HAL
open science

Optimisation dynamique des chaînes logistiques agiles : application au cas d'approvisionnement en ligne

Akram Chibani

To cite this version:

Akram Chibani. Optimisation dynamique des chaînes logistiques agiles : application au cas d'approvisionnement en ligne. Ordinateur et société [cs.CY]. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2015. Français. NNT : 2015CLF22633 . tel-01912414

HAL Id: tel-01912414

https://theses.hal.science/tel-01912414v1

Submitted on 5 Nov 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.

NNT : xxx

THÈSE

présentée par

Akram CHIBANI

pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II

Spécialité : INFORMATIQUE-PRODUCTIQUE

Optimisation dynamique des chaînes logistiques agiles : application au cas d'approvisionnement en ligne

soutenue à Clermont-Ferrand, le 04 12 2015

Membres du jury

Président	Georges HABCHI	Professeur, Université de Savoie
Rapporteur	Lyes BENYOUCEF	Professeur, Université d'Aix-Marseille
Rapporteur	Yacine OUZROUT	Maître de Conférence HDR, Université de Lyon 2
Examinateur	Alain GUINET	Professeur, INSA-Lyon
Directeur	Alexandre DOLGUI	Professeur, École des Mines de Nantes
Directeur	Henri PIERREVAL	Professeur, Institut Français de Mécanique Avancée
Encadrant	Xavier DELORME	Maître Assistant HDR, École des Mines de Saint-Étienne

Remerciements

Soyons reconnaissants aux personnes qui nous donnent du bonheur ; elles sont les charmants jardiniers par qui nos âmes sont fleuries.

Marcel Proust

Le seul moyen de se délivrer d'une tentation, c'est d'y céder paraît-il ! Alors j'y cède en disant en grand Merci aux personnes qui ont cru en moi et qui m'ont permis d'arriver au bout de cette thèse.

Je tiens tout d'abord à remercier mes deux directeurs de cette thèse.

Je remercie M. Henri Pierreval, pour m'avoir fait confiance, puis pour m'avoir guidé, encouragé, conseillé, tout en me laissant une grande liberté et en me faisant l'honneur de me déléguer plusieurs responsabilités dont j'espère avoir été à la hauteur. Je le remercie aussi pour la patience qu'il a manifestée à mon égard durant cette thèse.

Mes remerciements vont également à M. Alexandre Dolgui pour ses conseils et pour l'hospitalité dont il a fait preuve envers moi lors de mon passage à L'École des mines de Saint-Étienne, et aussi pour m'avoir fait l'honneur de participer à un projet d'ampleur internationale avec l'une des plus prestigieuses universités chinoises.

Je ne sais comment exprimer ma gratitude à ces deux personnes autrement qu'en leur promettant d'agir comme eux avec des étudiants dans ma situation, si un jour l'occasion m'en est donnée.

Je tiens, ensuite, à exprimer mes plus vifs remerciements à Xavier Delorme, maître-assistant à l'École des mines de Saint-Étienne, qui fut pour moi un encadrant de thèse attentif et disponible malgré ses nombreuses charges. Sa compétence, sa rigueur scientifique et sa clairvoyance m'ont beaucoup appris. Ils ont été et resteront des moteurs de mon travail de chercheur.

J'adresse toute ma gratitude à Monsieur Lyes Benyoucef et Monsieur Yacine Ouzrout d'avoir accepté de relire cette thèse et d'en être rapporteurs. Je tiens à remercier Monsieur Georges Habchi et Monsieur Alain Guinet d'avoir accepté d'être examinateurs de ce travail. Je remercie également tous les membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'assister à la présentation de cette thèse.

Au cours de ces années j'ai fait partie de l'équipe « DEMO » au sein de l'École des mines de Saint-Étienne. Les discussions que j'ai pu avoir durant les réunions d'équipe ou en dehors avec Rodolphe, Xavier, Olga, Fréderic, Nicolas, Nilou, Olivier, Eric, Jean-François et enfin notre chef Mireille m'ont beaucoup apporté. Je remercie donc toutes ces personnes.

Je remercie tous les doctorants formidables que j'ai pu côtoyer de près ou de loin entre Saint-Étienne et Clermont-Ferrand. Merci à Nadège, Afafe, Lorena, Oussama, Mickael, Hussein, Maxime, Olivier, Nizar, Espéran, Sergey, Lounes, Christian, Achraf, Adel, Nesrine, Aicha, Hakim, Lam, Anh-vu, Djily, Khaled, Amina, Maroua, Bessem, Seif, Nabil, Said ...

Heureusement que la troupe de « Feel the moment » est là pour me changer les idées. Ils ont tous cru en moi et ouf ! Maintenant j'y suis ! Mes remerciements vont à des amis qui, avec cette question récurrente, « quand est-ce que tu la soutiens cette thèse ? », bien qu'angoissante en périodes fréquentes de doutes, m'ont permis de ne jamais dévier de mon objectif final. Merci à Douchka, Amino, Ouss alias le patron, Alma, Slim Salim, Amal et Rym.

Il m'est impossible d'oublier mon ami Houssem Abid qui avec sa « joie de vire », agaçante par moment, me laissera toujours perplexe devant sa question fétiche « Que ferions-nous dans la vie ? » Oui, très vague comme question ... Mais je te trouverai, sûrement, peut-être, jamais, une réponse à la hauteur de ton amour pour la ville de Clermont-Ferrand.

Je remercie aussi mes amis d'enfance, Fayçal, Mostapha, Mehdi, Mondher, Ynez, Emna, Omar d'avoir égayé mes vacances d'été.

Enfin, les mots les plus simples étant les plus forts, j'adresse toute mon affection à ma famille, et en particulier à ma maman et à mon papa qui m'ont fait comprendre que la vie n'est pas faite que de problèmes qu'on pourrait résoudre grâce à des formules mathématiques et des algorithmes. Malgré mon éloignement depuis de (trop) nombreuses années, leur confiance, leur tendresse, leur amour me portent et me guident tous les jours. Merci pour avoir fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Est-ce un bon endroit pour dire ce genre de choses ? Je n'en connais en tous cas pas de mauvais.

Je remercie mes sœurs Hana et Alya pour leur soutien au cours de ces trois années et sans lesquels je n'en serais pas là aujourd'hui. Je vous aime.

à tous ceux que je ne nomme pas, mais qui se reconnaîtront, ...
à la belle époque, aux douces nuits du printemps, ...
rue de la treille, Clermont-Ferrand ...

Table des matières

Liste des figures **viii**

Liste des tableaux **x**

Introduction générale **1**

1 Contexte actuel des chaînes logistiques **5**

1.1 Introduction 8
1.2 Les fondements des chaînes logistiques 9
1.2.1 La logistique et l'évolution du marché 9
1.2.2 Les différents domaines d'application au niveau des chaînes logistiques 10
1.2.3 Chaînes logistiques et flux associés 11
1.2.4 Les types d'architecture au niveau des chaînes logistiques 12
1.2.5 Les principales activités et problématiques au niveau des chaînes logistiques 13
1.2.5.1 L'approvisionnement 13
1.2.5.2 La production 13
1.2.5.3 Le stockage 14
1.2.5.4 La distribution et le transport 14
1.2.5.5 La vente 14
1.2.6 Définition d'une chaîne logistique 14
1.3 La gestion des chaînes logistiques 15
1.3.1 L'approche Supply Chain Management (SCM) 15
1.3.2 Structuration des niveaux de décision des chaînes logistiques 16
1.3.3 Gestion des chaînes logistiques sous incertitudes 17
1.3.4 La collaboration au niveau des chaînes logistiques 18
1.3.4.1 Les processus de la collaboration 18
1.3.4.2 Les technologies d'information au service des chaînes logistiques 18
1.3.5 Le commerce collaboratif : les nouvelles tendances 19

1.3.5.1 Le «e-Market» 19
1.3.5.2 Le «e-Procurement» 20
1.3.5.3 Les outils du «e-Procurement» 22
1.4 Réponses face aux changements : concepts associés 23
1.4.1 Gestion de la réactivité : agilité, adaptabilité et reconfigurabilité . . 24
1.4.2 La flexibilité au niveau des chaînes logistiques 27
1.4.3 Gestion d'une chaîne d'approvisionnement flexible et agile 28
1.5 Conclusion 29

2 Approvisionnement dans les chaînes logistiques : analyse de la littérature 33
2.1 Introduction 35
2.2 Approvisionnement périodique dans les chaînes logistiques 36
2.2.1 Configuration du réseau logistique pour l'approvisionnement 36
2.2.2 Problème de sélection de fournisseurs 37
2.2.2.1 Les critères pour la sélection de fournisseurs 39
2.2.2.2 Les méthodes pour la sélection de fournisseurs 41
2.3 Approvisionnement agile au niveau des chaînes logistiques 45
2.3.1 Les systèmes d'enchères 45
2.3.2 Les systèmes d'enchères et d'enchères inversés en ligne 47
2.4 Conclusion 53

3 Problématique et démarche de résolution 55
3.1 Introduction 57
3.2 Description du problème 57
3.3 Formulation du problème 60
3.3.1 Les données 60
3.3.2 Notation 60
3.3.3 Les variables de décision 61
3.3.4 L'objectif 61
3.3.5 Les contraintes 61
3.3.6 Complexité 62
3.4 Démarche de résolution : optimisation dynamique 63
3.4.1 L'optimisation dynamique 64
3.4.1.1 Les domaines d'application 65
3.4.2 Les méthodes de résolution pour les problèmes d'optimisation dynamique 67
3.4.3 L'optimisation dynamique pour la chaîne logistique : le problème de tournées de véhicules 71
3.4.4 Notre démarche 73

3.5 Conclusion 74

4 Proposition d'un algorithme génétique dynamique (D-AG) pour l'approvisionnement d'une chaîne logistique agile 75

4.1 Introduction 77
4.2 Principes généraux des algorithmes génétiques 77
4.3 Principes de base pour notre D-AG 78
4.3.1 Le codage 78
4.3.2 Génération de la population initiale 78
4.3.3 Principes de sélection 78
4.3.4 Le croisement 80
4.3.5 La mutation 80
4.4 Description détaillée de l'algorithme génétique proposé (AG) 80
4.5 Algorithme génétique dynamique avec technique de mémorisation (D1-AG) 83
4.5.1 Les spécificités de l'algorithme (D1-AG) 83
4.5.1.1 Intérêt de l'utilisation des solutions mémorisées 84
4.5.1.2 Utilisation des solutions mémorisées dans la population initiale 85
4.6 Algorithme génétique dynamique avec les techniques de mémorisation et de diversification après variations (D2-AG) 85
4.6.1 Les spécificités de l'algorithme (D2-AG) 85
4.6.1.1 Intérêt de l'utilisation de la diversification 87
4.6.1.2 Nature des solutions utilisées : un algorithme glouton . . . 87
4.7 Conclusion 88

5 Expérimentations 91

5.1 Introduction 93
5.2 Étude expérimentale : paramètres et mesures de performances 93
5.2.1 Les paramètres 93
5.2.2 Les mesures de performances 94
5.3 Premier exemple d'application : variabilité des prix et des capacités chez les fournisseurs 95
5.3.1 Élaboration des scénarios 95
5.3.2 Analyse des résultats 96
5.4 Deuxième exemple d'application : variabilité de la demande chez le client . 100
5.4.1 Élaboration des scénarios 100
5.4.2 Analyse des résultats 100
5.5 Troisième exemple d'application : variabilités asynchrones chez le client et les fournisseurs 104

5.5.1 Élaboration des scénarios 104
5.5.2 Analyse des résultats 105
5.6 Conclusion 107

Conclusion générale **111**

Bibliographie **115**

A Annexes Demande Constante **129**

Demande Constante **130**

B Annexes Demande Variable **135**

Demande Variable **136**

C Annexes Données Asynchrones **141**

Données Asynchrones **141**

Liste des figures

1.1 Un exemple d'architecture d'une chaîne logistique 11
1.2 Différentes structures au niveau des chaînes logistiques 12
1.3 Les différents niveaux de décision 16
1.4 Différents modes d'interaction entre clients et fournisseurs dans le e-procurement 21
1.5 Le concept des places de marchés électroniques entre clients et fournisseurs 22
1.6 Le délai de réponse selon [McCullen *et al.* 2006] 25

2.1 Le problème de sélection de fournisseurs selon [Aissaoui *et al.* 2007] 38
2.2 Critères de sélection de fournisseurs selon [Benyoucef *et al.* 2003] 39
2.3 Un exemple d'un format d'enchère inversée selon [Talluri *et al.* 2007] 50

3.1 Chaîne logistique étudiée 58
3.2 Le problème de e-Procurement 59
3.3 Exemples de variation des données de deux fournisseurs pour un type de produit 63
3.4 Comportement de l'optimum dans l'espace de recherche, inspiré de [Lepagnot *et al.* 2009] 65
3.5 Comportement de l'optimum dans l'espace de recherche, inspiré de [Bosman & La Poutre 2007] 66
3.6 Une myopie face aux données futures 68

4.1 Principes de base d'un algorithme génétique classique 79
4.2 Exemple de croisement 81
4.3 Exemple de mutation pour deux produits 82
4.4 L'algorithme génétique proposé (D1-AG) 84
4.5 L'algorithme génétique proposé (D2-AG) 86
4.6 Résumé des diverses techniques utilisées 90

5.1 Résumé du plan d'expérience pour les différents scénarios utilisés 95

5.2 Comportement des trois algorithmes pour le cas de 15 chargements sur 10 fournisseurs avec une variation de 15% 96
5.3 Gap moyen par algorithme selon le degré de variation 97
5.4 Gap moyen par algorithme selon le nombre de changements 98
5.5 Gap moyen par algorithme selon le nombre de fournisseurs 99
5.6 Résumé du plan d'expérience pour les différents scénarios utilisés 100
5.7 Comportement des trois algorithmes pour le cas de 15 changements sur 1 produit avec une variation de 15% 102
5.8 Gap moyen par algorithme selon le nombre de variations 103
5.9 Gap moyen par algorithme selon le nombre de changements 104
5.10 Gap moyen par algorithme selon le nombre de produits 105
5.11 Résumé du plan d'expérience pour les différents scénarios utilisés 106
5.12 Comportement des trois algorithmes pour le cas de 15 changements sur 3 produits et 10 fournisseurs avec une variation de 15% 107

Liste des tableaux

1.1 Historique de l'évolution du marché inspiré de [Merzouk 2007] 10
1.2 Exemples de définitions pour la chaîne logistique 30
1.3 Exemples de définitions pour le concept de gestion de la chaîne logistique . 31
1.4 Les différents modes d'approvisionnement dans le e-procurement 31

2.1 Critères de sélection de fournisseurs selon [Ng *et al.* 2006] 40
2.2 Critères de sélection de fournisseurs selon [Zouggar 2009] 41
2.3 Synthèse des méthodes de sélection des fournisseurs selon [Aguezzoul & Ladet 2006] 42
2.4 Modélisation des systèmes d'enchères selon [Chandrashekar *et al.* 2007] . . 48

3.1 Exemple de problème rééls dynamiques selon [Cruz *et al.* 2010] 67
3.2 Exemple de techniques évolutionnaires de résolution selon [Cruz *et al.* 2010] 68
3.3 Évolution et la qualité de l'information pour les problèmes de tournées de véhicules selon [Pillac *et al.* 2013] 72

5.1 Paramètres du problème 94
5.2 Paramètres de l'algorithme génétique 94
5.3 Évolution du Gap moyen par algorithme selon le degré de variation 97
5.4 Évolution du Gap moyen par algorithme selon le nombre de changements . 98
5.5 Évolution du Gap moyen par algorithme selon le nombre de fournisseurs . 99
5.6 Évolution du Gap moyen par algorithme selon le degré de variations 102
5.7 Évolution du Gap moyen par algorithme selon le nombre de changements . 103
5.8 Évolution du Gap moyen par algorithme selon le nombre de produits . . . 104
5.9 Évolution du Gap moyen par algorithme selon le nombre de variations . . . 107
5.10 Évolution du Gap moyen par algorithme selon le degré de variations 108
5.11 Évolution du Gap moyen par algorithme selon le nombre de fournisseurs . 108
5.12 Évolution du Gap moyen par algorithme selon le degré de variations et le nombre de fournisseurs 108

A.1 Résumé des résultats du premier scénario avec demande constante 130

A.2 Résumé des résultats du deuxième scénario avec demande constante 131
A.3 Résumé des résultats du troisième scénario avec demande constante 132
A.4 Résumé des résultats du quatrième scénario avec demande constante 133
A.5 Résumé des résultats du cinquième scénario avec demande constante 134

B.1 Résumé des résultats du premier scénario avec demande variable 136
B.2 Résumé des résultats du deuxième scénario avec demande variable 137
B.3 Résumé des résultats du troisième scénario avec demande variable 138
B.4 Résumé des résultats du quatrième scénario avec demande variable 139
B.5 Résumé des résultats du cinquième scénario avec demande variable 140

C.1 Résumé des résultats pour les première et le deuxième instances avec données asynchrones 141
C.2 Résumé des résultats pour les troisième, quatrième et la cinquième instances avec données asynchrones 142

Introduction générale

« C'est une maladie naturelle à l'homme de croire qu'il possède la vérité directement »

Blaise Pascal, De l'esprit géométrique, dans œuvres complètes, tome II, p.164.

Contexte

Suite à l'évolution constante des différents secteurs économiques, la gestion des chaînes logistiques présente, actuellement, un enjeu important. De plus, avec l'utilisation massive des nouvelles technologies de l'information, la notion de collaboration connait un essor prodigieux dans les relations entre des différents maillons d'une chaîne d'approvisionnement. Ces technologies de l'information jouent ainsi un rôle primordial dans la recherche de réactivité afin de faire face à un environnement en perpétuelle évolution. Des changements majeurs, issus principalement de la mondialisation, dictés par une concurrence accrue entre les différents acteurs d'une même chaîne logistique, déterminent pour le court comme pour le long terme la compétitivité et affectent en profondeur le comportement des entreprises. Face à ces changements, dont certains sont porteurs d'incertitudes et surtout de volatilité, il est nécessaire de renforcer les systèmes logistiques en optant pour une exploitation significative des technologies de l'information.

À l'heure où leur place grandit dans le secteur industriel en général et au niveau des chaînes d'approvisionnement en particulier, les nouvelles technologies de l'information deviennent un moyen inévitable pour réaliser des transactions instantanées. L'utilisation d'Internet dans des opérations d'approvisionnement dans un contexte de mondialisation représente aujourd'hui un défi dans le fonctionnement quotidien des organisations. Il devient difficile d'imaginer une organisation poursuivant ses activités sans une infrastructure solide de systèmes d'information. De ce fait, de nouvelles tendances liées aux opérations d'approvisionnement commencent à se développer. Leur émergence est directement liée à l'environnement volatile où évoluent désormais les chaînes logistiques. Les opérations d'approvisionnement du type « e-Procurement » est un exemple de ces nouvelles pratiques où les chaînes logistiques sont qualifiées d'agiles.

D'une manière générale, l'approvisionnement est un processus collaboratif, pour lequel il convient dans un premier temps de sélectionner un ensemble de fournisseurs parmi l'ensemble disponible et de déterminer dans un deuxième temps la quantité optimale à commander auprès de chacun d'eux. Ainsi pour répondre à un besoin intrinsèque de coordination et de collaboration entre les clients et leurs fournisseurs, il est nécessaire de se doter des méthodes adéquates dans le contexte actuel des chaînes d'approvisionnement.

Toutefois, dans un contexte changeant, les variations peuvent ne pas avoir un impact sur tous les paramètres relatifs à un problème d'approvisionnement. Cette désynchronisation peut se justifier dans des cas de chaînes logistiques où les opérations d'achat ou d'approvisionnement se font instantanément ou dans un temps limité. En d'autres termes, les variations peuvent être enregistrées sur un intervalle de temps court.

Problématique générale

Dans ce contexte dynamique et évolutif, cette dépendance toujours plus forte des organisations vis-à-vis de leurs systèmes d'information imposent à l'entreprise de nouveaux enjeux afin de tirer profit au maximum du commerce collaboratif et d'assurer une réactivité dans les opérations d'approvisionnement.

L'ensemble de ces constats nous mène à nous poser avec beaucoup d'acuité la question de comment assurer la réactivité des activités d'approvisionnement de tels systèmes logistiques agiles.

Ce mémoire de thèse propose de répondre aux enjeux scientifiques d'une démarche de recherche de réactivité pour les nouvelles problématiques d'approvisionnement qui sont assujetties à des variations fréquentes. Les problématiques d'approvisionnement de type « enchères » sont les plus connues dans la littérature opérant dans un environnement très volatile.

Bien que les variations soient d'amplitude faible en raison du nombre réduit des acteurs de la chaîne logistique, elles arrivent avec une fréquence élevée. Les décideurs de la chaîne d'approvisionnements se trouvent donc dans l'obligation de réévaluer le problème dans sa globalité après ces changements.

À la différence des problématiques d'approvisionnement classique qui supposent une connaissance sur les données et qui s'inscrivent dans une démarche d'optimisation périodique en utilisant des intervalles de temps bien définis, les problématiques émergentes d'approvisionnement agile nécessitent des méthodes plus réactives afin de faire face à une

fluctuation constante de nombreux paramètres tels que les prix des matières premières chez les fournisseurs ou la demande du client.

Organisation du manuscrit

Nous avons divisé ce travail en cinq chapitres. Concrètement, le lecteur suivra le plan suivant :

Le chapitre 1 dresse un état de l'art. Il permet au lecteur de s'initier rapidement et concrètement au domaine de la chaîne logistique. Nous commencerons par des concepts introductifs à la logistique contemporaine. Nous nous intéresserons après aux modes de gestion des chaînes d'approvisionnement pour arriver à dégager les spécificités des tendances actuelles de gestion qui s'inscrivent dans le management collaboratif.

Le chapitre 2 présente notre domaine d'application ; l'opération d'approvisionnement dans la chaîne logistique. Ce chapitre contient deux sections. Dans un premier temps, la première section se focalisera sur les aspects classiques d'approvisionnement que nous trouvons dans la littérature. Dans un deuxième temps, la deuxième section dressera les nouvelles pratiques liées à l'approvisionnement ainsi que les méthodes existantes pour traiter ces problèmes.

Le chapitre 3 a pour objectif de présenter le cadre général de l'approche adoptée et de dégager les principes majeurs sur lesquels s'appuient nos contributions. Nous commencerons par une description du problème traité. Ensuite nous proposerons une modélisation mathématique en tenant en considération les caractéristiques du problème d'approvisionnement agile. Une fois que la modélisation est mise en place, nous justifierons la méthode que nous avons choisi d'utiliser, à savoir l'optimisation dynamique, et ce pour un objectif et des contraintes qui varient constamment dans le temps. Nous mettrons ainsi l'accent sur les avantages de cette méthode dans la recherche de solutions non stationnaires dans le temps, compatibles avec nos attentes. En effet, nos objectifs s'articulent sur la recherche d'une réactivité dans des opérations d'approvisionnement.

Le chapitre 4 met en évidence nos propositions dans la conception d'algorithmes évolutionnaires réactifs fondés sur l'intégration de quelques techniques d'optimisation dynamique. Nous proposerons par conséquent trois algorithmes de résolution. Un premier algorithme génétique classique et deux autres algorithmes génétiques dynamiques que nous détaillerons afin d'appréhender différents scénarios.

Le chapitre 5 dernier chapitre de cette thèse, vient illustrer toute la démarche menée jusqu'à présent ainsi que les propositions scientifiques faites sur la base de l'optimisation dynamique. Nous traiterons trois configurations. Chaque configuration est assujettie à des variations spécifiques et ensuite testée sur trois algorithmes différents.

Nous conclurons avec les apports de notre étude et les perspectives qui s'ouvrent au-delà de nos travaux.

Chapitre 1

Contexte actuel des chaînes logistiques

Sommaire

1.1 Introduction **8**

1.2 Les fondements des chaînes logistiques **9**

1.2.1 La logistique et l'évolution du marché 9

1.2.2 Les différents domaines d'application au niveau des chaînes logistiques 10

1.2.3 Chaînes logistiques et flux associés 11

1.2.4 Les types d'architecture au niveau des chaînes logistiques 12

1.2.5 Les principales activités et problématiques au niveau des chaînes logistiques 13

1.2.5.1 L'approvisionnement 13

1.2.5.2 La production 13

1.2.5.3 Le stockage 14

1.2.5.4 La distribution et le transport 14

1.2.5.5 La vente 14

1.2.6 Définition d'une chaîne logistique 14

1.3 La gestion des chaînes logistiques **15**

1.3.1 L'approche Supply Chain Management (SCM) 15

1.3.2 Structuration des niveaux de décision des chaînes logistiques 16

1.3.3 Gestion des chaînes logistiques sous incertitudes 17

1.3.4 La collaboration au niveau des chaînes logistiques 18

1.3.4.1 Les processus de la collaboration 18

1.3.4.2 Les technologies d'information au service des chaînes logistiques 18

1.3.5 Le commerce collaboratif : les nouvelles tendances 19

1.3.5.1 Le «e-Market» 19

1.3.5.2 Le «e-Procurement» 20
1.3.5.3 Les outils du «e-Procurement» 22
1.4 Réponses face aux changements : concepts associés 23
1.4.1 Gestion de la réactivité : agilité, adaptabilité et reconfigurabilité . . 24
1.4.2 La flexibilité au niveau des chaînes logistiques 27
1.4.3 Gestion d'une chaîne d'approvisionnement flexible et agile 28
1.5 Conclusion 29

« Deux visages semblables, dont aucun ne fait rire en particulier, font rire ensemble par leur ressemblance »

Blaise Pascal, Pensées, Vanité, fragment II

Résumé :

Dans ce premier chapitre, l'accent sera mis sur l'évolution du contexte des chaînes logistiques. En effet, ces systèmes deviennent de plus en plus complexes tant à concevoir qu'à exploiter et nécessitent une maîtrise des différents flux physiques et d'informations afin de réduire les coûts.

Cette complexité fait émerger de nouvelles problématiques différentes des problèmes classiques dans les chaînes d'approvisionnement et sont caractérisées par des interactions incertaines et répétitives entres les différents acteurs. De ce fait l'environnement de ces chaînes d'approvisionnement devient de plus en plus agile ce qui nécessite des méthodes adéquates pour réagir face à des variations fréquentes dans le temps.

Notre problématique est donc d'étudier cet environnement instable et ce dans l'objectif de fournir des éléments de compréhension sur le fonctionnement de ces systèmes en général et de l'approvisionnement en ligne en particulier.

1.1 Introduction

Les chaînes logistiques contemporaines se composent de nombreux acteurs qui cherchent à assurer leur pérennité en mettant en place les stratégies adéquates pour réagir en cas de changements. L'objectif principal de tout cet ensemble est d'acheminer le produit vers le client final en ayant une maîtrise des coûts et des ressources qui permettra de livrer le bon produit au bon endroit avec les meilleurs délais.

La configuration du réseau logistique semble donc une étape primordiale dans la conception d'une structure logistique qui peut réagir rapidement face à l'évolution permanente des marchés. Avec l'évolution des technologies de l'information, la volatilité de ces marchés induit une fluctuation constante de divers paramètres tel que les prix d'achat ou encore les capacités des fournisseurs.

La gestion des chaînes logistiques a connu depuis des décennies des changements en relation avec l'évolution du contexte économique. L'incertitude, liée en grande partie à la propagation de l'information, était toujours considérée comme une cause majeure dans le retard des opérations effectuées dans une chaîne d'approvisionnement.

En effet, le manque de visibilité par rapport aux données ainsi que la méconnaissance des tendances de l'offre et de la demande présentent pour les décideurs un véritable casse tête. Ils se trouvent ainsi dans l'obligation de réévaluer les différents problèmes pour éviter des phénomènes d'amplification de demande. Pour cela, la notion de partage de l'information a pris ces dernières années une place importante dans les relations entre clients et fournisseurs en raison des gains considérables que les deux parties peuvent tirer non seulement financièrement mais aussi afin de rendre les chaînes d'approvisionnement plus flexibles dans des environnements changeants.

Dans ce chapitre, il nous semble judicieux de définir tout d'abord quelques notions en relation avec les chaînes logistiques et surtout mettre l'accent sur les nouvelles pratiques en matière de collaboration entre les différents acteurs des chaînes d'approvisionnement qui résultent de l'utilisation massive des nouvelles technologies de l'information.

La première partie de ce chapitre sera essentiellement consacrée à des définitions des chaînes logistiques. Dans la deuxième partie, nous nous intéresserons aux modes de gestion des chaînes logistiques en proposant quelques définitions de base. Nous nous intéresserons dans une grande partie à la définition des nouveaux modes de gestion utilisés et par conséquent leurs répercutions sur la structure d'un réseau logistique.

Nous terminerons ce chapitre par un panorama des différentes réponses à un changement ou une variation afin de distinguer les approches que nous allons utiliser ainsi que l'émergence de nouveaux problèmes au niveau de la chaîne logistique.

1.2 Les fondements des chaînes logistiques

1.2.1 La logistique et l'évolution du marché

L'apparition de la « logistique », est essentiellement liée à un contexte militaire pour des fins d'organisation au niveau de l'armée. Cela dit, bien que l'utilisation de ce terme remonte à l'époque des guerres grecques, la logistique industrielle a vu le jour au début des années cinquante.

Avec l'arrivée de l'industrialisation, la demande était supérieure à l'offre. Cette période s'étend jusqu'aux années 70. La production de masse était la préoccupation majeure des industriels face à une demande importante. La notion de «logistique séparée» a caractérisé cette période justifiée par le recours à l'optimisation locale avec un rapport de force qui penche vers le producteur. En effet, cette ère industrielle était caractérisée par l'utilisation de nouvelles techniques, le développement de nouvelles branches d'activité et une forte croissance de l'activité.

