Science, Vol35, No2, p192-207, 1989.

Min *et al*, 2002

Min H., Zhou G., *Supply chain modeling : past, present and future*, Computers & industriel engineering, n°43, p. 231-249, 2002.

Minegishi *et al*, 2000

Minegishi S., Thiel D., *System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain*, Simulation Practice and Theory, n°8, 2000.

Monden, 1983

Monden Y., *Toyota Production System – appendix 2* p181-192, Institute of Industrial Engineers Press, 1983.

Monteiro, 2001

Monteiro T., *Conduite distribuée d'une coopération entre entreprises – le cas de la relation donneurs d'ordre-fournisseurs*, Thèse de doctorat, Grenoble, 2001.

Moore *et al*, 1999

Moore K.E., Gupta S.M., *Stochastic coloured Petri net (SCPN) models of traditional and flexible kanban systems*, International of Production Research, n°37, P. 2135-2158, 1999.

Références bibliographiques

Muhl, 2002

Muhl E., *Contribution à la vision globale du flux véhicule : vers un outil d'aide à la décision – application pour grand constructeur automobile*, Thèse de doctorat, Nancy, 2002.

Muhl *et al*, 2003

Muhl E., Charpentier P., Chaxel F., *Optimization of physical flows in an automotive manufacturing plant : some experiments and issues*, Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 16, p. 293-305, 2003.

Neunreuther, 1998

Neunreuther E., *Contribution à la modélisation des systèmes intégrés de production à intelligence distribuée*, Thèse de doctorat, spécialité production automatisée, Nancy, 1998.

Ouhimmou *et al*, 2004

Ouhimmou M., D'Amours S., Ait-Kadi D., Beauregard R., *Intégration des opérations de la forêt jusqu'à l'usine de meubles*, 5^{ème} conférence francophone de Modélisation et Simulation, MOSIM'04, Nantes, France, 1^{er}-3 septembre 2004.

Panetto *et al*, 2003

Panetto H., Pétin J.-F., *Setting up UML stereotypes for Production systems modelling*, Proceedings of the ISPE-CE2003 conference on Concurrent Engineering : Research and Applications, vol. 1 « Enhanced Interoperable Systems », pp. 747-754, Madeira, Portugal, 26-30 juillet 2003.

Pargamin, 2002

Pargamin B., *La diversité Renault : Problèmes et outils*, Séminaire Vendôme, Journée Diversité Produit et Gestion Industrielle, Paris, 28 novembre 2002.

Persson *et al*, 2002

Persson F., Olhager J., *Performance simulation of supply chain designs*, International Journal of Production Economics, n° 77, pp. 231-245, 2002.

Petitjean, 2004

Petitjean F., *Optimisation des coûts logistiques – Application aux Indices de Rotation et à la dotation en conteneurs dans l'industrie automobile*, Rapport de DEA, Université H. Poincaré, Nancy, 2004.

Références bibliographiques

Petitjean *et al*, 2004

Petitjean F., Villeminot A., Bron J.-Y., Charpentier P., *Petri nets simulation of components flows in car manufacturing*, Actes de INCOM'04, Salvador - Bahia, Brésil, 2004.

Petrovic, 2001

Petrovic D., *Simulation of supply chain behaviour and performance in an uncertain environment*, International Journal of Production Economics, n°71, p. 429-438, 2001

Proth *et al*, 1997

Proth J.M., Xie X., *Les réseaux de Petri pour la conception et la gestion des systèmes de productions*, Editions Masson, Paris, France, 1997.

Rota-Frantz *et al*, 2001

Rota-Frantz K., Thierry C., Bel G., *Gestion des flux dans les chaînes logistiques (Supply Chain Management)*, Chapitre 5 de l'ouvrage dirigé par P. Burlat et J-P. Campagne « Performance industrielle et gestion des flux », IC2 Productique, éd Hermès-Lavoisier, 2001.

Skene *et al*, 2003

Skene J., Emmerich W., *Model Driven Performance Analysis of Enterprise Information Systems*, Electronic Notes in Theoretical Computer Science, Vol. 82, issue 6, pp. 1-11, 2003.

Supply-Chain Council, 2001

Supply-Chain Council, *Supply-Chain Operations Reference-model – Overview of SCOR Version 5.0*, 2001.

Tayur *et al*, 1999

Tayur S., Ganeshan R., *Quantitative models for supply chain management*, M. Magazine, Kluwer Academic Publishers, 1999.

Telle *et al*, 2001

Telle O., Pistre T., Thierry C., Bel G., *Relation client/fournisseur au sein d'une chaîne logistique intégrée : un modèle de simulation*, 3^{ème} conférence francophone de Modélisation et Simulation, MOSIM'01, Troyes, France, 25-27 avril 2001.

Références bibliographiques

Telle, 2003

Telle O., *Gestion de chaînes logistiques dans le domaine aéronautique : Aide à la coopération au sein d'une relation Donneur d'Ordres/Fournisseur*, thèse de doctorat, Toulouse, 2003.

Terzi *et al*, 2004

Terzi S., Cavalieri S., *Simulation in the supply chain context : a survey*, Computers in Industry, Vol. 54, pp. 3-16, 2004.

Thomas *et al*, 1996

Thomas D.J., Griffin P.M., *Coordinated supply chain management*, European Journal of Operational Research, Vol. 94, pp. 1-15, 1996.

Thierry, 2003

Thierry C., *Gestion de chaînes logistiques - Modèles et mise en œuvre pour l'aide à la décision à moyen terme*, mémoire d'Habilitation à Diriger les Recherches, Toulouse, 2003

UML, 2001

Unified Modelling Language Specification, v1.4, OMG, 2001.

Villeminot *et al*, 2001

Villeminot A., Bron J.-Y., Lepage F., *Specifications of communications in industrial distributed systems using UML*, 4th Fet IFAC Conference, Fieldbus Technology, Nancy, 15-16 novembre 2001.

Villeminot *et al*, 2003

Villeminot A., Charpentier P., Bron J.-Y., Raynaud P., *Modélisation des relations donneur d'ordres – fournisseurs : Application à une boucle en flux tiré*, 4^{ème} Conférence Francophone de Modélisation et SIMulation, Toulouse, MOSIM'03, 23-25 avril 2003.

Vogel, 1988

Vogel C., *Génie cognitif*, Collection « Sciences cognitives », éd. Masson, 1988.

Table des illustrations

Figure 1-1 : De la commande à la livraison... chez PSA	18
Figure 1-2 : La chaîne logistique d'une usine d'assemblage automobile.....	19
Figure 1-3 : Le flux Véhicule au sein d'une usine terminale	19
Figure 1-4 : Illustration du Recor de production	22
Figure 1-5: Illustration du Recor de transport	22
Figure 1-6 : Illustration de la coordination des livraisons	23
Figure 1-7 : Illustration du Coordonnée Synchrones	23
Figure 1-8 : Illustration du Coordonnée Sparte	23
Figure 1-9 : La chaîne du traitement informatique pour le calcul des commandes.....	27
Figure 1-10 : Carte de la répartition géographique des fournisseurs d'une usine terminale.....	31
Figure 1-11 : Répartition des systèmes d'ordres par centre.....	33
Figure 1-12 : Application de la loi Hédin.....	36
Figure 1-13 : Interactions entre le flux principal des véhicules et les flux d'approvisionnement	38
Figure 1-14 : Les aléas de la logistique d'approvisionnement.....	39
Figure 1-15 : Diagramme Cause/Effet des aléas d'approvisionnement	41
Figure 1-16 : Le modèle SCOR (Supply-Chain Council, 2001)	44
Figure 1-17 : Représentation d'un réseau de zones logistiques d'après (Bruniaux, 2000).....	44
Figure 1-18 : Décomposition de la structure générale d'une Architecture Industrielle (Monteiro, 2001)	48
Figure 2-1 : Référentiel Temps, Espace, Forme permettant de repérer la position des objets soumis au processus d'un Système (Le Moigne, 1977), (Mayer, 1995)	62
Figure 2-2 : De la réalité à la modélisation : la démarche adoptée	63
Figure 2-3 : Relation Système-Objet	65
Figure 2-4 : Relation Flux-Système.....	65
Figure 2-5 : Relation Flux-Processus	66
Figure 2-6 : Vue relationnelle du méta-modèle.....	66
Figure 2-7 : Spécialisation du stéréotype "Processus"	67
Figure 2-8 : Spécialisation de la méta-classe « processus »	68
Figure 2-9 : Spécialisation de la méta-classe "Flux"	69
Figure 2-10 : Vue "éléments de base" du méta-modèle	69
Figure 2-11 : L'enchaînement tE-tF-tE	70
Figure 2-12 : L'enchaînement tE-tT-tE	70
Figure 2-13 : L'enchaînement Source-tE	70
Figure 2-14 : L'enchaînement tE-Puits	70
Figure 2-15 : Vue « règles de précedence » du méta-modèle	71
Figure 2-16 : Composition d'un "flux de transport"	72
Figure 2-17 : Composition d'un "flux de transformation"	72
Figure 2-18 : Vue "règles de composition" du méta-modèle	73
Figure 2-19 : Vue globale de la méthodologie	73
Figure 2-20 : Les étapes de la phase d'analyse	74
Figure 2-21 : Les étapes de la modélisation statique.....	74
Figure 2-22 : Les étapes de la modélisation comportementale	74
Figure 2-23 : Illustration d'un système d'approvisionnement élémentaire	76
Figure 2-24 : Représentation systémique du Client	77
Figure 2-25 : Illustration systémique du Fournisseur.....	78
Figure 2-26 : Première représentation systémique d'un système d'approvisionnement	78
Figure 2-27 : Représentation systémique d'un flux élémentaire d'approvisionnement	79
Figure 2-28 : Représentation systémique d'un flux d'approvisionnement et du circuit de retour des bacs vides associé.....	80

Figure 2-29 : Représentation systémique et valeurs des attributs d'un ordre.....	80
Figure 2-30 : Diagramme de cas d'utilisation d'un système d'approvisionnement.....	81
Figure 2-31 : Les entités en lien avec la classe "Système d'approvisionnement".....	82
Figure 2-32 : les entités en lien avec les classes "Flux Client" et "Flux Fournisseur".....	83
Figure 2-33 : les entités en lien avec les classes "Flux de transport".....	83
Figure 2-34 : Diagramme de classes d'un système élémentaire d'approvisionnement.....	84
Figure 2-35 : Diagramme d'états d'un ordre.....	85
Figure 2-36 : Composition d'un système d'approvisionnement à N ordres.....	85
Figure 2-37 : Diagramme de collaboration du cas d'utilisation « Consommer ».....	87
Figure 2-38 : Diagramme d'états de contrôle de la classe "Consommation".....	88
Figure 2-39 : Classification de la performance mesurée d'une chaîne logistique d'après (Biswas et al, 2004).....	90
Figure 3-1 : Vue du réseau de Petri principal.....	103
Figure 3-2 : L'architecture modulaire de la plateforme de simulation SimAppro.....	106
Figure 3-3 : La fonction de pilotage des politiques de gestion et son contexte.....	107
Figure 3-4 : La fonction de gestion calendaire des événements de simulation et son contexte.....	108
Figure 3-5 : La fonction "Traducteur FV/FC" et son contexte.....	109
Figure 3-6 : Modélisation UML de la structure ECDV.....	111
Figure 3-7 : La fonction de calcul des indicateurs dans son contexte.....	112
Figure 3-8 : Le contexte de la fonction d'édition de rapports.....	113
Figure 3-9 : Méthodologie de validation de la plateforme SimAppro.....	115
Figure 3-10 : Configurations possibles d'un flux géré en Sparte.....	116
Figure 3-11 : Schéma général de la méthodologie de validation.....	119
Figure 3-12 : Résultats de validation Phase 2.....	120
Figure 3-13 : Résultats de validation Phase 3 (du 15/09/03 au 1/11/03).....	122
Figure 3-14 : Résultats de validation Phase 3 (du 14/10/03 au 1/11/03).....	123
Figure 3-15 : Résultats de validation Phase 4.....	124
Figure 4-1 : Analogie entre un stock de composants et une cuve de liquide.....	130
Figure 4-2 ; Evolution d'un stock de composant et les sécurisations à mettre en place.....	130
Figure 4-3 : Typologie des aléas.....	131
Figure 4-4 : Comparaison de la répartition des sécurisations entre Aulnay et Poissy.....	133
Figure 4-5 : Cartographie des niveaux de sécurisation réels de l'UT d'Aulnay.....	133
Figure 4-6 : Répartition de la valorisation de la sécurisation des stocks.....	134
Figure 4-7 : Gains envisageables sur le coût de détention.....	135
Figure 4-8 : Gains envisageables sur le coût de stockage.....	136
Figure 4-9 : Gains envisageables sur le coût de possession.....	136
Figure 4-10 : Interface graphique de SimAppro.....	138
Figure 4-11 : Visualisation des flux et de l'évolution des niveaux de stock.....	138
Figure 4-12 : Schéma de principe.....	139
Figure 4-13 : Algorithme du scénario de l'étude statique.....	140
Figure 4-14 : Cartographie des niveaux de sécurisation de la situation initiale et d'une itération.....	141
Figure 4-15 : Gains sur le coût de possession de la première stratégie.....	142
Figure 4-16 : Comparaison de l'évolution des stocks avec NBJAN=2,8 et NBJAN=0.....	143
Figure 4-17 : Heuristique de calcul des niveaux de sécurisations des itérations de l'étape 4.....	146
Figure 4-18 : Résultats de la simulation du paramétrage de référence.....	147
Figure 4-19 : Résultats de la simulation du paramétrage optimisé.....	147
Figure A1-1 : Diagramme de collaboration du cas d'utilisation « Consommer ».....	174
Figure A1-2 : Diagramme de collaboration du cas d'utilisation « Affecter ».....	175
Figure A1-3 : Diagramme de collaboration du cas d'utilisation « Transporter ».....	176
Figure A1-4 : Diagramme de collaboration du cas d'utilisation « Commander ».....	177
Figure A2-5 : Diagramme d'états de contrôle de la classe « Consommation ».....	178
Figure A2-6 : Diagramme d'états de contrôle de la classe « Affectation ».....	179
Figure A2-7 : Diagramme d'états de contrôle de la classe « Transport ».....	180

Table des illustrations

Tableau 1-1 : Les caractéristiques des centres de production	30
Tableau 1-2 : Nombre de références gérées dans l'atelier de montage des principales usines	30
Tableau 1-3 : Répartition sur l'ensemble des centres de production des systèmes d'ordres	32
Tableau 1-4 : Synthèse sur l'application des systèmes d'ordres	34
Tableau 1-5 : Choix à faire pour maîtriser les flux lors des différentes phases de son cycle de vie	45
Tableau 2-1 : Classification des structures organisationnelles d'après (Hollocks et al, 1997) et (Neunreuther, 1998).	54
Tableau 2-2 : Interprétation de la métrique EICM pour les approches et les modèles associés d'après (Muhl, 2002).....	55
Tableau 2-3 : Représentation graphique des opérateurs systémiques, d'après (Le Gallou, 1992).....	60
Tableau 2-4 : Définition des processus d'un client.....	77
Tableau 2-5 : Définition des processus d'un fournisseur.....	77
Tableau 2-6 : Description du cas d'utilisation "Consommer".....	86
Tableau 3-1 : Les caractéristiques des approches envisagées en fonction de la phase de la démarche	105
Tableau 3-2 : Exemple de matrice croisée entre Ordres de Fabrication et composants	110
Tableau 3-3 : Règles de d'interprétation de l'ECDV	110
Tableau 3-4 : Exemple d'événement tracé.....	113
Tableau 3-5 : Exemple d'indicateurs locaux calculés.....	113
Tableau 3-6 : Exemple d'indicateurs globaux calculés.....	113
Tableau 4-1 : Résultats de la simulation de la situation réelle	140
Tableau 4-2 : Résultats de la simulation de référence	141
Tableau 4-3 : Résultats des simulation de la première stratégie.....	144

ANNEXES

Diagrammes de collaboration

1. Cas d'utilisation « Consommer »

Sq	Réalité	Modélisation
1	Lorsqu'un véhicule arrive au point de monte de la référence considérée,	Lorsque le système d'approvisionnement demande la consommation d'une pièce,
1.1	l'opérateur vérifie que la pièce doit être montée sur ce véhicule.	le processus de consommation est activé (par l'appel de la fonction « Demande d'activité »).
1.1.1 & 2	Si il n'y a pas de bac entamé, l'opérateur entame un nouveau, Puis l'opérateur monte la pièce sur le véhicule,	S'il n'y pas d'ordre en cours de consommation alors le processus de consommation invoque l'opération de fin d'activité du stock amont et le système met à jour les attributs de l'ordre. L'opération Début d'activité de la consommation est activée,
1.1.2 & 3	enfin si le bac est vide, il informe qu'un bac vient d'être vidé (par une étiquette ou par un pointage des code-barres).	Enfin si l'ordre en cours de consommation est vide, alors le processus de consommation active l'opération « Début d'activité » du stock aval et le système met à jour les attributs de l'ordre.