Entre les années 70 et le début des années 90, les entreprises se sont retrouvées dans un contexte où la demande et l'offre étaient égales. Les stratégies adoptées à cette époque étaient dictées par la multiplication des entreprises opérantes dans un même secteur d'activité ce qui accroît la concurrence entre elles. Le client devient ainsi « Le client roi ». Nous assistons donc aux premières collaborations au sein d'une même entité de production afin d'optimiser globalement l'ensemble des prestations fournies.

Au début des années 90, le contexte économique a connu une explosion du nombre d'industriels qui proposent pour une même cible des produits identiques. Devant cette croissance de l'offre, la demande du client devient de plus en plus exigeante. Nous assistons a ce niveau à une concurrence de plus en plus féroce entre les entreprises qui ont cherché par tous les moyens à gagner des parts de marchés en se reposant sur quatre objectifs essentiels :

- Une amélioration de la qualité des produits proposés
- Une baisse significative des coûts
- Une meilleure performance dans les activités de production
- Une réactivité devant les changements de préférences des clients

Afin de mettre au clair l'historique des pratiques au niveaux des chaînes d'approvisionnement, le tableau 1.1 inspiré de [Merzouk 2007] résume les différentes étapes de cette évolution.

Table 1.1 – Historique de l'évolution du marché inspiré de [Merzouk 2007]

	Avant 1975	de 1975 à 1990	Après 1990
L'offre et la demande	demande > offre	demande = offre	demande < offre
Les exigences des clients	déterminées	prévisibles	très incertaines
Le marché	national	continental	mondial
Le rapport de force	en faveur du producteur	en faveur du client	commerce collaboratif
Les objectifs	production de masse	accroître la qualité	optimisation globale

Avec cette évolution du marché, la définition de la logistique a aussi changé au fil de temps. Au delà du caractère organisationnel que nous trouvons dans les anciennes définitions, de nos jours l'accent est mis sur l'intégration des prévisions du marché, le choix des emplacements des usines, les attentes réelles du client ainsi que la maîtrise et l'optimisation des flux depuis le fournisseur jusqu'au client final.

Une des définitions de la logistique qui répond aux exigences des marchés et des changements économiques est celle de **l'AFNOR** (Association française de normalisation), (norme X 50-600), qui définit la logistique comme une fonction « dont la finalité est la satisfaction des besoins exprimés ou latents, aux meilleures conditions économiques pour l'entreprise et pour un niveau de service déterminé. Les besoins sont de nature interne (approvisionnement de biens et de services pour assurer le fonctionnement de l'entreprise) ou externe (satisfaction des clients). La logistique fait appel à plusieurs métiers et savoir-faire qui concourent à la gestion et à la maîtrise des flux physiques et d'informations ainsi que des moyens ».

De nos jours, les entreprises doivent donc s'adapter à la dynamique des marchés pour espérer survivre dans un environnement très concurrentiel et très compétitif. Les clients sont beaucoup plus exigeants en raison des nombreux choix qui s'offrent à eux. Cependant, l'accord sur une définition précise de la chaîne logistique ainsi que les priorités que les logisticiens doivent fixer semblent difficiles à atteindre. Ce désaccord vient en grande partie des types et des natures des chaînes logistiques étudiées.

1.2.2 Les différents domaines d'application au niveau des chaînes logistiques

Parmi les différents domaines d'application au niveau des chaînes logistiques nous pouvons citer :

- La logistique de production
- La logistique de soutien

- La logistique de service
- La logistique inverse
- La logistique d'approvisionnement

Dans cette thèse nous nous positionnerons dans le cas de la logistique d'approvisionnement en favorisant les échanges entre différents fournisseurs d'un réseau logistique et leurs clients.

1.2.3 Chaînes logistiques et flux associés

Un schéma classique d'une chaîne d'approvisionnement est donné par la figure 1.1. Différentes entités peuvent être distinguées. L'ensemble des fournisseurs, les usines, les centres de distribution et enfin les clients constituent des maillons d'une même chaîne d'approvisionnement.

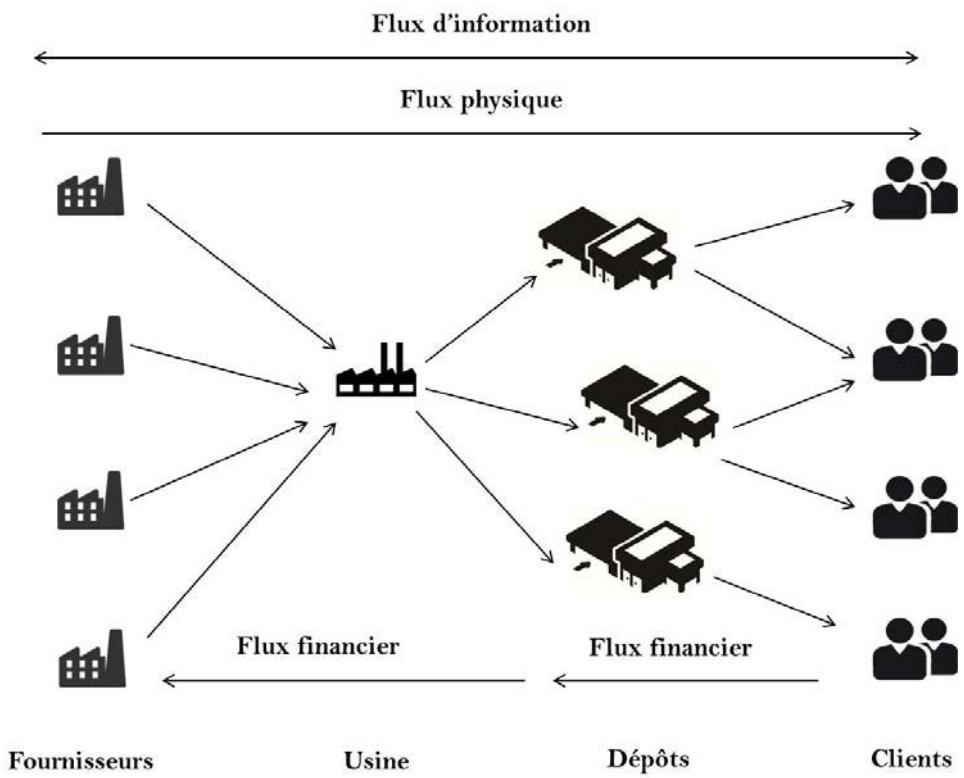

FIGURE 1.1 – Un exemple d'architecture d'une chaîne logistique

Cela dit, nous distinguons trois types de flux. La fonction logistique gère directement les flux matières (physiques), et indirectement les flux immatériels associés : flux d'informations et flux financiers. Pour résumer :

- Le flux physique : est constitué des flux matériels (achat de matières premières, transformation des matières premières en produit, livraison des produits.)
- Le flux d'information : est composé de flux de données qui circulent dans les deux sens dans le but d'aider dans la prise de décision et afin de coordonner les activités et prévoir les demandes futures.
- Le flux financier : présente les échanges en termes de valeur monétaire entre les entités de la chaîne logistique.

1.2.4 Les types d'architecture au niveau des chaînes logistiques

Une chaîne logistique présente une interaction entre différents maillons qui travaillent ensemble en gérant les différents flux. Néanmoins un changement dans les stratégies ou dans les objectifs peut déformer ce schéma classique pour laisser place à différents types de structures.

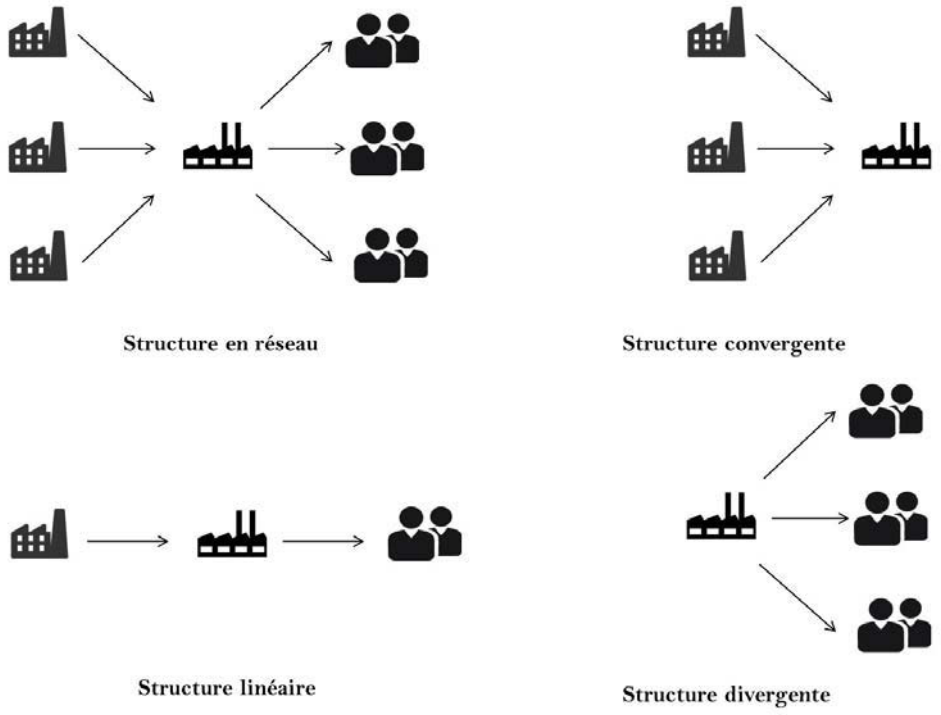

FIGURE 1.2 – Différentes structures au niveau des chaînes logistiques

Une *structure convergente* présente une chaîne où un client est alimenté par plusieurs fournisseurs. Le cas contraire, une *structure divergente* est une chaîne caractérisée par l'approvisionnement de plusieurs clients via un seul fournisseur. La combinaison entre ces deux structures constitue une *structure en réseau*. Bien que l'utilisation de la structure

linéaire reste limitée et concerne que des champs d'application précis, il est possible qu'une chaîne d'approvisionnement soit composée d'un fournisseur, d'une usine et d'un client.

1.2.5 Les principales activités et problématiques au niveau des chaînes logistiques

Plusieurs chercheurs se sont intéressés à la classification des différentes activités ou fonctions que nous pouvons trouver au niveau de la chaîne logistique. Les fonctions menées au niveau de la chaîne logistique sont diverses. Une façon de les structurer serait de les classer selon les différents flux associés à une même chaîne logistique.

Les activités liées aux flux d'information concernent toute information allant de l'aval vers l'amont de la chaîne logistique dans le but de faire remonter les exigences du client sous forme de commandes ou d'instructions informatisées mettant en relief la coordination entre les différentes entités de la chaîne.

Le flux financier englobe, les activités liées aux échanges monétaires entre ces mêmes entités dans un cadre de commercialisation au sein d'une ou de plusieurs entités.

Les activités liées au flux physique se focalisent sur un processus qui commence par l'achat des matières premières jusqu'à la vente du produit fini. Selon [Mouloua 2007], ce processus est composé de cinq fonctions principales :

- L'approvisionnement
- La production
- Le stockage
- La distribution et le transport
- La vente

1.2.5.1 L'approvisionnement

L'approvisionnement a pour objectif de satisfaire les besoins d'une entité en matière de produits et/ou services. Le but est de pouvoir alimenter une ressource (entrepôt, entité de fabrication, client) au bon moment et avec le meilleur prix tout en s'assurant de la qualité afin de réduire les déchets. La problématique de sélection de fournisseur est le problème le plus répandu lié à cette activité [Ding *et al.* 2005] [Ghadimi *et al.* 2015].

1.2.5.2 La production

La production est l'activité qui représente le savoir-faire d'une entreprise afin de développer ou transformer des matières en produits ou services. Pour cela, l'entreprise combine différents facteurs afin de créer de la valeur. Un processus de production passe généralement par un ensemble de tâches ordonnées tout en étant réactif aux demandes fluctuantes du client.

1.2.5.3 Le stockage

Un stock est généralement constitué de l'ensemble des biens susceptibles d'être utilisés dans l'activité de production. Il est partagé entre les différents maillons qui constituent la chaîne d'approvisionnement. L'objectif est d'assurer une réactivité face aux fluctuations des demandes des clients sur le marché en essayant d'ajuster les flux de livraison et de consommation pour minimiser les coûts qui leurs sont rattachés. La problématique de gestion est extrêmement importante pour les entreprises.

1.2.5.4 La distribution et le transport

La distribution intervient à tous les niveaux de la chaîne logistique englobant les entrepôts, les centres de distribution, les magasins, etc. Cette activité se fait au moyen de ressources ou moyens de transport qui transportent les commandes d'un fournisseur à un client. Le problème de transport est de trouver, par exemple, le meilleur chemin possible pour assurer la livraison entre plusieurs points de collecte et aussi de sélectionner les meilleurs modes de transport ainsi que de déterminer les quantités optimales des produits en minimisant le coût de transport. Le Vehicule Rooting Problem (VRP) est parmi les problèmes les plus connus dans la littérature dans ce contexte.

1.2.5.5 La vente

L'opération de vente est souvent attachée aux autres fonctions de la chaîne logistique. En étant l'activité ultime de ce processus, une bonne optimisation de tout l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement se répercutera sur le bon déroulement des ventes en raison de la qualité du produit ou du service qui est mis en disposition des commerciaux qui vont se trouver dans une situation confortable vis à vis de la clientèle en proposant des prix attractifs et un service personnalisé.

1.2.6 Définition d'une chaîne logistique

Plusieurs définitions ont été proposées dans la littérature pour la chaîne logistique. Dans ce qui suit, quelques définitions sont mises en relief afin de dégager les éléments clés relatifs à chacune d'entre elles. Depuis des décennies, les chercheurs essayent en permanence, de s'adapter à l'évolution du contexte économique du marché en proposant un panorama de définitions en adéquation avec l'environnement industriel de chaque époque. Ces définitions suivent les orientations de l'économie mondiale et sont liées directement à l'évolution du marché.

En recherchant les définitions relatives aux chaînes logistiques, nous nous sommes basés sur les travaux importants de [Mentzer *et al.* 2001] qui ont été enrichis avec les travaux de

[Mahmoudi 2006]. Les auteurs présentent un ensemble de définitions significatives dans la littérature. Nous avons choisi six définitions qui correspondent aux différents contextes liés aux évolutions du marché mondial. Le tableau 1.2 présente ces définitions selon un ordre chronologique croissant.

En partant des premières définitions de la chaîne logistique, l'aspect purement physique lié à la fabrication et le transport des produits était le point de comparaison entre les différentes entreprises qui essayaient par tous les moyens de satisfaire le besoin des clients en dépit d'autres aspects.

Les avancées technologiques ainsi que le changement au niveau des besoins du consommateur ont poussé les entreprises à adopter la notion d'organisation en considérant la chaîne logistique comme un réseau d'entités liées opérant dans un même contexte pour atteindre un même objectif. Néanmoins, cette vision fait apparaître des contraintes en relation avec le mode de gestion des chaînes d'approvisionnement.

Pour cette raison, et afin d'éviter les phénomènes d'amplification liés aux différentes variations que peuvent subir les acteurs de la chaîne logistique, une attention particulière à été accordée à la mise en place de moyens et outils nécessaires à une bonne gestion de la chaîne logistique.

Dans ce qui va suivre, nous nous intéresserons à la notion de la gestion de la chaîne logistique pour arriver aux nouvelles tendances liées à ce concept.

1.3 La gestion des chaînes logistiques

1.3.1 L'approche Supply Chain Management (SCM)

Le terme « Gestion de la chaîne logistique », (Supply Chain Management) fut introduit en 1982. En effet, depuis les année 90, l'engouement pour le concept de la gestion des chaînes logistiques résulte du fait de la mondialisation de l'activité d'approvisionnement, de l'importance de la concurrence ainsi que de la croissance de l'incertitude liée aux changements fréquents des consommateurs [Mahmoudi 2006].

Plusieurs définition ont été proposées dans la littérature pour la gestion des chaînes logistiques. Nous en citerons quatre qui sont résumés dans le tableau 1.3.

Deux constats majeurs peuvent se dégager en parcourant ces différentes définitions de la gestion des chaînes logistiques. Le premier constant est lié à la notion d'intégration de

la chaîne logistique. En effet, il est nécessaire de lier les différents acteurs qui constituent une chaîne logistique pour réaliser un même objectif en mettant en place les moyens et les ressources nécessaires pour remédier aux variations des marchés. Le deuxième constat bien qu'il découle du premier, nous oriente vers l'importance du choix des modes de collaboration pour atteindre l'intégration des chaînes logistiques. Dans ce contexte, [Stadtler 2005] identifie trois composantes au sein de la mission d'intégration :

- Le choix des partenaires et la définition de la structure géographique du réseau logistique ;
- Les modes de collaboration et la définition des types d'échanges dans le réseau ;
- Les relations de pouvoir au sein de la chaîne logistique.

1.3.2 Structuration des niveaux de décision des chaînes logistiques

Trois niveaux sont relatifs à la prise de décision pour les différentes activités dans une chaîne logistique.

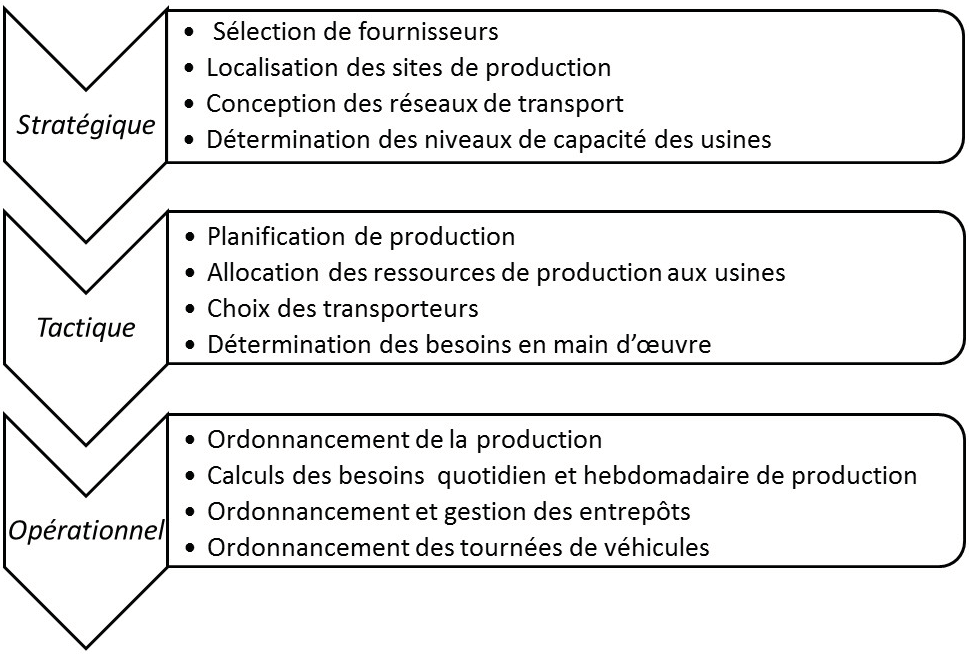

FIGURE 1.3 – Les différents niveaux de décision

Le niveau stratégique englobe des décisions prises pour le long terme, généralement entre 4 et 5 années. À un niveau plus bas, ***les décisions tactiques*** sont prises à moyen terme à un intervalle de temps qui peut aller de 6 mois à 2 ans. Enfin, ***le niveau opérationnel*** concerne les décisions les plus urgentes à traiter en termes de temps et sont le plus souvent exécutées dans la semaine voire la journée. La figure 1.3 met en évidence ces trois

phases en évoquant à chaque fois quelques problématiques de chaînes logistiques auxquels les décideurs sont confrontés.

1.3.3 Gestion des chaînes logistiques sous incertitudes

Pour faire face à cette incertitude, l'intégration et la collaboration entre les différents acteurs de la chaîne d'approvisionnement est une priorité afin de minimiser les coûts au sein d'une même chaîne.

Plusieurs perturbations sont en relation directe et/ou indirecte avec le caractère incertain de l'environnement des chaînes d'approvisionnement. Selon (Norman 2004), ces perturbations peuvent être classées en quatre groupes :

- Les catastrophes naturelles
- Les incidents majeurs
- La demande du client
- La planification de la production

Une définition de l'incertitude

Selon [Mcmanus & Hastings 2004], « les incertitudes sont des phénomènes connus ou partiellement connus. Elles peuvent être caractérisées par des processus statistiques ou des informations pas encore collectées ».

Incertitudes et données

Dans un contexte incertain, la quantité d'information disponible varie selon le problème abordé. Selon [Guillaume 2011], trois types de données peuvent être distinguées :

- Une information identifiée qui peut être caractérisée par un processus aléatoire : l'approche d'optimisation utilisée dans ce cas est l'optimisation des systèmes stochastiques.
- Une information identifiée qui ne peut pas être caractérisée par un processus aléatoire : l'approche d'optimisation utilisée dans ce cas est l'optimisation robuste.
- Pas d'information : Dans ce cas quelques approches sont traitées dans la littérature. L'information est ici totalement inconnue, mais elle pourra être connue à un instant t précis : nous détaillerons quelques approches dans les chapitres suivants.

Au niveau des chaînes logistiques, la disponibilité de l'information est un enjeu majeur. En effet, l'incertitude liée aux données représente un problème pour les décideurs de la chaîne. La disponibilité et le partage de l'information constitue donc une étape incontournable dans un processus d'optimisation qui vise à trouver les bonnes solutions au

bon moment. À partir de ce constat, la notion de collaboration au niveau des chaînes d'approvisionnement a commencé à se développer.

1.3.4 La collaboration au niveau des chaînes logistiques

1.3.4.1 Les processus de la collaboration

Pour remédier à l'un des principaux problèmes des chaînes d'approvisionnement à savoir les phénomènes d'amplification de la demande, des outils ont été développés afin de faire face à l'incertitude des données. L'effet « coup de fouet », connu aussi sous le nom de l'effet boule de neige, témoigne de l'importance que les logisticiens doivent accorder pour favoriser le partage de l'information. Pour cela, plusieurs techniques ont été proposées.

- **ECR** : La Réponse Efficace au Consommateur est une stratégie de partenariat entre fournisseurs et distributeurs qui mettent en commun leurs efforts pour apporter une meilleure satisfaction au consommateur final au moindre coût. L'objectif est de limiter les ruptures et partager les informations entre les acteurs d'une chaîne logistique grâce aux nouvelles technologies d'information et de communication.
- **VMI** : (Vendor Managed Inventory), est une approche standardisée de la gestion de stocks et de la réalisation de commandes. Elle implique une collaboration entre les fournisseurs et leurs clients. L'objectif est de remplacer les bons de commandes par des échanges électroniques quotidiens des demandes des clients aux fournisseurs, ce qui permet d'augmenter les ventes ainsi que le taux de service.
- **CPFR** : (Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment), « processus collaboratif par lequel les partenaires commerciaux de la chaîne logistique planifient ensemble les éléments clés de la chaîne de la production et la livraison des matières premières à la production et la livraison des produits finis aux clients finaux. La collaboration englobe la planification commerciale, les projections de vente et toutes les opérations requises pour réapprovisionner les matières premières et les produits finis ». [1]

1.3.4.2 Les technologies d'information au service des chaînes logistiques

De nombreux outils de planification et d'optimisation des flux logistiques sont mis à disposition des entreprises pour gérer au mieux leurs différents flux. Dans ses travaux, [Zouggar 2009] liste différentes technologies d'information qui aident à la gestion des chaînes logistiques.

1. Glossaire du Conseil des professionnels de la gestion de la chaîne logistique (CSCMP)

- **APS** : (Advanced Planning Systems), ce sont des outils décisionnels. Ils permettent l'optimisation du flux matière pour des sites de productions distants [Stadtler 2005]. Les fonctionnalités principales sont la planification des approvisionnements, la planification et l'ordonnancement de la production, le planning de la distribution, ainsi que la prévision des ventes.
- **ERP** : (Enterprise Ressource Planning), ce sont des logiciels de gestion paramétrables qui intègrent les données relatives à l'ensemble des fonctions d'une entreprise. Ils sont adaptés pour la gestion opérationnelle quotidienne de l'activité logistique.
- **SCE** : (Supply Chain Execution), ces outils sont spécialement conçus pour la gestion des entrepôts. Ils permettent un suivi de l'état d'avancement des commandes, une optimisation de l'ordonnancement des transports et une amélioration des préparations des commandes (pilotage d'exécution). Ces logiciels sont orientés vers l'optimisation de l'activité logistique en temps réel.

1.3.5 Le commerce collaboratif : les nouvelles tendances

Avec l'apparition des nouvelles tendances au niveau des technologies d'information notamment avec l'utilisation d'Internet, une grande partie des transactions sont établies en partant de plateformes inter-connectées. « Les applications qui se font via Internet ont eu un rôle important dans la diffusion des systèmes capables d'être des canaux d'information en ayant un déploiement à moindre coût » [Galasso 2007]. Souvent assimilés au terme e-business, les pratiques entre les différentes entreprises et les clients ont connu des nouveaux supports pour la gestion intégrée des chaînes d'approvisionnement à savoir ; les outils de Business to Business (BtoB) ou encore le Business to Consumer (BtoC).

En étant dictés par les lois instables de l'offre et de la demande, les marchés traditionnels commencent à migrer d'une façon globale vers ce qu'on appelle les marchés électroniques «e-market», [Zhao *et al.* 2015].

1.3.5.1 Le «e-Market»

Le « e-Market » est généralement défini comme un système d'information inter-organisationnel qui permet aux acheteurs et aux fournisseurs d'échanger des informations sur les prix et les produits proposés [Bakos 1997]. Cette nouvelle tendance permet plus de flexibilité en réponse aux fluctuations de la demande et fournit une réponse en temps réel aux conditions du marché en fonction de la disponibilité des données relatives aux prix, la demande des clients et les capacités des fournisseurs afin de réduire le temps de livraison ainsi que le coût d'approvisionnement [Pant *et al.* 2003]. Le développement rapide du marché électronique a apporté une opportunité aux fournisseurs et aux acheteurs pour la vente et l'achat des produits en ligne. Cela s'inscrit parfaitement dans l'objectif de l'intégration

dans le cadre des activités « e-Market » et elle est généralement assimilé à ce qu'on appelle la gestion de la chaîne d'approvisionnement électronique (e-SCM).

1.3.5.2 Le «e-Procurement»

Avec l'apparition du concept informatisé des chaînes logistiques, l'activité d'approvisionnement a été le centre d'intérêt de ces nouvelles technologies afin de fluidifier l'aspect assez lent et rigide des flux de matières pour faciliter par la suite la prise des décisions. Pour cela, l'attention a été accordée aux modes d'approvisionnement en utilisant Internet. Le « e-Procurement », défini comme l'automatisation des processus d'approvisionnement de l'entreprise [Devaraj *et al.* 2012], a suscité l'intérêt de plusieurs firmes. Cette activité est reconnue pour améliorer la collaboration entre les entreprises et leurs fournisseurs donnant ainsi à l'acheteur la possibilité d'étudier la dynamique de la concurrence entre ses fournisseurs. De plus, vu que la plupart des produits peuvent être obtenus via le e-Market, l'application du « e-Procurement » est donc inévitable [Chen 2012]. En effet, les sociétés utilisent une variété de technologies de « e-Procurement » tels que les enchères électroniques, ainsi que les systèmes d'enchères en ligne inversées afin de collaborer avec leurs fournisseurs [Talluri *et al.* 2007].

Selon [Davila *et al.* 2003], la technologie « e-Procurement » est définie comme toute technologie conçue pour faciliter l'acquisition de biens via Internet. Les auteurs affirment que cette technologie est un processus qui englobe de nombreux avantages en termes de coûts administratifs, des niveaux de stocks ainsi que du prix payé pour les marchandises. Au-delà de tous ces avantages, l'un des principaux objectifs du « e-Procurement » est d'établir un prix compétitif tout en offrant une flexibilité au client dans la sélection des fournisseurs. [Schoenherr *et al.* 2012] ont mis en évidence plusieurs opportunités de recherche traitant de la question du « e-Procurement ». Parmi leurs conclusions, ils admettent que l'approvisionnement électronique dans la chaîne d'approvisionnement devient important surtout avec l'avènement de l'externalisation, ce qui augmente le niveau de satisfaction de client et rend les cycles de vie des produits plus courts.

Pour résumer, le « e-Procurement », considéré jusqu'à ces dernières années comme un nouveau mode d'approvisionnement, présente des spécificités qui diffèrent des pratiques d'approvisionnement connues et nécessite dans la majorité des cas des moyens importants pour pouvoir le déployer tout au long d'une chaîne d'approvisionnement. Au delà de ces aspects matériels, les avantages du « e-Procurement » peuvent se résumer dans les points suivants :

- la gestion des approvisionnements en ligne ;
- l'accès à plusieurs fournisseurs à un niveau mondial ;

- la gestion des appels d'offre pour les achats ;
- la rationalisation du processus d'achat ;
- la diminution des coûts d'achats.