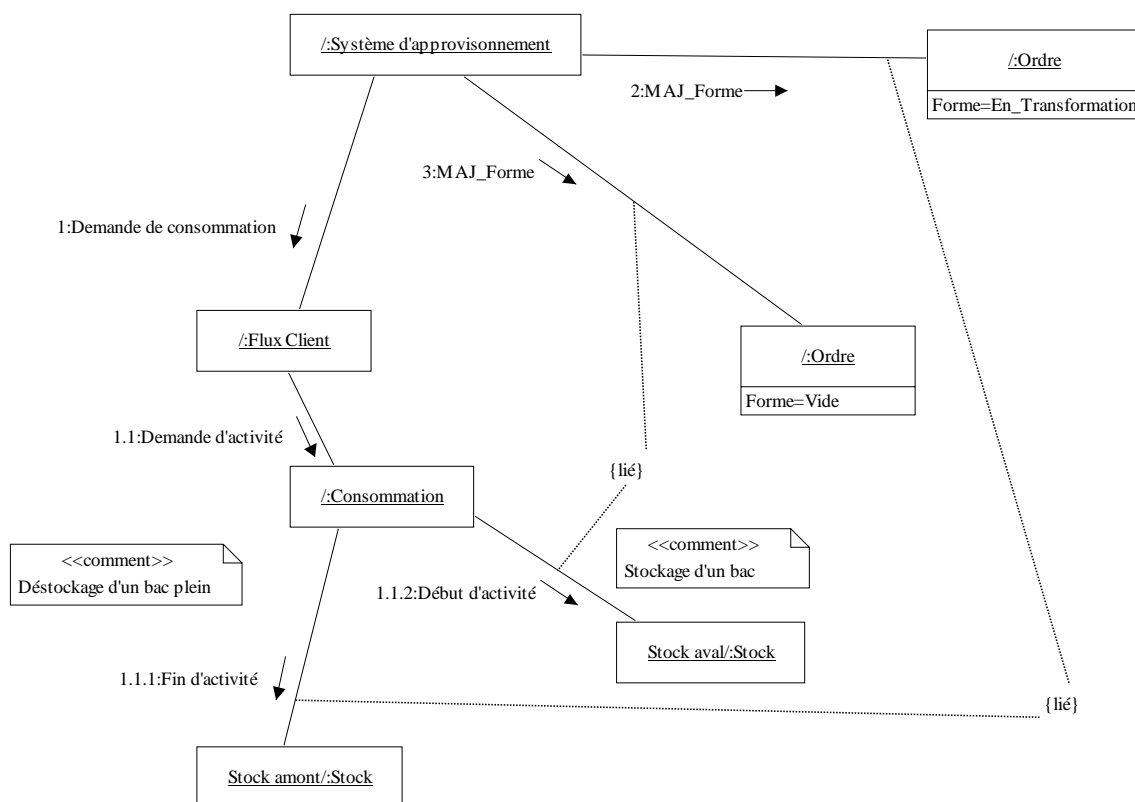


Figure A1-1 : Diagramme de collaboration du cas d'utilisation « Consommer »

2. Cas d'utilisation « Affecter »

Sq.	Réalité	Modélisation
1	Lorsque le fournisseur reçoit une commande de pièces,	Lorsque le système d'approvisionnement demande la production ou l'affectation d'un ordre au flux fournisseur,
1.1	Il s'assure qu'il peut lancer une production (en vérifiant la taille de lot, le non dépassement de sa capacité,...)	le processus d'affectation-production est activé (par l'appel de la fonction « Demande d'activité »).
1.1.1 & 2	Il prend la commande dans la pile (informatique ou papier) des commandes en attente Et il produit la quantité de pièce commandée ou affecte la commande sur un bac de pièce.	S'il n'y pas d'ordre en cours de consommation alors le processus de consommation invoque l'opération de fin d'activité du stock amont et le système met à jour les attributs de l'ordre. L'opération Début d'activité de la consommation est activée,
1.1.2 & 3	enfin il place le bac de pièces dans un stock en attente d'être pris en charge par un transporteur	Enfin le processus de production-affectation active l'opération « Début d'activité » du stock aval et le système met à jour les attributs de l'ordre.
1.1.3	Lorsqu'un lot de pièce a été fabriqué, le fournisseur vérifie qu'il n'y a plus de commande. S'il y en a encore en attente alors il recommence une production	A la fin de l'opération, on relance un message de demande d'activité, afin de s'assurer qu'il y plus d'ordre en attente dans le stock aval.

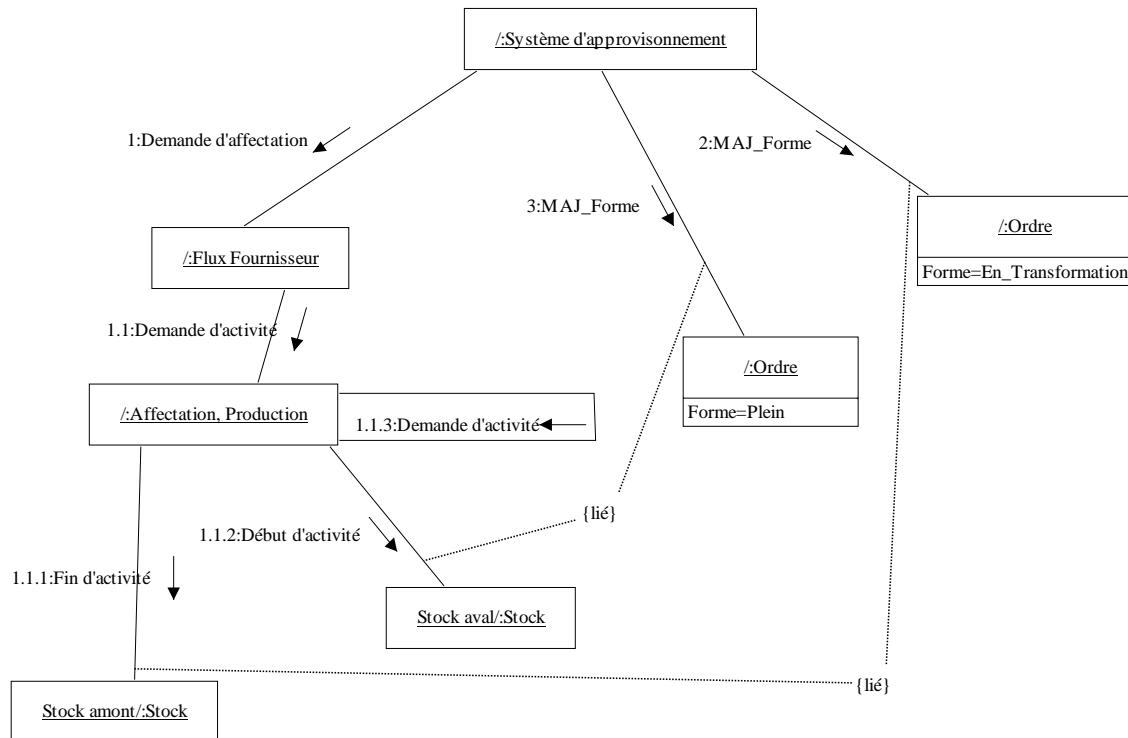


Figure A1-2 : Diagramme de collaboration du cas d'utilisation « Affecter »

3. Cas d'utilisation « Transporter »

Sq.	Réalité	Modélisation
1	Une tournée de camion est mise en place entre un fournisseur et un client.	Lorsque le système d'approvisionnement demande le transport d'ordres du fournisseur vers le client
1.1	Le prestataire logistique envoie un camion chez le fournisseur	Une instance de la classe transport est créée.
1.1	Il prend alors en charge les bacs en attente, si il y a un nombre suffisant de bacs et tant qu'il a de la place dans son camion	S'il y a assez d'ordres en attente le transporteur invoque l'opération de fin d'activité du stock amont et le système met à jour les attributs de tous les ordres concernés, tant que la capacité maximale du transporteur n'est pas atteinte.
	Il effectue son transport vers le client	L'opération Début d'activité du transporteur est activée,
1.1.2 & 3	Une fois arrivé chez le client, il décharge les bacs de pièces.	Le transporteur active l'opération « Début d'activité » du stock aval et le système met à jour les attributs des ordres concerné.
1.2		Dés que l'opération « Fin d'activité » est terminée, l'instance de la classe Transporteur est détruite.

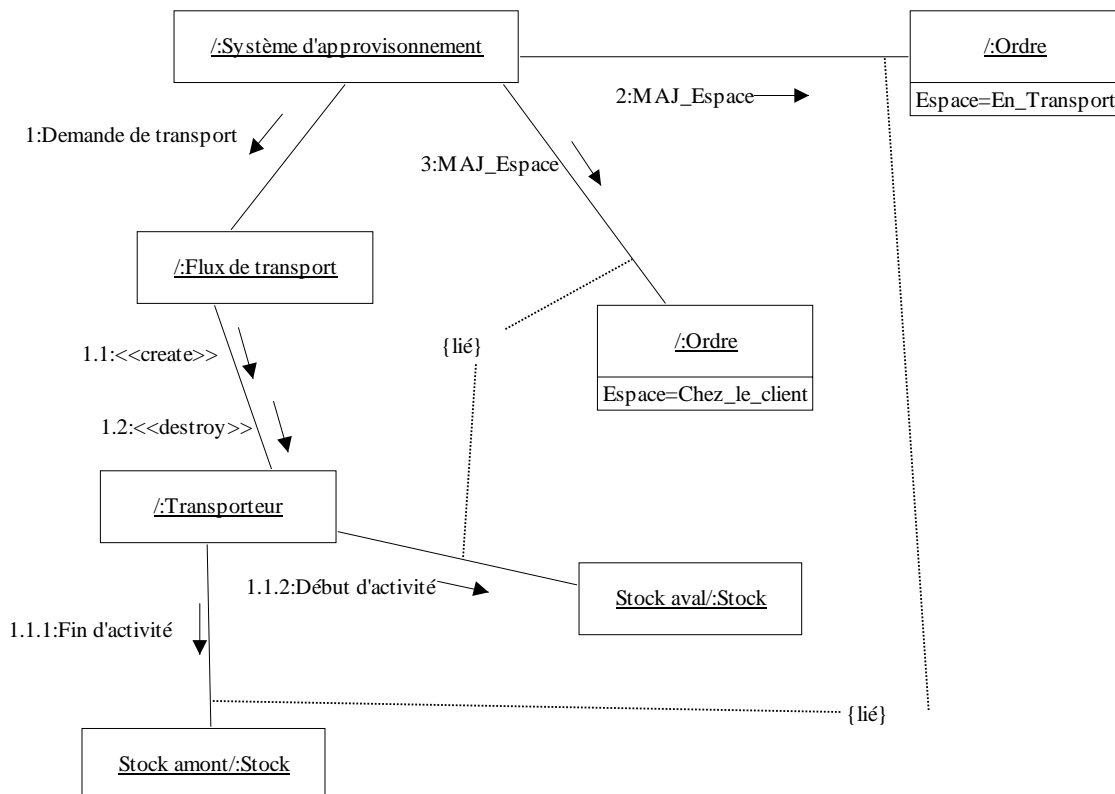


Figure A1-3 : Diagramme de collaboration du cas d'utilisation « Transporter »

4. Cas d'utilisation « Commander »

Sq.	Réalité	Modélisation
0, 1	Des données venant de différents systèmes informatiques (prévision de consommation,...) sont envoyées. La fin de ces réceptions synchronise...	Lorsque le système d'approvisionnement demande le transport d'ordres du fournisseur vers le client
1.1	... le lancement du calcul des commandes pour chaque référence.	Une instance de la classe transport est créée.
1.1.1 & 2	Il prend alors en charge les bacs en attente, si il y a un nombre suffisant de bacs et tant qu'il a de la place dans son camion Il effectue son transport vers le client	S'il y a assez d'ordres en attente le transporteur invoque l'opération de fin d'activité du stock amont et le système met à jour les attributs de tous les ordres concernés, tant que la capacité maximale du transporteur n'est pas atteinte. L'opération Début d'activité du transporteur est activée,
1.1.2 & 3	Une fois arrivé chez le client, il décharge les bacs de pièces.	Le transporteur active l'opération « Début d'activité » du stock aval et le système met à jour les attributs des ordres concerné.
1.2		Dès que l'opération « Fin d'activité » est terminée, l'instance de la classe Transporteur est détruite.

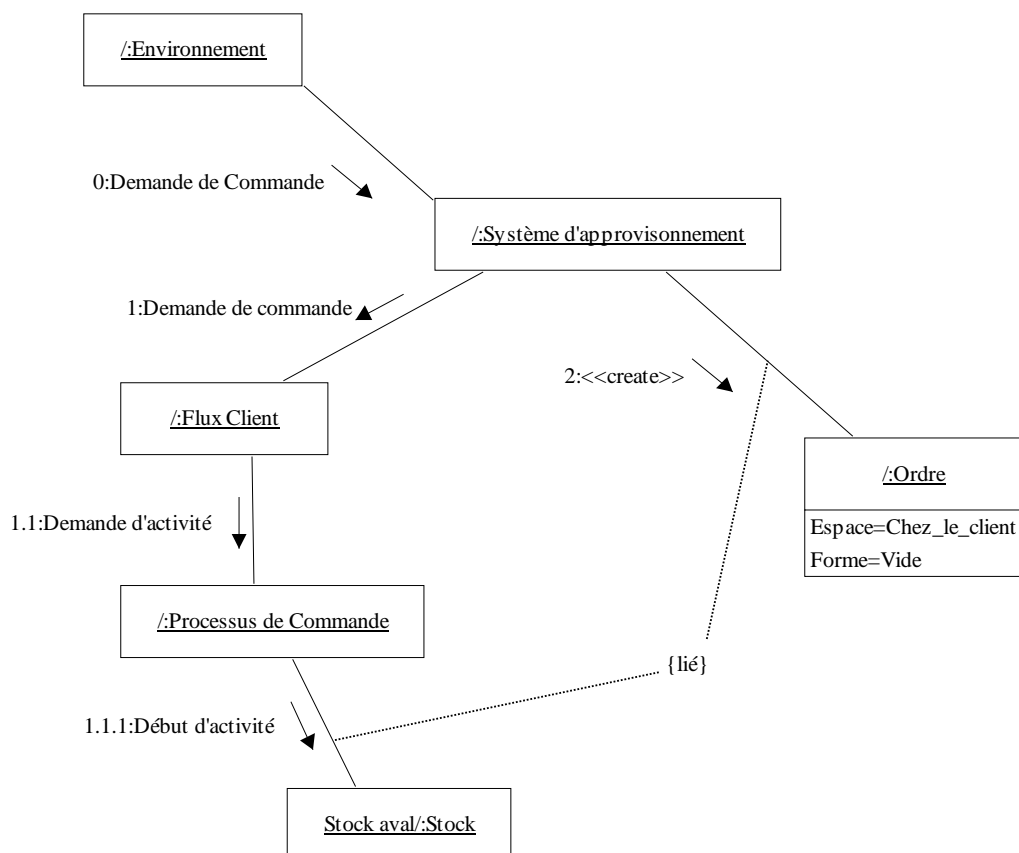


Figure A1-4 : Diagramme de collaboration du cas d'utilisation « Commander »

Diagrammes d'états de contrôle des classes

1. Classe « Consommation »

1.1. Description en langage naturel

La classe « Consommation » est dans un état d'attente. Lorsque son opération « Demande d'activité » est invoquée, la classe est mise dans un état où on va vérifier si le bac en cours de consommation n'est pas vide (« Test UC en cours 1 »). Si ce bac est vide, alors elle envoie un message à son stock amont de vérifier la présence de bac plein. S'il n'y a plus de bac plein alors une rupture de stock est comptabilisée sinon, un bac plein est déstocké (cf. diagramme de collaboration « Consommer ») et la classe rentre dans un état de consommation pendant une durée déterminée, correspondant au temps de montage du composant sur le véhicule. Ensuite on teste s'il y a encore des pièces dans le bac. Si oui, la classe se replace en état d'attente, si non alors elle invoque son opération de fin d'activité.

1.2. Modélisation UML

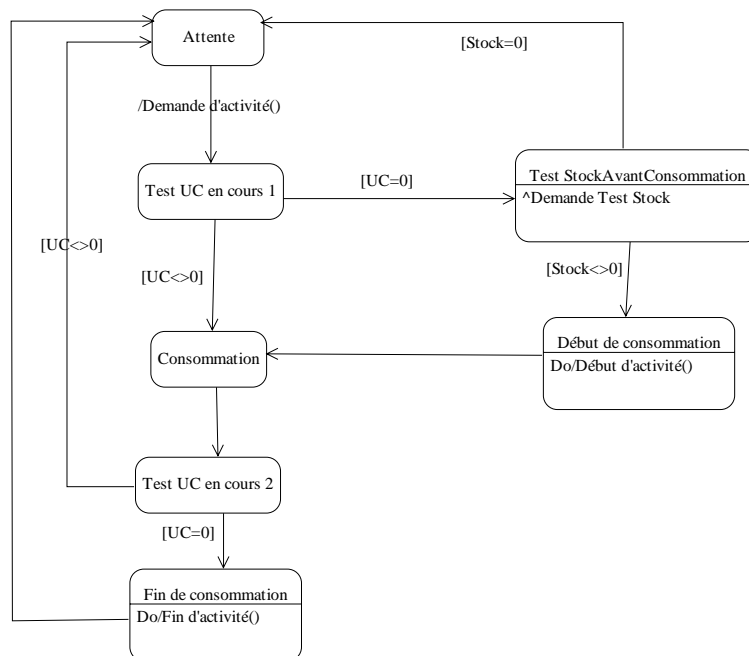


Figure A2-5 : Diagramme d'états de contrôle de la classe « Consommation »

2. Classe « Affectation »

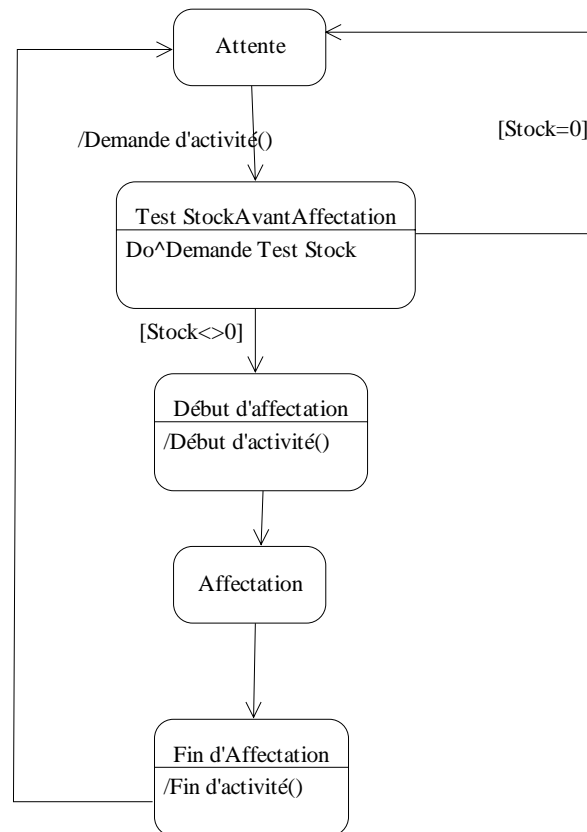


Figure A2-6 : Diagramme d'états de contrôle de la classe « Affectation »

3. Classe « Transport » et « Acheminement »

Remarque : nous représentons que le diagramme concernant le transport, l'acheminement étant identique.

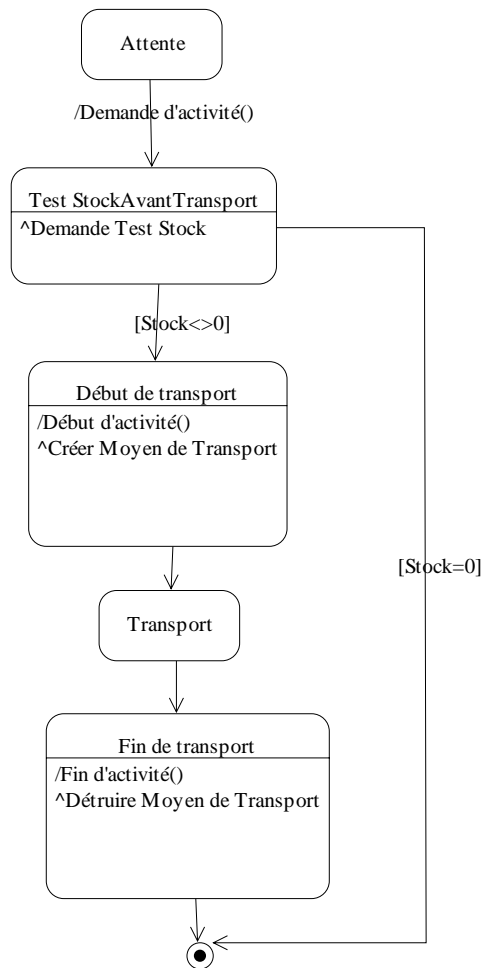


Figure A2-7 : Diagramme d'états de contrôle de la classe « Transport »

Structure des fichiers d'entrée de SimAppro

1. Fichier « Paramètres des flux »

Champs	Description	Exemple
Type	Type de gestion : <i>R=Recor, J=Sparte</i>	J
Nom	Nom du flux	1490426080 : CAPTEUR SAC NBJAN
Prix	Prix de chaque composant	12.56
Volume	Volume du Bac en litre	4.89
CMJ	Conso Moyenne Journalière en nombre de pièces	785
UC	Unité de conditionnement = Nombre de composants par Bac	12
Delai Livraison	Délai en seconde entre le passage de la commande et la réception de la marchandise	3000
Plan Livraison	<i>Cf. base PSA</i>	500
Type ECBDL	Type de gestion des stocks en bord de ligne (Calculé ou Physique)	C
ECDV	Règle de rattachant d'un composant à un OF	CA.1CA8(NF00)*
Coefficient de conso	Nombre de composants consommés par correspondance d'ECDV	2
Client	Nom du Client	UT
Preavis Livraison	Préavis contractuel en jours entre la commande et la livraison	4
Secu Quantite	Sécurisation en quantité en nombre de pièces	100
Secu Anticipation	Coeff. de sécurisation par anticipation (NBJAN)	1.2
Secu Couverture	Coeff. de sécurisation par couverture (NBJPC)	0.2
TAL	Temps d'attente Livraison	0.2
Fournisseur	Nom du fournisseur	CONTI TEMIC MICRO ELECTRONIC
Duree Affect	Durée d'affectation en seconde chez le fournisseur	6584
Lot Min Affect	Nombre de pièces minimum pour procéder à une affectation	1
Lot max affect	Nombre de pièces maximum pouvant être en affectation simultanément	12
Flex1	Flexibilité Journalière	4587
Flex2	Flexibilité Hebdomadaire	98546
Flex3	Flexibilité Mensuelle	156478
Duree Achem	Durée d'acheminement de l'ordre du client vers le fournisseur en seconde	12

Periode Achem	Temps entre deux acheminements en seconde	2700
Capa Min	Nombre de pièces minimum pour procéder à un acheminement	1
Capa Max	Nombre de pièces maximum pouvant être acheminées simultanément	9999999
Duree Transport	Durée de transport entre le fournisseur et le client, en seconde	4574
Periode Transport	Temps entre deux transport en secondes ou Plan de transport (heure d'arrivé du transport dans l'UT) sous la forme J : HHMM-J : HHMM-..... Avec J=0 pour Dimanche	48754 ou 0:0700-1:0700-2:0700-3:0700- 4:0700-5:0700-6:0700-
Capa Min	Nombre de pièces minimum pour lancer un transport	1
Capa Max	Nombre de pièces maximum pouvant être transportées simultanément	9999999
NBOrdre AvantConso	Pour initialisation : nombre de bacs dans le stock avant conso pour débiter la simulation	4
NB REF en Conso	Pour initialisation : nombre de références dans le bac en cours de consommation pour débiter la simulation	1
Ref Avant Transport	Pour initialisation : commandes déjà envoyées au fournisseur avant simulation Sous la forme JJ/MM/AA:Q- JJ/MM/AA:Q Où Q est le nombre de bacs commandés devant arriver le jour JJ/MM/AA	5/01/04:29-06/01/04:25- 07/01/04:44-08/01/04:22

2. Fichier « Film de production »

2.1. Description d'un Ordre de Fabrication

Un Ordre de Fabrication correspond à une commande ferme d'un véhicule et est identifié par un numéro. Il nécessite de connaître sa description. Pour cela, le Langage Commun de Définition Véhicule, LCDV, est utilisé. Ce langage permet dans sa version simplifiée (LCDV 24) de définir un véhicule de base sans option sur 24 caractères, et dans sa version étendue de définir totalement un véhicule sur 1144 caractères.

2.1.1. Structure du LCDV 24

Le LCDV 24 renseigne 15 attributs d'un véhicule. Sa structure est fixe pour tout type de véhicule, c'est à dire 24 caractères décomposés ainsi : ABCDDDEFFGHHJJKLMMNNPPRR, avec :

- A : Genre de produit (ex : 1=Véhicule particulier)
- B : Marque commerciale (ex : P=Peugeot)
- CC : Ligne de produit (ex : T1=206)
- DD : Silhouette (ex : A5=Berline 5 portes)
- E : Finition (ex : F=XR Présence)
- FF : Moteur (ex : 7P=DV4TD)

Annexe 3
Structure des fichiers d'entrée de SimAppro

G :	Boîte de vitesses (ex : 5=Manuelle 5 rapports)
HH :	Base de conception (ex :00=France)
JJ :	Clientèle conception (ex : D1=Auto-école)
K :	Année-modèle (ex :3=2003)
L :	Modification en cours d'année modèle (ex : 0=Sans modification)
MM :	Type de peinture (ex :P0=Plate standard)
NN :	Couleur de caisse (ex : GE=Bleu de chine)
PP :	Type habillage intérieur (ex : C2=Cuir grain buffle)
RR :	Couleur garnissage intérieur (ex : FE=Safran)

Dans notre exemple le LCDV24 vaudrait : 1PT1A5F7P500D130P0GEC2FE.

2.1.2. Structure du LCDV étendu

Le LCDV étendu n'a pas une structure fixe, sa longueur peut varier. C'est une concaténation de groupe de 4 caractères. Les deux premiers représentent l'intitulé de l'attribut (ex RE=Réfrigération) et les deux derniers, la valeur de l'attribut (ex : 07=automatique). Ici, le groupe RE07 veut dire avec réfrigération automatique.

2.2. Exemple de fichier « Film de production »

01 Numéro OF	01 Titre 24	LCDV - attr. 1 à 62	LCDV - attr. 63 à 124	LCDV - attr. 125 à 186	LCDV - attr. 187 à 248	LCDV - attr. 249 à 280
3A374253	1PT1A3H7P500 A021E0KCPEFY	AB00AD01AE07AF0 1AG11AJ01AK02AL 04AP01AQ00AS01A T01AV01AZ17BD01 BG01BJ01BK14BM4 6BP00BQ00BW02B1 00CB00CD06CE00C F08CG17CH04CK01 CL03CP01CR11CS0 2CT04CU12CW44CX 01CY02DA01DC20D D02DG06DH20DK04 DR07DT00DV12DW0 1DY00DZ02EC04ED 10EE01EG01EH03E J02EK05EN01ES00 FC00FD03	FG09FJ05FS00FT0 2FX00GB03GD06GM 02GP03GQ00GS00G U02GY27GZ06G829 HB02HD08HF01HG0 2HN00HT00HU03HZ 00IA02IH01IK00I N00IT01IU01IV01 IW03IX06JA11JC0 1JP01JQ00JS04JU 00JV00JY00KF50K G00KX00LE00LS01 LT03LU02LV00LX0 1MA51MB01MD00MH 02MJ36MM02MP00M T00MW01MY02MZ02 NA00NB08	NC05ND00NF02NNO 1NS00NZ01OA00OB 00OC04OF00OJ01O K00OL00ON02OP01 OR01OX01PD22PEO 4PG10PH00PK16PL 77PQ00PR01PW00P X00PY12RA01RCD3 RE01RG00RH12RJ0 4RK04RL02RN12RP 01RQ01RR01RS03R T00RU06RZ03SB00 SD00SE01SH02SLO 2SP01SQ00SZ01TB 20TC00TF01TJ00T K00TP04TQ04TW01 TZ00UF00	UH00UN00UR00 US01UT01UV07 UW00UX03UZ01 VA00VB04VC02 VD02VE02VF07 VH08VJ01VK05 VL00VQ04VX09 VY01WH00WL45 XB00XD00XF02 XH02XQ01XW00 XX00YE01Y208	
3A374743	1PT1A3H7P500 A021E0KCPEFY	AB00AD01AE07AF0 1AG11AJ01AK02...	FG09FJ05FS00FT0 2FX00GB03GD06...	NC05ND00NF02NNO 1NS00NZ01OA00...	UH00UN00UR00 US01UT01...	
3B151190	1PT1A3L2X500 SJ20P0WPPAFM	AB00AD01AE07AF0 1AG11AJ01AK02...	FJ05FS00FT02FX0 0GB03GD06GM04...	ND00NF02NN01NS0 0NZ01OA04OB01...	UN00UR00US01 UT01UV07...	
...