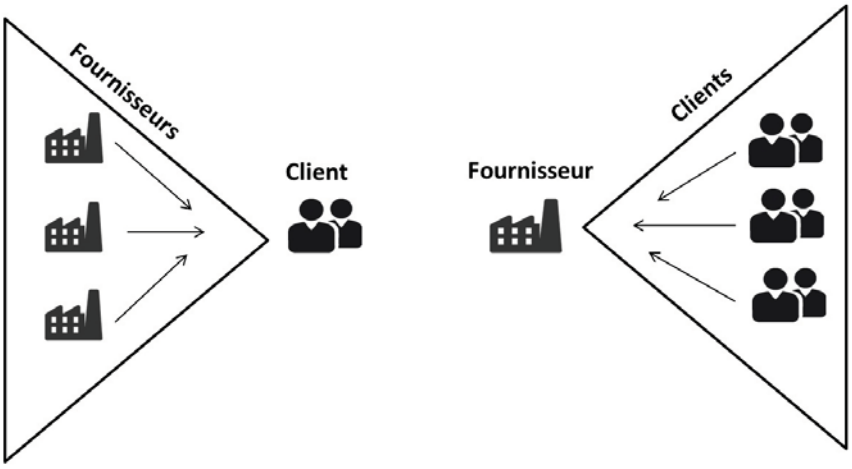

FIGURE 1.4 – Différents modes d'interaction entre clients et fournisseurs dans le e-procurement

Le tableau 1.4 résume les différentes interactions entre les acteurs de la chaîne d'approvisionnement en ligne en donnant à chaque fois le modèle le plus adéquat adopté pour chaque cas de figure. Trois modèles d'approvisionnement se dégagent des différentes lectures et travaux au niveau des pratiques BtoB. La figure 1.4 met en évidence deux d'entre elles.

Le modèle de vente est constitué d'un fournisseur et d'un ensemble de clients potentiels ayant comme but l'acquisition d'un bien. L'objectif ici est de baisser le coût de vente en automatisant la prise de commande et ensuite sa gestion lors du traitement. Pour cela, on s'oriente vers des sites de commerce électronique accessibles à n'importe quel moment et qui permettent de passer les commandes en ligne. [2]

Dans le même contexte, le modèle d'achat, mettant en relief plusieurs fournisseurs et un client, se focalise sur l'objectif de diminuer les coûts d'achat pour une entreprise donnée. Cela permet de fusionner, par exemple, plusieurs catalogues proposés au client. Bien que ce modèle nécessite la mise en place d'une architecture informatique complexe qui reste inaccessible pour des fournisseurs de « petite taille », l'échange instantané des données offre

2. Exposé de Philippe-Pierre Dornier, Professeur à L'École Supérieure des Sciences Économiques et Commerciales

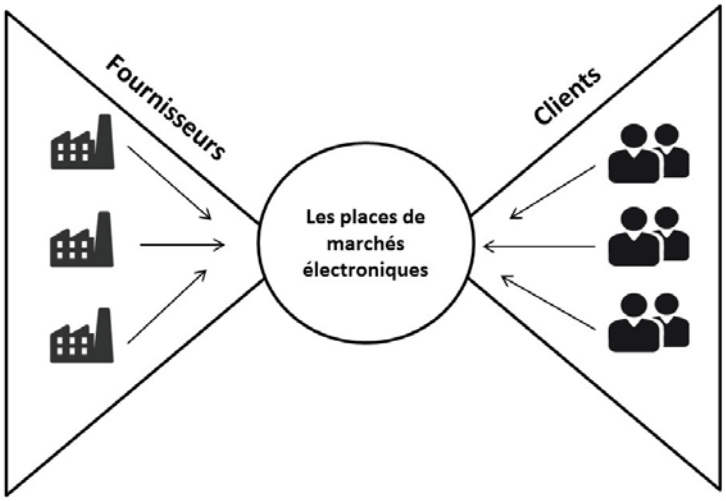

FIGURE 1.5 – Le concept des places de marchés électroniques entre clients et fournisseurs

au client une visibilité sur la valeur des propositions émis par les fournisseurs ainsi qu'un choix multiple afin de sélectionner les fournisseurs adéquats.

Actuellement, la tendance des grandes firmes s'oriente de plus en plus à la création de places de marchés électroniques qui auront le rôle de proposer aux deux acteurs d'une chaîne d'approvisionnement (fournisseurs-clients) la possibilité d'interagir au niveau d'un site concurrentiel en ligne (figure 1.5). Cette plateforme vient donc supporter des nouvelles méthodes d'échange dynamique que nous allons détailler dans la suite.

1.3.5.3 Les outils du «e-Procurement»

Plusieurs techniques sont détaillées au niveau de la littérature liées au concept d'approvisionnement en ligne. Cela dit, ces techniques sont souvent assimilées au concept de « e-Sourcing ». Bien que le « e-Procurement » intervient dans l'ensemble des opérations réalisées par le biais d'Internet tel que la validation des besoins et le suivi des livraisons, le « e-Sourcing » vise principalement à réduire le coût global des achats en automatisant les processus d'approvisionnement. Le « e-Sourcing » vient donc renforcer cette démarche en proposant des outils qui demandent peu d'investissements financiers. Il s'agit d'outils permettant de faciliter la recherche de produits et de fournisseurs. Les RFI (Request For Informations), les RFQ (Request For Quotation) et les Enchères inversées sont les principales fonctionnalités du e-Sourcing. [3]

3. http ://www.memoireonline.com/ mémoire sur la contribution à l'amélioration du niveau de satisfaction de la clientèle interne du service achats dans une entreprise de téléphonie mobile par Moriba Bamba

- **Les RFI (Request For Informations)** : La demande d'informations permet aux acheteurs d'effectuer avec précision la recherche et la sélection des fournisseurs à consulter. Le processus s'effectue via Internet entre acheteurs et fournisseurs.
- **Les RFQ (Request For Quotation)** : Les Demandes de prix suivent le schéma classique des appels d'offres ordinaires. Elles s'effectuent entre acheteurs et fournisseurs via Internet. Les fournisseurs répondent aux demandes de cotation lancées en ligne par l'acheteur qui comparent les offres selon des critères bien définis avant d'attribuer le marché à un ou plusieurs fournisseurs.
- **Les systèmes d'enchères électroniques inversées** : également appelés « e-reverse auction » (e-RA), entrent dans le cadre des centrales d'achats, ce sont des pratiques communes dans ce contexte d'approvisionnement dans un environnement très variant. Généralement ce processus est défini comme « un problème de « e-procurement » avec plusieurs fournisseurs en concurrence qui propose des offres concurrentielles sur Internet dans un événement d'appels d'offres limités dans le temps pour le compte d'une entreprise » [Talluri *et al.* 2007]. Cette technique permet à l'acheteur de rencontrer à une date et une heure établies et connues de tous, l'ensemble des fournisseurs invités sur la plateforme. Ces derniers « s'affrontent » en modifiant simultanément leurs offres à la baisse en vue de l'obtention du marché et ce, jusqu'à la fin des enchères.

1.4 Réponses face aux changements : concepts associés

La gestion de la chaîne logistique est l'un des concepts les plus étudiés dans l'entreprise contemporaine et de la gestion industrielle. Cette gestion comprend la conception, la modélisation, la mise en œuvre et le contrôle coordonné des réseaux et des ressources pour fournir des biens et des services aux consommateurs. Dans ce schéma, l'objectif principal serait de construire des chaînes logistiques réactives (en mesure de répondre rapidement à l'évolution des conditions de marché) et robustes (résistant contre les problèmes logistiques imprévus). L'amélioration et le développement de la gestion des chaînes logistiques peut donner un avantage concurrentiel important pour les producteurs, d'où l'intérêt considérable à chercher de nouvelles méthodes réactives qui correspondent à la situation actuelle des marchés. Pour toutes ces raisons nous mettrons l'accent, dans ce qui suit, sur les différents concepts liés à la gestion des changements au niveau des chaînes d'approvisionnement.

Afin de distinguer entre les problématiques de chaînes logistiques classiques et celles qui évoluent désormais dans des contextes volatiles, une attention a été accordée de la part de plusieurs auteurs pour qualifier ces nouvelles chaînes logistiques et ce à travers des concepts liés à la nature de la réponse face aux changements.

Au cours des dernières années, l'utilisation d'Internet a permis l'émergence de nouvelles pratiques de gestion de la chaîne logistique. Ces nouvelles pratiques tentent de s'en tenir à cette réalité afin de fournir à l'acheteur une réactivité et d'assurer ainsi le meilleur choix possible. Dans ce contexte, le succès des actuelles chaînes d'approvisionnement passe par la réponse rapide face aux changements en ayant un libre échange de l'information ainsi que des rôles clairs pour chaque acteur [Lee 2004]. Pour ces raisons, des efforts ont été placés afin de rendre la chaîne d'approvisionnement capable de réagir rapidement aux variations. Il s'agit alors des chaînes logistiques agiles. Selon [Lee 2004] la chaîne d'approvisionnement agile doit nécessairement promouvoir les différents flux entre fournisseurs et clients. Toutefois, dans un environnement volatile, le choix des fournisseurs au fil du temps devient difficile à réaliser dans un intervalle de temps relativement court. Ainsi, une attention particulière devrait être accordée aux stratégies d'approvisionnement.

Dans ce qui va suivre, l'accent sera mis sur les termes liés à la réaction face aux changements. Dans un premier temps, l'objectif est de parcourir la littérature en essayant de distinguer, selon les définitions proposées, les concepts associés à cette réaction pour arriver en un deuxième temps à définir un cadre clair de la notion de gestion réactive au niveau d'une chaîne logistique agile.

1.4.1 Gestion de la réactivité : agilité, adaptabilité et reconfigurabilité

Récemment, l'attention a été accordée à la conception des chaînes logistiques capables de réagir face à des imprévus. Toutefois, qu'il s'agisse d'un problème d'ordre stratégique, tactique ou opérationnel, quelques auteurs caractérisent la réaction aux changements au niveau de leurs travaux par un terme spécifique. Le classement des différents termes selon le « délai pour répondre » a fait l'objet des travaux de recherche de [McCullen *et al.* 2006]. La figure 1.6 illustre cette classification.

Le terme agilité est défini dans la littérature comme une réponse rapide face aux changements. Ce concept est souvent utilisé dans des problèmes d'ordre opérationnel. Néanmoins, vu la complexité des chaînes logistiques en raison de la multitude d'acteurs et la difficulté à gérer tout cet ensemble simultanément, l'objectif de réagir rapidement face aux imprévus semble difficile à mettre en œuvre. Les entreprises doivent donc se tourner vers les flux physiques (organisations, matières premières, installations, etc.) et informationnels (Systèmes d'information) afin de chercher à rendre les chaînes logistique plus maniables [Lin *et al.* 2006].

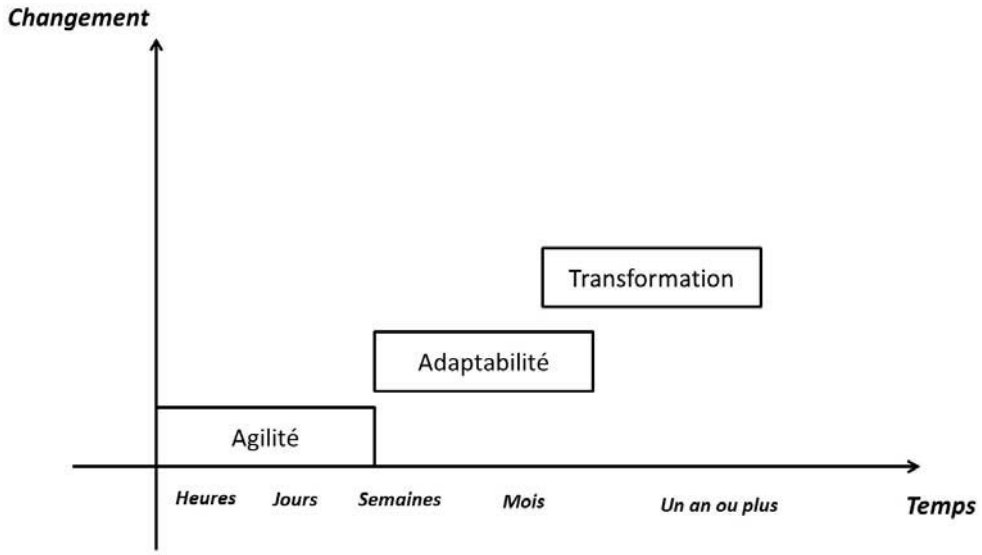

FIGURE 1.6 – Le délai de réponse selon [McCullen *et al.* 2006]

Selon [Charles 2010], l'agilité appliquée aux chaînes logistiques est « la capacité de répondre rapidement et de façon adéquate aux changements à court terme concernant les demandes, l'approvisionnement ou l'environnement. Elle résulte de la flexibilité, la capacité de réponse et l'efficacité des chaînes logistiques ». En se basant sur la littérature elle présente un concept de « Maison de l'agilité » qui a pour base la flexibilité et comme deux piliers l'efficacité et la capacité de réponse. Ceci a permis de dégager dans un premier temps un ensemble d'indicateurs qui ont permis par la suite d'évaluer et mesurer l'agilité de la chaîne logistique.

En cherchant les notions qui décrivent la capacité de réponse à des changements, nous distinguons les lectures les concepts d'adaptabilité et de résilience. Selon [Lee 2004], les chaînes logistiques adaptables « modifient leurs réseaux afin de suivre les fluctuations du marché et les adaptent en fonction des stratégies, des produits et des technologies ». Dans ce contexte, [Ivanov *et al.* 2010] ont mené des travaux concernant l'approche multi structurelle pour l'adaptabilité de la chaîne logistique. En effet, les auteurs proposent différentes structures de chaînes logistiques à savoir les structures fonctionnelles, organisationnelles, topologiques, financières, informationnelles ainsi que des structures liées à la conception du produit. Chacune de ces structures doit être optimisée afin d'atteindre une optimisation globale de toute la chaîne. Par conséquent, les auteurs définissent l'adaptabilité comme étant une organisation en réseau dans laquelle un certain nombre d'entreprises :

- « collaborent (coopérer et coordonner) le long de la chaîne de valeur et du cycle de vie des produits afin d'acquérir des matières premières, de convertir ces matières premières en produits finis spécifiés, livrer ces produits finaux aux détaillants, de concevoir de nouveaux produits, assurer les services après la production ;»
- « appliquent tous les concepts et les technologies modernes pour réaliser des chaînes d'approvisionnement réactives, flexibles, robustes, durables, économiques efficaces et concurrentiels afin d'accroître la satisfaction du client et diminuer les coûts, qui résultent de l'augmentation de la rentabilité de la chaîne logistique ».

La notion de résilience au niveau des chaînes logistiques est aussi mise en relief dans la littérature. Une des définitions que nous trouvons dans la littérature est celle de [Christopher *et al.* 2006]. Selon eux, la résilience est « La capacité d'un système à revenir à son état initial plus performant après avoir été perturbé ».

À travers ces définitions, le caractère de reconfigurabilité du réseau logistique est aussi évoqué dans la littérature pour désigner une réaction face aux imprévus. Dans ce contexte, nous ne trouvons pas une définition claire et précise de ce terme dans le domaine de la chaîne logistique. Afin de remédier à ce manque, nos lectures se sont orientées vers la notion de reconfigurabilité au niveau des systèmes de production [Delorme *et al.* 2009]. De plus, plusieurs propriétés en relation avec ce terme peuvent être mis en évidence. En effet, [Koren *et al.* 2003] définissent la modularité, la personnalisation et la convertibilité comme clés de la reconfigurabilité. La conception des systèmes et leur capacité à être flexible pour réagir face aux changements sont mises en relief pour définir ces éléments clés. Selon les auteurs, un système reconfigurable est un système conçu pour un ajustement rapide des capacités de production et des fonctionnalités, en réponse à de nouvelles circonstances, par réarrangement ou par le changement des composants. Sur la base de cette définition et dans le but de se référer au contexte de la chaîne d'approvisionnement, ***les composants, à ce niveau, peuvent être assimilés aux entités qui forment le réseau logistique par exemple fournisseurs, fabricants, distributeurs et clients. Les circonstances peuvent être les changements dans les préférences du client par rapport à la demande ou encore la collaboration avec de nouveaux fournisseurs ainsi que la localisation de nouveaux sites***.

Bien que toutes ces définitions semblent être proches, nous constatons que chaque terme défini est associé à un concept particulier. Généralement ces termes sont liés aux niveaux de décision de la chaîne d'approvisionnement.

À cet égard, pour la suite de cette thèse nous adopterons le concept d'agilité afin de caractériser l'environnement variant des chaînes logistiques contemporaines. En raison de la ressemblance dans les définitions d'adaptabilité et de reconfigurabilité, qui s'articulent sur

le caractère de transformation, nous allons adopter le terme de re-configuration pour définir un changement au niveau de la structure de la chaîne d'approvisionnement (changement de fournisseur, changement de client).

Toutefois, la chaîne d'approvisionnement doit se doter de clés qui vont lui permettre de s'adapter ou de se reconfigurer rapidement. La flexibilité figure parmi les facteurs les plus importants dans ce processus et souvent évoquée dans les travaux liés à l'optimisation des chaînes d'approvisionnement. Elle peut donc être considérée comme une propriété qui aide les processus déjà existant à accélérer la réponse face à l'instabilité de l'environnement.

1.4.2 La flexibilité au niveau des chaînes logistiques

Certes, la flexibilité a fait l'objet de plusieurs recherches dans les systèmes manufacturiers [Koste & Malhotra 1999] mais lors des dernières années, les chercheurs se sont intéressés de plus en plus à ce concept au niveau de la chaîne logistique. De ce fait, plusieurs définitions ont été proposées dans la littérature. [Ivanov *et al.* 2010] définissent la flexibilité de la chaîne logistique comme étant une propriété qui concerne la capacité de changer rapidement, structurellement et d'une façon fonctionnelle en réponse à un changement au niveau du comportement et de la structure du réseau logistique.

[Simchi-Levi 2004] assimile la définition de la flexibilité à l'objectif de réduction des coûts et des délais. En se basant sur ces deux définitions, les termes utilisés s'inscrivent dans une démarche qui cherche à acheminer le produit avec le moindre coût et les meilleurs délais en structurant le réseau logistique en réponse à des changements. Par conséquent, instaurer des stratégies flexibles lors de la conception des réseaux logistiques semble une priorité.

[Christopher *et al.* 2006] distinguent des clés pour assurer l'agilité des chaînes logistiques. Ils distinguent la réactivité, la compétence, ainsi que la rapidité comme des leviers pour l'ensemble de l'infrastructure logistique afin de déterminer le niveau d'agilité. Ils considèrent que la flexibilité est la caractéristique principale d'une entreprise agile.

Dans [Gosling *et al.* 2010] afin de garantir la flexibilité de la chaîne logistique, deux stratégies ont été distinguées dans cet article :

- La flexibilité du vendeur (fournisseur)
- La flexibilité d'approvisionnement

Ces deux derniers éléments forment ensemble les éléments de la flexibilité interne qui vont déterminer par la suite la flexibilité externe. En d'autres termes, les spécificités qu'on trouve chez chaque vendeur au niveau de la production, du stockage et du transport, par

exemple, vont assurer une flexibilité au niveau des produits (au cours et à la fin de la production), des dates de livraison et de couverture géographique pour différents clients.

1.4.3 Gestion d'une chaîne d'approvisionnement flexible et agile

Le dynamisme de la chaîne d'approvisionnement est présenté par [Ivanov & Sokolov 2010] en tant que des entités directement liés. Selon eux, la synergie entre les différents acteurs et ressources d'une chaîne logistique permet une exécution dynamique et ce en suivant des horizons temporels différents. Une extension de ces travaux est mis en évidence dans [Ivanov *et al.* 2015]. Plusieurs caractéristiques ont été mises en évidence pour décrire une chaîne d'approvisionnement dynamique. Parmi elle nous citons :

- Le processus d'exécution de la chaîne d'approvisionnement n'est ni stationnaire ni linéaire,
- On ne dispose d'aucune information « a priori » sur de nombreux paramètres de la chaîne d'approvisionnement.

Selon [Harrington *et al.* 2011], les anciennes pratiques qui concernent la réévaluation de la structure des chaînes logistiques régulièrement chaque 5 à 10 ans n'est plus d'actualité. En effet, les nouvelles tendances font en sorte que cette prise de décision stratégique dans certains contextes devient quasiment opérationnelle dans les nouvelles pratiques. Pour ces raisons la recherche de solutions rapides touchant même à la structure de la chaîne logistique s'inscrit parfaitement dans l'environnement que nous avons pris le soin de décrire précédemment.

Dans le même contexte, [Melnyk *et al.* 2014] affirment l'importance de rendre les chaînes d'approvisionnement recnofigurables dynamiquement car elles ne sont plus statiques.

Les entreprises se trouvent donc incitées à développer de nouvelles solutions liées à leurs activités de fabrication, d'approvisionnement ou de distribution. Cette recherche combinée a fait l'objet de plusieurs travaux afin de concevoir des chaînes logistiques capables de répondre aux changements en termes d'efficience et d'efficacité. Il devient donc impératif de se doter d'outils permettant de remédier à des problématiques qui varient constamment dans le temps. Les publications récentes ainsi que les problématiques traitées avaient, pour la plupart, comme objectif de rendre possible une reconfiguration dynamique en se reposant sur la flexibilité des processus qui composent les différents maillons de la chaîne logistique dans un milieu que nous qualifierons pour la suite de cette thèse d' « agile ».

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pu définir un premier cadre pour cette thèse en mettant en relief des concepts généraux liés à la gestion de la chaîne logistique et son contexte actuel. Cela nous a permis de distinguer les nouvelles tendances en relation avec la notion d'intégration des chaînes d'approvisionnement en se focalisant sur les modes d'approvisionnement via Internet.

Nous avons, par la suite, constaté qu'une problématique d'approvisionnement dans le sens large fait apparaître deux problématiques différentes au niveau de la littérature. En effet, les problèmes d'approvisionnement classiques et les nouvelles pratiques d'achats en ligne « e-Procurement » ne s'inscrivent pas dans le même contexte. L'absence de données, par exemple, présente un casse tête pour les décideurs dans ce domaine de l'approvisionnement en ligne.

Dans un objectif de cohérence et afin de souligner la différence entre les nouveaux modes d'approvisionnement et les anciennes pratiques, une analyse de la littérature pour les problèmes d'approvisionnement périodiques en intégrant le problème de sélection de fournisseur et les approches de planification constituera la première partie du chapitre suivant. La deuxième partie, qui sera le noyau de notre recherche, s'intéressera à l'approvisionnement au niveau des chaînes logistiques agiles dans le but d'atteindre une « reconfiguration dynamique » de la structure.

À partir de ce constat, plusieurs questions peuvent apparaître :

- Quels sont les types de chaînes logistiques qui peuvent facilement s'adapter et changer ?
- Quels sont les types de caractéristiques qui empêchent les changements rapides au niveau de la chaîne logistique ?
- Quels sont les facteurs déclencheurs pour la reconfiguration dynamique des chaînes logistiques ?
- Quels sont les types de techniques, de procédures ou d'analyses qui peuvent être utilisés pour améliorer la reconfiguration de la chaîne logistique ?

Le but de cette étude sera de répondre et de justifier des questions émergentes dans les pratiques d'achats ainsi que leurs modes de gestion. Cela va nous permettre de présenter enfin un cadre bien précis du problème que nous souhaitons aborder.

Table 1.2 – Exemples de définitions pour la chaîne logistique

Auteur(s)	Définition proposée
[Amerian Marketing Association. 1948]	"La logistique concerne le mouvement et la manutention de marchandises du point de production jusqu'au point de consommation ou utilisation"
[Jones & Riley 1985]	"La chaîne logistique regroupe la planification et le pilotage de l'ensemble du flux matière depuis le fournisseur jusqu'au client final en passant par le producteur et le distributeur"
[Ganeshan *et al.* 1999]	"Une chaîne logistique est un réseau d'entités de production et de sites de distribution qui réalise les fonctions d'approvisionnement de matières, de transformation de ces matières en produits intermédiaires et finis, et de distribution de ces produits finis jusqu'aux clients. Les chaînes logistiques existent aussi bien dans les organisations de service que de production, bien que la complexité de la chaîne varie d'une industrie à l'autre et d'une entreprise à l'autre"
[Mentzer *et al.* 2001]	"La chaîne logistique est un groupe d'au moins trois entités directement impliquées dans les flux amonts et avals de produits, de services, de finances et/ou d'informations, qui vont d'une source jusqu'au client"
[Genin 2003]	"Un réseau d'organisations ou de fonctions géographiquement dispersées sur plusieurs sites qui coopèrent, pour réduire les coûts et augmenter la rapidité des processus et activités entre les fournisseurs et les clients"
[Ivanov *et al.* 2010]	"Un réseau d'organisations, de flux et de processus entre plusieurs entreprises qui collaborent au niveau d'une chaîne globale dans le but d'acquérir de la matière première pour la transformer en produit final et l'acheminer vers les clients"
[Dolgui & Proth 2010]	Une chaîne d'approvisionnement est un réseau d'organisations qui coopèrent pour optimiser le flux de matériel entre le fournisseur et le client, l'optimum étant un flux aussi rapide que possible et un coût de production minimal. L'objectif d'une chaîne d'approvisionnement est la satisfaction du client.

Table 1.3 – Exemples de définitions pour le concept de gestion de la chaîne logistique

Auteur(s)	Définition proposée
[Colin & Paché 1988]	"La maîtrise des flux physiques et des flux d'information associés, dans les meilleures conditions de coûts, de qualité, de délai et de service"
[Genin 2003]	"La gestion de la chaîne logistique est une approche intégrée de gestion qui consiste à piloter dans leur ensemble les flux des matières et d'informations depuis les fournisseurs jusqu'aux utilisateurs finaux, ainsi que les flux retours au moyen d'outils de planification et d'aide à la décision. Elle a pour but de diminuer les besoins en fonds de roulement de l'entreprise ainsi que de satisfaire les clients par la mise à disposition, au meilleur coût, d'une quantité de produits, à l'endroit et au moment où la demande existe"
[Stadtler 2005]	"La gestion de la chaîne logistique est la tâche d'intégration des unités organisationnelles au long d'une chaîne logistique et de coordination des flux physiques, d'information et financiers pour satisfaire des demandes clients dans le but d'avoir une compétitivité améliorée dans l'ensemble d'une chaîne logistique"
[Paché & Spalanzani 2007]	"La gestion de la chaîne logistique démontre la nécessité d'intégrer l'ensemble des opérations transverses aux flux physiques et d'information associées, en repérant quels sont les principaux acteurs, entre qui il est capital d'établir des liens durables et quels processus permettent d'y parvenir"

Table 1.4 – Les différents modes d'approvisionnement dans le e-procurement

	Un client	Plusieurs clients
Un fournisseur	EDI, Extranet	Site de commerce électronique
Plusieurs fournisseurs	Centrales d'achats	Place de marchés

Chapitre 2

Approvisionnement dans les chaînes logistiques : analyse de la littérature

Sommaire

2.1 Introduction **35**

2.2 Approvisionnement périodique dans les chaînes logistiques . . . **36**

2.2.1 Configuration du réseau logistique pour l'approvisionnement 36

2.2.2 Problème de sélection de fournisseurs 37

2.2.2.1 Les critères pour la sélection de fournisseurs 39

2.2.2.2 Les méthodes pour la sélection de fournisseurs 41

2.3 Approvisionnement agile au niveau des chaînes logistiques **45**

2.3.1 Les systèmes d'enchères 45

2.3.2 Les systèmes d'enchères et d'enchères inversés en ligne 47

2.4 Conclusion **53**

« Se moquer de la philosophie, c'est vraiment philosopher. »

Blaise Pascal, Mélanges, fragment 467

Résumé :

Ce chapitre présente une revue de littérature pour le problème d'approvisionnement au niveau des chaînes logistiques dans le but de souligner l'évolution des problématiques pour cette activité.

L'objectif est double. En effet, nous allons chercher d'abord à mettre en évidence le dynamisme que subissent les marchés industriels et qui se répercute sur les méthodes mises en place pour s'approvisionner. Dans le contexte actuel, l'opération d'approvisionnement en général et de sélection de fournisseurs en particulier n'est plus assujettie à une évaluation périodique mais s'inscrit plutôt dans un processus dynamique dicté par des milieux de plus en plus agiles.

Bien que les méthodes soient variées pour les deux types d'approvisionnement, nous justifierons, ensuite, un besoin de méthodes réactives pour l'achat dynamique.

2.1 Introduction

Les problèmes d'approvisionnement ont été largement étudiés dans la littérature. L'objectif est de déterminer le nombre approprié de fournisseurs ainsi que la quantité optimale à commander et les dates de ces commandes. Généralement, ces décisions sont réévaluées régulièrement lorsque des changements importants se produisent simultanément touchant les paramètres liés aux clients et aux fournisseurs. Les méthodes d'approvisionnement utilisées pour ce contexte procèdent toujours par un traitement par lots périodique pour établir des stratégies à moyen ou long terme.

Dans d'autres contextes, des changements peuvent se produire avec des variations très fréquentes et asynchrones des divers paramètres logistiques au fil du temps. En effet, avec l'apparition des nouveaux systèmes de l'information et le développement inévitable d'Internet à travers le monde, les acteurs qui représentent les différents maillons des chaînes d'approvisionnement se trouvent dans la nécessité de répondre plus rapidement à des changements de plus en plus fréquents et variables au cours du temps. Toutefois, ces nouvelles technologies permettent de disposer de l'information en temps voulu. L'évolution des stocks chez les fournisseurs, par exemple, peut être fournie instantanément, d'où un changement au niveau des problématiques traitées ainsi que les techniques employées pour la résolution.

L'approvisionnement via Internet s'inscrit parfaitement dans une quête continue des entreprises à réduire les coûts en ayant un choix multiple ainsi qu'une bonne visibilité sur la situation des marchés. Le « e-Procurement » en général et les systèmes d'enchères inversées en ligne en particulier présentent les exemples de modes d'approvisionnement en temps limité qui nécessitent des méthodes réactives pour pouvoir faire face à la volatilité du marché.