Validation de la modélisation

1. Répartition des configurations de Sparte sur Poissy

Nous présentons sur le tableau suivant le nombre de références pour chaque configuration de Sparte ainsi que le pourcentage correspondant sur le site de Poissy.

Configuration	Fréquence de livraison		Type de sécurisation			Mode de suivi de l'en-cours bord de ligne		Nombre d'occurrences	%
	Quotidienne	Non quotidienne	NBJPC	NBJAN	Quant	C	NC		
1	X					X		18	0.85%
2	X						X	99	4.68%
3	X			X		X		333	15.73%
4	X			X			X	249	11.76%
5	X				X	X		0	0.00%
6	X				X		X	0	0.00%
7	X			X	X	X		33	1.56%
8	X			X	X		X	127	6.00%
9	X		X			X		0	0.00%
10	X		X				X	0	0.00%
11	X		X	X		X		0	0.00%
12	X		X	X			X	0	0.00%
13	X		X		X	X		0	0.00%
14	X		X		X		X	0	0.00%
15	X		X	X	X	X		0	0.00%
16	X		X	X	X		X	0	0.00%
17		X				X		12	0.57%
18		X					X	41	1.94%
19		X		X		X		228	10.77%
20		X		X			X	656	30.99%
21		X			X	X		0	0.00%
22		X			X		X	3	0.14%
23		X		X	X	X		21	0.99%
24		X		X	X		X	280	13.23%
25		X	X			X		1	0.05%
26		X	X				X	0	0.00%
27		X	X	X		X		0	0.00%
28		X	X	X			X	0	0.00%
29		X	X		X	X		0	0.00%
30		X	X		X		X	0	0.00%
31		X	X	X	X	X		0	0.00%
32		X	X	X	X		X	0	0.00%
Total								2117	100.00%

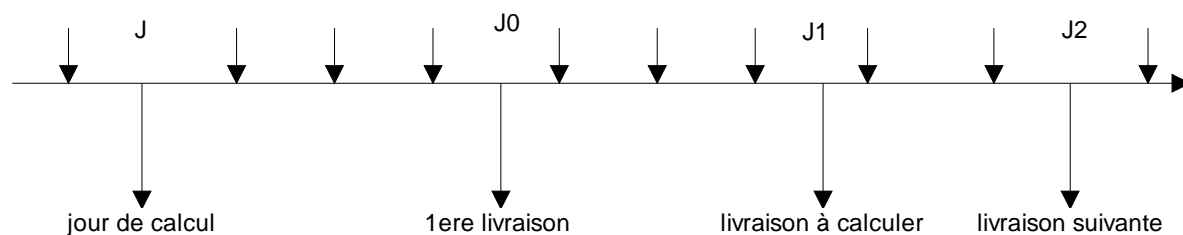
2. Validation de l'algorithme de calcul des Ordres de Livraison

Ce travail fait suite aux difficultés rencontrées pour définir la formule de calcul des Ordres de Livraison en mode Sparte, réellement implémentée dans Pégase.

Il est basé sur les documents suivants émanant de la DSIN et un émanant de DIFA/DSC/LIN/MLA)

2.1. Abréviations utilisées

Abréviation	Signification
OLf	Ordre calculé pour un fournisseur
Σ	Somme de (sigma)
TAL	Temps entre le début de journée et la 1 ^{ère} livraison de la journée
QAL	Quantité de pièces nécessaires pour faire la fabrication entre le début de journée et la première livraison de la journée
BB	Besoins Bruts
$Ressources$	Stock magasin + stock bord de ligne (HERMES)
f	Fournisseur traité
F	Tous les fournisseurs de la pièce traitée
J	Jour du calcul, en début de journée
$J0$	Jour de la 1 ^{ère} livraison théorique à venir, du fournisseur considéré (ordre ferme ou pas, nul ou pas) à partir du jour J
$J1$	Jour de livraison calculée
$J2$	Jour de livraison suivante = celle qui suit celle que l'on calcule
$\%$	Pourcentage de répartition fournisseur
LAF	Livraisons attendues de f
LAF	Livraisons attendues de tous les fournisseurs
$AVRE$	Somme des Avances / Retards
Stk_{BDL}	Stock Bord de Ligne
Stk_{Sim}	Stock Simulé
Stk_{Mag}	Stock Magasin
$Stk_{Sécu}$	Stock de sécurité
$Ecart1Liv$	Ecart à la 1 ^{ère} livraison



2.2. Calcul donné par DIFA/DSC/LIN/MLA

Rq : La formule ne prend pas en compte le cas où la référence est multi-fournisseurs (OLF=OLF)

Rq : Les termes employés sont ceux du document

Nous présentons ici la formule utilisée dans le document puis nous la traduisons en langage mathématique.

ORDRE = BESOIN PLAGE DE CALCUL – (ECART LIV)

$$OLF = (1 - TAL) \times BB_{J1} + \sum_{j > J1}^{j < J2} BB_j + TAL \times BB_{J2} - Ecart1Liv$$

ECART 1 LIV = STOCK SIMULE – SECURITE + S LIV JC A 1 LIV – S BES JC A 1 LIV

$$Ecart1Liv = Stk_{Sim} - Stk_{Sécu} + \sum_{j=J}^{j < J1} LAF - \sum_{j=J}^{j=J1} BB_j$$

S BES JC A 1 LIV = (1-TAL)*BES JC + TAL*BES 1 LIV + S BES (Entre JC et 1 LIV)

$$\sum_{j=J}^{j < J1} BB_j = (1 - TAL) * BB_J + \sum_{j > J}^{j < J1} BB_j + TAL * BB_{J1}$$

STOCK SECURITE = QTE SECURITE + NBJPC + NBJAN

$$Stk_{Sécu} = QtéSécu + NBJPC + NBJAN$$

STOCK SIMULE = STOCK MAG + BDL +/- AV/RE

$$Stk_{Sim} = Stk_{Mag} + Stk_{BDL} \pm AVRE$$

Soit

$$OLF = (1 - TAL) \times BB_{J1} + \sum_{j > J1}^{j < J2} BB_j + TAL \times BB_{J2} - (Stk_{Sim} - Stk_{Sécu} + \sum_{j=J}^{j < J1} LAF - ((1 - TAL) * BB_J + \sum_{j > J}^{j < J1} BB_j + TAL * BB_{J1}))$$

$$OLF = (1 - TAL) \times BB_{J1} + \sum_{j > J1}^{j < J2} BB_j + TAL \times BB_{J2} - Stk_{Sim} + Stk_{Sécu} - \sum_{j=J}^{j < J1} LAF + (1 - TAL) * BB_J + \sum_{j > J}^{j < J1} BB_j + TAL * BB_{J1}$$

Soit

$$OLF = BB_{J1} + \sum_{j > J1}^{j < J2} BB_j + TAL \times BB_{J2} - Stk_{Sim} + Stk_{Sécu} - \sum_{j=J}^{j < J1} LAF + (1 - TAL) * BB_J + \sum_{j > J}^{j < J1} BB_j$$

Soit

$$OLF = \sum_{j > J}^{j < J2} BB_j + TAL \times BB_{J2} + (1 - TAL) \times BB_J - Stk_{Sim} + Stk_{Sécu} - \sum_{j=J}^{j < J1} LAF \quad (1)$$

2.3. Calcul donné par la DSIN

Cette solution tient compte des cas :

- ◆ - multi-fournisseurs
- ◆ - temps de retour différent pour chaque fournisseur
- ◆ - fréquence de livraison différente pour chaque fournisseur
- ◆ - livraison à des jours particuliers

Avec comme hypothèse:

- ◆ - le stock de sécurité affecté à un fournisseur est le stock de sécurité calculé précédemment par fournisseur
- ◆ - la pénétration est calculée en supposant que chaque fournisseur livre la proportion des besoins correspondant à sa répartition fournisseur.

Pour éviter de gonfler le 1^{er} ordre lors du passage de la répartition de 0% à 100% pour un fournisseur , appliquer le pourcentage valide au jour de la livraison pour le fournisseur (et non plus celui du jour de traitement) pour l'appliquer au stock simulé .

$$\begin{aligned} \text{OLf} = & \text{SBB } \langle J, J2 \rangle + \text{BB de } J2 * \% \text{ fournisseur à } J2 * \text{TAL} \\ & + \text{SECURITE du fournisseur} \\ & + \text{IMPOSE global} * \% \text{ imposé du fournisseur} \\ & - ((\text{Ressources à } J - \text{AV} + \text{RE} - \text{pénétration } F) * \% \text{ fourn à } J + (\text{pénétration } f)) \\ & - \text{Laf } \langle J, J1 \rangle \end{aligned}$$

où

SBB $\langle J, J2 \rangle$ = *SBB* * % fournisseur jour/jour des besoins entre J inclus et J2 exclu

Ressources = Stock (magasin + Bord de Ligne programmation)

Pénétration F = somme des pénétrations des fournisseurs (somme pénétrations f)

Pénétration f = *SBB* $\langle J, J0 \rangle$ + BB de J0 * % fourn à J0 * TAL

SBB $\langle J, J0 \rangle$ = *SBB* * % fourn jour/jour des besoins entre J inclus et J0 exclu

Laf $\langle J, J1 \rangle$ = Somme des livraisons attendues du fournisseur entre J inclus et J1 exclu

Si l'ordre calculé est négatif, il sera remis à zéro.

Arrondir l'ordre calculé à l'unité de livraison. Suite à cet arrondi, l'excès (éventuel) généré sera résorbé automatiquement par le calcul de l'ordre suivant qui repart toujours du jour J donc prend en compte l'ordre calculé précédemment.

2.4. Interprétation pour une référence mono-fournisseur (OLf=OLF)

$$\begin{aligned} \text{OLF} = & \text{SBB } \langle J, J2 \rangle + \text{BB de } J2 * \text{TAL} \\ & + \text{SECURITE} \\ & + \text{IMPOSE global} \end{aligned}$$

- (Ressources à J - AV + RE)
- LAF <J,J1<

Où

$SBB <J,J2< = SBB$ des besoins entre J inclus et J2 exclu

$Ressources =$ Stock (magasin + Bord de Ligne programmation)

$LAF <J,J1< =$ Somme des livraisons attendues entre J inclus et J1 exclu

Soit

$$OLF = \sum_{j=J}^{j<J2} BB_j + TAL \times BB_{J2} - Stk_{Sim} + Stk_{Sécu} - \sum_{j=J}^{j<J1} LAF \quad (2)$$

2.5. Comparaison entre les 2 formules

Formule DIFA – Formule DSIN

$$\begin{aligned} &= \sum_{j>J}^{j<J2} BB_j + TAL \times BB_{J2} + (1-TAL) \times BB_J - Stk_{Sim} + Stk_{Sécu} - \sum_{j=J}^{j<J1} LAF - \left(\sum_{j=J}^{j<J2} BB_j + TAL \times BB_{J2} - Stk_{Sim} + Stk_{Sécu} - \sum_{j=J}^{j<J1} LAF \right) \\ &= \sum_{j>J}^{j<J2} BB_j + (1-TAL) \times BB_J - \sum_{j=J}^{j<J2} BB_j \\ &= -TAL \times BB_J \end{aligned}$$

En utilisant la formule donnée par DIFA/DSC/LIN, nous commandons toujours la quantité TAL X BBJ en moins.

2.6. Exemple sur un composant (9567429580, MA BV 50/B CP57)

2.6.1. Hypothèses

Type en cours bord de ligne (x) : C
Code livraison en cours (x) : 600
Dernier calcul - Unité Appro : 8
Système d'ordre en cours (x) : J
Préavis calcul journalier (x) : 4
Pourcent répartition en cours (x) : 100
Dotation atelier : 32
Imposer fournisseur – quantité : 0
Sécurité - quantité (x) : 0
Sécurité anticipation - nb jrs (x) : 0.5
Sécurité couverture - nb jours (x) : 0
Sécurité UT : 0
TAL - nombre de jours (x) : 0.4
Volume du conteneur : 1139 dm³
Prix de la pièce : 217.39 €

2.6.2. Formule (1)

	BESOINS					LIVRAISONS ATTENDUES				AVRE	Dot. Atel	Stock en cours pour prog et ress.	Somme Besoins	Sécu	BBJ2 * TAL	LAF	Stock	OLF	Ecart
	BJ00	BJ01	BJ02	BJ03	BJ04	LA01	LA02	LA03	LA04										
15/09/2003	543	584	617	642	641	824	480	616	560	8	32	493	2386	320,5	256,4	1920	493	560	0
16/09/2003	538	627	631	637	639	480	616	560	576	-200	32	579	2433	319,5	255,6	1656	579	576	0
17/09/2003	604	637	635	635	645	616	560	576	728	0	32	616	2511	322,5	258	1752	616	728	0
18/09/2003	606	635	645	655	655	560	576	728	568	-32	32	669	2541	327,5	262	1864	669	568	0
19/09/2003	642	645	655	655	660	576	728	568	680	0	32	642	2597	330	264	1872	642	680	0
22/09/2003	650	655	655	660	687	728	568	680	672	24	32	615	2620	343,5	274,8	1976	615	672	0
23/09/2003	639	655	660	676	686	568	680	672	696	0	32	637	2630	343	274,4	1920	637	696	0
24/09/2003	658	664	668	723	713	680	672	696	640	-32	32	642	2713	356,5	285,2	2048	642	640	0
25/09/2003	664	668	723	713	626	672	696	640	664			666	2768	313	250,4	2008	666	664	0
26/09/2003	672	727	703	718	708	696	640	664	680	-160	32	622	2820	354	283,2	2000	622	680	0
29/09/2003	732	664	707	719	721	640	664	680	392	-64	32	1032	2822	360,5	288,4	1984	1032	392	0
30/09/2003	692	718	723	1152	714	664	680	680	704	-208	32	992	3285	357	285,6	2024	992	704	0
01/10/2003	718	723	722	714	657	680	680	704	24			1384	2877	328,5	262,8	2064	1384	24	0
02/10/2003	730	722	442	707	717	680	704	24	904	-144	32	798	2601	358,5	286,8	1408	798	904	0
03/10/2003	715	446	709	717	703	704	24	904	696	-184	32	710	2587	351,5	281,2	1632	710	696	0

2.6.3. Formule (2)

	BESOINS					LIVRAISONS ATTENDUES				AV RE	Stock en cours pour prog et ress.	Stk Sim	Stk Sécu	S BES JC A 1 LIV	ECART 1 LIV	BESOIN PLAGE DE CALCUL	Ordre	Ecart
	BJ00	BJ01	BJ02	BJ03	BJ04	LA01	LA02	LA03	LA04									
15/09/03	543	584	617	642	641	824	480	616	560	8	493	485	321	1783,6	300,4	642	344	-216
16/09/03	538	627	631	637	639	480	616	560	576	-200	579	779	320	1835,6	279,4	638	360	-216
17/09/03	604	637	635	635	645	616	560	576	728	0	616	616	323	1888,4	156,6	639	488	-240
18/09/03	606	635	645	655	655	560	576	728	568	-32	669	701	328	1905,6	331,4	655	328	-240
19/09/03	642	645	655	655	660	576	728	568	680	0	642	642	330	1947,2	236,8	657	424	-256
22/09/03	650	655	655	660	687	728	568	680	672	24	615	591	344	1964	259	671	416	-256
23/09/03	639	655	660	676	686	568	680	672	696	0	637	637	343	1968,8	245,2	680	440	-256
24/09/03	658	664	668	723	713	680	672	696	640	-32	642	674	357	2016	349	719	376	-264
25/09/03	664	668	723	713	626	672	696	640	664		666	666	313	2074,6	286,4	678	392	-272
26/09/03	672	727	703	718	708	696	640	664	680	-160	622	782	354	2120,4	307,6	714	408	-272
29/09/03	732	664	707	719	721	640	664	680	392	-64	1032	1096	361	2097,8	621,2	720	104	-288
30/09/03	692	718	723	1152	714	664	680	680	704	-208	992	1200	357	2317	550	977	432	-272
01/10/03	718	723	722	714	657	680	680	704	24		1384	1384	329	2161,4	957,6	691	0	-24
02/10/03	730	722	442	707	717	680	704	24	904	-144	798	942	359	1884,8	106,2	711	608	-296
03/10/03	715	446	709	717	703	704	24	904	696	-184	710	894	352	1870,8	303,2	711	408	-288

2.7. Conclusion

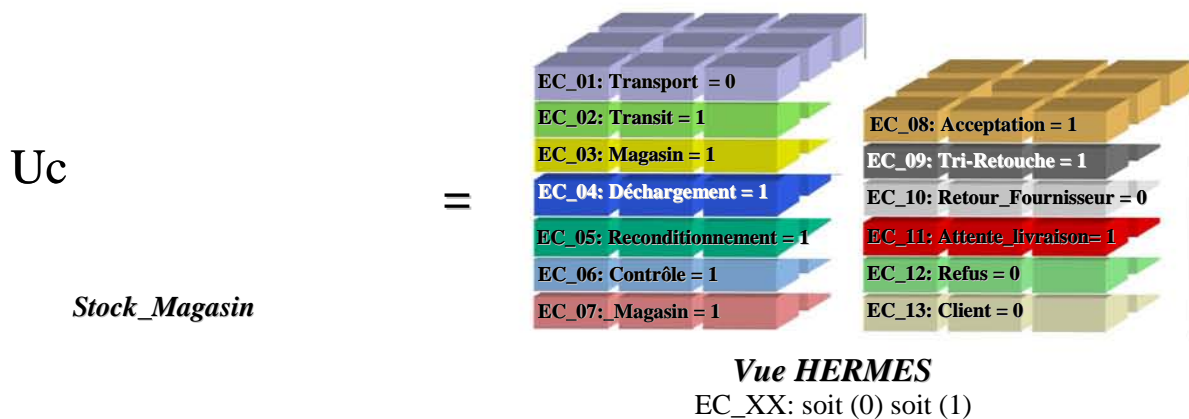
Deux formules sont données pour le calcul des ordres Sparte. Un test a été effectué pour déterminer celle qui est implémentée. A la vue des résultats, il paraît fort probable que ce soit celle qui est donnée par DSIN. On remarque effectivement que l'écart constaté correspond au décalage de la QAL sur le premier jour de la plage de calcul. Cette étape de la phase de validation montre la difficulté à obtenir les spécifications d'un algorithme qui est implémenté dans les systèmes depuis une quinzaine d'années.

3. Validation des Niveaux de Stocks en Mode Sparte

Afin de valider le niveau de stock (Stock_Sim_Appro) par rapport aux données réelles remontées des systèmes, il faut pouvoir analyser et comprendre fonctionnellement les différents stocks extraits des systèmes. La liste des stocks est la suivante : Stock Général, Stock disponible, Stock logistique, Stock encours 13 Pégase, Stock en cours pour programmation et ressource, Stock médaillé, Stock programmation, Stock ressources, Stock Théorique ou affecté. Nous définissons les stocks essentiels dans le cadre de nos travaux.

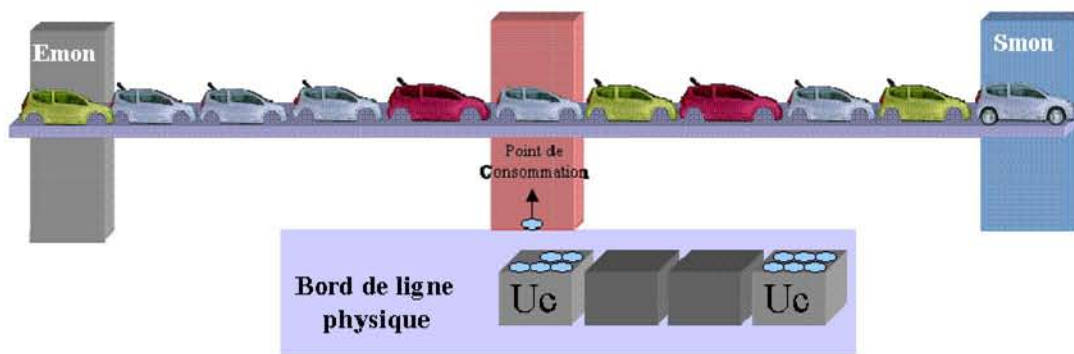
3.1. Définition des stocks réels

3.1.1. Définition Stock Programmation (Application PEGASE)

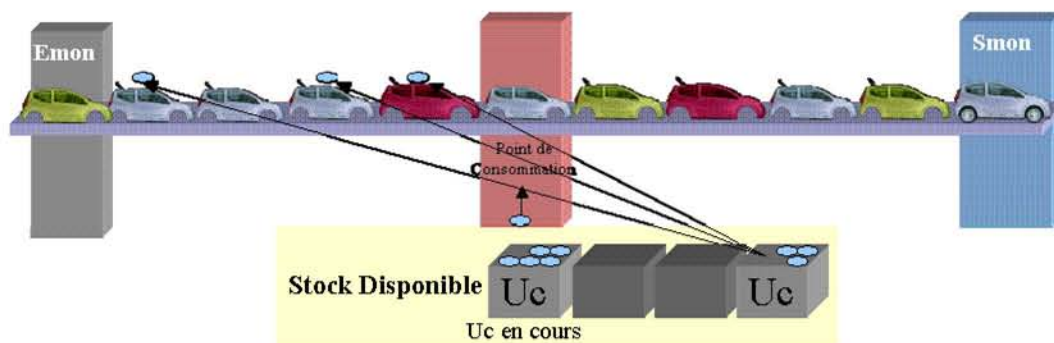


Le stock Programmation = Somme des encours (EC_XX) à la valeur 1.

3.1.2. Définition Bord de ligne physique

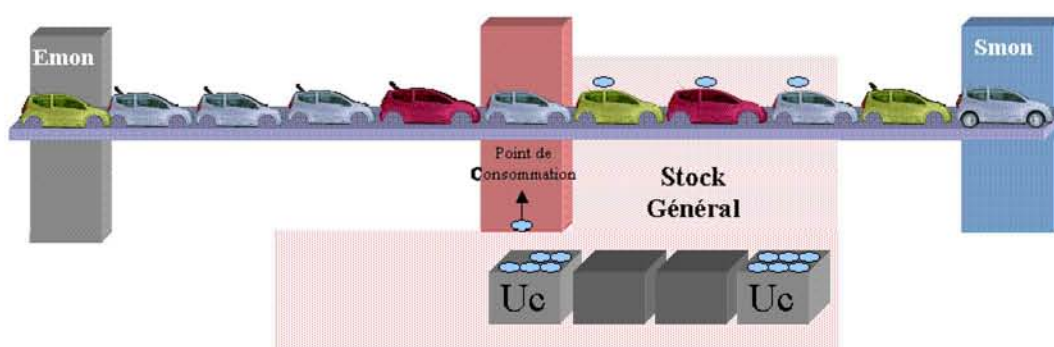


3.1.3. Définition Stock Disponible (Application SENS Logistique/Gestion économique)



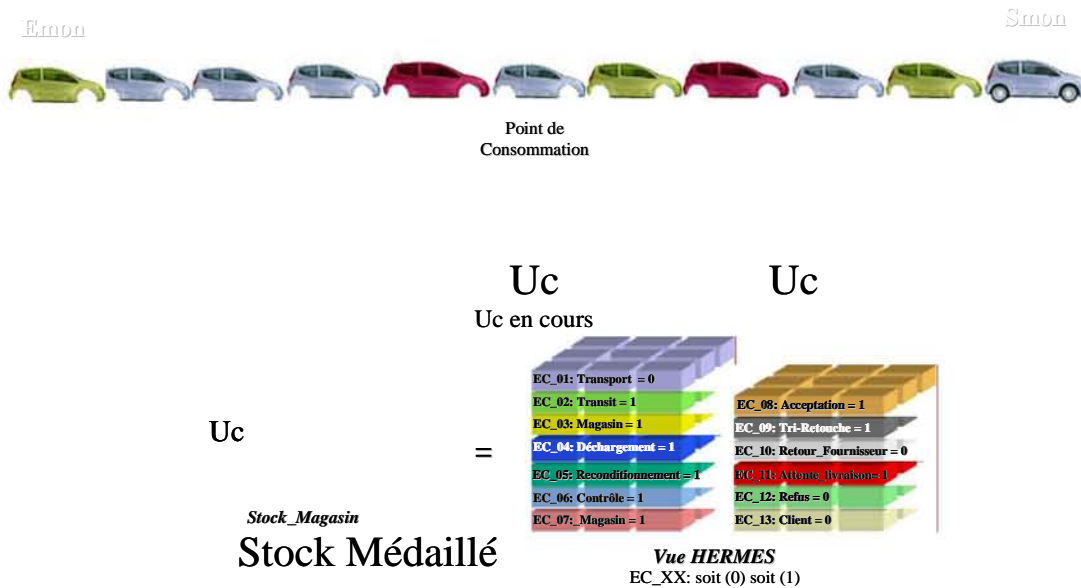
Stock_Disponible = Stock Bord de ligne physique – Composants réservés pour les véhicules entre Emon et le Point de consommation.

3.1.4. Définition Stock Général (Application SENS Comptabilité/Finance)



Stock Général = Stock Bord de Ligne + composants montés sur véhicules entre le point de consommation et Smon.

3.1.5. Définition Stock Médaille (Application SENS, Application HERMES)



Stock Médaille (Stock total disponible)

= Stock Magasin HERMES + Stock dispo SENS - Dotation_Atelier

= Stock_Programmation + Stock dispo SENS – Dotation_Atelier

Rq : Ce stock n'est utilisé qu'avec un mode de suivi ECBDL = C

3.1.6. Stock d'En-Cours

Le Stock d'En-Cours (STOCOUC dans PEGASE) peut prendre des valeurs différentes en fonction du choix du mode de suivi de l'En-Cours Bord de Ligne (ECBDL) (Calculé (C) ou Non-Calculé (P))

Si ECBDL = C, alors STOCOUC = Stock disponible de SENS

Si ECBDL = P ; alors

Si Dotation Atelier > 0, alors STOCOUC = En-Cours 13 d'HERMES – Dotation Atelier

Si Dotation Atelier = 0 ; alors STOCOUC = 0

FinSI

FinSI

Rq : dans le cas où ECBDL=C, les valeurs des champs STOCOUC et Stock disponible sont différentes dans l'Application Elixir, en raison des heures de remonté de données entre Pégase et Elixir, et Sens et Elixir

3.1.7. Autres Stocks

Stock Logistique = Copie 1 fois par semaine de l'encours 13 d'HERMES. Ce stock ne représente pas d'intérêt dans le cadre de l'étude

Stock Théorique = Stock uniquement utilisé dans le cas du SPARTE par anticipation. Ce stock ne représente pas d'intérêt dans le cadre de l'étude

3.2. Stocks pris en compte pour le calcul des Ordres Sparte

Les stocks pris en compte pour le calcul des Ordres Sparte sont généralement appelés « Ressources ».

Ainsi les ressources correspondent à la somme du stock HERMES du produit (STOPRO dans PEGASE) et de stock d'en-cours (STOCOUC dans PEGASE).

$$\text{Ressources} = \text{STOPRO} + \text{STOCOUC}$$

Soit

ECBDL	Dotation_Atelier	Formule
C		STOPRO + Stock disponible de SENS – Dotation_Atelier
P	= 0	STOPRO – Dotation_Atelier
P	> 0	STOPRO + EC13 d'HERMES – Dotation_Atelier

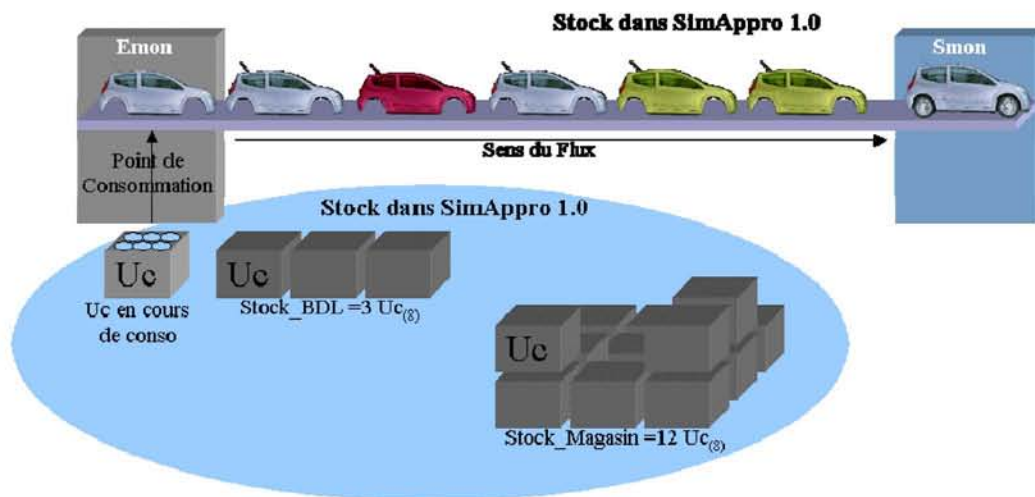
En mode C, on suit donc l'évolution des stocks à la pièce près, alors qu'en mode P, on la suit à l'UC près.