Pour la suite de ce chapitre, nous allons essayer de parcourir les différents modes d'approvisionnement que nous pouvons trouver dans la littérature. Nous allons donc commencer par étudier les travaux touchant à la structure de la chaîne logistique qui se basent essentiellement sur des stratégies d'approvisionnement. Ensuite nous allons mettre l'accent sur l'une des problématiques majeures touchant le problème d'approvisionnement à savoir le problème de sélection de fournisseur en général. Nous terminerons avec un état de l'art touchant les nouveaux modes d'approvisionnement où la prise de décision doit être prise en un temps limité en se focalisant sur les pratiques d'enchères ainsi que les modes d'approvisionnement en ligne.

2.2 Approvisionnement périodique dans les chaînes logistiques

2.2.1 Configuration du réseau logistique pour l'approvisionnement

La recherche de la meilleure structure logistique possible, afin de s'adapter à un environnement où les marchés sont de plus en plus instables, présente un problème majeur pour les décideurs au niveau des chaînes d'approvisionnement. En partant d'une demande de la clientèle variable pour arriver à des coûts et des temps de livraison très instables chez les fournisseurs, la prise de décision dans ce cas devient très compliquée. L'approvisionnement, la production, la distribution et la vente sont au cœur de ce processus couteux et qui nécessite des méthodes pertinentes pour instaurer la structure adéquate. Néanmoins, il s'agira non seulement d'avoir la bonne structure lors de la conception mais aussi d'avoir la capacité de l'adapter suite aux changements et aux perturbations.

Pour l'activité d'approvisionnement, le décideur a besoin d'identifier les fournisseurs potentiels pour alimenter les différentes usines en matières premières, en composants et en produits semi-finis. Dans un contexte de recherche de la meilleure structure possible suite à une opération d'approvisionnement, certains chercheurs ont adopté une technologie multi-agents pour faciliter la flexibilité pour gérer ainsi les problèmes de configuration des chaînes logistiques [Ryu & Jung 2003].

Dans le même contexte, [Chan & Chan 2010] ont proposé une étude qui montre le rôle que joue la flexibilité pour améliorer les performances de la chaîne logistique au niveau de l'approvisionnement et la livraison des produits afin de s'adapter rapidement aux changements. La chaîne logistique à deux maillons est étudiée, elle est composée d'un ensemble de fournisseurs et de clients pour le cas de plusieurs produits. Un système multi-agents est utilisé dans cette étude pour modéliser les opérations de la chaîne d'approvisionnement périodique. Les variations étudiées sont relatives aux capacités des fournisseurs.

[Huang *et al.* 2005] ont proposé une approche qui concerne la configuration d'un réseau logistique. En effet ils ont essayé de configurer la chaîne logistique selon les niveaux et les étages liés à la nature de l'activité ou encore à la gamme de produit fabriquée. L'une des activités mises en relief est l'activité d'approvisionnement. Les auteurs ont montré qu'au niveau d'une même chaîne logistique, on pourra distinguer des blocs ou encore des circuits différents. Cette différence est la conséquence d'un principe de choix entre plusieurs opportunités d'où un coût qui varie d'un réseau à un autre.

Dans [Oh *et al.* 2013], les auteurs ont présenté deux stratégies flexibles, à savoir : la flexibilité d'approvisionnement et la flexibilité de production. Ces stratégies sont mises en place dans l'objectif de reconfigurer la chaîne d'approvisionnement suite à des situations de changement. Un indicateur appelé « Suitability of configuration » est utilisé pour exprimer le besoin de la chaîne logistique pour adapter sa structure. Cet indicateur est calculé en utilisant la logique floue qui a pour paramètres d'entrée : le nombre de fournisseurs qui livrent un produit et la quantité de marchandise disponible chez chacun d'eux.

Avec la mondialisation et le développement d'organisations interdépendantes composées d'entreprises diversifiées, la concurrence ne se fait plus entre les entreprises mais se fait plutôt entre ces organisations qui forment des chaînes logistiques étendues. Suite à ce changement, l'utilisation de la sous-traitance des pièces et des services devient plus fréquente. Cela a conduit les entreprises à donner plus d'importance à la fonction d'achat et ses décisions connexes. Une des décisions qui a des répercussions majeures sur la stratégie des firmes est la sélection des fournisseurs. Dans ce contexte, plusieurs études ont abordé cette décision en traitant les différents aspects et modèles auxquels un décideur pourrait être confronté.

Dans la partie suivante, nous étendrons les approches de planification liés à l'approvisionnement en présentant une revue de la littérature qui couvre le processus d'achat. Dans un premier temps, nous mettrons en relief le problème de sélection de fournisseurs. Puis dans un deuxième temps, nous allons nous intéresser aux nouvelles pratiques d'achat sur Internet en prenant pour cible les marchés électroniques et les ventes aux enchères.

2.2.2 Problème de sélection de fournisseurs

Parmi les différents travaux qui s'intéressent à la modification de la structure de la chaîne logistique, le problème de la sélection des fournisseurs apparaît comme l'un des problèmes les plus fréquents d'ordre stratégique. Ce problème résulte essentiellement de l'activité d'achat au niveau de l'entreprise qui essaye d'acquérir un bien ou un service avec un coût minimum pour offrir au client un produit de qualité.

Selon [Aissaoui *et al.* 2007], il existe deux points de vue dans la littérature concernant la décision d'achat :

- La plus importante décision d'achat est de maintenir une relation étroite avec un nombre réduit de fournisseurs qui offrent la meilleure qualité dans l'objectif de réduire les coûts et proposer au client le meilleur produit ou service.
- Il y a un besoin imminent d'approches systématiques pour la décision d'achat pour l'identification des meilleurs fournisseurs et la commande des quantités adéquates

auprès de chacun d'eux.

À travers leur état de l'art, les auteurs ont distingué trois grandes décisions liées au problème de sélection de fournisseurs 2.1 :

- ***Quel(s) produit(s) ?*** Généralement les fournisseurs sont sélectionnés pour l'acquisition d'un seul produit. Dans ce cas, diverses interdépendances qui pourraient exister entre les différents produits ne sont pas prises en compte. Par exemple, la possibilité d'un rabais basé sur le volume total des ventes, quel que soit le produit commandé. Seulement quelques modèles traitent l'achat simultané de produits. Ces modèles doivent respecter un processus itératif pour sélectionner des fournisseurs [Kingsman 1986].

- ***Quel(s)fournisseur(s) et quelle quantité ?*** Au-delà de l'aspect mono « sourcing » ou multi « sourcing », la plupart des modèles proposés dans la littérature estiment que tous les paramètres du problème sont connus avec certitude. Les modèles qui incorporent l'incertitude ou encore la volatilité des paramètres, surtout dans les prix, ne sont pas largement étudiés [de Boer & van der Wegen 2003].

- ***Quelle(s) période(s) ?*** Les approches développées pour modéliser la sélection des fournisseurs peuvent être classées comme les modèles à période unique où on ne considère pas la gestion des stocks et les modèles à plusieurs périodes qui considèrent le problème de la gestion des stocks en déterminant une politique d'approvisionnement, telle que la quantité de commande économique, tout en sélectionnant les fournisseurs [Bonser & Wu 2001].

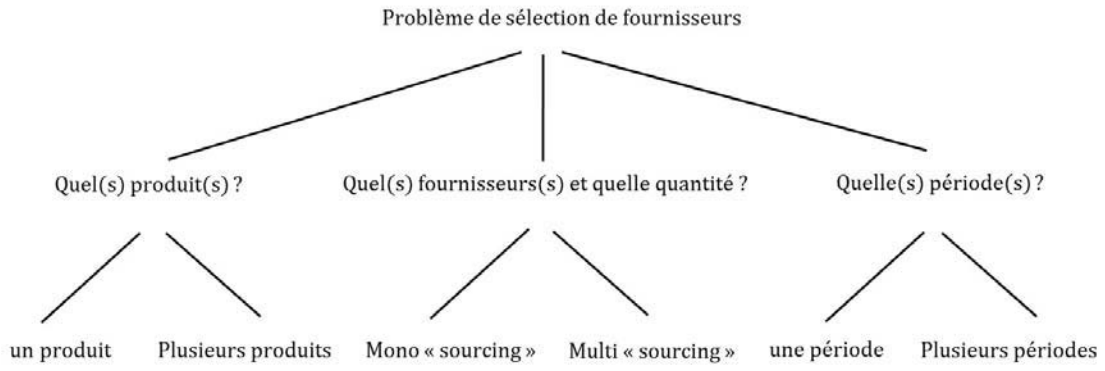

FIGURE 2.1 – Le problème de sélection de fournisseurs selon [Aissaoui *et al.* 2007]

Afin de sélectionner le ou les meilleur(s) fournisseur(s), de nombreux critères sont exprimés à travers plusieurs travaux. Ces critères sont essentiels pour différencier les fournisseurs présents sur un marché. Pour cette raison les auteurs se sont intéressés à l'étude de ces critères afin de distinguer les plus pertinents d'entre eux pour le choix final de fournisseurs.

2.2.2.1 Les critères pour la sélection de fournisseurs

Le choix des critères est une étape incontournable pour la sélection des fournisseurs. Plusieurs recherches ont été menées pour identifier les critères susceptibles d'être déterminants dans le choix des fournisseurs.

Bien que les travaux de [Dickson 1966] et [Weber *et al.* 1991] soient les plus connus dans ce domaine, d'autres auteurs ont adapté leurs recherches en essayant à chaque fois de classifier les critères selon les catégories bien définies ou d'étendre les critères pour toucher aux tendances actuelles d'approvisionnement notamment la réactivité et la diversification du choix.

Dans les travaux de [Benyoucef *et al.* 2003] nous pouvons distinguer 4 critères essentiels à savoir, la livraison, le prix, le service et la qualité. Des dérivés de ces critères ont été identifiés par les auteurs. Pour la livraison, par exemple, son coût ainsi que le respect des délais constituent les deux dérivés. La figure 2.2 résume l'ensemble des critères mis en évidence.

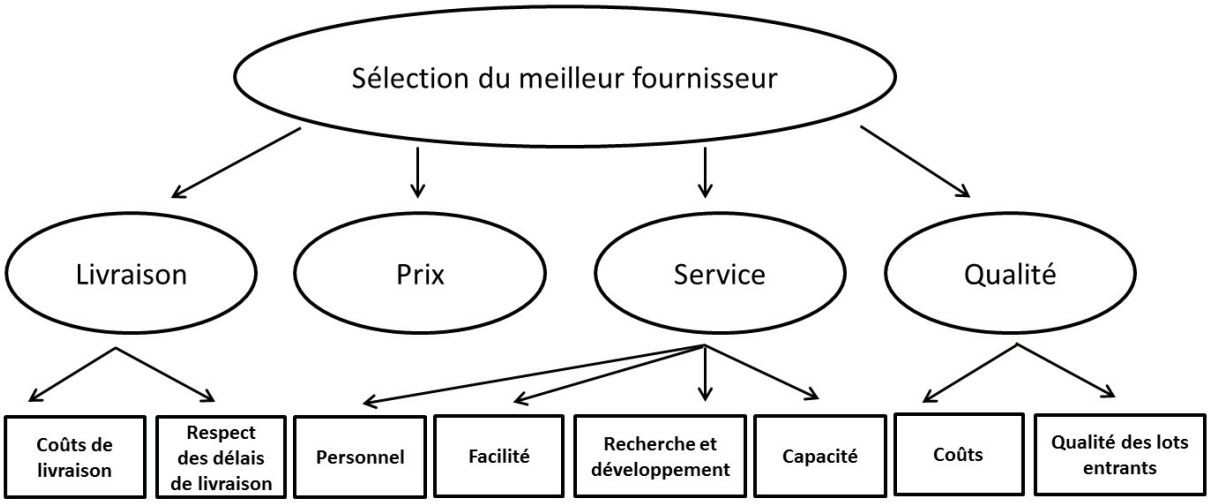

FIGURE 2.2 – Critères de sélection de fournisseurs selon [Benyoucef *et al.* 2003]

Dans l'état de l'art de [Ng *et al.* 2006], les critères sont classés selon 4 catégories (tableau 2.1)

- Critères de fournisseurs
- Critères de performance de service
- Critères de performance de produit
- Critère de coût

TABLE 2.1 – Critères de sélection de fournisseurs selon [Ng *et al.* 2006]

Critères de fournisseurs	Critères de performance de service	Critères de performance de produit	Critère du coût
Position financière	Aide au client	Facilité d'utilisation	Prix
Capacité de gestion	Satisfaction du client	Manutention	
Capacité technique	Suivi	Qualité	
Équipement	Livraison	Environnement	
Système qualité	Professionnalisme		
Pays d'origine	Garantie		
Histoire de performance	Réparation		
Réputation			
Envie de collaborer			
Localisation			
Relation			
Nouveauté			
Volonté de coopérer			

[Zouggar 2009] s'est orienté aux classements des critères existants dans la littérature afin de les ordonner selon leur pertinence pour le choix des fournisseurs (tableau 2.2).

En parcourant ces différents travaux liés à la classification des critères de sélection de fournisseurs, deux constats peuvent être tirés.

Premièrement, les critères de prix, de qualité, de livraison et de la capacité à produire représentent les leviers majeurs pour le processus de sélection de fournisseurs.

Deuxièmement, ces critères ont évolué au fil du temps. Cette évolution est liée aux changements des marchés industriels ainsi que la concurrence entre les fournisseurs. En effet, au-delà des critères choisis depuis les années 70, les entreprises s'intéressent, actuellement, davantage aux critères liés à la technologie d'information (infrastructures technologiques

Table 2.2 – Critères de sélection de fournisseurs selon [Zouggar 2009]

Auteur(s)	Étude	Ordre des critères
[Dickson 1966]	274 entreprises	1. Qualité, 2. Livraison, 3. Performance passée, 4. Politique de garantie, 5. Capacité de production, 6. Prix
[Weber *et al.* 1991]	74 articles entre 1966-1990	1. Prix, 2. Livraison, 3. Qualité, 4. Capacité de production, 5. Localisation géographique, 6. Capacité de production
[Vonderembse *et al.* 1995]	268 entreprises	1. Qualité, 2. Performance du produit, 3. Fiabilité livraison, 4. Disponibilité du produit, 5. Coût, 6. Délai
[Verma & Pullma 1998]	323 entreprises	1. Qualité, 2. Prix, 3. Délai, 4. Flexibilité
[Katsikeas *et al.* 2004]	237 entreprises	1. Fiabilité des délais, 2. Compétitivité des prix, 3. Service offert, 4. Capacité technologique
[Ho *et al.* 2010]	78 articles entre 2000-2008	1. Qualité, 2. Délais, 3. Prix, 4. Capacité industrielle, 5. Service, 6. Technologie de gestion

d'échange d'informations). Elles privilégient ainsi l'échange d'information instantané et la capacité des fournisseurs à mettre en œuvre les moyens adéquats pour garantir cet échange. [Wehbe 2011]

2.2.2.2 Les méthodes pour la sélection de fournisseurs

Plusieurs méthodes ont été proposées dans la littérature pour le problème de sélection de fournisseurs. Ces méthodes se sont adaptées à l'évolution de ce problème en suivant les évolutions des marchés. Dans cette partie nous nous sommes basés sur l'état de l'art de [Aguezzoul & Ladet 2006]. Le tableau 2.3, met en relief une classification des méthodes utilisées.

TABLE 2.3 – Synthèse des méthodes de sélection des fournisseurs selon [Aguezzoul & Ladet 2006]

Catégorie	Méthode(s)	Travaux
Modèles linéaires de pondération	– AHP (Analytic Hierarchy Process) – FST (Fuzzy Sets Theory)	– [Sarkis J 2000] – [Kahraman *et al.* 2003]
Modèles de programmation mathématique	– La programmation linéaire/non linéaire à variables entières mixtes – MOP (Multi-Objectives Programming) ou programmation Multi-objectifs – DEA (Data Envelopment Analysis)	– [Talluri & Narasimhan 2003] – [Talluri & Narasimhan 2003] – [Weber *et al.* 2000]
Méthodes basées sur le coût total	– TCO (Total Cost of Ownership) – ABC (Activity Based Costing)	– [Ellram 1995] – [Féniès 2006]
Méthodes statistiques, probabilistes	– CA (Cluster Analysis) – Payoff Matrix – VPA (Vendor Profile Analysis) – ISM (Interprective Structural Modeling) – UT (Utility Theory) ou théorie de l'utilité – MNL (Multi-Nominal Logic) – FA (Factor Analysis), ou analyse factorielle	– [Hinkle C.L. 1969] – [Hinkle C.L. 1987] – [Ellram 1990] – [Mandal & Deshmukh 1994] – [Min 1994] – [Verma & Pullma 1998] – [Tracey & Leng Tan 2001]
Méthodes de catégorisation		– [D'Amours S. 2001]
Intelligence artificielle	– CBR (Case Based-Reasoning system) – ES (Expert System)	– [Ng & Skitmore 1995] – [Vokurka *et al.* 1996]

D'une manière générale, les premiers travaux dans ce domaine se sont basés sur des données exactes relatives aux différents critères qu'on utilise pour sélectionner les fournisseurs.

Récemment [Ghadimi *et al.* 2015] ont présenté une revue de la littérature concernant les politiques d'approvisionnement entre un fournisseur et un client en mettant l'accent sur les différentes pratiques du passé, du présent ainsi que les tendances d'approvisionnement dans le futur.

Qu'il s'agisse d'un approvisionnement d'un seul ou plusieurs articles auprès d'un ou plusieurs fournisseurs, les méthodes d'optimisation connues prennent l'hypothèse d'une connaissance complète des données pour pouvoir optimiser. Donc en intégrant le contexte dynamique ainsi que le choix des fournisseurs sur plusieurs périodes, l'attention doit être portée à l'optimisation sous incertitude.

[Ghodsypour & O'Brien 1998] proposent un système d'aide à la décision en utilisant la méthode (AHP) et la programmation linéaire pour la sélection des fournisseurs.

[Ding *et al.* 2005] utilisent une approche hybride d'optimisation via simulation pour le problème de sélection des fournisseurs. La simulation à événements discrets est utilisée pour l'évaluation du rendement d'un portefeuille de fournisseurs. Pour l'aspect optimisation, un algorithme génétique est proposé.

[Wu *et al.* 2009] utilisent un processus de prise de décision multi-objectif intégré pour la sélection des fournisseurs dans un contexte de vente groupée. La méthode (ANP) ainsi que la programmation mixte en nombres entiers (MIP) on été utilisés pour la sélection des meilleurs fournisseurs.

[Osman & Demirli 2010] proposent un modèle de programmation bilinéaire résolu par un algorithme de décomposition de Benders modifié ayant pour objectif la reconfiguration de la chaîne d'approvisionnement et ce en réponse à la demande croissante des clients et leurs exigences concernant les dates de livraison et les quantités à commander.

Plus récemment, [Nazari-Shirkouhi *et al.* 2013] présentent un problème de sélection de fournisseurs avec un calcul de la quantité optimale en utilisant une programmation linéaire multi-objectifs.

[Deng *et al.* 2014] ont résolu un problème de sélection de fournisseurs en utilisant la méthode (AHP) dans un contexte incertain. L'incertitude est traité avec une extension de la méthode (AHP) qui se résume à une représentation efficace et réalisable de l'information incertaine notée D-numéros. La méthode (D-AHP) est donc proposée.

Les fournisseurs sélectionnés pour une période peuvent ne pas être les meilleurs qui sont sélectionnés pour une autre période en raison des changements dans les critères à partir desquels le choix a été fait. La capacité du fournisseur, les délais de livraison et les divers coûts sont susceptibles de changer au fil du temps. Ainsi l'ensemble optimal des fournisseurs peut changer d'une période à une autre. Dans la littérature ce genre de problèmes est connu comme un problème de *Sélection dynamique des fournisseurs*. Parmi les travaux les plus récents, [Ware *et al.* 2014] ont développé un modèle non-linéaire mixte en nombre entier pour le problème de la sélection dynamique des fournisseurs tout au long des périodes. Leur article est basé sur une optimisation statique et il ne traite pas les aspects dynamiques de la chaîne d'approvisionnement.

Dans le contexte actuel et dans certains secteurs, la sélection des fournisseurs doit être faite avec une approche dynamique. En effet, dans un marché volatile qui est constamment en mouvement et où différents paramètres fluctuent au fil du temps, une approche dynamique est indispensable.

Bien que le problème de sélection de fournisseurs soit une problématique largement étudié dans la littérature, les exigences actuelles des chaînes logistiques agiles imposent un changement des pratiques actuelles dans ce domaine. En d'autres termes les modèles et les méthodes utilisés doivent inclure de nouveaux aspects que nous pouvons résumer en deux point :

- Intégrer les décisions de sélection des fournisseurs dans ***un processus de négociation*** où les deux points de vue acheteur et vendeur peuvent être pris en compte. La littérature existante se concentre uniquement sur le côté de l'acheteur [Aissaoui *et al.* 2007].

- La dynamique du marché doit être pris en compte avec des modèles appropriés.

Il y a de plus en plus de publications sur la théorie des enchères qui témoignent d'une large utilisation de ces techniques dans certains types de chaînes logistiques, donc la recherche d'algorithmes réactifs pour des enchères combinatoires où un acheteur peut choisir un ensemble de produits à travers plusieurs fournisseurs représente un besoin imminent dans ce domaine.

Dans cet esprit, la deuxième partie de cette revue de littérature, mettra l'accent sur les caractéristiques des nouveaux modes d'achat ainsi que sur les méthodes développées pour la problématique de sélection de fournisseur dans les systèmes de type enchères.

2.3 Approvisionnement agile au niveau des chaînes logistiques

Dans le contexte d'approvisionnement dans un environnement changeant, les questions d'approvisionnement dynamique sont de plus en plus étudiées dans le cadre du marché des enchères dans lequel acheteurs et vendeurs proposent des offres concurrentielles en même temps. La nature dynamique de ce problème est généralement liée à la variabilité des données dans le temps ainsi que la décision qui doit être prise rapidement. En effet, les prix chez les fournisseurs et la demande de l'acheteur sont constamment soumis à des changements pendant une période d'approvisionnement donnée. Avec ce mode d'achat, on se voit contraint de réévaluer tous ces paramètres afin de déterminer une stratégie gagnante pour les deux parties. Dans les systèmes d'enchères classiques et pendant une période de négociation, les commerçants sont confrontés, par exemple, à la volatilité implicite de certains prix dans le temps.

2.3.1 Les systèmes d'enchères

De nos jours, les mécanismes d'enchères sont de plus en plus utilisés dans les systèmes d'approvisionnement. Ces mécanismes présentent une voie prometteuse pour l'automatisation des négociations avec les fournisseurs et la réalisation des objectifs idéaux d'approvisionnement dans le but de minimiser les coûts.

Une vente aux enchères est un nom commun pour les transactions où le prix est découvert par un processus d'appel d'offres concurrentiel. Une enchère détermine le ou les gagnant(s), comment les offres gagnantes sont déterminées et comment les offres sont collectées auprès des participants [Pham *et al.* 2014]. Ce mécanisme d'enchère a comme objectif de déterminer un ou des vainqueur(s) en sélectionnant un ensemble d'offre gagnantes, où pour chaque offre, on sélectionne le prix et la quantité de sorte que la demande de l'acheteur soit satisfaite à un coût minimal.

Les enchères peuvent apparaître dans différentes étapes d'une chaîne d'approvisionnement. Cela dit, elles sont habituellement placées en amont de la chaîne. Par conséquent, les informations communiquées sur les prix par un mécanisme de vente aux enchères ont un impact sur la demande en aval de la chaîne. Les acteurs en fin de chaîne préfèrent ne pas communiquer sur cette demande. La majorité estime que cette pratique incitera les fournisseurs en amont de la chaîne à revoir constamment leurs offres d'où une concurrence plus rude et des prix plus attractifs et surtout changeants.

L'asymétrie de l'information

Dans ce contexte, dans une vente aux enchères, l'asymétrie de l'information se reflète dans la représentation de la demande du marché et le coût unitaire du détaillant.

[Wang & Davison 2008] ont traité l'exemple d'une vente aux enchères entre un fabricant et un détaillant au cours de laquelle le fabricant a une connaissance incomplète sur les paramètres stochastiques d'une fonction linéaire de la demande et le coût du détaillant, tandis que le détaillant est pleinement conscient de la forme de la courbe de demande. Au-delà de la spécificité des données disponibles, ils ont démontré que dans ce contexte d'approvisionnement, il est plus opportun pour le détaillant de retenir ou de déformer l'information et d'accroître ainsi l'incertitude sur les paramètres de la demande pour le fabricant.

Selon [Lorentziadis 2014], typiquement, une fonction de la demande du marché comprend des paramètres aléatoires et, par conséquent, les partenaires de la chaîne d'approvisionnement ont une asymétrie de l'information sur les états possibles de cette demande. Les auteurs ont examiné le rôle de la communication dans la détermination du bénéfice potentiel total de chaque acteur. Pour cela, les auteurs ont exploré l'interaction entre les agents dans une vente aux enchères avec une communication limitée à travers la chaîne d'approvisionnement.

Au-delà du caractère d'asymétrie de l'information, les modèles d'optimisation combinatoires mis en place pour le processus d'optimisation de ces systèmes d'enchères ont pris des hypothèses sur la nature des paramètres. Les prix d'achat unitaires ainsi que la demande du client ont fait l'objet de différentes modélisations. Les modèles de la théorie des jeux sont aussi des modèles largement étudiés dans ce domaine.

[Chen 2007] a mis en place des stratégies d'approvisionnement optimales par enchère inversée dans lesquelles le fournisseur peut produire à un coût marginal constant face à une demande stochastique. L'acheteur, quant à lui, détient les informations privées sur les coûts des produits. L'auteur montre comment la découverte des prix peut influencer la décision de commande pour atteindre une stratégie d'approvisionnement optimal en utilisant un modèle de programmation dynamique.

Dans le même domaine, [Yang & Xia 2009] ont étudié une approche d'approvisionnement continue dans lequel les prix des matières premières suivent un processus Markovien alors que la demande suit un processus de Poisson.

[Chen 2012] a étudié les stratégies d'approvisionnement au niveau d'une chaîne logistique composée d'un producteur et d'un ensemble de fournisseurs. Il prend comme exemple les systèmes d'enchères inverses et propose un modèle de théorie des jeux qui se base sur deux politiques de prix pour déterminer une situation « gagnant-gagnant » entre le fabricant et le fournisseur retenu. [Liu *et al.* 2013] étend ce travail au cas mutli-périodes.

Dans leur article [Choudhary *et al.* 2014] ont visé à déterminer la vrai valeur d'un partenariat entre un détaillant et un fournisseur à travers le partage de l'information (IS) en fonction de leur environnement spécifiques où la demande varie dans le temps.

2.3.2 Les systèmes d'enchères et d'enchères inversés en ligne

Avec l'avancée des technologies d'information, l'attention a été accordée à l'approvisionnement en ligne « e-procurement ». Dans leur article, [Devaraj *et al.* 2012] affirment que les nouvelles applications technologiques jouent un rôle important dans la capacité des entreprises à bénéficier de ce mode d'approvisionnement en s'appuyant sur l'achat en ligne ainsi que sur la flexibilité des processus. Ils se basent dans leur étude sur un sondage recueilli auprès de 130 gestionnaires d'achat et d'approvisionnement. Dans le même contexte, [Liu *et al.* 2011] traitent un problème d'approvisionnement affecté par des incertitudes au niveau de l'environnement interne et externe d'une entreprise. Ils proposent pour cela un système multi-agents pour traiter ces incertitudes grâce à la collaboration et l'interaction entre les différents agents. Selon eux, l'architecture proposée améliore la flexibilité pour réagir face aux imprévus et garantit un approvisionnement agile.

Un des modèles les plus dominant étudié dans la littérature et traitant du processus « e-procurement » est le système d'enchères électroniques inversées, également connu sous le nom du « e-reverse auction » (e-RA). Généralement ce processus est défini comme un problème d'approvisionnement en ligne mettant en œuvre plusieurs fournisseurs en concurrence pour les besoins d'une entreprise souhaitant acquérir des produits en proposant des offres concurrentielles sur Internet à un événement d'appel d'offres limitées dans le temps [Talluri *et al.* 2007].

Les enchères inversées en ligne ont été utilisées par un certain nombre de grandes entreprises dans les transactions BtoB. Beaucoup d'entre elles ont pu tirer un grand profit grâce à l'utilisation de la vente aux enchères en comparaison avec les approches traditionnelles d'approvisionnement. Il est fréquent que les enchères sont gérées sur la base du prix comme seul critère de différentiation entre un ensemble de fournisseurs. Néanmoins, les acheteurs peuvent envisager d'autres attributs à part le prix.

Un schéma classique pour un système d'enchère inversé est le suivant : [1]

- Bien avant la rencontre avec l'acheteur, tous les fournisseurs invités accèdent aux mêmes informations relatives aux besoins exprimés par l'acheteur (cahier des charges, conditions de règlements, délais de livraison, garanties éventuelles) en toute bonne foi, transparence et égalité de traitement.

- À la date et l'heure convenues, les fournisseurs après connexion et identification sur la plateforme commencent à émettre leurs offres qui restent anonymes. Ces offres peuvent être visibles ou non par tous les fournisseurs selon les paramètres prédéfinis par l'acheteur.

- L'acheteur suit l'évolution des offres à partir de son ordinateur. L'enchère se termine suivant les modalités d'attribution indiquées préalablement aux fournisseurs.