3.3. Synthèse des différentes appellations

PEGASE	Elixir	Relation
STOPRO	Stock programmation – quantité	Somme des en-cours d'HERMES à 1
STOMED	Stock médaillé - quantité	STOMED=STOCOUC+STOPRO (avec ECBDL=C)
STOCOUC	Stock en cours pour prog et ress.	Si type ECBDL = C alors STOCOUC = Stock disponible de SENS Si type ECBDL = P et Dotation_atelier > 0, alors STOCOUC = EC_13_d'HERMES – Dotation_atelier Si type ECBDL = P et Dotation_atelier = 0, alors STOCOUC = 0

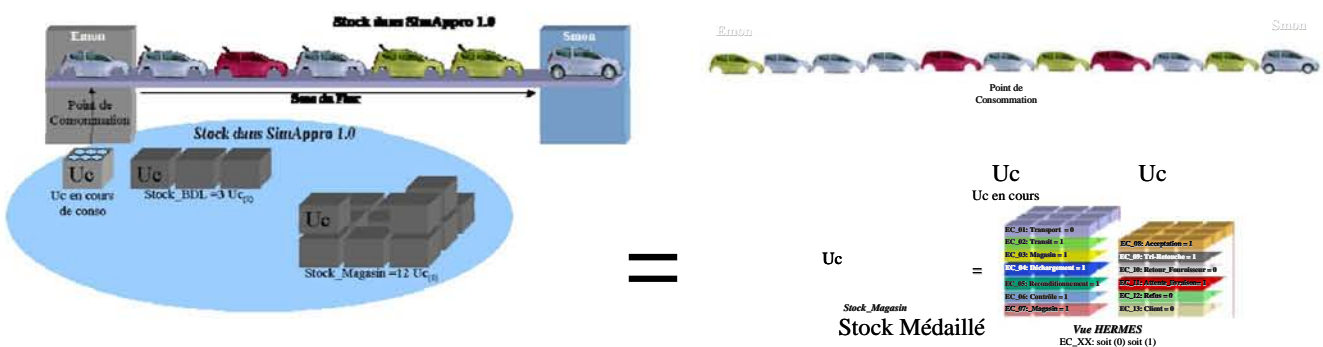
3.4. Définition du stock simulé dans l'outil SimAppro

Voici une représentation des stocks tels qu'ils sont représentés dans l'outil SimAppro1.0



Rq : Dans l'outil SimAppro, tous les composants sont consommés en Emon (1 seul point de consommation).

3.5. Comparaison des stocks réels et des stocks simulés dans SimAppro



Dans l'outil de simulation SimAppro, le stock « simulé » (simulé dans le démonstrateur) correspond au stock médaillé.

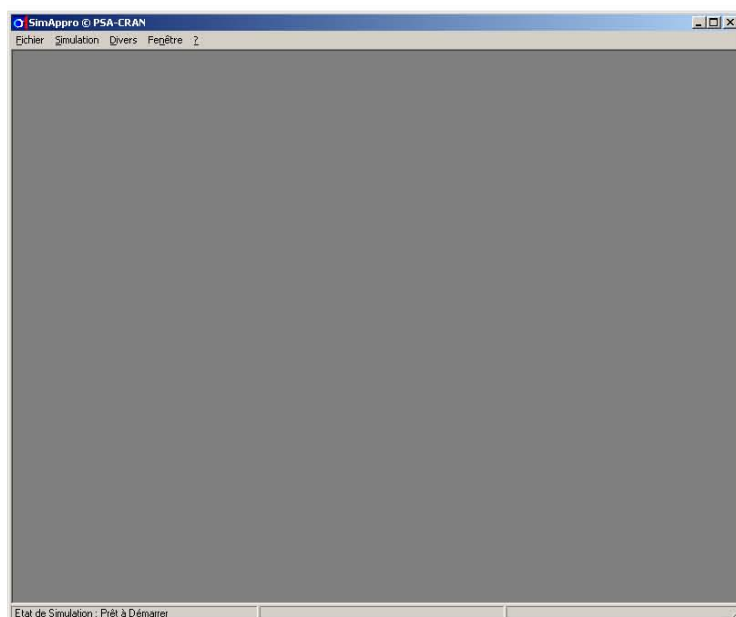
Annexe 5

Interface Utilisateur – SimAppro

SimAppro est une application Windows NT, 2000, XP nécessitant pour son installation des droits d'administrateur de la machine. Cette installation met en place un fichier .EXE (SimAppro.exe), un objet ActiveX spécifique (SimAppro.DLL) ainsi que certains composants liés à l'outil de développement de l'interface graphique (Visual Basic 6.0) imposant l'installation de plusieurs ActiveX et DLL.

SimAppro sauvegarde le paramétrage réalisé dans la partie de la base de registres spécifique à l'utilisateur. Cela implique que chaque utilisateur sur une machine donnée doit réaliser son propre paramétrage. Cela implique également que dans la cadre d'une architecture réseau avec profil errant, la configuration est unique sur tous les postes (nécessite tout de même l'installation de SimAppro sur tous ces postes).

1. Fenêtre principale d'accès à l'outil



Le déroulement d'une simulation passe par l'utilisation dans l'ordre des Menu :

Fichier->Paramétrage de la Simulation

Simulation->Contrôle de Simulation

Puis un click sur Run

2. Paramétrage de la simulation

Permet de fournir le nom de chaque fichier nécessaire ainsi que certains éléments de simulation tels :

- ◆ l'heure retenue pour le bilan des stocks afin de procéder au calcul du sparte (le calcul lui même étant réalisé à 04:00:00)
- ◆ le taux de possession du stock
- ◆ la consommation ou non des ruptures (suppression de nombre de références égal au nombre de ruptures dès arrivée d'un transport)
- ◆ le respect ou non des flexibilités fournisseur (non fourniture en cas de dépassement ou fourniture tout de même)
- ◆ la date et heure à partir de laquelle les indicateurs d'état des stocks vont commencer à être fait (stock mini, maxi, moyen)
- ◆ ...

The screenshot shows a dialog box titled "Paramètres de la Simulation". It has a "Retour" button and an "Annuler" button. The dialog is divided into several sections:

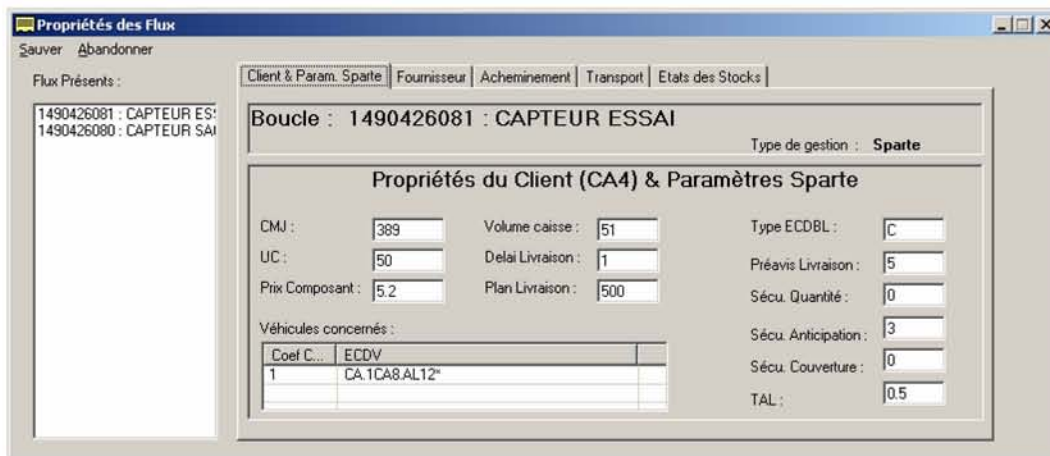
- File Paths:** Five rows, each with a label and a text box containing a file path, followed by a "Parcourir" button.
 - Fichier Spécification des Flux: C:\Program Files\SimRECOR\Dev\NewAulhay\Fic
 - Fichier Film Physique Véhicules: C:\Program Files\SimRECOR\Dev\NewAulhay\FP
 - Premier Fichier Film Papier J1: C:\Program Files\SimRECOR\Dev\NewAulhay\FP
 - Fichier Calendrier: C:\Program Files\SimRECOR\Dev\NewAulhay\cal
 - Fichier de Résultats: C:\Program Files\SimRECOR\Dev\NewAulhay\R.t
- Simulation Parameters:** Two columns of text boxes.
 - Heure Evaluation Stock Sparte: 22:30:00
 - Ration Brut Moyen (m²/m³): 1.5
 - Taux de Possession du Stock: 0.125
 - Cout de Location (€/h/m²): 100
- Start Date and Time:** A text box with "07/01/2004 08:08:10" and a "Date 1er Véhicule" button.
- Checkboxes:** Two checked checkboxes at the bottom: "Consommation des Ruptures" and "Respect des Flexibilités maxi. fournisseur".

3. Propriétés des Flux

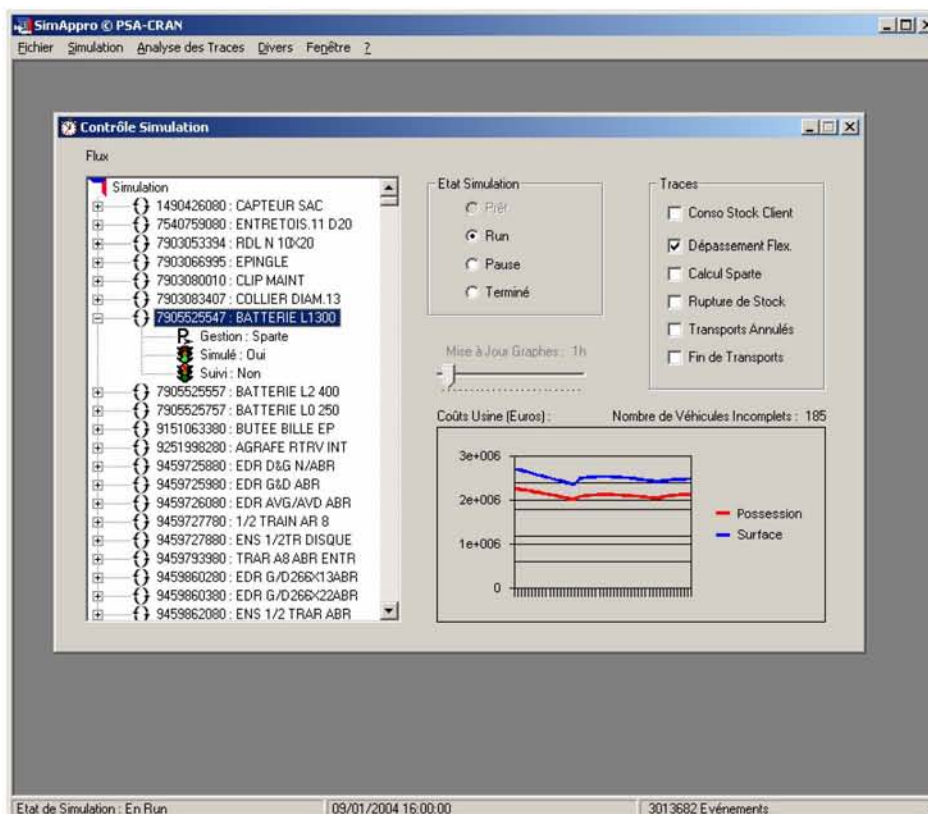
Ce Menu, permet de visualiser et modifier partiellement les paramètres associées à chaque flux.

Le ou les ECDV ainsi que le coefficient de consommation, le nom du flux, le type de gestion (Sparte ou Recor) ainsi que le Nom du fournisseur sont les seuls paramètres non modifiables au travers de cette interface.

Le positionnement du pointeur souris sur les champs laisse apparaître - si nécessaire - des indications via des info-bulles sur le champs en question et la technique de modification à exploiter (touche DEL ou INS par exemple pour la modification du contenu de listes tels le plan de transport).



4. Contrôle de la simulation



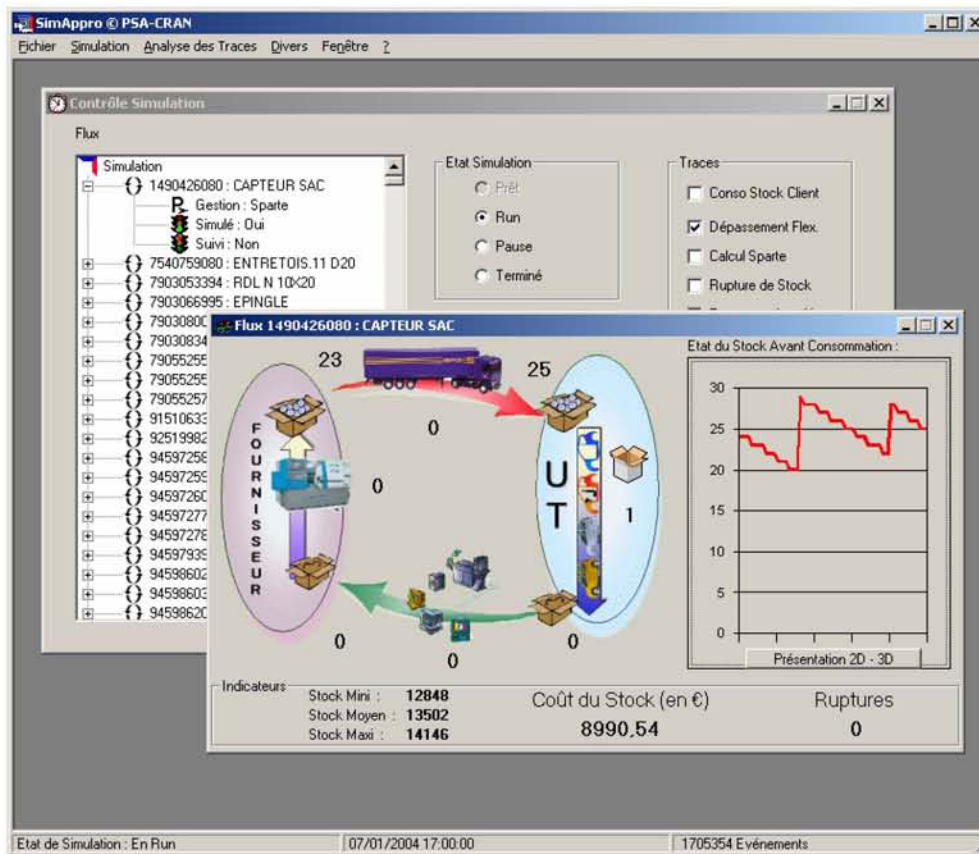
Le contrôle de simulation permet le paramétrage de la simulation, le mode d'affichage des flux et les éléments devant être insérés dans le fichier de résultats :

- ◆ Un flux non simulé ne sera pas simulé. Le basculement est réalisé par double click sur l'icône Simulé : Oui ou Simulé : Non

- ◆ Un flux tracé est un flux pour lequel tous les événements apparaîtront dans le fichier de résultats. Attention, le fichier devient rapidement très – trop – volumineux si plusieurs flux possèdent cette caractéristique.
- ◆ Le traçage :
 - ‘des conso client’ permet de tracer les mouvements négatifs de bacs dans le stock de l’UT
 - ‘des dépassements de flexibilité’ permet de tracer tout dépassement des seuils préétablis de commandes journalières, hebdomadaires, mensuelles
 - ‘des calculs sparte’ permet de tracer les éléments de calcul des commandes Sparte (Commandes, Besoins)
 - ‘des ruptures de stock’ permet d’archiver chaque rupture (besoin de produit sans aucun stock)
 - ‘des transports annulés’ permet de tracer tous les transports fournisseur—UT non fait (rien à transporter ou lot mini non atteint)
 - ‘des fin de transports’ permet de tracer le mouvement positif dans le stock de l’UT

Tout le paramétrage ne peut être réalisé qu’avant la simulation. Un «click» sur Run permet de lancer la simulation. Dès lors cette fenêtre peut être fermée sans pour autant empêcher la poursuite de la simulation. Un fois en mode Run la Simulation peut être mise en veille (click sur Pause puis Run pour repartir) ou peut être arrêtée avant son terme (click sur Terminé ou Arrêt de SimAppro par Fichier->Quitter). Un double click droit ou gauche sur le nom de flux permet de faire apparaître la fenêtre correspondant à l’état de ce flux.

5. Etat des Flux en cours de simulation

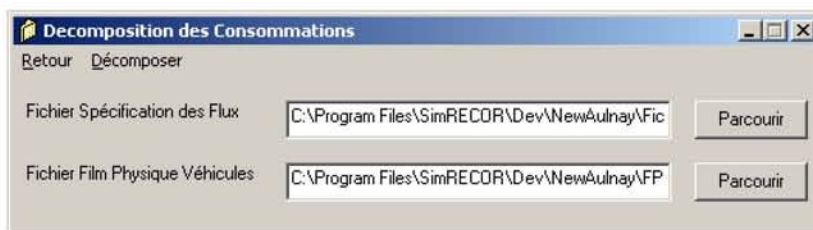


Les fenêtres de flux peuvent être fermées/ouvertes sans perturber la simulation en cours.

La valeur des indicateurs est calculée même lorsque la fenêtre est fermée et mis à jour dès affichage. Par contre le graphique d'état du stock impose que la fenêtre soit ouverte pour avoir une signification.

6. Décomposition des Consommations

Cet outil additionnel permet d'obtenir une synthèse des consommations sur les flux pour un film physique donné. Il peut être utile à des fins de validation d'outils ayant à réaliser l'appairement LCDV-ECDV.



Documentation de la librairie ActiveX « SimAppro »

L'essentiel du code SimAppro est développé dans des objets OLE Automation permettant une exploitation simple – en local ou à distance via DCOM - depuis une application Visual Basic ou autre offrant les services d'interface graphique.

Définition IDL

```
// SimAppro.idl : IDL source for SimAppro.dll
//

// This file will be processed by the MIDL tool to
// produce the type library (SimAppro.tlb) and marshalling code.

import "oaidl.idl";
import "ocidl.idl";

typedef [uuid(D54E8E4C-8F1F-4D6C-85C2-E6FDE17BA43F), helpstring("Constantes
StockID")]
enum {
    StockAvantConsommation          = 0,
    StockAvantAcheminement          = 1,
    StockAvantAffectation           = 2,
    StockAvantTransport             = 3,
    EnTransport                     = 4,
    EnAcheminement                 = 5,
    EnAffectation                  = 6,
    EnConsommation                 = 7
} StockIDConstante;

typedef [uuid(D54E8E4C-8F1F-4D6C-85C2-E6FDE17BA44F), helpstring("Constantes
Fichier Trace")]
enum {
    AucuneTrace                    =0,
    TousEvenements                 =0xFFFFFFFF,

    DemandeConsommation            =4,
    DemandeAcheminement           =8,
    FinAcheminement               =16,
    DemandeTransport              =32,
    FinTransport                   =64,
    DemandeAffectation            =128,
    FinAffectation                 =256,

    CalculsSparte                 =512,

    RuptureStock                   =32768,
    DepassementFlexJour           =65536,
    DepassementFlexHebdo          =131072,
    DepassementFlexMens           =262144,

    ConsoStockClient              =524288,
    TransportAnnule                =1048576,

    MarqueurTracage               =2097152
```

```
} TraceIDConstante;
```

```
typedef [uuid(D54E8E4C-8F1F-4D6C-85C2-E6FDE17BA45F), helpstring("Constantes  
Etat Simulation")]
```

```
enum {  
    SansFlux           =0,  
    SansFilms         =1,  
    DemarragePret     =2,  
    EnRun              =3,  
    EnStop             =4,  
    Pause              =5,  
    AFinir             =6,  
    Mort               =7
```

```
} EtatSimulationIDConstante;
```

```
typedef [uuid(C0DB4310-7E65-4f7a-8CB8-E626110211CE), helpstring("Constantes  
Indicateurs")]
```

```
enum {  
  
    NombresRuptures,  
  
    StockMini,  
    StockMaxi,  
    StockMoyen,  
  
    SommeImmobilisee,  
    VolumeImmobilise,  
  
    NombreVehiculesIncomplets,  
    NombreVehiculesTotal,  
    PourcentageVehiculesIncomplets
```

```
} IndicateursIDConstante;
```

```
typedef [uuid(D54E8E4C-8F1F-4D6C-85C2-E6FDE17BA46F), helpstring("Constantes  
d'accès aux Paramètres d'un Flux")]
```

```
enum {  
    TypeFlux,  
    NomFournisseur,  
    NomClient,  
    CMJ,  
    Conso_Apres_Rupture,  
    Blocage_Depassement_Flexibilite
```

```
} ParametreFluxIDConstante;
```

```
[  
    object,  
    uuid(3522DE6C-8085-4D3D-96AE-ED9047BFC267),  
    dual,  
    helpstring("Interface IMoteurSimAppro"),  
    pointer_default(unique)
```

```
]  
interface IMoteurSimAppro : IDispatch  
{
```

```
    // Methode a usage interne uniquement ... non conforme oleautomation  
    [id(1), helpstring("Usage interne a l'ActiveX"), hidden,  
     nonbrowsable] HRESULT get_RefMoteur([out, retval] long **pVal);
```

```
    [propget, id(2), helpstring("Date/Heure de Simulation Courante")]  
    HRESULT Date_En_Cours([out, retval] DATE *pVal);
```

```

[id(3), helpstring("Lancement de la Simulation")] HRESULT
    Demarrer_Simulation([in] BSTR FichierResultats, [in] BSTR
    HeureEvalStockSpartes, [in] BSTR DateHeureDepartEtatStock, [out,
    retval] VARIANT_BOOL *pVal);
[id(4), helpstring("Initialisation des Flux")] HRESULT
    Initialiser_Flux([in] BSTR FichierFlux, [in] VARIANT_BOOL
    EtatParDefautFlux, [in] TraceIDConstante TypeTraceDefaut, [out,
    retval] VARIANT_BOOL *pVal);
[id(5), helpstring("Initialisation des Films Papiers et Physique")]
    HRESULT Initialiser_Films([in] BSTR Film_Production, [in] BSTR
    Calendrier, [in] BSTR FilmJMoins1, [out, retval] VARIANT_BOOL
    *pVal);
[proppget, id(6), helpstring("Etat courant de Simulation")] HRESULT
    Etat_Simulation([out, retval] EtatSimulationIDConstante *pVal);
[propput, id(6), helpstring("Etat courant de Simulation")] HRESULT
    Etat_Simulation([in] EtatSimulationIDConstante newVal);
[proppget, id(7), helpstring("Temporisation de ralentissement
    Simulation (ms)")] HRESULT Temporisation_Depilage([out, retval]
    long *pVal);
[propput, id(7), helpstring("Temporisation de ralentissement
    Simulation (ms)")] HRESULT Temporisation_Depilage([in] long
    newVal);
[id(9), helpstring("Insertion d'un Point d'Arret associé à une
    etiquette -nombre entier- (utilisation au choix de
    l'exploitant)")] HRESULT InsererPointArret(DATE MomentArret,
    unsigned char Periode, short Identifiant, VARIANT_BOOL Bloquant
    );
[proppget, id(10), helpstring("Date de Depart de la Simulation ...
    déterminée d'après le fichier Film Physique")] HRESULT
    Date_Depart_Simulation([out, retval] DATE *pVal);
[proppget, id(11), helpstring("Nombre d'Evenements tirés durant la
    simulation")] HRESULT Nombre_Evenements([out, retval] long *pVal);
[id(12), helpstring("Insertion d'un Marqueur de Tracage Périodique
    permettant d'obtenir des états de stocks à heure fixe")] HRESULT
    InsererTraceurPeriodique(DATE PremiereDate, int Periode);
[proppget, id(13), helpstring("property Indicateur")] HRESULT
    Indicateur(IndicateursIDConstante IdIndicateur, [out, retval]
    float *pVal);
[id(14), helpstring("method Traitement_Special"),hidden,
    nonbrowsable] HRESULT Traitement_Special_forAV([in] BSTR FichRes);
};

[
    object,
    uuid(E88263A6-DBA0-4A36-B006-CEBF672CA01B),
    dual,
    helpstring("Interface IFluxAppro"),
    pointer_default(unique)
]
interface IFluxAppro : IDispatch
{
    [proppget, id(1), helpstring("Fin de Liste des Flux Atteinte")]
    HRESULT EOF([out, retval] VARIANT_BOOL *pVal);
    [id(2), helpstring("Selection du Premier Flux dans la liste")]
    HRESULT MoveFirst(IMoteurSimAppro *Moteur);
    [id(3), helpstring("Selection du Flux Suivant dans la liste")]
    HRESULT MoveNext(void);
    [proppget, id(4), helpstring("Nom du Flux courant")] HRESULT
    Name([out, retval] BSTR *pVal);

```

```

[id(5), helpstring("Nombre d'UC dans les Stocks ou en Mouvement")]
    HRESULT Nb_UC([in] StockIDConstante StockID, [out, retval] long
        *pVal);
[id(6), helpstring("Selection d'un Flux via son Nom")] HRESULT
    Select([in] BSTR pVal);
[propget, id(7), helpstring("Flux Simulé ou non")] HRESULT
    Actif([out, retval] VARIANT_BOOL *pVal);
[propput, id(7), helpstring("Flux Simulé ou non")] HRESULT Actif([in]
    VARIANT_BOOL newVal);
[propget, id(8), helpstring("Valeur d'un des Indicateurs sur le
    Flux")] HRESULT Indicateur([in] IndicateursIDConstante
    IdIndicateur, [out, retval] float *pVal);
[propget, id(9), helpstring("Configuration de sortie dans le Fichier
    Trace")] HRESULT Type_Trace([out, retval] TraceIDConstante *pVal);
[propput, id(9), helpstring("Configuration de sortie dans le Fichier
    Trace")] HRESULT Type_Trace([in] TraceIDConstante newVal);
[propget, id(10), helpstring("Permet la récupération de certaines
    Propriétés du Flux")] HRESULT Propriete(ParametreFluxIDConstante
    IdParametre, [out, retval] VARIANT *pVal);
[propput, id(10), helpstring("Permet la récupération de certaines
    Propriétés du Flux")] HRESULT Propriete(ParametreFluxIDConstante
    IdParametre, [in] VARIANT pVal);
[id(11), helpstring("Permet d'Ajouter ou Supprimer Dynamiquement des
    Ordres")] HRESULT Ajouter_Ordres(int Nombres_Ordres);
[propget, id(12), helpstring("Permet la récupération des éléments de
    Calculs Sparte")] HRESULT Besoins_Commandes_Sparte([out, retval]
    SAFEARRAY (INT) *pVal);
};

[
    uuid(D54E8E4C-8F1F-4D6C-85C2-E6FDE17BA42F),
    version(1.0),
    helpstring("SimAppro 1.0 CRAN-PSA Type Library - F.Chaxel 2004")
]
library SIMAPPROLib

{
    importlib("stdole32.tlb");
    importlib("stdole2.tlb");

[
    uuid(160B1AA3-323C-4183-9E18-64DC5214DF1B),
    helpstring("_IMoteurSimApproEvents Interface")
]
dispinterface _IMoteurSimApproEvents
{
    properties:
    methods:
    [id(1), helpstring("Evenement provoqué en Fin de Simulation")]
        HRESULT FinSimulation();
    [id(2), helpstring("Evenement provoqué sur rencontre d'un Point
        d'Arret, retourne l'étiquette -nombre entier- mis à l'insertion")]
        HRESULT PointArretAtteint(long Identifiant);
};

[
    uuid(21A636A0-F2D3-44C5-A239-D6BEC617D93C),
    helpstring("FluxAppro : Gestion de chaque Flux")
]
coclass FluxAppro
{

```

Annexe 6
Documentation de la librairie ActiveX « SimAppro »

```
[default] interface IFluxAppro;
[default, source] dispinterface _IFluxApproEvents;
};

[
    uuid(DF3359C4-8BC0-48A8-ABF8-B7586A80AAAA),
    helpstring("MoteurSimAppro : Pilotage de la Simulation")
]

coclass MoteurSimAppro
{
    [default] interface IMoteurSimAppro;
    [default, source] dispinterface _IMoteurSimApproEvents;
};

[
    uuid(01C8A5A5-0A53-49DF-AA7B-EEBBBA532D83),
    helpstring("_IFluxApproEvents Interface")
]
dispinterface _IFluxApproEvents
{
    properties:
    methods:
};
};
```

Deux classes d'objets sont mises à disposition :

MoteurSimAppro
FluxAppro

L'objet MoteurSimAppro est seul apte à générer des événements dans le code du conteneur (application).

Exploitation dans une application Visual Basic 6.0

Le référencement de la librairie Simappro est réalisable via le menu Projet->Reference puis sélection de :
SimAppro 1.0 CRAN-PSA Type Library - F.Chaxel 2004

Dès lors des références (pointeurs) vers des objets de classes MoteurSimAppro et FluxAppro peuvent être déclarés via les déclarations suivantes :

```
Dim Moteur As MoteurSimAppro
    ou
Dim Moteur As SimApproLib.MoteurSimAppro
```

ainsi que

```
Dim Flux as FluxAppro
    ou
Dim Flux as SimApproLib.FluxAppro
```

La création des objets peut être réalisées via les instructions

```
Set Moteur = New MoteurSimAppro
    ou
Set Moteur = New SimApproLib.MoteurSimAppro
    ou
Set Moteur = CreateObject("Simappro.MoteurSimAppro") ... voire sur une autre machine réseau

ainsi que
```

```
Set Flux = New FluxAppro
ou
Set Flux = New SimApproLib.FluxAppro
ou
Set Flux = CreateObject("Simappro.FluxAppro ") ... voire sur une autre machine réseau
```

Sans faire confiance au ramasse miettes de Visual Basic, le suppression des instances de ces classes peut être réalisées via

```
Set Flux= Nothing
```

A savoir que la destruction de l'instance de MoteurSimAppro à pour effet d'arrêter le moteur de simulation, de détruire les flux, et de finalement de détruire le moteur lui même. La destruction d'une instance de Flux FluxAppro ne détruit même pas le flux qui continue à être simulé.

Classe MoteurSimAppro

Usage général

L'exploitation d'une instance de la classe MoteurSimAppro suit le scénario suivant

- Initialisation des Flux par exploitation de la méthode Initialiser_Flux
- Initialisation des Films et du Calendrier par exploitation de la méthode Initialiser_Films
- Eventuellement l'Insertion de Point d'arrêt par exploitation de la méthode InsérerPointArret
- Eventuellement l'Insertion de Traceurs Périodiques par exploitation de la méthode InsérerTraceurPeriodique
- Le Démarrage de la Simulation par exploitation de la méthode Demarrer_Simulation

- La consultation de l'état des indicateurs, de la date courante périodiquement ou sur réception d'événements Point d'arrêts par exploitation des propriétés Date_En_Cours, Date_Depart_Simulation, Nombre_Evenements

- La mise Pause, Arrêt ou reprise après pause en cours de simulation par exploitation de la propriété Etat_Simulation

Initialisation des Flux

Function Initialiser_Flux (FichierFlux As String, EtatParDefautFlux As Boolean, TypeTraceDefaut As TraceIDConstante) As Boolean

Permet d'initialiser les Flux par lecture du fichier FichierFlux, en donnant un état par défaut à chaque flux (simulé ou non simulé) via le paramètre EtatParDefautFlux et en précisant le type de traçage devant être fait par défaut sur chaque flux via le paramètre TypeTraceDefaut. Ce paramètre peut prendre les valeurs AucuneTrace ou TousEvenements et un combinaison via un opérateur OU des valeurs : DemandeConsommation, DemandeAcheminement, FinAcheminement, DemandeTransport, FinTransport, DemandeAffectation, FinAffectation, CalculsSparte, RuptureStock, DepassementFlexJour, DepassementFlexHebdo, DepassementFlexMens, ConsoStockClient, TransportAnnule, MarqueurTracage.