Table 2.4 – Modélisation des systèmes d'enchères selon [Chandrashekar *et al.* 2007]

		Scénarios	Modèles		
			Programmation mathématique	Théorie des jeux	Descriptifs
Catégorie	Vente aux enchères d'un produit	Basic Auction Types	[Kameshwaran 2004]	[Dang & Jennings 2003]	[Hohner *et al.* 2003]
		Supply Chain Auction		[Chen *et al.* 2005]	
	Vente aux enchères de plusieurs produits	Combinatorial Auction	[Sandholm 2002]	[Dang & Jennings 2003]	[Caplice & Sheffi 2005]
		Volume Discount Auction	[M. Eso & Ladanyi 2001]	[M. Eso & Ladanyi 2001]	[Hohner *et al.* 2003]
	Vente aux enchères multi-attributs	Additive Value Models	[Bichler & Kalagnanam 2005]	[Bichler 2000]	[Che 1993]
		Inverse Optimization Models		[Beil & Wein 2003]	[Ahuja & Orlin 2001]

Généralement deux formes d'enchères sont considérés, le « round selected-bid auction » et le « open cry auction » (enchères à l'anglaise). Le premier format demande à fixer une date ultime pour la proposition d'offres. Le client dans ce cas ne donne pas l'opportunité aux différents fournisseurs de revoir leur offres et maintient aussi toutes les offres confidentielles jusqu'à la fin du processus. Il procédera donc, après évaluation des différentes offres, à un classements pour déterminer le fournisseur gagnant.

Au niveau des systèmes d'enchères à l'anglaise, les fournisseurs ont la flexibilité de proposer des offres différentes tout au long du processus d'achat car le système est complètement transparent. Le client ici incite les fournisseurs à une concurrence accrue entre eux en les poussant à revoir les offres dans un temps limité.

1. $http://www.memoireonline.com/07/08/1234/m_contribution-niveau-amelioration-niveau-satisfaction-clientele-mtn-ci5.html$

Plusieurs études ont porté sur la pertinence et les méthodes à mettre en œuvre afin d'utiliser les systèmes d'enchères inversés en ligne (e-RA) en raison du développement de ce nouveau concept de chaîne d'approvisionnement. Compte tenu de l'enthousiasme des entreprises à adopter ce mode, plusieurs travaux se sont intéressés à des cadres méthodologiques qui aident à mettre en évidence ce processus. Les méthodes proposées visent à aider les entreprises à adopter les (e-RA) pour acheter un bien. En contrepartie, les (e-RA) offrent des avantages en termes de gestion réactive et d'informations partagées entre les clients et les fournisseurs [Yu *et al.* 2008], [Bichler & Segev 2001], [Emiliani 2006].

Les mécanismes d'enchères sont devenus de plus en plus pertinents dans les systèmes d'approvisionnement électroniques modernes. En effet, depuis qu'ils permettent l'automatisation des négociations entre les clients et les fournisseurs offrant ainsi la possibilité aux deux parties de réduire les coûts, l'engouement pour instaurer ces pratiques ne cesse d'augmenter.

Dans l'article de [Chandrashekar *et al.* 2007] trois différentes catégories relatives au contexte du e-Procurement sont mises en évidence lors d'un déploiement d'un mécanisme d'enchère.

- **La vente aux enchères d'un seul article** : C'est une vente pour l'achat d'une ou plusieurs unités d'un seul type de produit.

- **La vente aux enchères de plusieurs articles** : C'est une vente pour l'achat d'une ou plusieurs unités de différents produits.

- **La vente aux enchères multi-attributs** : C'est une vente pour l'achat de produits où les décisions d'achat sont fondées non seulement sur les coûts mais aussi sur d'autres attributs tels que les délais de livraison, la qualité et la capacité de production.

La figure 2.3 illustre un exemple d'un système d'enchères inversées mettant en relief les spécificités de cet approvisionnement et l'interaction entre le client et l'ensemble des fournisseurs tout au long de ce processus.

Pour chacune de ces catégories, les auteurs proposent dans un premier temps une liste des travaux réalisés en les classifiant selon trois types de modélisation.

- **Les modèles de programmation mathématiques**
- **Les modèles de la théorie des jeux**

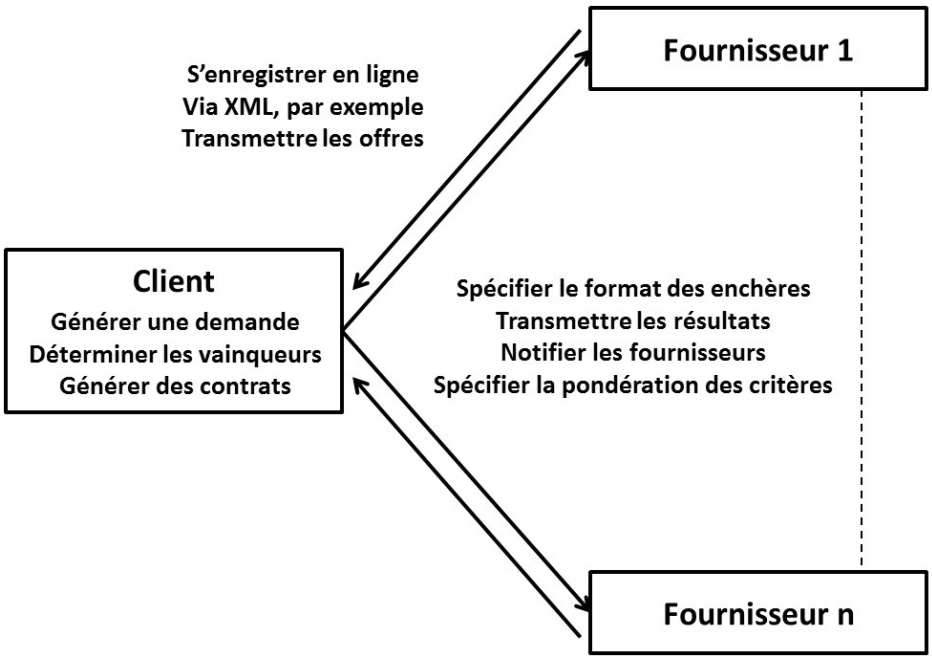

FIGURE 2.3 – Un exemple d'un format d'enchère inversée selon [Talluri *et al.* 2007]

- **Les modèles descriptifs basés sur des études de cas**

Les auteurs ont présenté, dans un deuxième temps, une formulation mathématique pour des problématiques qui s'inscrivent dans chaque catégorie en évoquant à chaque fois un scénario précis correspondant à une situation d'approvisionnement. Par exemple, pour le cas où un acheteur unique ainsi qu'une multitude de vendeurs souhaiteraient exploiter les économies d'échelle, un système d'escompte sur le volume aux enchères (Volume Discount Auctions) est approprié.

Le tableau 2.2 résume les différents modèles pour chacune des catégories cités selon les auteurs en s'appuyant sur les travaux de la littérature.

Nous constatons donc que certains papiers se sont intéressés aux aspects techniques liées à la détermination des gagnants dans un processus d'enchères en ligne. Il est vrai que le processus de choix des fournisseurs peut être une tâche complexe dans les stratégies d'approvisionnement en ligne. En effet, les différents attributs ou paramètres de chacun des fournisseurs sont susceptibles de changer pendant une durée limitée. Au-delà de la variabilité des prix des fournisseurs, d'autres paramètres ont été discutés dans la littérature pour la sélection finale. Les informations contenues dans les offres des fournisseurs peuvent inclure la qualité, la livraison, et d'autres facteurs. Ce nouveau processus appelé « multi-

attribute e-reverse auction » devient de plus en plus étudié dans une approche où on s'approvisionne auprès de plusieurs fournisseurs dans le but de déterminer le vainqueur. La phase de négociation donne aux différents acteurs l'occasion de mieux générer ce processus d'achat jusqu'à l'accord final entre eux.

Différentes techniques ont été utilisées afin de déterminer les meilleurs fournisseurs pendant une période de vente dans un système d'enchères inversées. Dans l'état de l'art de [Pham *et al.* 2014], une classification relatives aux tendances de recherche sur les « multi-attribute e-reverse auction ». Les auteurs supposent que les modèles développés peuvent être classés en quatre groupes :

- Contributions de la théorie des jeux.
- Comparaisons expérimentales économique de performance entre les différents formats d'enchères.
- Tests de différentes politiques sur la divulgation d'informations.
- Comparaisons entre les négociations et les ventes aux enchères.

La méthode AHP « Analytic Hierarchy Process » est l'une des méthodes les plus populaire pour identifier la fonction de score de l'acheteur. En effet, sur la base des attributs des fournisseurs, l'acheteur peut sélectionner le meilleur qui a le score le plus élevé. Dans leur article, [Bichler & Kalagnanam 2005] analyse le problème de détermination du vainqueur dans le cas de multiples sources d'approvisionnement en utilisant la programmation entière. Ils ont, par la suite, étendu le concept de ventes aux enchères au cas multi-critères permettant aux fournisseurs de spécifier plusieurs valeurs en fixant des majorations de prix pour chaque attribut.

A travers ces modèles, les auteurs ont constaté que l'ensemble des outils d'aide à la décision présentent quelques limites sur lesquelles il faudra agir pour garantir des résultats optimaux dans le processus de sélection de fournisseurs. En effet, les fonctions linéaires pondérées prennent comme hypothèse une indépendance préférentiel entre les attributs. Il faudra donc intégrer les effets d'interaction entre les attributs et s'intéresser par la suite à des cas de réseaux plus complexes qui intègrent le cas d'approvisionnement multiple.

Dans ce contexte, [Talluri *et al.* 2007] se sont intéressés à développer un outil d'aide à la décision afin de gérer un système d'enchères inversées en ligne. L'outil utilise une hybridation entre une analyse d'enveloppement des données (DEA) et la programmation entière pour la détermination d'un gagnant parmi plusieurs fournisseurs dans un (e-RA) multi-attributs. A ce niveau, l'accent est mis sur les changements de prix, la livraison, la

qualité et la quantité avec un système d'offre mensongère fixé par le client qui permet de limiter l'indépendance de ces attributs.

A travers tous ces travaux, nous pouvons constater que pour le client l'objectif serait de choisir le ou les meilleur(s) fournisseurs en attribuant des scores sur la base d'une demande qui peut être dans certain cas erronée, motivée par un choix personnel du client ou bien incertaine dû au contexte du marché.

Les différents modèles proposés, ont été développés pour répondre au problème de détermination du fournisseur vainqueur avec l'hypothèse implicite que les agents participants à la vente aux enchères ont une stratégie d'enchère mis en place basée sur la théorie des jeux.

Au niveau des modèles mathématiques, les formulations MIP (Mixed Integer Program) sont variantes du problème du sac à dos à choix multiple connu dans la littérature comme un problème NP-Difficile. Ce problème présente des propriétés structurelles particulières qui rendent sa résolution difficile. Pour ce fait, des techniques de programmation dynamique, des méthodes de branch-and-bound ainsi que des schémas d'approximation polynomiales ont été proposées pour le résoudre.

De plus au delà de cette spécificité mathématique, pour ce type de problématiques, les données ou encore les critères utilisés pour la sélection des fournisseurs sont exploités à la fin des enchères. Suite aux variations répétitives au cours du temps, la solution au début d'un approvisionnement en ligne en général peut être complètement différente de la dernière solution trouvée.

La majorité des problèmes ont été étudiés afin d'optimiser l'ensemble de la chaîne logistique en respectant une logique décisionnelle qui répond aux différents horizons de planification. Les modèles d'optimisation adoptés concernent des situations où différents scénarios sur les données sont considérés et où l'objectif est de déterminer une solution acceptable. Cependant, les exigences actuelles pour bâtir des chaînes logistiques réactives dans un contexte flexible nécessitent des méthodes plus adaptées à des variations non prévisibles. Jusqu'à maintenant, les travaux qui se sont intéressés aux incertitudes ou à la variabilité des données dans la chaîne logistique ont fait l'hypothèse d'une bonne connaissance des données pour pouvoir utiliser des méthodes de programmation stochastique ou robuste. Cependant, dans un contexte caractérisé par des fluctuations de marché, les variations de données peuvent survenir à n'importe quel moment et sont difficilement prévisibles. Nous sommes donc dans l'obligation de chercher de nouvelles méthodes pour pouvoir optimiser dans cet environnement.

2.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous nous sommes intéressés principalement à l'étude des différentes problématiques d'approvisionnement avec choix de fournisseurs.

Ce qu'il convient de retenir c'est que les problématiques d'approvisionnement classiques diffèrent des nouveaux modes d'achats en ligne. En effet, le choix des fournisseurs, au moment de la conception de la chaîne logistique correspond généralement à des décisions stratégiques, basées sur des données disponibles relatives à chacun des fournisseurs. Ce choix se fait périodiquement, ce qui facilite la tâche pour les décideurs de la chaîne logistique pour disposer de l'ensemble adéquat des fournisseurs en s'appuyant sur des méthodes d'analyses multicritères.

En contrepartie, l'approvisionnement dans un environnement variant nécessite des moyens importants en matière de systèmes d'information. Bien que ce mode d'achat demeure nouveau et couteux pour de nombreuses entreprises, nous avons analysé dans la suite de ce chapitre les avantages du « e-Procurement » et des enchères, et nous avons précisé dans quels contextes ces modes d'approvisionnement peuvent être appliqués. Dans les enchères en ligne, le décideur de la chaîne logistique se confronte à la volatilité des marchés et doit mettre en œuvre des méthodes réactives pour disposer d'une bonne solution dans un temps réduit.

Les deux problématiques de choix de fournisseurs sont donc différentes. De ce fait, pour l'approvisionnement en ligne, nous avons détecté un besoin de méthodes efficientes pour pouvoir optimisé dans un temps relativement court.

A notre connaissance, il n'existe pas d'approche permettant une optimisation qui suit la volatilité des marchés pour un approvisionnement dans un contexte de « e-Procurement ». Certes, il existe des méthodes de résolution qui essayent de s'adapter à la volatilité des marchés mais aucune ne résout le problème de manière réactive en proposant aux décideurs une solution au temps voulu.

Nous allons dans le prochain chapitre présenter un cadre applicatif du problème logistique que nous souhaitons résoudre dans un contexte du « e-Procurment ». Pour cela nous allons commencer par décrire le problème afin de proposer ensuite une méthode résolution.

Chapitre 3

Problématique et démarche de résolution

Sommaire

3.1 Introduction **57**

3.2 Description du problème **57**

3.3 Formulation du problème **60**

3.3.1 Les données 60

3.3.2 Notation 60

3.3.3 Les variables de décision 61

3.3.4 L'objectif 61

3.3.5 Les contraintes 61

3.3.6 Complexité 62

3.4 Démarche de résolution : optimisation dynamique **63**

3.4.1 L'optimisation dynamique 64

3.4.1.1 Les domaines d'application 65

3.4.2 Les méthodes de résolution pour les problèmes d'optimisation dynamique 67

3.4.3 L'optimisation dynamique pour la chaîne logistique : le problème de tournées de véhicules 71

3.4.4 Notre démarche 73

3.5 Conclusion **74**

« Le passé et le présent sont nos moyens ; le seul avenir est notre fin. »

Blaise Pascal, Mélanges, Vanité, fragment 43

Résumé :

Dans ce troisième chapitre, nous formaliserons un problème d'approvisionnement dans un environnement changeant caractérisé par des fluctuations constantes au cours du temps des paramètres de prix et de capacité chez les fournisseurs et une demande variante chez le client.

En raison de la différence de cette problématique avec l'approvisionnement classique et dans le but de proposer une méthode de résolution adéquate avec les spécificités des nouveaux modes d'achats, nous proposerons une revue de littérature de l'optimisation dynamique. En effet, cette méthode a été utilisée avec succès dans de nombreux domaines caractérisés par des variations dans le temps.

Nous procéderons dans les chapitres suivants à la présentation de nos approches de résolutions et nos résultats.

3.1 Introduction

Dans le chapitre 2, nous avons analysé les contributions scientifiques dans les problématiques d'approvisionnement incluant le problème du choix de fournisseurs dans le cas d'un approvisionnement classique et dans un contexte d'approvisionnement agile.

Deux remarques majeures peuvent alors être dégagées :
- Au-delà de la similarité entre le problème d'approvisionnement classique et les nouveaux modes qui se font via Internet, ces problématiques diffèrent en raison du temps réduit pour la prise de décision et le manque d'information pour la deuxième problématique.
- Les méthodes adoptées pour l'approvisionnement classique ne sont pas en adéquation avec les nouveaux modes de gestion en raison du caractère variant des paramètres liés à l'approvisionnement en ligne.

L'objectif de nos travaux vise à traiter une problématique d'approvisionnement dans un contexte variant en suivant les tendances actuelles adoptées par nombreuses entreprises et proposer ensuite une méthode réactive pour la résolution. Cette problématique, peut être considérée comme un premier cadre applicatif pour un exemple d'approvisionnement où plusieurs paramètres sont en constante variation dans le temps.

Nous nous intéressons, en conséquence, aux modes d'achat en ligne vu leur potentiel à fournir aux consommateurs un choix multiple et surtout des coûts attractifs. Les nouvelles pratiques d'approvisionnement via Internet tel que le « e-Commerce » et les systèmes d'enchères en ligne s'inscrivent de façon claire dans cette quête.

La première partie de cette section sera consacrée à une description de notre approche dans un contexte d'achat via un système d'information. Ensuite, dans la deuxième partie, nous proposerons une modélisation mathématique du problème abordé. Enfin la troisième partie mettra en avant les caractéristiques et la contribution de la méthode utilisée pour la résolution des différents problèmes opérant dans des environnements perturbés.

3.2 Description du problème

Au niveau d'un approvisionnement agile, divers paramètres peuvent varier constamment dans le temps. Ce problème s'inscrit aussi dans un modèle économique entre un client et ses fournisseurs qui cherche à établir une stratégie optimale d'approvisionnement dans un intervalle de temps très réduit caractérisé par des fluctuations de marché. Le cours de quelques matières premières ainsi que les coûts relatifs à l'affectation des fournisseurs

sont gouvernés par des marchés à forte volatilité. Cette variation peut en même temps avoir un impact sur les capacités des différents fournisseurs.

Dans cette thèse nous nous concentrons sur un problème de chaîne d'approvisionnement à deux échelons dans un contexte de e-Procurement. Nous supposons qu'il existe deux types d'acteurs : un seul client qui veut être livré en produits par un ensemble de fournisseurs en concurrence. La capacité de tous ces fournisseurs permet la livraison des produits au client. Cela dit, et en raison de notre domaine d'application, plusieurs paramètres du problème peuvent changer au fil du temps. Ce changement peut affecter simultanément les capacités des différents fournisseurs qui peuvent faire face à des problèmes techniques et une forte concurrence entre eux au cours de la phase de négociation. En effet, cette concurrence résulte d'une demande qui vient de plusieurs clients en même moment. La figure 3.1 illustre la chaîne logistique que nous allons étudier.

Notre but est de trouver après chaque changement de prix et de capacités une nouvelle configuration du réseau logistique ainsi que la quantité optimale à commander auprès de chaque fournisseur. Nous avons examiné les variations de trois paramètres : les capacités des fournisseurs, le prix d'achat unitaire et le coût d'affectation des fournisseurs. L'objectif étant de minimiser le coût total en satisfaisant la demande des clients. En effet, dans

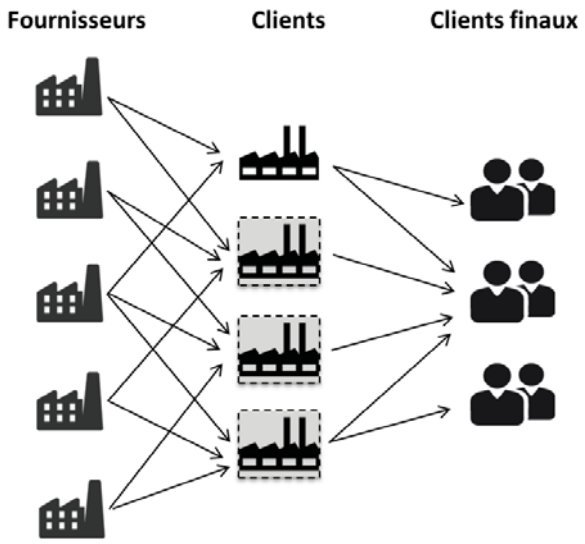

FIGURE 3.1 – Chaîne logistique étudiée

un contexte d'enchère, la demande reste généralement constante. Les fournisseurs tentent donc de gagner l'appel d'offre du client en faisant varier leurs proposition. Dans d'autres contextes où on s'approvisionne via Internet, tel que le e-commerce, les fournisseurs ont

tendance à réagir face à une demande très variante dans le temps. Cette variation est due à deux principales raisons :

- Le changement des préférences pour un même consommateur.
- Des commandes multiples de la part de plusieurs consommateurs dans un temps réduit.

Les coûts liés aux fournisseurs sont susceptibles de changer au fil du temps. Ainsi, la commande émise avant variation n'est pas nécessairement adéquate avec la meilleure configuration du réseau logistique pour livrer la quantité qui répond aux exigences des clients. La figure 3.2 illustre un processus d'approvisionnement dans le cadre de e-Procurement.

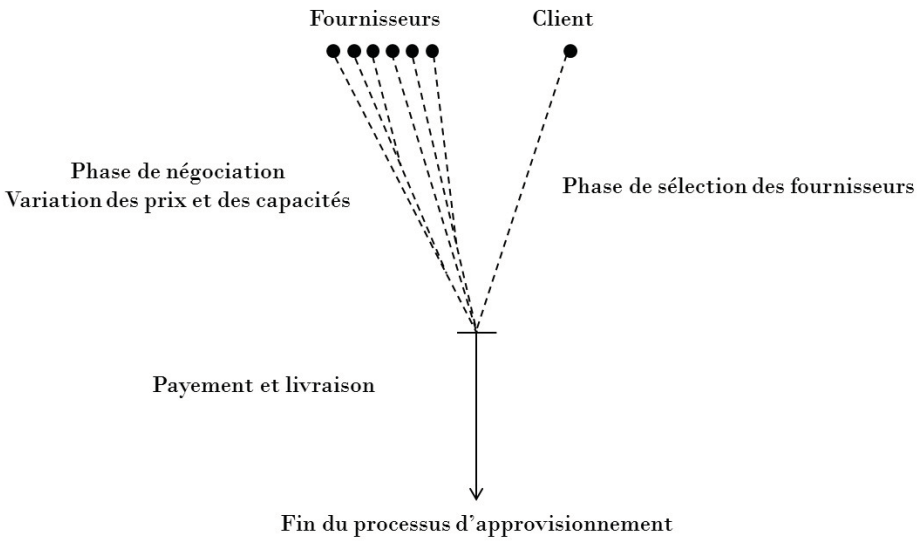

FIGURE 3.2 – Le problème de e-Procurement

Comme nous avons déjà dit, nous allons considérer des variations sur trois paramètres : les capacités des fournisseurs, le prix unitaire d'achat et le coût d'affectation des fournisseurs. L'objectif est de minimiser le coût total en satisfaisant la demande du client et en respectant les capacités des fournisseurs.

3.3 Formulation du problème

3.3.1 Les données

Nous traitons ici des variations asynchrones d'amplitudes mineures et relativement fréquentes au cours du temps. De plus, bien que le problème soit totalement différent des pratiques d'approvisionnement classique, la disponibilité des données représente une difficulté supplémentaire pour sa résolution. En raison du temps très court qui caractérise ce mode d'approvisionnement ainsi que le temps qui sépare deux variations successives, une modélisation déterministe, incertaine voire floue des données ne serait pas en adéquation avec cette problématique. Nous sommes confrontés à une « myopie » par rapport au comportement de la variation des données.

Notons à ce propos qu'une variation peut éventuellement être considérée comme :

- Isolée ; touchant un seul paramètre
- Partielle ; affectant deux paramètres
- Groupée ; intégrant tous les paramètres pris en considération pour un fournisseur.

En d'autres termes une variation au niveau du prix unitaire d'achat, par exemple, n'implique pas automatiquement une variation au niveau de la capacité des différents fournisseurs en concurrence.

Pour plus de clarté, la figure 3.3, illustre quelques exemples de variations des trois paramètres au cours du temps.

- Exemple 1 : Une variation de la capacité chez le premier fournisseur.
- Exemple 2 : Deux variations des prix d'achat et d'affectation chez le premier fournisseur
- Exemple 3 : Trois variations simultanées de tous les paramètres ; prix et capacité chez le deuxième fournisseur.

3.3.2 Notation

Pour ce problème, la notation suivante est adoptée :

- S : Ensemble des fournisseurs $s \in S$: {1,2,....ns}
- P : Ensemble des produits $p \in P$: {1,2,....np}
- $k_s(t)$: Capacité maximale chez un fournisseur s à t
- $D_p(t)$: Demande de produit p pour le client à t : pour le cas de la demande volatile
- $Cu_{ps}(t)$: Coût unitaire d'achat d'un produit p chez le fournisseur s à t
- $Ca_{ps}(t)$: Coût d'affectation d'un produit p pour un fournisseur s à t

3.3.3 Les variables de décision

Deux décisions sont prises par le client lors d'un approvisionnement en ligne.

La première décision est relative à la quantité des produits qu'il souhaite acquérir auprès des fournisseurs. Cette quantité pourra être répartie sur l'ensemble des fournisseurs disponibles à un instant donné. Cela dit, et pour des raisons de non disponibilité ou de capacité, certains fournisseurs peuvent être écartés de ce processus d'approvisionnement. Cette variable est entière et elle est exprimé ainsi :

- $Q_{ps}(t)$: Quantité de produit p commandée chez le fournisseur s à t.

La deuxième variable de décision sert à linéariser le modèle que nous allons proposer. Nous avons décidé de mettre en place une variable binaire indiquant l'affectation ou non du fournisseur lors de l'opération d'approvisionnement.

- $V_s(t) : \{ \begin{array}{ll} 1 & : Si\ on\ choisi\ le\ fournisseur\ s\ at\ t \\ 0 & : Sinon \end{array}$

3.3.4 L'objectif

L'objectif du client est de réduire le coût d'acquisition des produits auprès des fournisseurs en réagissant rapidement face aux variations fréquentes dans le temps. La fonction objectif n'est autre que le produit de la quantité commandé avec le coût unitaire plus le coût d'affectation du fournisseur s'il est choisi et ce pour tous les fournisseurs sélectionnés. Cette fonction est exprimée de la manière suivante :

$$Min\ Z(t) = \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} Cu_{ps}(t).Q_{ps}(t) + \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} Ca_{ps}(t).V_s(t). \tag{3.1}$$

3.3.5 Les contraintes

Le problème abordé ici est confronté à différentes contraintes. En effet, au cours de l'opération d'approvisionnement, les fournisseurs doivent satisfaire la totalité de la demande du client. Pour cela, la somme des quantités commandées auprès de tous les fournisseurs doit être égale à la demande du client et ce pour tous les produits commandés. Cette contrainte est mise en évidence dans l'équation 3.2.

$$\sum_{s \in S} Q_{ps}(t) = D_p(t) \qquad \forall p \in P \tag{3.2}$$

La deuxième contrainte de notre problème est liée à la capacité des fournisseurs susceptibles de satisfaire la demande du client. Quel que soit le fournisseur choisi, la quantité demandée doit être inférieure ou égale à sa capacité maximale à chaque instant t. L'équation 3.3 met en relief cette contrainte.

$$\sum_{p \in P} Q_{ps}(t) \leq k_s(t).V_s(t) \qquad \forall s \in S \tag{3.3}$$

Enfin, les équations 3.4 et 3.5 présentent les contraintes d'intégrité.

$$V_s(t) \in \{0, 1\} \qquad \forall s \in S \tag{3.4}$$

$$Q_{ps}(t) \in N \qquad \forall s \in S \qquad \forall p \in P \tag{3.5}$$

D'une manière générale, cette formulation implique la minimisation du coût total correspondant au client au cours du temps. L'équation 3.2 assure la satisfaction de la demande de la clientèle pour chaque produit. L'équation 3.3 met en évidence le respect de la quantité maximale que nous pouvons commander chez chaque fournisseur en nombre total des produits et les équations 3.4 et 3.5 sont des contraintes de signes.

3.3.6 Complexité

Un cas particulier du problème abordé serait de poser $Cu_{ps} = 0$, le problème se résume donc à la formulation (3.6 à 3.8). En effectuant un changement de variable $X_s = 1 - V_s$, le problème est équivalent à un problème de sac à dos, connu dans la littérature comme un problème NP-difficile [Chibani *et al.* 2014].

$$Min\ Z = \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} Ca_{ps}.V_s \tag{3.6}$$

sous les contraintes,

$$\sum_{s \in S} k_{ps}.V_s \geq D_p \qquad \forall p \in P \tag{3.7}$$

$$V_s \in \{0, 1\} \tag{3.8}$$

En raison de la nature dynamique du problème proposé, nous devons prendre en considération que les variations sont asynchrones et fréquentes avec un impact minime au cours du temps. En d'autres termes, nous avons peu de temps entre l'arrivée de deux perturbations successives afin de ré-optimiser.