Exemple d'utilisation

```
Ret= MotSimu.Initialiser_Flux("c:\Flux.txt ",True, DemandeTransport Or FinTransport)
If Ret=False Then
    MsgBox ("Erreur a l'Initialisation des Flux")
End If
```

Initialisation des Films & Calendrier

Function Initialiser_Films(Film_Production As String, Calendrier As String, FilmJMoins1 As String) As Boolean

Permet l'initialisation des Films de Production via le paramètre Film_Production, Films Papiers via le paramètre FilmJMoins1 et Calendrier via le paramètre Calendrier.

Concernant les films papiers, seules la référence au fichier J-1 est données. Le nom de ce fichier doit contenir le caractère 1 quelque part en fin de chaîne, ce 1 sera automatiquement remplacé par 2 pour trouver le fichier J-2, et ainsi de suite jusqu'à J-8. Si un fichier manque, à partir de ce J-x, la détermination des besoins sera remplacée par la CMJ.

Exemple d'utilisation

```
Ret= MotSimu.Initialiser_Films("c:\FilmPhysique.txt.SimAppro ", "c:\Calendrier.txt ", "c:\FilmJ1.txt.SimAppro ")
If Ret=False Then
    MsgBox ("Erreur a l'Initialisation des Films")
End If
```

Démarrage de la Simulation

Function Demarrer_Simulation(FichierResultats As String, HeureEvalStockSparte As String, DateHeureDepartEtatStock As String) As Boolean

Permet de Démarrer la Simulation en fournissant la référence au fichiers devant contenir les résultats des traçages FichierResultats, et en précisant l'Heure à laquelle doit être prélevé l'état des stocks pour les calcul Sparte, ainsi que la Date et Heure de départ pour la calcul des indicateurs de stocks Mini, Maxi et Moyen.

Exemple d'utilisation

```
Ret= MotSimu.Demarrer_Simulation("c:\Resu.txt", "23:30:00", "12/10/2004 12:10:10")
If Ret=False Then
    MsgBox ("Erreur au démarrage de la simulation")
End If
```

Insertion de points d'arrêt

Sub InsérerPointArret(MomentArret As Date, Periode As Byte, Identifiant As Integer, Bloquant As Boolean)

Permet avant départ de la simulation d'insérer des points d'arrêts générant des événements PointArretAtteint. Le point d'arrêt est arrivé à la date MomentArret, il a une période Periode exprimé en heures (0=point d'arrêt non périodique), il possède un identifiant qui sera retransmis à l'application lors de l'événement, et ce point d'arrêt provoque ou pas le passage automatique du moteur de simulation de l'état Run à Pause via le paramètre Bloquant.

Exemple d'utilisation

```
Dim Depart as Date
Depart= "12/10/2004 15:12:10"
MotSimu. InsérerPointArret (Depart,1,0,False)
```

Insertion de Traceurs périodiques

Sub InsérerTraceurPeriodique(PremiereDate As Date, Periode As Long)

Permet d'insérer des traceurs afin d'obtenir des états de stocks dans le fichier résultat à des dates particulières. Le traceur et périodique exprimée en heure ou non si Periode=0. La demande de traçage de ce type d'événement pour le flux est nécessaire, sans quoi l'événement sera bien traité par le flux, mais n'apparaîtra pas dans le fichier de résultats.

Exemple d'utilisation

Dim Depart as Date
Depart= "12/10/2004 0:0:00"
MotSimu. InserirTraceurPeriodique (Depart,24)

Modification et Vérification de l'état de la simulation

Property Etat_Simulation As EtatSimulationIDConstante

Cette propriété permet de prendre connaissance de l'état du moteur de simulation via les valeurs :
SansFlux, SansFilms, DemarragePret, EnRun, EnStop, Pause, AFinir, Mort

Lorsque l'état est EnRun, l'écriture de la valeur Pause permet de demander le passage à l'état Pause.
Lorsque l'état est Pause, l'écriture à la valeur EnRun permet de reprendre la simulation.
Lorsque l'état est EnRun ou Pause, l'écriture à la valeur AFinir permet de demander l'arrêt de la simulation.
Lorsque l'état est Mort, la simulation est finie. Il est nécessaire de détruire l'objet puis de reprendre un processus de création d'une instance nouvelle puis réinitialisation complète afin de relancer une nouvelle simulation

Propriétés, Dates ...

Property Date_En_Cours As Date
Property Date_Depart_Simulation As Date
Property Nombre_Evenements As Long
Property Indicateur(IdIndicateur As IndicateursIDConstante) As Single

La propriété Date_En_Cours permet de récupérer la date de simulation exploitée par le moteur de simulation.

La propriété Date_Depart_Simulation permet de récupérer la date de passage du premier véhicule dans le simulateur. Cette date n'est pas la vraie date de départ, en effet le moteur va commencer la simulation 1 semaine avant cela, afin de permettre une initialisation complète de tous les transports ainsi que les initialisation des calculs Sparte. La valeur de cette propriété est mise en place dès fourniture du fichier film physique via l'appel de la méthode Initialiser_Films. Elle permet de mettre en place de façon 'propre' les points d'arrêt.

La propriété Nombre_Evenements n'est là qu'à titre indicatif ... pour montrer que y'a plein de trucs dans la machine qui ce passe !!!

La propriété Indicateur permet de récupérer la valeur des indicateurs SommeImmobilisee, VolumeImmobilise, NombreVehiculesIncomplets, NombreVehiculesTotal, PourcentageVehiculesIncomplets durant la simulation.
Exemple *SommeImmo=MotSimu.Indicateur(SommeImmobilisee)*

Événement Fin de Simulation

Event FinSimulation()

Cet événement est tiré à la fin de la simulation. L'ensemble de flux est encore présent et accessible dans leur état final auprès du moteur de simulation. Cet événement est tiré dans le thread du séquenceur de simulation, le code en place dans l'application utilisateur ne doit pas être bloquant afin de permettre à ce séquenceur de terminer son activité. Les flux resteront accessible dans leur état final (ainsi que le moteur de simulation lui même) tant que le moteur ne sera pas détruit via *Set MotSimu = Nothing*

Événement Point d'arrêt atteint

Event PointArretAtteint(Identifiant As Long)

Cet événement est tiré lors de la rencontre d'un point d'arrêt par le séquenceur de simulation. Cet événement est tiré dans le thread du séquenceur de simulation signifiant que la simulation n'avance plus tant que le code dans l'application utilisateur ne rend pas la main. Le code en place dans l'application utilisateur ne doit pas être bloquant afin de permettre au séquenceur de reprendre son activité. L'identifiant fourni est celui donné lors de l'appel de la méthode `InsererPointArret`.

Classe FluxAppro

Usage Général

L'exploitation d'instances de la classe `FluxAppro` permet de recueillir, modifier avant ou pendant la simulation certains paramètres des flux.

Les instances de ces classes ne peuvent être initialisées sans la présence d'une instance de la classe `MoteurSimAppro` et après chargement des flux auprès de celui-ci via la méthode `Initialiser_Flux`

L'exploitation d'une instance de cette classe passe nécessairement par

- La création de l'instance de la classe
- L'association entre cette instance et l'instance du moteur de simulation via la méthode `MoveFirst`
- Le positionnement sur un flux connu par son nom via la méthode ou le déplacement dans la liste des flux via la méthode `MoveNext` et la propriété `EOF`
- Ensuite l'exploitation des autres méthodes et propriétés

La destruction d'une instance de cette classe n'a aucun effet sur les flux gérés par le moteur de simulation (le flux continue à exister sans objet `FluxAppro` associé).

Méthode `MoveFirst`

Sub `MoveFirst(Moteur As MoteurSimAppro)`

Cette méthode permet de réaliser l'association entre l'instance de la classe `FluxAppro` et l'instance de la classe `MoteurSimAppro`. Elle positionne cette instance sur le premier flux géré par le moteur, permettant immédiatement de réaliser des traitements sur ce premier flux. L'accès en lecture à la propriété `Name` ou à la propriété `EOF` permet de prendre connaissance de la réussite ou non de cette opération.

Exemple d'utilisation

```
Set Flx = new FluxAppro  
Flx.MoveFirst(MotSimu)
```

Méthode `Select`

Sub `Select(pVal As String)`

Cette méthode permet de positionner l'instance de la classe `FluxAppro` sur un flux connu par son nom. L'accès en lecture à la propriété `Name` ou à la propriété `EOF` permet de prendre connaissance de la réussite ou non de cette opération.

Exemple d'utilisation

```
Flx.Select(" 1490426080 : CAPTEUR SAC ")
```

Méthode `MoveNext` et Propriété `EOF`

Sub `MoveNext()`
Property `EOF` As Boolean

Permet de naviguer de haut en bas sur l'ensemble des flux. La propriété `EOF` est positionnée à `TRUE` si l'instance de la classe `FluxAppro` n'est pas ou plus positionnée sur flux.

Exemple d'utilisation

```
Set Flx = new FluxAppro
Flx.MoveFirst(MotSimu)

Do While Not (Flx.EOF)
    MsgBox Flx.Name
    Flx.MoveNext
Loop
```

Propriétés Name, Actif, Type_Trace

Property Name As String
Property Actif As Boolean
Property Type_Trace As TraceIDConstante

La propriété Name retourne le nom du flux ou la super amusante phrase "Eh bien non pas de nom : Erreur!!!" si l'instance de la classe n'est pas positionné sur un Flux valide.

La propriété Actif permet de lire & modifier l'état Simulé (valeur True) ou non simulé (valeur False) du flux. La valeur initiale est mise en place au chargement des flux : cf. Méthode Initialiser_Flux de la classe MoteurSimAppro.

La propriété permet de lire & modifier le type de traçage retenu pour le flux. La valeur initiale est mise en place au chargement des flux : cf. Méthode Initialiser_Flux de la classe MoteurSimAppro.

Consultation du nombre d'UC dans les stocks

Function Nb_UC(StockID As StockIDConstante) As Long

Cette méthode permet de prendre connaissance du nombre d'UC présent aux différents points de la boucle client-fournisseur soient StockAvantConsommation, StockAvantAcheminement, StockAvantAffectation, StockAvantTransport, EnTransport, EnAcheminement, EnAffectation, EnConsommation.

Exemple d'utilisation

```
A = Flx.Nb_UC(EnTransport)
```

Consultation – modification de certaines propriétés du flux

Property Propriete(IdParametre As ParametreFluxIDConstante)

Cette propriété permet de consulter les propriétés TypeFlux, NomFournisseur, NomClient, CMJ et de modifier le les propriétés CMJ, Conso_Apres_Rupture, Blocage_Depassement_Flexibilite.

Le type de donné associé à TypeFlux, NomFournisseur, NomClient est String, le type de donné associé à CMJ est Long et le type de donné associé à Conso_Apres_Rupture et Blocage_Depassement_Flexibilite est Boolean.

Exemple d'utilisation

```
Flx.Propriete (CMJ)=12
Flx.Propriete(Conso_Apres_Rupture)=True
```

Ajout-retrait dynamiques d'ordres

Sub Ajouter_Ordres(Nombres_Ordres As Long)

Annexe 6

Documentation de la librairie ActiveX « SimAppro »

Cette méthode permet d'ajouter des ordres dans la boucle si Nombres_Ordres est supérieur à zéro, ou d'en enlever si Nombres_Ordres est inférieur à zéro.

Cette méthode est destinée au flux Recor.

Consultation des indicateurs

Property Indicateur(IdIndicateur As IndicateursIDConstante) As Single

Permet de récupérer l'état dynamique des indicateurs NombresRuptures, StockMini, StockMaxi, StockMoyen, SommeImmobilisee, VolumeImmobilise ;

Monsieur VILLEMINOT Alexandre

DOCTORAT de l'UNIVERSITE HENRI POINCARÉ, NANCY 1
en PRODUCTION AUTOMATISEE

VU, APPROUVÉ ET PERMIS D'IMPRIMER N° 1036

Nancy, le 24 décembre 2004

Le Président de l'Université



Modélisation et simulation de la logistique d'approvisionnement dans l'industrie automobile

Application pour un grand constructeur

Résumé

Face à un contexte de production en constante évolution, les constructeurs automobiles doivent maîtriser leur logistique d'approvisionnement. Aujourd'hui, sa complexité rend difficile l'évaluation globale de sa performance, de la commande d'un véhicule jusqu'à sa livraison au client. Nos travaux veulent contribuer à l'amélioration globale de la flexibilité de la logistique et de la réactivité face aux aléas d'approvisionnements.

Nous proposons alors une modélisation des flux logistiques à des fins d'évaluation. Dans le cadre d'une approche systémique un méta-modèle UML des flux est proposé puis instancié sur la chaîne logistique d'approvisionnement PSA. Des indicateurs de flux pertinents sont ensuite proposés pour l'évaluation globale des performances d'un système logistique.

Cette modélisation est implémentée dans une plateforme de simulation (SimAppro) de toute la logistique d'approvisionnement de PSA, connectée aux systèmes d'informations propriétaires. Nous proposons et mettons en œuvre ensuite une démarche de validation de l'outil.

Enfin nous avons effectué une application industrielle de nos travaux. Son but est d'apporter une réponse pour la juste sécurisation des stocks sans altération de la qualité de service. Les résultats obtenus par le biais de deux heuristiques simples (aspect décisionnel) couplés avec le simulateur SimAppro (évaluation) laissent à penser qu'il est possible de diminuer globalement les niveaux de sécurisation des stocks constituants tout en améliorant le nombre de véhicules « bons » en sortie des lignes de montage.

Mots clés

Modélisation, UML, Systémique, logistique d'approvisionnement, aide à la décision, simulation, industrie automobile

Modelling and simulation of supply logistics in the automotive industry

Application for a large car manufacturer

Abstract

Faced with a production context in constant evolution, car manufacturers need to control their supply chain. Nowadays production systems are so complicated that it is difficult to evaluate globally their performance, from the car order to the delivery. Our works contribute to improve flexibility of logistics and to increase the reactivity in case of supply hazards.

We propose so a supply flows modeling in purpose of simulation. In a systemic framework, we propose also a UML meta-model of the flows, then instantiate to the PSA Supply Chain. Relevant indicators are then proposed for the global performance of logistic system.

This modeling is implemented in simulation software (SimAppro) of all the PSA Supply Chain, connected to the enterprise information systems. We propose and use next a validation process of the tool.

Finally we apply our works to industrial problem. His aim is to answer of the just inventory security level without changing the Quality of Service. Results obtain with two simple heuristics (decisional aspect) coupled to the simulator SimAppro(evaluation) let expecting the possibility of global decreasing of the inventory security level, with an increase of the car produced quality.

Keywords

Modelling, UML, Systemic, supply logistic, decision-aide, simulation, car manufacturer.