Dans la partie qui va suivre, nous allons essayer de résoudre ce problème dynamiquement. Vu le potentiel de l'optimisation dynamique à traiter des problèmes évoluant dans un environnement instable, le choix de cette méthode paraît intéressant pour cette problématique et ce pour deux raisons :

- Des variations asynchrones et fréquentes dans le temps
- Une « myopie » par rapport à la survenue de ces variations

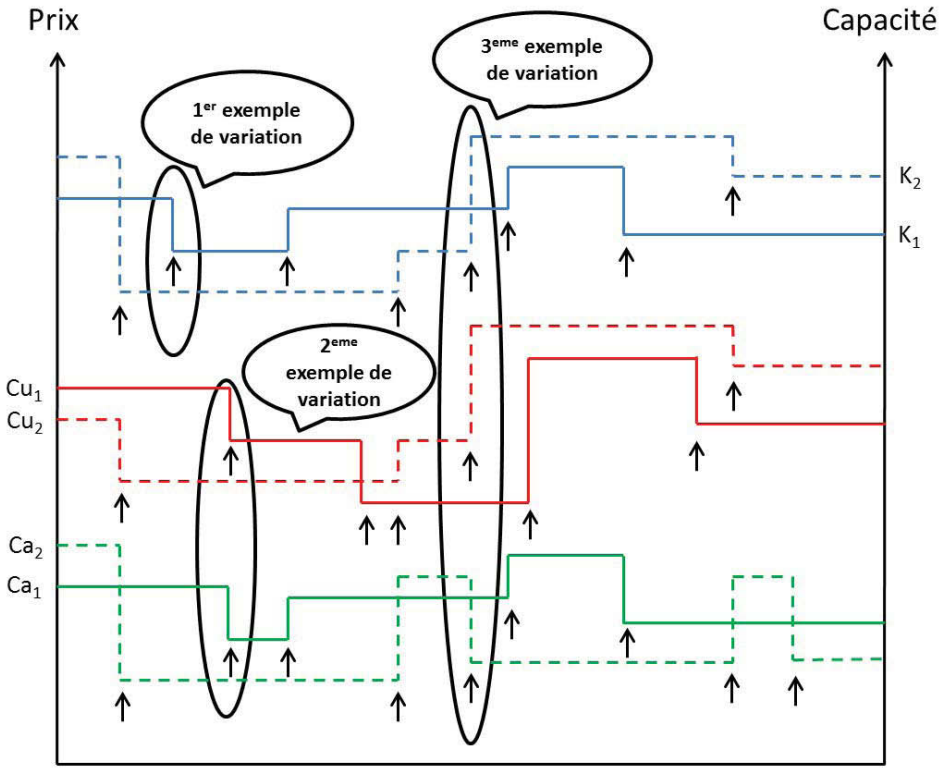

FIGURE 3.3 – Exemples de variation des données de deux fournisseurs pour un type de produit

Récemment, l'optimisation dynamique a montré des résultats encourageants dans la résolution des problèmes dont les données évoluent en fonction du temps, le but étant de chercher une solution non stationnaire qui évolue selon la variation des paramètres de la problématique abordée. À notre connaissance, cette méthode n'est pas encore abordée dans un contexte d'approvisionnement en ligne.

3.4 Démarche de résolution : optimisation dynamique

Dans cette section nous introduisons l'optimisation dynamique en mettant en relief quelques définitions proposées par des auteurs ainsi que le domaine d'application de cette méthodes et les spécificités lors de la résolution d'une problématique d'optimisation dynamique. Nous nous intéresserons après aux travaux réalisés avec cette méthode au niveau de la chaîne logistique.

3.4.1 L'optimisation dynamique

Plusieurs définitions ont été proposées dans la littérature pour un problème d'optimisation dynamique. Nous avons choisi deux d'entre elles afin de dégager un cadre général qui nous servira de référence pour notre problème d'approvisionnement.

La première définition est proposée par [Nguyen *et al.* 2012], selon les auteurs :

- Soit un problème dynamique f_t
- Soit un algorithme G pour le résoudre
- Soit une période d'optimisation $[t^{debut}, t^{fin}]$

f_t est appelé un problème d'optimisation dynamique dans la période $[t^{debut}, t^{fin}]$ si dans $[t^{debut}, t^{fin}]$ l'environnement de la fonction f_t change et que l'algorithme G doit réagir face à ce changement en proposant de nouvelles solutions optimales.

Selon [Cruz *et al.* 2010], un problème d'optimisation dynamique (DOP) est défini comme étant un problème dont la fonction objectif et/ou les contraintes varient dans le temps. Les auteurs proposent pour ça une formulation générale d'un problème d'optimisation dynamique :

- $Un\ DOP : \{ \begin{array}{l} Optimiser\ f(x,t) \\ s.t,\ x\ \in\ F(t)\ \subseteq S\ t \in T \end{array}$

Tel que,

- $S \in R^n$, S est l'espace de recherche.
- t est le temps
- $f : S \times T \rightarrow R$, est la fonction objectif qui assigne une valeur numérique pour chaque solution possible ($x \in S$) à chaque instant t.
- $F(t) \subseteq S$ est l'ensemble des solutions admissibles, $x \in F(t)$ à chaque instant t.

Généralement pour ce genre de problématiques, l'optimisation dynamique a été utilisée, la plupart du temps, en temps continu. L'objectif est de suivre le comportement de l'optimum et non pas de chercher une solution stationnaire [Lepagnot *et al.* 2009].

Contrairement à la programmation stochastique où l'incertitude peut être représentée par des variables aléatoires des paramètres du problème, l'optimisation dynamique permet d'optimiser dans le temps avec une information exacte à l'instant t. Le manque de visibilité connue sous le terme de « myopie » ne permet pas la résolution d'un problème pour une période donnée.

La figure 3.4 présente le comportement de deux solutions dans un espace de recherche et dans le temps. La figure 3.5 montre également le comportement de la solution optimale en fonction du temps. Chaque position de l'optimum représente une éventuelle prise de

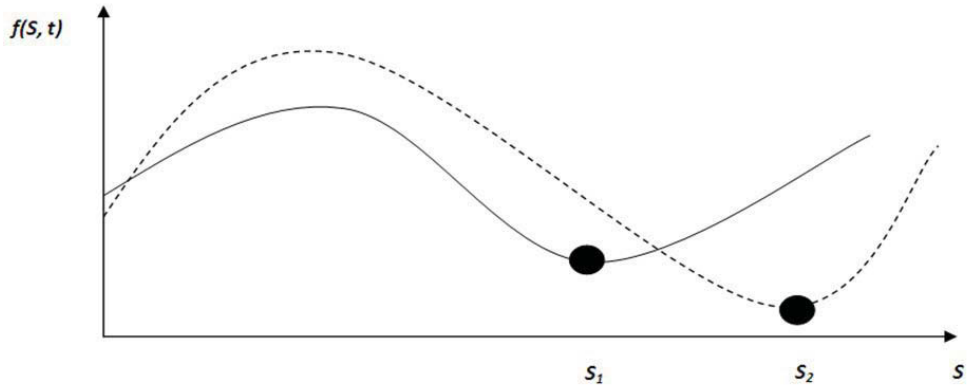

FIGURE 3.4 – Comportement de l'optimum dans l'espace de recherche, inspiré de [Lepagnot *et al.* 2009]

décision pour le décideur qui aura une conséquence sur le comportement de la solution dans le futur.

3.4.1.1 Les domaines d'application

Dans l'état de l'art de [Cruz *et al.* 2010], l'examen de plusieurs articles qui traitent des problèmes d'optimisation dynamique permet de confirmer que la plupart des recherches sont basées sur les problèmes de synthèse ou d'essais, où le degré de dynamisme et de la complexité de la fonction objectif sont contrôlables. Dans leur article, les auteurs affirment que l'un des problèmes les plus utilisés de nos jours pour l'étude des problèmes dynamiques est le Moving Peaks Benchmark (MPB) [Branke 1999]. L'idée est d'avoir un paysage multi-dimensionnel artificiel constitué par plusieurs pics dont la hauteur, la largeur, et la position sont légèrement modifiés chaque fois qu'une modification de l'environnement se produit. La complexité du problème peut être augmentée en augmentant par exemple, le nombre de dimensions ou le nombre de pics. Dans ce sens, quelques benchmarks intéressants sont obtenus lorsque la fonction « pic » du problème (MPB) est remplacé par des « cônes » ou des fonctions plus complexes comme des « sphères » qui sont des problèmes typiques de test dans l'optimisation continue.

Ceci dit, des versions dynamiques de problèmes combinatoires existent aussi, le problème de sac à dos dynamique est largement étudié dans ce domaine [Branke *et al.* 2006] [Rohlfshagen *et al.* 2009].

Dans leur état de l'art [Nguyen *et al.* 2012] distinguent des propriétés d'un problème que nous pouvons qualifier de pertinent pour un « Benchmark ». En effet, ils considèrent que l'utilisation des problèmes tests est cruciale dans le processus de développement, d'éva-

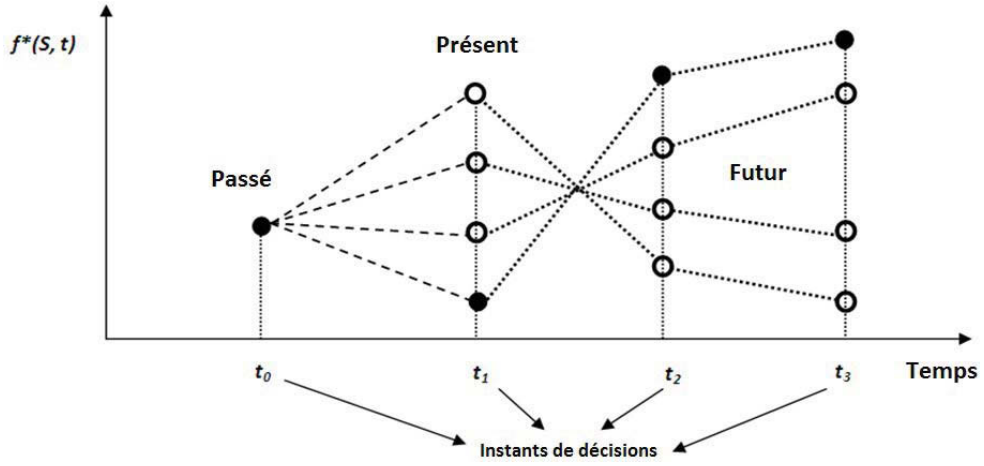

FIGURE 3.5 – Comportement de l'optimum dans l'espace de recherche, inspiré de [Bosman & La Poutre 2007]

luation et de comparaison des algorithmes proposées pour la résolution de ces problèmes. Pour cela ils soulignent trois critères :

- La flexibilité du problème : les paramètres dynamiques du problème (fréquence et périodicité des changements) ainsi que ses dimensions.
- La simplicité et l'efficacité du problème : simple à mettre en øeuvre, à analyser et à évaluer.
- Autorise la conjecture à des problèmes du monde réel au delà des aspects purement théoriques.

Dans ce contexte, [Nguyen *et al.* 2012] classent les problèmes selon deux catégories.

- Des problèmes « tests »
- Des problèmes « réels »

Quelques travaux intéressants sur des problèmes réels mettant en relief le comportement dynamique de l'environnement où ils évoluent ont commencé à apparaître ces dernières années. Le tableau 3.1 résume quelques exemples de ces travaux que nous pouvons trouver en détail dans l'état de l'art de [Cruz *et al.* 2010].

Peu de travaux traitent des problématiques réelles en général et des chaînes logistiques en particulier. Néanmoins des chercheurs se sont intéressés à une problématique de chaîne logistique. Le problème des tournées de véhicules dynamique (Dynamic Vehicule Routing Problem (DVRP)). En effet une variante de ce problème est d'introduire des demandes de clients au cours du temps [Pillac *et al.* 2013]. Le choix de l'optimisation dynamique est

Table 3.1 – Exemple de problème rééls dynamiques selon [Cruz *et al.* 2010]

Problème	Référence
Conception aérospatiale	[Mack *et al.* 2007]
Robotique évolutive	[Tinos & Yang 2007]
Problèmes d'optimisation financière	[Tezuka *et al.* 2006a]
Planification des chemins	[Elshamli *et al.* 2004]
Contrôle de la pollution	[Michalewicz *et al.* 2007]
Conception robuste	[Rocco S. 2005]
Optimisation du salage des routes	[Handa *et al.* 2006]
Modélisation de la trajectoire des navires	[Smierzchalski & Michalewicz 2000]

donc justifié par le temps limité entre deux décisions pour pouvoir ré-optimiser d'une façon statique.

Pour résumer, dans la première catégorie (les problèmes tests), on cherche souvent à mettre en place des fonctions objectifs complexes afin de tester la puissance des algorithmes et leurs capacités à s'adapter aux variations en temps continu. Cependant, dans la deuxième catégorie (les problèmes réels), les chercheurs ont essayé de résoudre des problématiques du monde réel en utilisant les algorithmes développés et testés sur les problèmes tests [Tezuka *et al.* 2006b].

3.4.2 Les méthodes de résolution pour les problèmes d'optimisation dynamique

La méthode la plus simple pour résoudre ces problèmes est d'envisager à chaque changement un nouveau problème d'optimisation et procéder ainsi à une ré-optimisation. Bien que cette solution serait pertinente pour des problèmes où on dispose d'un temps suffisant pour optimiser, l'objectif des méthodes qui traitent des problèmes d'optimisation dynamique n'est pas de trouver une solution optimale stationnaire, mais plutôt de suivre son mouvement au cours du temps. Généralement, il y a peu de temps entre deux décisions successives, cela dit, redémarrer l'optimisation après chaque changement est souvent indésirable.

Contrairement à la programmation stochastique où l'incertitude peut être représentée comme des variables aléatoires des paramètres du problème, l'optimisation dynamique permet d'optimiser dans le temps avec une information exacte à l'instant t. Le manque de visibilité connue sous le terme de « Myopie » ne permet pas la résolution d'un problème pour une période donnée. En d'autres termes, tant que les changements sont inconnus le

problème doit être résolu dans le temps. La figure 3.6 illustre ce phénomène de « Myopie » causé par des variations imprévisibles.

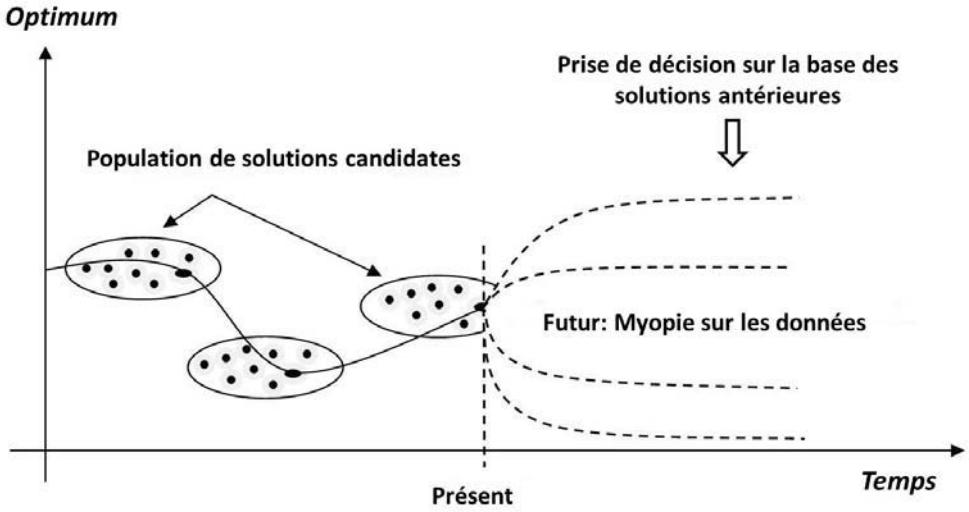

FIGURE 3.6 – Une myopie face aux données futures

Plusieurs approches ont été utilisées pour la résolution d'un problème d'optimisation dynamique. Selon l'état de l'art de [Cruz *et al.* 2010], les techniques évolutionnaires et leurs variantes ont été les plus utilisées pour la résolution des problèmes d'optimisation dynamique bien que d'autres techniques ont été utilisées tel que les méthodes de stratégies coopératives [González *et al.* 2011] et les algorithmes culturels qui représentent des modélisations inspirées de l'évolution de la culture humaine [Peng & Reynolds 2004], environ 90% des articles utilisent des algorithmes à base de populations.

TABLE 3.2 – Exemple de techniques évolutionnaires de résolution selon [Cruz *et al.* 2010]

Technique utilisée	Référence
Stratégies d'évolution	[Rossi *et al.* 2008]
Algorithmes évolutionnaires	[Richter & Yang 2009]
Programmation évolutionnaire	[Tinos & Yang 2008]
Algorithmes génétiques	[Abbass *et al.* 2004]
Algorithmes mémétiques	[Handa *et al.* 2006]

[Abbass *et al.* 2004] ont proposé un algorithme génétique appelé « Extended Compact Genetic Algorithm »(ECGA) pour résoudre des problèmes dans des environnements dynamiques. Leur approche est basée sur les redémarrages aléatoires de la population à chaque

changement afin d'augmenter la diversité de la population. Avec cette technique, les auteurs ont rajouté un paramètre d'auto-ajustement pour améliorer la convergence de l'algorithme.

[Handa *et al.* 2006] ont traité le problème de salage des routes avec des camions en se basant données du monde réel. Ce problème peut se ramener à un problème d'optimisation dynamique. Les auteurs ont donc proposé un algorithme mémétique en mesure d'atteindre une amélioration de 10% par rapport à la disposition initiale des solutions en termes de distances parcourues par les camions.

[Tinos & Yang 2008] ont proposé un algorithme de programmation évolutive avec une auto-adaptation d'un paramètre q qui contrôle la forme d'une distribution de mutation q-gaussienne. Le paramètre q est augmenté après chaque changement de l'environnement, ce qui permet un plus grand nombre de sauts dans l'espace de recherche pour s'échapper de l'optimum local et aussi converger plus rapidement vers l'optimum global.

[Rossi *et al.* 2008] ont comparé différentes techniques pour intégrer des informations de mouvement dans un algorithme évolutionnaire pour réagir à des variations dans le temps sous l'hypothèse que les changements suivent une loi non aléatoire. Les auteurs se sont focalisé dans un premier temps sur des lois dynamiques pour suivre des objets en mouvement. Ensuite une attention a été accordé à une application robotique pour une comparaison expérimentale.

[Richter & Yang 2009] ont mis en place une technique de mémorisation des solutions avec une « abstraction » des bonnes solutions afin d'améliorer des problèmes après changements. L'abstraction signifie ici que les solutions sont sélectionnées, évaluées, et codées avant qu'elle soient mémorisées.

À travers ces quelques exemples de travaux, plusieurs techniques ont été utilisées pour adapter des algorithmes déjà existants dans la littérature pour le cas dynamique. Dans leur état de l'art, [Nguyen *et al.* 2012] ont classé ces techniques en six catégories.

- ***Introduire de la diversité après un changement :*** En général, la convergence d'un algorithme est nécessaire pour atteindre la meilleure solution dans un espace de recherche prometteur. Cela dit, au niveau de l'optimisation dynamique, la convergence peut être préjudiciable. En effet, si il y a un changement dans l'environnement, l'algorithme ne sera pas en mesure de réagir au changement de manière efficace et

donc peut échouer à suivre l'optimum global en mouvement. Pour augmenter la diversité de la population et ainsi explorer d'autres espaces de recherche, des changements au niveau du taux de mutation sont souvent employés.

- ***Maintenir la diversité :*** Cette technique est une autre approche qui consiste à maintenir la diversité de la population tout au long du processus de recherche pour éviter la possibilité que toute la population converge vers un optimum local. Cette technique consiste à l'ajout d'un certain nombre de nouveaux individus diversifiés pour la population actuelle, ou de sélectionner des individus plus diversifiés et les déplacer explicitement pour les empêcher d'être proches.

- ***Utiliser une mémoire :*** Les changements au niveau des problèmes dynamiques sont récurrents, pour cela, l'optimum peut se trouver dans les mêmes régions plusieurs fois au cours du processus d'optimisation. Il est donc opportun de réutiliser des solutions déjà trouvées pour accélérer la convergence de l'algorithme et surtout gagner en temps de calcul. Pour ré-utiliser des solutions anciennes, de nombreux chercheurs ont décidé d'ajouter une mémoire à chacune de leurs évaluations. La mémoire peut aussi stocker les anciennes solutions afin de maintenir la diversité en cas de besoin. Elle peut être intégrée implicitement comme une représentation redondante au cours des évaluations, ou explicite en étant une mémoire séparée.

- ***Prédire les futurs changements :*** Dans certains cas, les changements dans des environnements dynamiques peuvent être prévisibles. Dans ce cas, il est judicieux d'essayer d'apprendre à partir des recherches antérieures de prédire les changements futurs. Les approches de mémorisation, qui sont proposées pour faire face à des changements périodiques, peuvent être considérés comme une techniques spéciale pour des approches de prédiction.

- ***Utiliser des méthodes auto-adaptatives :*** Une autre approche serait de faire usage des mécanismes des algorithmes évolutionnaires et d'autres méta-heuristiques auto-adaptatives pour faire face aux changements. Dans une certaine mesure cette approche est étroitement liée à l'approche de prédiction. En effet, l'auto-adaptation est le résultat d'un processus impliquant la mémoire et la prévision sur la base des anciennes données.

- ***Utiliser plusieurs populations :*** Cette approche peut être considérée comme une combinaison des techniques de diversité, de mémorisation et d'exploration en même temps. En effet, chaque sous-population peut gérer une zone séparée de l'espace de

recherche. Certaines sous-populations peuvent se concentrer sur la recherche de l'optimum global tandis que d'autres peuvent se concentrer sur le suivi des changements futurs.

3.4.3 L'optimisation dynamique pour la chaîne logistique : le problème de tournées de véhicules

Le problème de construction de tournées de véhicules connu sous le nom de Vehicle Routing Problem (VRP) est une extension du problème du voyageur de commerce, connu sous le nom de Travelling Salesman Problem (TSP). L'objectif du (TSP) est de trouver un cycle ou circuit de coût minimum, visitant l'ensemble des n sommets du graphe. Le VRP est une généralisation du problème de TSP avec plusieurs voyageurs qui seront appelés véhicules. L'objectif est de visiter tous les sommets d'un graphe à l'aide d'une flotte de véhicules qui partent et arrivent tous au dépôt [Grellier 2008].

Selon [Pillac 2012] une classification des problèmes de tournées est faites en utilisant deux critères : l'évolution et la qualité de l'information. Pour chacune des évolutions de données qu'il a proposé à savoir les données connues (pour le cas de VRP classique) ou les données changeantes (pour le cas de DVRP), la qualité de l'information. Il arrive donc à la conclusion que ces problèmes peuvent être classés en 4 catégories.

- Les problèmes ***statiques déterministes*** correspondent aux variantes de la définition originale du VRP dans lesquelles l'ensemble de l'information est connue de façon certaine a priori.

- Les problèmes ***statiques stochastiques*** sont caractérisés par « des données partiellement connues sous forme de variables aléatoires dont la réalisation est révélée lors de l'exécution des tournées ».

- Les problèmes ***dynamiques déterministes*** supposent qu'une partie ou toutes les données sont inconnues et révélés dynamiquement et de façon non-prévisible lors de l'exécution des tournées. On parle ici de tournée en temps réel, ce qui nécessite de communiquer avec les véhicules lors des tournées.

- Les problèmes ***dynamiques stochastiques*** considèrent que les changements dynamiques peuvent être modélisés sous forme de variables aléatoires avec des distributions connues.

Le tableau 3.3 résumé la classification des problèmes de tournées de véhicules en mettant en évidence la nature des données abordées.

Table 3.3 – Évolution et la qualité de l'information pour les problèmes de tournées de véhicules selon [Pillac *et al.* 2013]

		Qualité de l'information	
		Données déterministes	Données stochastiques
Évolution de l'information	Données connues	Statique et déterministe	Statique et stochastique
	Données changeantes	Dynamique et déterministe	Dynamique et stochastique

Une variante dynamique du problème de tournées de véhicules serait d'introduire au cours d'une tournée, par exemple, une nouvelle demande d'un client qui veut être livré. En effet, les avancés récentes de géolocalisation permettent maintenant aux entreprises de suivre et d'interagir avec leur flotte en temps réel. Ces nouvelles technologies ont amené à la création de systèmes de transport intelligents qui combinent des solutions matérielles et logicielles pour présenter en temps réel l'information disponible sur la flotte, les clients, et les réseaux routiers. Le développement de ces technologies d'information crée de nouveaux défis et opportunités pour la recherche opérationnelle. « Les tournées de véhicules ne sont plus limitées à une conception a priori de tournées ne pouvant être modifiées par la suite. À l'inverse, les véhicules peuvent désormais être orientés en temps réel, définissant une nouvelle catégorie de problème de tournées dynamiques » [Pillac 2012].

Pour la résolution, et dans le plus récent des travaux dans ce domaine, [Pillac *et al.* 2013] ont mis l'accent sur les techniques utilisés pour faire face à un problème dynamique dans les cas déterministe et stochastique.

Les données sont généralement fournies au cours du temps. Un scénario complet n'est donc connu qu'à la fin d'une période. Vu que les méthodes exactes ne collent pas avec la caractéristique dynamique de ces problèmes et proposent toujours une solution exacte pour un état fixé, les auteurs se sont orientés vers des heuristiques qui permettent de calculer rapidement une solution à un instant fixe. Ces approches sont classées en deux catégories :

- ***Ré-optimisation périodique :*** Cette méthode consiste à calculer une solution initiale, dans un premier temps. Lors de l'apparition d'un changement, une deuxième solution est proposée. Dans ce genre d'approche, on considère qu'on dispose de temps suffisant pour l'optimisation.

- ***Ré-optimisation continue :*** Cette approche est basée sur un algorithme qui s'exécute en continue.

Dans ce contexte et pour la résolution du problème de tournées de véhicules dynamiques, [Pillac 2012] ont proposé une méthode de « ré-optimisation rapide » en incluant des aspects bi-objectifs liés à la prise en compte de la constance des tournées au cours d'une même journée. Cette méthode est basée sur l'algorithme de recherche adaptative à voisinage large (Adaptive Large Neighborhood Search) qui est une extension de la recherche à voisinages larges (Large Neighborhood Search). Le but étant de détruire puis réparer une solution courante en rajoutant une technique d'adaptation qui sélectionne aléatoirement les opérateurs de destruction et de réparation utilisées en fonction de leur performance dans le passé.

3.4.4 Notre démarche

Il est vrai que les travaux en optimisation dynamique se sont principalement orientés vers l'étude des problèmes tests pour la validation de quelques approches théoriques. Cependant, dans certains contextes particuliers, les chaînes logistiques se trouvent dans le diapason de la dynamique des marchés, ce qui rend les problématiques de plus en plus changeantes au fil du temps et très intéressantes à étudier afin de proposer des méthodes réactives. Les nouvelles tendances d'achats en ligne tels que les systèmes d'enchères inversées représentent donc le noyau de notre champ d'intérêt. Ces problématiques impliquent, dans leur majorité, de solutions rapides qui restent en adéquation avec la nature de l'environnement où elles évoluent.

Par analogie avec les travaux de [Dridi 2010] sur les tournées de véhicules dynamiques, nous pouvons ici dégager les caractéristiques d'un problème d'approvisionnement dynamique.

- ***L'importance de la dimension temporelle***
- ***L'imprécision ou la méconnaissance des informations***
- ***L'accélération du temps de calcul***
- ***L'importance des mécanismes de mise à jour***

Le problème d'approvisionnement présenté ici s'inscrit dans les nouvelles tendances d'approvisionnement dans le but de choisir le bon ensemble de fournisseurs ainsi que la quantité optimale à commander au cours du temps. Nos travaux de thèse s'intéressent à une approche basée sur l'optimisation dynamique pour la résolution d'un problème d'approvisionnement pour des chaînes logistiques agiles. À notre connaissance, cette problématique n'a

pas été traitée dans la littérature. En effet, la structure d'une chaîne logistique étant difficile à gérer vu la multitude des acteurs, cet objectif devient réalisable dans des contextes dictés par la loi des marchés « connectés » en général et d'Internet en particulier pour atteindre la « reconfiguration dynamique » des chaînes d'approvisionnement.

Dans ce qui va suivre, nous allons commencer à expliquer les grandes lignes de notre approche afin de justifier l'adéquation des algorithmes pour des problèmes d'optimisation dynamique pour le problème proposé.

3.5 Conclusion

Le contexte actuel des chaînes logistiques incite, de plus en plus, les entreprises à affronter de nouveaux problèmes. L'une de ces problématiques est la planification de l'approvisionnement en temps limité dans un environnement volatile. Considéré jusqu'à maintenant comme l'une des problématiques principales dans la gestion des chaînes logistiques, le problème de sélection de fournisseurs devient un vrai challenge pour les décideurs dans des environnements fluctuants. Pour cela nous avons présenté dans le chapitre 2 un état de l'art portant sur ces nouvelles problématiques et les techniques de résolution proposées dans la littérature en prenant comme exemple le « e-Procurement » qui représente aujourd'hui un mode d'approvisionnement largement utilisé surtout pour les entreprises de grande taille.

Dans ce chapitre, nous avons proposé dans la première section une formulation détaillée du problème d'approvisionnement que nous souhaitons traiter dans un contexte variant dans le temps. Bien que cette formulation traite un problème d'approvisionnement relatif à un problème de sélection de fournisseurs, il nous a semblé important de mettre en place une approche qui répond à ces aspects afin qu'elle puisse être appliquée dans des problématiques d'enchères inversées et de commerce en ligne. Dans la deuxième section l'attention a été accordé à une revue de littérature de la méthode que nous allons utiliser pour résoudre notre problème. Jusqu'à maintenant l'optimisation dynamique a été rarement utilisé dans un contexte de chaîne logistique. Notre contribution consiste donc de montrer l'intérêt d'une telle méthode pour l'exemple d'application proposé.

Dans le chapitre suivant, nous allons proposer le détail de notre approche de résolution. Deux algorithmes vont être mis en évidence. Chacun d'eux fera l'objet d'une technique de résolution appliquée au cas dynamique ainsi que des techniques combinées. L'objectif est de montrer la réactivité de ces algorithmes par rapport à une méthodes classique. L'algorithme génétique, considéré comme algorithme évolutionnaire, est utilisé ici pour la résolution en intégrant l'aspect dynamique.

Chapitre 4

Proposition d'un algorithme génétique dynamique (D-AG) pour l'approvisionnement d'une chaîne logistique agile

Sommaire

4.1 Introduction **77**
4.2 Principes généraux des algorithmes génétiques **77**
4.3 Principes de base pour notre D-AG **78**
4.3.1 Le codage 78
4.3.2 Génération de la population initiale 78
4.3.3 Principes de sélection 78
4.3.4 Le croisement 80
4.3.5 La mutation 80
4.4 Description détaillée de l'algorithme génétique proposé (AG) . . **80**
4.5 Algorithme génétique dynamique avec technique de mémorisation (D1-AG) **83**
4.5.1 Les spécificités de l'algorithme (D1-AG) 83
4.5.1.1 Intérêt de l'utilisation des solutions mémorisées 84
4.5.1.2 Utilisation des solutions mémorisées dans la population initiale 85
4.6 Algorithme génétique dynamique avec les techniques de mémorisation et de diversification après variations (D2-AG) **85**
4.6.1 Les spécificités de l'algorithme (D2-AG) 85
4.6.1.1 Intérêt de l'utilisation de la diversification 87
4.6.1.2 Nature des solutions utilisées : un algorithme glouton . . . 87
4.7 Conclusion **88**

« Ordre. La nature a mis toutes ses vérités chacune en soi-même. Notre art les renferme les unes dans les autres, mais cela n'est pas naturel, chacune tient sa place. »

Blaise Pascal, Mélanges, fragment 578

Résumé :

L'optimisation dynamique offre un large choix de méthodes pour s'adapter à des environnements extrêmement variants dans le temps. Dans ce chapitre, nous utiliserons quelques techniques basées essentiellement sur des algorithmes génétiques adaptés au cas dynamique.

Deux algorithmes (AG-D1 et AG-D2) sont proposés ici pour la résolution du problème d'approvisionnement dynamique. Nous nous focaliserons sur des techniques de mémorisation et de diversification des populations dans le but d'accélérer la convergence des algorithmes tout en suivant le comportement de l'optimum dans le temps.

Notre démarche de résolution sera testée dans le dernier chapitre de cette thèse afin de valider les résultats obtenus.

4.1 Introduction

L'étude de l'optimisation dynamique a montré l'intérêt qu'apporte cette méthode pour des problèmes variant dans le temps, le but étant de chercher une solution non stationnaire qui évolue selon la variation des paramètres. Dans cette thèse notre problématique est de traiter un problème d'approvisionnement à deux échelons au niveau d'une chaîne logistique hautement agile en modélisant le problème sous forme d'un problème d'optimisation dynamique et le résoudre après avec les techniques proposées dans la littérature.

Dans ce chapitre, nous commencerons par présenter les algorithmes génétiques. Cette partie sera un préambule pour des aspects techniques que nous allons utiliser pour implémenter notre approche. Pour cela, après avoir décrit les principes de bases, nous proposerons les deux algorithmes que nous avons développés et ce en expliquant les détails et l'intérêt de l'utilisation des techniques dynamiques appliquées à chacun des algorithmes génétiques adaptés au cas dynamique.

Dans un premier temps, nous présenterons un algorithme qui est basé sur la technique de mémorisation des solutions que nous avons appelé (D1-AG). Ensuite, nous étendrons cet algorithme avec un complément spécifique mis en évidence par une autre technique inspirée de la technique de diversification afin de tester une hybridation de deux techniques pour le problème d'approvisionnement dynamique que nous souhaitons résoudre. Cet algorithme est appelé (D2-AG).

4.2 Principes généraux des algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques sont des algorithmes inspirés de l'évolution des espèces. Ils appartiennent à la famille des algorithmes évolutionnaires. Leur but est d'obtenir une solution approchée à un problème d'optimisation lorsqu'il n'existe pas de méthode exacte pour le résoudre en un temps raisonnable.

Selon [Siarry 2014], de nombreux chercheurs continuent à utiliser le nom d'algorithmes génétiques en raison de la ressemblance avec les techniques évolutionnaires qui ont des points en commun avec les propositions de [Goldberg 1989].

D'un point de vue algorithmique, chaque *individu* est une réponse codée sous forme de gênes à un problème donné. Les solutions représentées par des individus constituent *une population*. Celle-ci évolue après des itérations successives qu'on appelle *générations* et ce jusqu'au critère d'arrêt.

Pendant une génération, *des opérateurs de reproduction* sont appliqués aux individus pour constituer une nouvelle population pour les générations futures. Les individus sélectionnés pour la reproduction sont appelés *parents*. Le résultat de cette étape c'est les *enfants*. La figure 4.1 illustre les principales étapes d'un algorithme génétique.

Pour résumer, afin de pouvoir développer un algorithme génétique, il faut définir :
- Le codage des solutions : cette étape associe à chacun des points de l'espace de recherche une structure de données.
- Un mécanisme de génération de population initiale : production d'une population d'individus choisis aléatoirement qui servira de base pour les générations futures
- La fonction d'évaluation : la fonction « fitness » est utilisée pour sélectionner et reproduire les meilleurs individus de la population
- Les opérateurs de reproduction : les opérateurs de croisement et de mutation
- Les paramètres de l'algorithme : la taille de la population et la probabilité d'application des opérateurs de reproduction

4.3 Principes de base pour notre D-AG

4.3.1 Le codage

Le codage utilisé par les algorithmes génétiques est généralement représenté sous forme de chaînes de bits contenant toute l'information nécessaire à la description d'un point dans l'espace de recherche. Le choix du codage des données conditionne le succès des algorithmes génétiques. Les codages binaires ont été très employés à l'origine. Les codages réels sont désormais largement utilisés, notamment dans les domaines applicatifs, pour l'optimisation de problèmes à variables continues.

4.3.2 Génération de la population initiale

Le choix de la population initiale d'individus conditionne de manière significative la rapidité de l'algorithme. Vu que la position de l'optimum dans l'espace d'état est totalement inconnue, il est naturel d'engendrer aléatoirement des individus en faisant des tirages uniformes dans chacun des domaines associés aux composantes de l'espace d'état, en veillant à ce que les individus produits respectent les contraintes du problème traité.

4.3.3 Principes de sélection

Une manière de sélectionner les meilleurs individus du problème abordé. Cette sélection permettra aux individus ayant un « fitness » au-dessus de la moyenne de continuer le

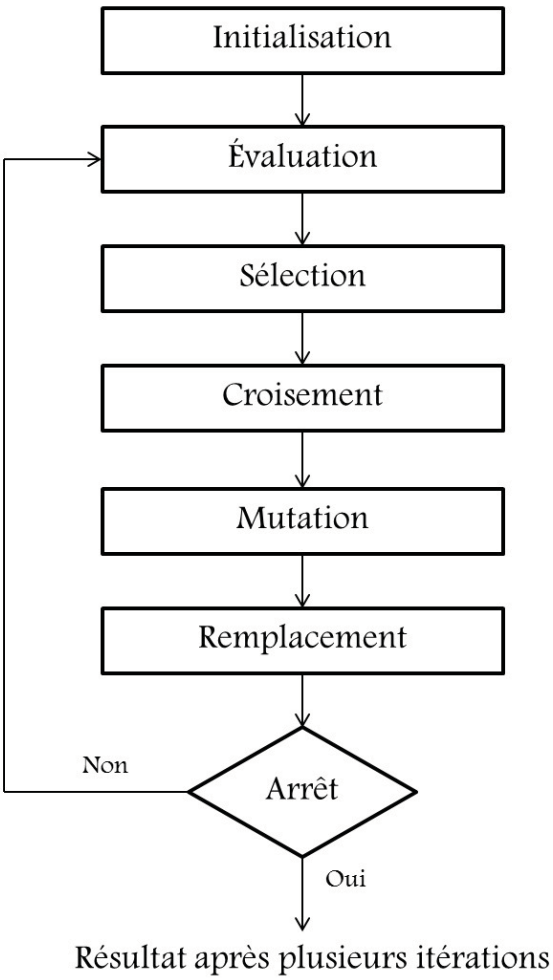

FIGURE 4.1 – Principes de base d'un algorithme génétique classique

processus de reproduction. Plusieurs techniques sont utilisées pour cette fin, nous citons ici les plus connues [Siarry 2014] :

- ***Roulette de casino :*** Sur la roulette sont placés tous les chromosomes de la population. Les meilleurs chromosomes peuvent être tirés plusieurs fois et les plus mauvais ne jamais être sélectionnés. Cela peut être simulé par la séquence suivante :
  1. On calcule la somme $S1$ de toutes les fonctions d'évaluation d'une population.
  2. On génère un nombre r entre 0 et $S1$.
  3. On calcule une somme $S2$ des évaluations en s'arrêtant dès que r est dépassé.
  4. Le dernier chromosome dont la fonction d'évaluation est ajoutée est sélectionné.

- ***Sélection par tournoi :*** Sur une population de m chromosomes, on forme m paires de chromosomes. Dans les paramètres de l'algorithme génétique, on détermine une

probabilité de victoire du plus fort. Cette probabilité représente la chance qu'a le meilleur chromosome de chaque paire d'être sélectionné.

– ***Sélection élitiste :*** Elle consiste à copier un ou plusieurs des meilleurs chromosomes dans la nouvelle génération. Ensuite, on génère le reste de la population selon l'algorithme de reproduction usuel. Cette méthode améliore considérablement les algorithmes génétiques, car elle permet de ne pas perdre les meilleurs solutions.

4.3.4 Le croisement

Initialement, le croisement associé au codage par chaînes de bits est le croisement à découpage de chromosomes. Pour effectuer ce type de croisement sur des chromosomes constitués de M gènes, on tire aléatoirement une position dans chacun des parents. On échange ensuite les deux sous-chaînes terminales de chacun des deux chromosomes, ce qui produit deux enfants.

4.3.5 La mutation

C'est un opérateur appliqué avec une faible probabilité en ayant comme orientation l'exploration de l'espace de recherche. Les propriétés de convergence des algorithmes génétiques sont donc fortement dépendantes de cet opérateur sur le plan théorique. Pour les problèmes discrets, par exemple, l'opérateur de mutation consiste généralement à tirer aléatoirement un gène dans le chromosome et à le remplacer par une valeur aléatoire.

4.4 Description détaillée de l'algorithme génétique proposé (AG)

Le codage : Cette étape associe à chaque solution une représentation sous forme de chromosome. Chaque solution est représentée par un chromosome P_i qui sera constitué d'un ensemble de gênes correspondant au nombre de fournisseurs. Ces gênes contiennent les quantités que le client commande auprès de chaque fournisseur noté Q_{ps}.

L'initialisation : Cette phase permet de générer une population d'individus qui servira de base pour les générations futures. De manière incrémentale, chaque quantité est attribuée aléatoirement dans un intervalle qui correspond aux capacités des fournisseurs sans excéder la demande totale du client. Ainsi les contraintes 3.2 et 3.3 sont respectées. Tous les gènes sont limités à des nombres entiers non négatifs satisfaisant donc la contrainte 3.5

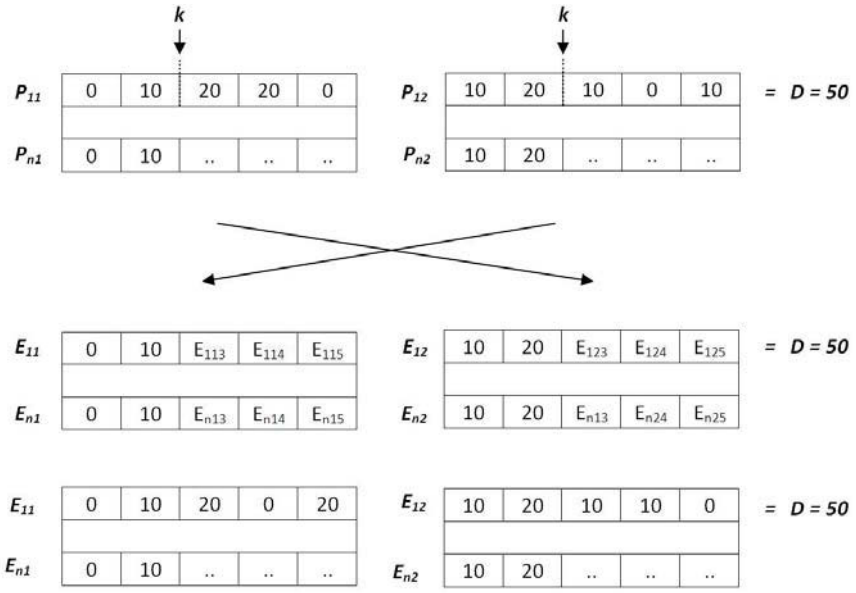

FIGURE 4.2 – Exemple de croisement

du problème. L'ensemble de la population doit être évaluée par le calcul du « fitness » de chaque individu en se basant sur la fonction objectif définie dans l'équation 3.1.

La sélection de reproduction : La sélection permet d'identifier les individus qui vont participer aux prochaines étapes. Après la création et l'évaluation de la population initiale, certains individus sont sélectionnés pour participer à la création de la nouvelle génération. Nous optons pour la méthode de sélection par tournoi. Le principe est de faire un tirage aléatoire de deux individus, celui qui a le fitness le plus fort l'emporte. On répète cette étape n fois pour obtenir les individus sélectionnés pour les étapes de production.

Le croisement : Les individus sont sélectionnés et seront manipulés par un opérateur de croisement qui les choisit selon une probabilité P_{cross}. Pour notre cas, nous utiliserons un opérateur de croisement simple (à un seul point de coupe) noté k.

Notons P_1 et P_2 les parents issues de la sélection et E_1 et E_2 les enfants crées après le croisement. Afin de garantir le respect de la demande totale du client, nous avons opté pour un calcul proportionnel des quantités, les équations 4.1, 4.2 et 4.3 sont utilisées. La figure 4.2 illustre un exemple de croisement pour un cas de 5 fournisseurs avec une demande de 50 unités pour le premier type de produit et un point de croisement $k = 3$.

$\forall j \in 1....k \qquad \forall p \in 1....np$

$$E_{p1j} = P_{p1j} \qquad and \qquad E_{p2j} = P_{p2j} \tag{4.1}$$

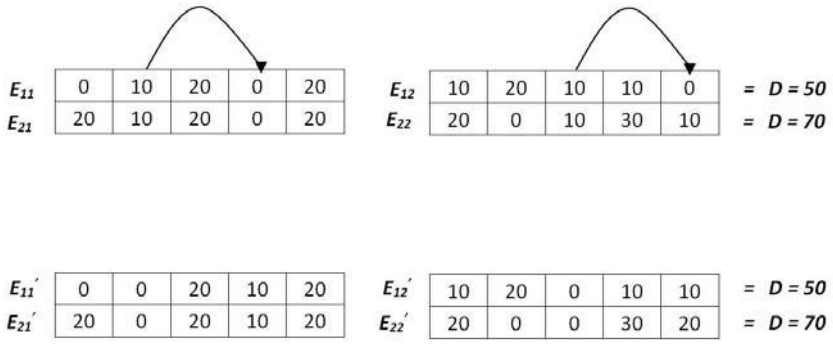

FIGURE 4.3 – Exemple de mutation pour deux produits

$\forall j \in k+1....ns \qquad \forall p \in 1....np$

$$E_{p1j} = \begin{cases} \left[\dfrac{\sum_{k+1}^{ns} P_{p1j}}{\sum_{k+1}^{ns} P_{p2j}} \times P_{p2j}\right] & : \sum_{k+1}^{ns} P_{p1j} \neq 0 \\ \sum_{k+1}^{ns} P_{n1j}/ns - k & : sinon \end{cases} \tag{4.2}$$

$$E_{p2j} = \begin{cases} \left[\dfrac{\sum_{k+1}^{ns} P_{p2j}}{\sum_{k+1}^{ns} P_{p1j}} \times P_{p1j}\right] & : \sum_{k+1}^{ns} P_{p2j} \neq 0 \\ \sum_{k+1}^{ns} P_{p2j}/ns - k & : sinon \end{cases} \tag{4.3}$$

La mutation : L'opérateur de mutation consiste à échanger, de façon aléatoire, un gène au niveau d'un chromosome par un autre, il apporte donc à l'algorithme génétique une diversification nécessaire pour une exploration efficace de l'espace de recherche. Un transfert de quantité entre deux gênes tirés au hasard est appliqué avec une probabilité de mutation P_{mut} (figure 4.3).

La sélection de remplacement : La sélection permet d'identifier les meilleurs individus d'une population et d'éliminer les mauvais pour les prochaines générations. Nous optons pour une stratégie de sélection élitiste qui garde les meilleurs individus après la fin de chaque itération.

Note : Les opérateurs de reproduction permettent de garantir le respect de plusieurs contraintes de notre problématique. Cependant, lors de l'opération de croisement, la contrainte de capacité chez les fournisseurs peut être violée. Pour cette raison, nous avons mis en place un algorithme de réparation qui a pour principe la correction en cas d'excès de capacité en se basant sur les prix fixes et variables chez les fournisseurs (Algorithme 1). L'algorithme corrige les écarts éventuels au niveau des capacités des fournisseurs et ce en se basant sur les prix d'achat et d'affectation. Pour chaque type de produit, on calcule dans un premier temps l'éventuel excès chez les fournisseurs noté (R_{ps}). Après nous répartissons la somme notée P sur les fournisseurs ayant le coût unitaire d'achat le moins élevé en

Result: Procédure de réparation des solutions après croisements et variations

$\forall\ s \in 1...ns \qquad \forall\ p \in 1...np$

$R_{ps} = \{ \begin{array}{l} k_s - Q_{ps} \ : Q_{ps} > 0 \\ 0 \ : otherwise \end{array}$

$P_p = \sum_{ps|R_{ps}<0}(-R_{ps})$

$\forall s | R_{ps} < 0 \qquad R_{ps} \leftarrow 0$

while $(P_p > \sum_s R_{ps})$ **do**

  $ps* \leftarrow \underset{pj|Q_{ps}=0}{\text{argmin}}\{Cu_{ps}\}$

  $Q_{ps*} \leftarrow 1$

  $R_{ps*} \leftarrow k_{ps*} - Q_{ps*}$

  $P_p \leftarrow P_p - 1$

end

while $(P_p > 0)$ **do**

  $ps* \leftarrow \underset{s|Q_{ps}>0}{\text{argmin}} \{Ca_{ps}\}$

  $L_p \leftarrow min\{R_{ps*}, P_p\}$

  $Q_{ps*} \leftarrow Q_{ps*} + L_p$

  $R_{ps*} \leftarrow k_{ps*} - Q_{ps*}$

  $P_p \leftarrow P_p - L_p$

end

Algorithme 1: Algorithme de réparation

incrémentant la quantité chez le fournisseur sélectionné d'une unité du produit considéré. Cette réparation reste valable lorsque une variation des données survient. Dans le cas où nous traitons la variabilité de la demande, la procédure de réparation permet de garantir la satisfaction de la demande totale du client et disposer ainsi de solutions admissibles. La contrainte 3.2 est donc satisfaite.

4.5 Algorithme génétique dynamique avec technique de mémorisation (D1-AG)

4.5.1 Les spécificités de l'algorithme (D1-AG)

Ce premier algorithme est basé essentiellement sur la technique de mémorisation des solutions pour les introduire dans les populations après les changements au niveau de la fonction objectif et/ou les contraintes. La réutilisation des solutions déjà trouvées permettra d'accélérer la convergence de l'algorithme et surtout gagner en temps de calcul devant

des variations très fréquentes dans un espace de temps réduit. Un aperçu sur les différentes étapes de cet algorithme est donné dans la figure 4.4.

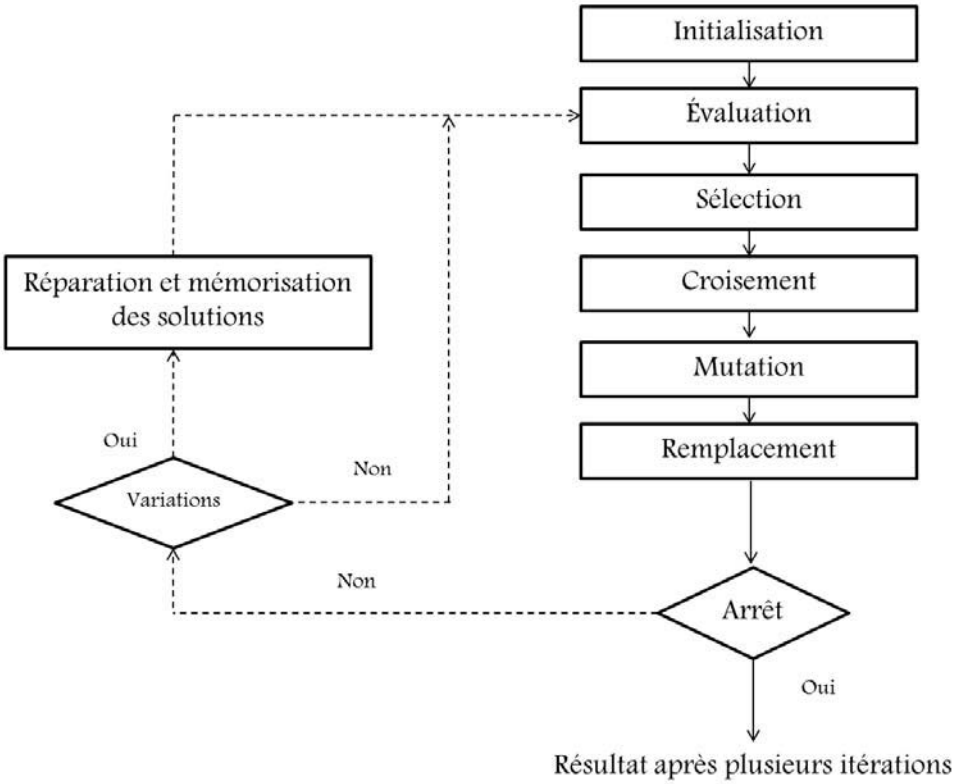

FIGURE 4.4 – L'algorithme génétique proposé (D1-AG)

4.5.1.1 Intérêt de l'utilisation des solutions mémorisées

– ***Avantages :***
L'utilisation de la technique de mémorisation s'avère efficace pour résoudre les problèmes avec les environnements cycliques. De plus elle peut être aussi adéquate, dans certains cas, pour l'accélération de la convergence de l'algorithme en diversifiant les solutions.

– ***Inconvénients :***

Certes, il existe des inconvénients dans l'utilisation des solutions mémorisées. Cette notion de résilience ne s'applique pas à tous les problèmes d'optimisation dynamique. De plus la mémorisation peut ne pas être assez bonne pour maintenir la diversité de la

population. En effet, les informations redondantes stockées dans la mémoire peuvent devenir obsolètes lorsque l'environnement change ce qui peut affecter les performances de l'algorithme.

4.5.1.2 Utilisation des solutions mémorisées dans la population initiale

- ***Décider du contenu de la mémoire :*** Dans la plupart des cas, les solutions mémorisées sont d'anciennes bonnes solutions. Néanmoins dans certaines circonstances, elles peuvent être des solutions diversifiées qui sont retenues pour la mémoire. Dans notre cas, nous avons décidé de garder des anciennes solutions en procédant à une réparation si elles ne sont pas admissibles.
- ***Décider comment mettre à jour la mémoire :*** Les nouveaux éléments sélectionnés doivent remplacer certains éléments existants dans la mémoire. Généralement on choisit de remplacer le membre le plus ancien dans la mémoire ou encore celui qui a le moins de contributions à la diversité de la population. Dans notre approche, on partira de la totalité de la dernière population en l'adaptant aux nouveaux paramètres du problème.
- ***Décider comment utiliser la mémoire :*** Idéalement, la mémoire devra être mise à jour après l'instant de changement. Dans certains cas on met à jour la mémoire à chaque génération. Au niveau de notre algorithme, dès qu'un changement est détecté, on utilise la mémoire pour les prochaines générations.

Dans ce que nous allons proposer, nous avons choisi d'utiliser une mémoire explicite qui regroupera l'ensemble de la population après les changements. En effet après l'initialisation de la population, si un changement est détecté, on répare la dernière solution des meilleurs individus pour les générations futures. L'algorithme 2 décrit les principales étapes de notre première solution.

4.6 Algorithme génétique dynamique avec les techniques de mémorisation et de diversification après variations (D2-AG)

4.6.1 Les spécificités de l'algorithme (D2-AG)

L'algorithme présenté ici est une extension du premier algorithme (D1-AG). Nous avons essayé de remédier aux inconvénients de la technique de mémorisation. Bien que l'hybridation de plusieurs techniques pour un même problème reste très peu exploitée au niveau de la

```
Result: Mémorisation
Initialiser la population
forall the G (Génération) do
    Évaluer chaque individu dans la population;
    if Apparition d'un changement then
        Mettre à jour et réparer la population;
        Utiliser les solutions mémorisées pour la nouvelle population;
    else
        Retour à l'étape d'évaluation;
    end
end
```

Algorithme 2: Mémorisation des solutions après les changements

littérature, l'utilisation de plusieurs approches nous a semble opportun en vue d'améliorer la convergence des algorithmes. La technique du maintien de la diversité ici va contribuer à garantir des populations diversifiées pendant le temps de recherche. La figure 4.5 met en relief le processus de l'algorithme que nous avons choisi d'adopter.

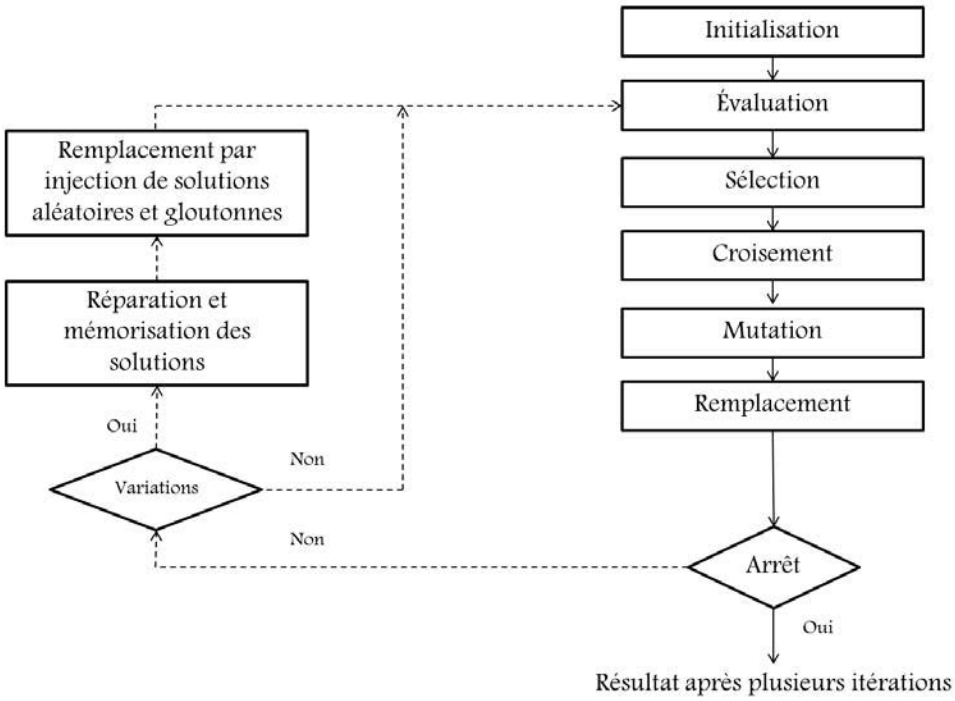

FIGURE 4.5 – L'algorithme génétique proposé (D2-AG)

4.6.1.1 Intérêt de l'utilisation de la diversification

- ***Avantages :***
  Maintenir la diversité est généralement efficace dans le cas où le problème traité peut être confronté à des changements de grande amplitudes et/ou rares. Cependant, dans le problème que nous voulons traiter, cette méthode devient importante pour éliminer la redondance causée par la technique de mémorisation.
- ***Inconvénients :***
  Dans certains cas, cette technique peut être une cause de ralentissement de l'algorithme. En effet, se focaliser en continu sur la diversité peut nuire au processus d'optimisation.

Partant du principe qu'une population largement répartie dans l'espace de recherche peut s'adapter plus efficacement dans le temps, nous avons mis en place une deuxième solution qui inclue une injection de nouvelles solutions avec les solutions déjà mémorisées. L'algorithme 4 illustre les principales étapes de cette recherche.

```
Result: Diversification
Initialiser la population
forall the G (Génération) do
    Évaluer chaque individu dans la population;
    if Apparition d'un changement then
        Ajouter de nouveaux individus pour diversifier la population;
        Produire une nouvelle population;
    else
        Retour à l'étape d'évaluation;
    end
end
```

Algorithme 3: Maintenir la diversité après les changements

4.6.1.2 Nature des solutions utilisées : un algorithme glouton

La première phase de notre algorithme est centrée sur la mémorisation des meilleurs individus avant les changements. Cela dit, la deuxième phase correspond à la construction d'une solution gloutonne à l'aide de la procédure de réparation mis en place auparavant. De plus nous remplacerons dans la même population deux solutions avec deux solutions construites aléatoirement. En effet, l'incorporation d'une composante aléatoire permet d'obtenir des solutions dans des zones diverses de l'espace des solutions.

Notre procédure gloutonne (Algorithme 5) est inspirée de notre procédure de réparation après changements et après croisements. Elle construit une solution en partant d'une

```
Result: Diversification et mémorisation
Initialiser la population
forall the G (Génération) do
    Évaluer chaque individu dans la population;
    if Apparition d'un changement then
        Mettre à jour et réparer la population;
        Utiliser les solutions mémorisées pour la nouvelle population;
        Ajouter de nouveaux individus pour diversifier la population;
        Produire une nouvelle population;
    else
        Retour à l'étape d'évaluation;
    end
end
```

Algorithme 4: Hybridation des techniques de diversité et de mémorisation

solution non-réalisable. Cette solution viendra remplacer le moins bon individu dans la dernière population avant changement. Les deux solutions aléatoires remplaceront deux solutions tirées aléatoirement dans cette population.

4.7 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter notre approche de résolution pour l'exemple d'application lié à la problématique d'approvisionnement. Cette approche résulte d'une démarche intégrant des besoins de réponses réactives face à des changements très fréquents ainsi qu'une méconnaissance sur les données futures. Le noyau des algorithmes développés se base sur les algorithmes génétiques. Des techniques de résolution basées sur l'utilisation d'une mémoire explicite ainsi que l'injection de nouvelles solutions pour maintenir la diversité ont été utilisées. Les approches de résolution statiques sont inadéquates pour la résolution du problème d'approvisionnement dynamique. En effet, après des changement au niveau de la fonction objectif et/ou des contraintes [Lepagnot 2011] :

- les solutions peuvent ne pas êtes admissibles pour le nouveau problème
- l'optimum global peut changer de position dans l'espace de recherche

Dans ce que nous avons développé jusqu'à maintenant, nous avons essayé de proposer des algorithmes pour la réévaluation des différentes solutions mémorisées pour qu'elles restent admissibles ainsi qu'une diversification suffisante pour pouvoir explorer l'espace de recherche.

Result: Heuristique gloutonne

$\forall\ s \in 1...ns \qquad \forall\ p \in 1...np$

$R_{ps} \leftarrow 0$

$P_p \leftarrow D_p$

while $(P_p > \sum_s R_{ps})$ **do**

  $ps* \leftarrow \underset{pj|Q_{ps}=0}{\text{argmin}}\{Cu_{ps}\}$

  $Q_{ps*} \leftarrow 1$

  $R_{ps*} \leftarrow k_{ps*} - Q_{ps*}$

  $P_p \leftarrow P_p - 1$

end

while $(P_p > 0)$ **do**

  $ps* \leftarrow \underset{s|Q_{ps}>0}{\text{argmin}} \qquad \{Ca_{ps}\}$

  $L_p \leftarrow min\{R_{ps*}, P_p\}$

  $Q_{ps*} \leftarrow Q_{ps*} + L_p$

  $R_{ps*} \leftarrow k_{ps*} - Q_{ps*}$

  $P_p \leftarrow P_p - L_p$

end

Algorithme 5: Algorithme glouton

La figure 4.6 illustre les différentes techniques mises en place pour la résolution. Après une phase d'initialisation l'algorithme entame une phase de diversification et d'exploitation. Lorsqu'un changement apparait, nous appliquerons les techniques mises en évidence précédemment. Ce chapitre a également été l'occasion de montrer l'aspect complémentaire entre deux approches qui peuvent être hybridées dans l'objectif de disposer d'un outil capable de s'adapter aux changements les plus fréquents au cours du temps.

Pour valider ces approches, le chapitre 5 mettra en relief les différentes expérimentations mises en place pour montrer la pertinence des résultats obtenus par rapport à l'objectif principal qui est la réduction des coûts. Une comparaison avec une approche de résolution statique nous aidera à dégager des conclusions pour ce qui va suivre.

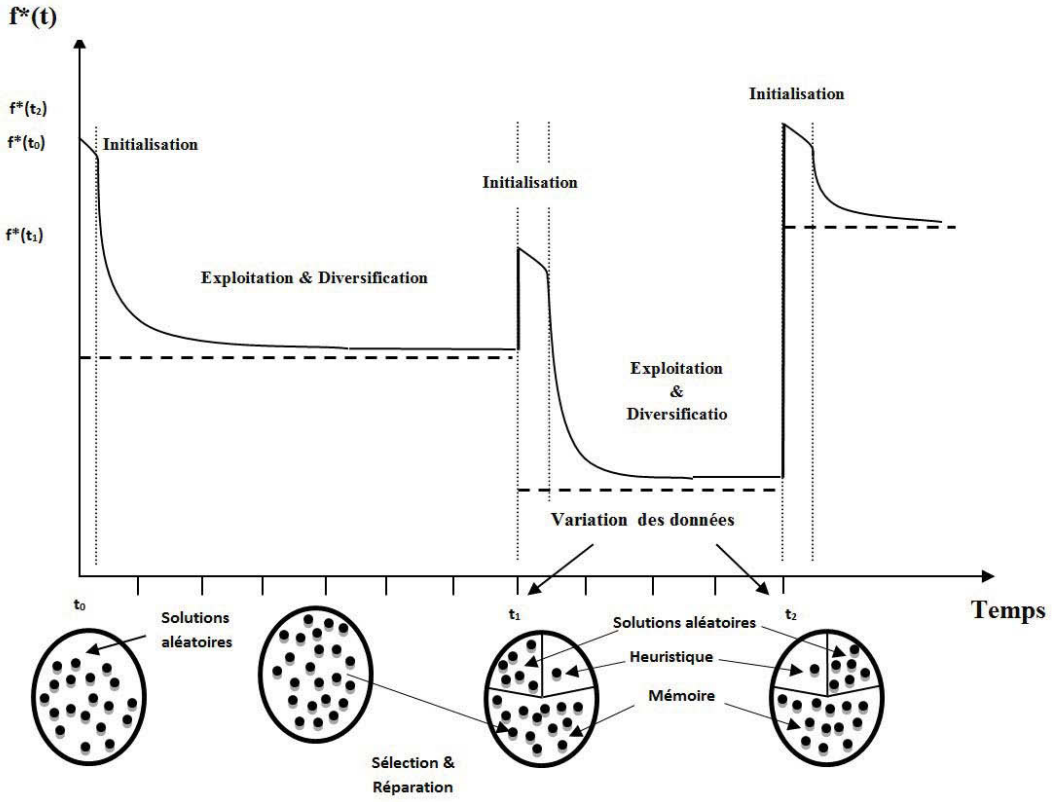

FIGURE 4.6 – Résumé des diverses techniques utilisées

Chapitre 5

Expérimentations

Sommaire

5.1 Introduction **93**

5.2 Étude expérimentale : paramètres et mesures de performances . **93**

5.2.1 Les paramètres 93

5.2.2 Les mesures de performances 94

5.3 Premier exemple d'application : variabilité des prix et des capacités chez les fournisseurs **95**

5.3.1 Élaboration des scénarios 95

5.3.2 Analyse des résultats 96

5.4 Deuxième exemple d'application : variabilité de la demande chez le client **100**

5.4.1 Élaboration des scénarios 100

5.4.2 Analyse des résultats 100

5.5 Troisième exemple d'application : variabilités asynchrones chez le client et les fournisseurs **104**

5.5.1 Élaboration des scénarios 104

5.5.2 Analyse des résultats 105

5.6 Conclusion **107**

« Ce que peut la vertu d'un homme ne se doit pas mesurer par ses efforts mais par son ordinaire. »

Blaise Pascal, Mélanges, fragment 616

Résumé :

Ce chapitre illustre le comportement des algorithmes détaillés dans le chapitre précédent. Selon diverses expérimentations, l'accent sera mis sur la réactivité de ces algorithmes face à des changements fréquents. À la lumière de cet objectif, nous mettrons en place des mesures de performances ainsi que des illustrations graphiques pour commenter les résultats obtenus.

5.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons trois expérimentations pour le problème d'approvisionnement en milieu volatile. Dans le premier cas, nous allons traiter ce problème en prenant en considération des variations asynchrones chez les fournisseurs pour une demande qui reste constante chez le client. La deuxième expérimentation traitera le cas contraire avec une demande qui devient variable alors que les paramètres chez les fournisseurs restent figés. Enfin, le troisième cas intégrera les deux premières expérimentations pour mettre l'accent sur le caractère asynchrone de la variation des données vis-à-vis du client et des fournisseurs. Ces trois scénarios seront testés sur les trois algorithmes proposés dans le chapitre précédent.

Dans ce qui va suivre, la première partie de ce chapitre sera consacrée à la définition des différent paramètres et mesures de performances que nous allons utiliser pour évaluer les algorithmes. Ensuite une analyse détaillée des trois cas va être mise en relief dans la deuxième partie.

5.2 Étude expérimentale : paramètres et mesures de performances

5.2.1 Les paramètres

Suite aux variations que subit la fonction objectif et les contraintes, l'idée est d'utiliser pour les mêmes instances un algorithme génétique statique qui génère à chaque fois une population aléatoire après chaque variation (GA) et deux algorithmes génétiques dynamiques qui partent des meilleures solutions calculées avant les changements pour le premier algorithme (D1-GA) et en ajoutant une technique de diversification par introduction de solutions gloutonnes pour l'algorithme (D2-AG). Pour cela, nous allons présenter des expérimentations qui portent sur le cas multi-produit. L'objectif est d'analyser le comportement de nos algorithmes pour chacune des instances présentées.

Les algorithmes sont codés avec le langage C. Les expérimentations sont générées aléatoirement. Tous les paramètres sont résumés dans le tableau 5.2. Les paramètres du problème traité sont résumés dans le tableau 5.1.

L'optimisation est faite sur 50 fournisseurs. La taille de la population est égale à 20 individus et les taux de croisement et de mutation sont respectivement de l'ordre de 0,8 et 0,2. Nous avons choisi de moyenner chaque expérimentation sur 10 réplications. L'algorithme est confronté à un ensemble de variations. Ces changements modifient à la hausse

Table 5.1 – Paramètres du problème

Paramètre	Valeurs
Nombre de produits	3
Nombre de fournisseurs	50
Prix unitaire d'achat	$[Cu_{ps}(min), Cu_{ps}(max)]$
Prix d'affectation	$[Ca_{ps}(min), Ca_{ps}(max)]$
Capacité des fournisseurs	$[K_{ps}(min), K_{ps}(max)]$
Demande du client	$[D_p(min), D_p(max)]$

ou à la baisse les quatre paramètres variant de notre problème.

Table 5.2 – Paramètres de l'algorithme génétique

	Valeurs
Fitness (z)	Coût total défini par l'équation 3.1
Taille de la population	20
Taux de croisement	0,8
Taux de mutation	0,2
Nombre maximum de générations	1200
Nombre de réplications	10

5.2.2 Les mesures de performances

Dans cette section, nous expliquerons en détail les indicateurs que nous avons adoptés pour mesurer la performance de chacun des algorithmes testés. Pour l'ensemble des expérimentations, nous avons défini trois mesures essentielles.

- ***Une valeur absolue :*** noté « ValeurAbs », cette valeur correspond au calcul de l'intégrale de chacune des courbes correspondant à nos trois algorithmes sur les 1200 générations. L'idée est d'agréger l'information contenue dans chaque courbe en une valeur unique.

$$ValeurAbs = \int_{Generation=0}^{Generation=1200} Z(x))\,\mathrm{d}x \quad | \quad Z(x) : fonction\ du\ cout$$

- ***Une borne inférieure :*** noté « BornInf ». Pour chaque génération, nous disposons normalement de 30 valeurs (les 10 runs de chacun des 3 algorithmes testés) parmi lesquelles nous pouvons conserver la plus petite qui correspond à la meilleure solution approchée connue pour cette génération, et puisque nous savons que les données du problème restent identiques entre deux générations, nous pouvons prendre la plus

petite valeur obtenue parmi ces générations successives pour obtenir cette borne inférieure.

- ***Un Gap moyen :*** en comparant l'intégrale de la courbe moyenne obtenue avec un algorithme donné avec l'intégrale de la courbe formée par la borne inférieure, nous pouvons obtenir un gap qui sera donné par la formule suivante :

$$Gapmoyen = \frac{BorneInf - ValeurAbs}{ValeurAbs} \times 100$$

5.3 Premier exemple d'application : variabilité des prix et des capacités chez les fournisseurs

5.3.1 Élaboration des scénarios

Dans ce premier cas, nous nous intéresserons à la variabilité des paramètres auprès des fournisseurs. Pour une demande constante dans le temps, les variations vont affecter :

- ***Le prix d'achat***
- ***Le prix d'affectation***
- ***La capacité du fournisseur***

Nous avons testé 27 scénarios. Chacun d'eux est composé de 5 instances. Les changements étudiés dans les scénarios concernent l'importance des variations subies par les prix d'achat et d'affectation ainsi que la capacité des fournisseurs. La figure 5.1 met en relief les différents scénarios étudiés. Par exemple, le premier scénario intègre 5 variations qui touchent un seul fournisseur avec un pourcentage de variation équivalent à 5%.

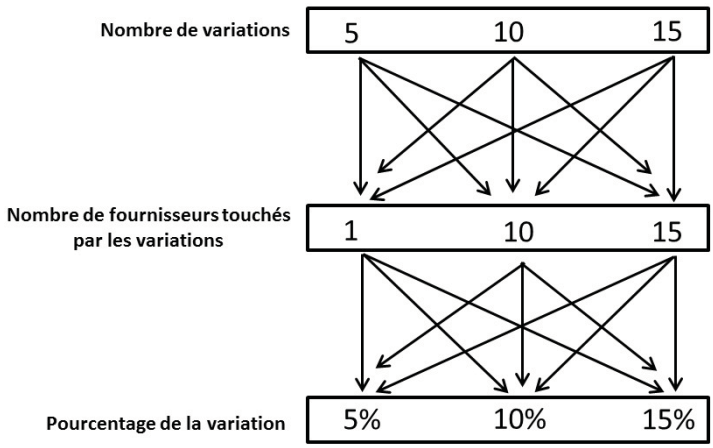

FIGURE 5.1 – Résumé du plan d'expérience pour les différents scénarios utilisés

5.3.2 Analyse des résultats

Après expérimentations, l'ensemble des résultats obtenus pour les 135 instances testées pour ce cas sont détaillées dans l'annexe A.

D'une manière générale, pour ce premier cas, le comportement des algorithmes s'améliore au fur et à mesure à chaque fois qu'on utilise une nouvelle technique d'optimisation. En effet, pour tous les cas testés, l'algorithme génétique statique peine à converger rapidement après la variation des données chez des fournisseurs. Partant d'une nouvelle population après chaque changement, l'optimum s'éloigne dans l'espace de recherche laissant place à une nouvelle recherche basée sur des solutions aléatoires.

Bien que les trois algorithmes convergent de la même manière après la configuration initiale, les algorithmes génétiques dynamiques (D1-AG) et (D2-AG) s'adaptent plus rapidement aux changements que l'algorithme statique. Le fait de partir des meilleures solutions après chaque variation s'avère plus efficace que de régénérer une population initiale aléatoire. La figure 5.2 illustre le comportement de nos trois algorithmes sur une instance avec 15 variations touchant 10 fournisseurs avec un degré de variation de 15%.

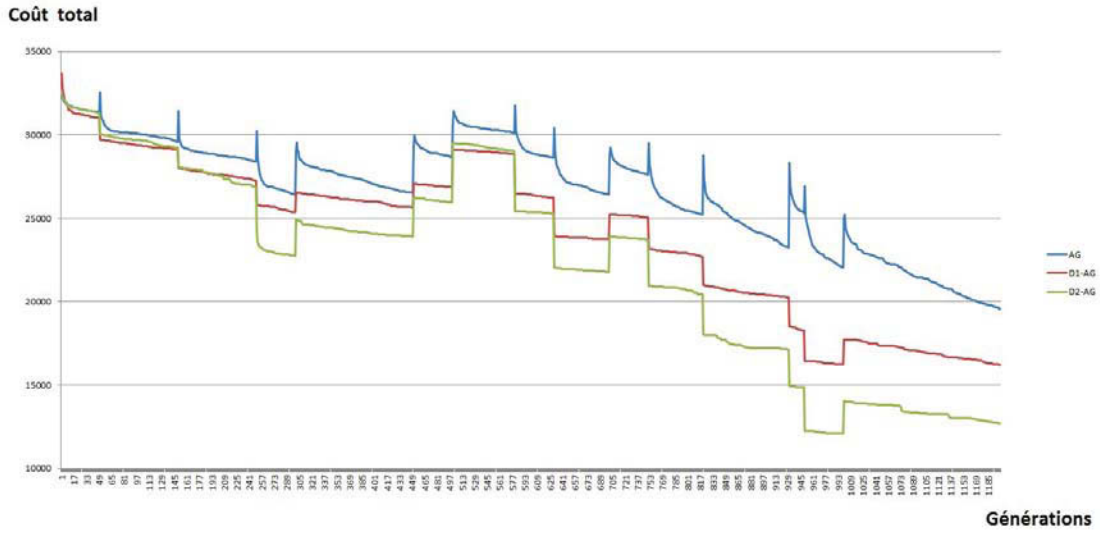

FIGURE 5.2 – Comportement des trois algorithmes pour le cas de 15 chargements sur 10 fournisseurs avec une variation de 15%

Pour la suite de notre analyse, nous avons décidé d'observer l'évolution du Gap moyen calculé sur l'ensemble des scénarios testés selon trois paramètres :

- Le pourcentage de variation

- Le nombre de variations
- Le nombre de fournisseurs

Pour le premier paramètre, l'évolution des écarts enregistrés connait un saut de l'ordre de 4% pour les algorithmes (AG) et (D1-AG) par rapports au changement du degré de variations. Cette évolution reste constante pour l'algorithme (D2-AG). L'écart observé est important pour l'algorithme statique (AG) avec une moyenne de 12,11% sur l'ensemble des variations. L'algorithme dynamique (D2-AG) reste constant et donne des bons résultats sur l'ensemble des degrés de variations avec un Gap moyen de 4,26% par rapport à la borne inférieure calculée. Dans ce cas de figure, l'algorithme génétique statique perd en performance au fil du temps selon l'intensité des variations par rapport aux algorithmes dynamiques. Le tableau 5.3 et la figure 5.3 illustrent cette première analyse.

TABLE 5.3 – Évolution du Gap moyen par algorithme selon le degré de variation

Degré de variations	Gap moyen AG	Gap moyen D1-AG	Gap moyen D2-AG
5	9,77%	7,41%	3,99%
10	13,34%	10,78%	4,13%
15	13,22%	11,23%	4,67%

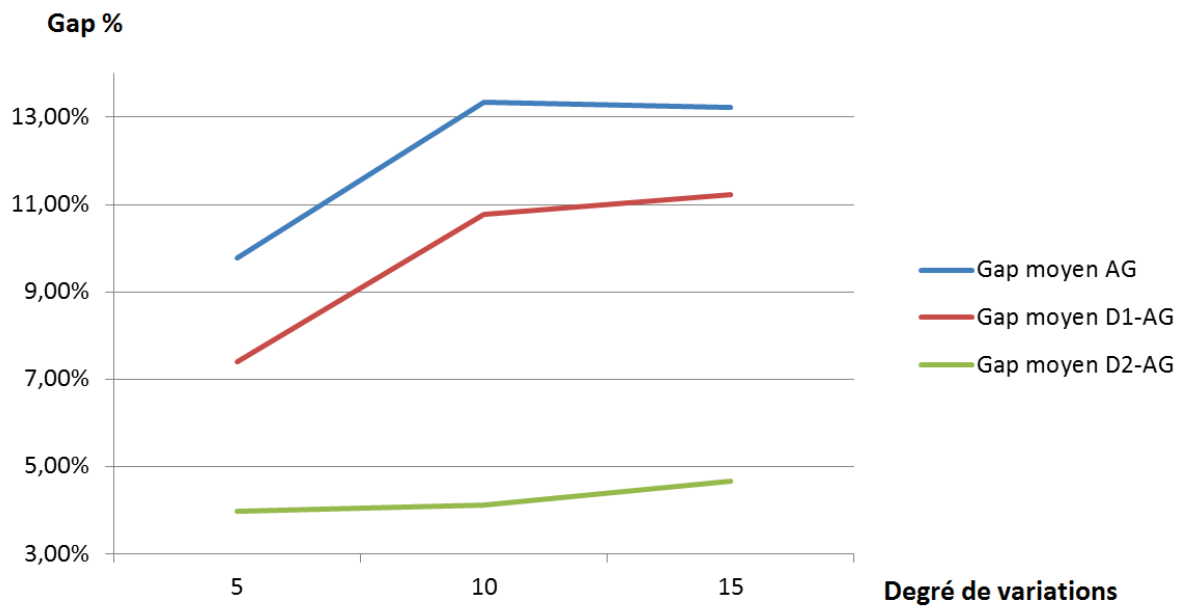

FIGURE 5.3 – Gap moyen par algorithme selon le degré de variation

Le deuxième paramètre ; à savoir le nombre de changements enregistrés, connait le même essor que le premier. En effet, l'évolution des algorithmes (AG) et (D1-AG) connait un écart moyen de 9% en passant de 5 à 10 changements et diminue de 4% pour le cas où on passe à 15 variations. Cette évolution reste constante pour l'algorithme (D2-AG). En regardant les résultats sur l'ensemble des variations observées pour une intensité de 15%, l'écart noté reste important pour l'algorithme statique (AG) avec une moyenne de 13,22%. L'algorithme dynamique (D2-AG) reste constant et donne des bons résultats sur l'ensemble des degrés de variations avec un Gap moyen de 4,67% par rapport à la borne inférieure calculée. Le tableau 5.4 et la figure 5.4 illustrent cette première analyse.

TABLE 5.4 – Évolution du Gap moyen par algorithme selon le nombre de changements

Nombre de chamgements	Gap moyen AG	Gap moyen D1-AG	Gap moyen D2-AG
5	7,78%	5,57%	3,71%
10	16,12%	14,44%	5,05%
15	12,43%	9,41%	4,03%

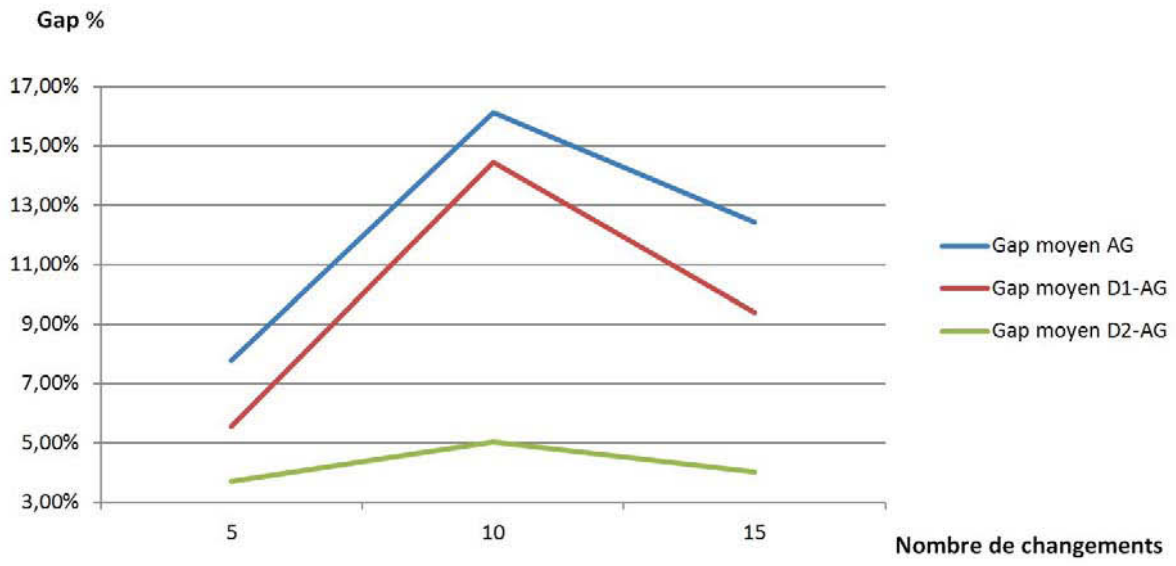

FIGURE 5.4 – Gap moyen par algorithme selon le nombre de changements

Pour le troisième paramètre, l'évolution des écarts enregistrés connait des sauts variables entre les trois algorithmes testés. En effet, bien que l'algorithme dynamique (D2-AG) reste toujours constant par rapport à la fréquence des changements enregistrés et donne toujours de bons résultats, l'algorithme dynamique (D1-AG) perd en performance

lorsque le nombre des fournisseurs affectés par les variations passe de 5 à 10. Nous enregistrons un écart de 6% dans le cas statique contre 8% pour l'algorithme (D1-AG). En moyenne l'algorithme (D1-AG) donne des résultats meilleurs que l'algorithme statique (AG) sur l'ensemble des scénarios. Le tableau 5.5 et la figure 5.5 illustrent cette première analyse.

TABLE 5.5 – Évolution du Gap moyen par algorithme selon le nombre de fournisseurs

Nombre de fournisseurs	Gap moyen AG	Gap moyen D1-AG	Gap moyen D2-AG
1	6,28%	3,93%	3,38%
5	11,80%	9,42%	4,40%
10	18,26%	16,06%	5,00%

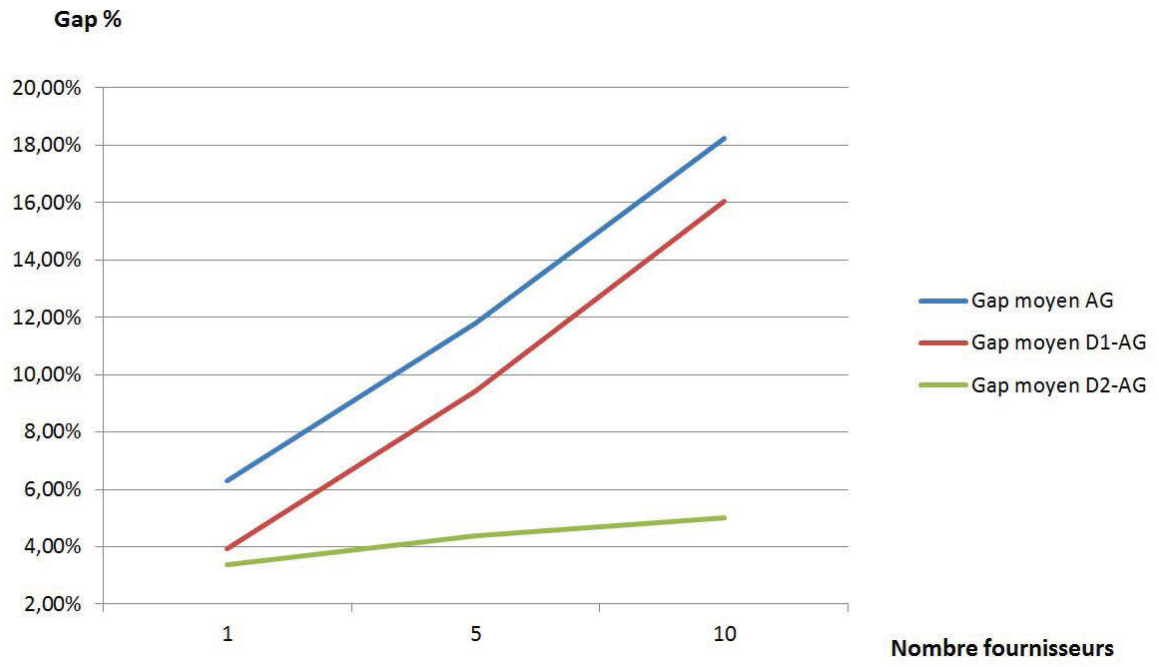

FIGURE 5.5 – Gap moyen par algorithme selon le nombre de fournisseurs

Les résultats obtenus dans toutes les instances semblent en adéquation avec la finalité de rechercher une réactivité en réponse à des variations dans le temps. Les algorithmes génétiques dynamiques montrent une efficacité en termes de maîtrise des coûts ainsi qu'une réactivité justifiée par l'utilisation des informations stockées en mémoire ainsi que l'injection de solutions gloutonnes. Afin de comparer les résultats des deux algorithmes, nous nous sommes intéressés à la performance des deux algorithmes mis en relief en intégrant

cette performance dans le temps. Nous allons s'intéresser, dans ce qui suit, au cas de la variabilité de la demande.

5.4 Deuxième exemple d'application : variabilité de la demande chez le client

5.4.1 Élaboration des scénarios

Dans ce deuxième cas, nous nous intéresserons à la variabilité des paramètres auprès du client. Dans ce cas, les variations vont affecter :

– ***La demande du client***

Comme dans le premier cas, nous avons testé 27 scénarios. Chacun d'eux est composé de 5 instances. Les changements étudiés dans les scénarios concernent la demande du client pour trois produits différents. La figure 5.6 met en relief les différents scénarios étudiés. Par exemple, le premier scénario intègre 5 variations qui touchent un seul produit avec un pourcentage de variation équivalent à 5%.

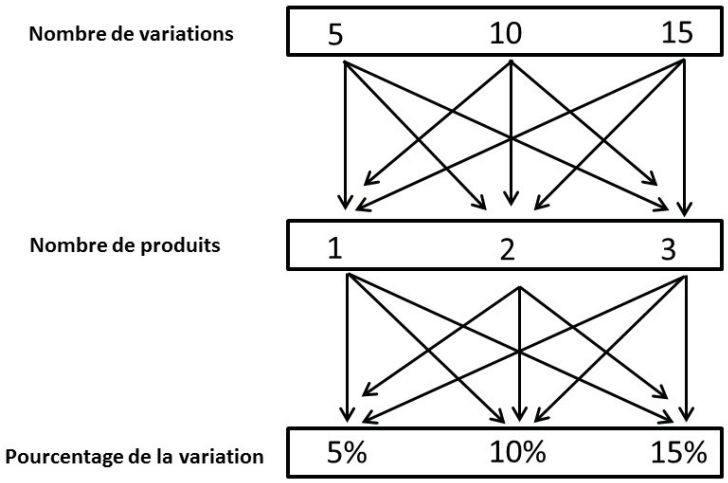

FIGURE 5.6 – Résumé du plan d'expérience pour les différents scénarios utilisés

5.4.2 Analyse des résultats

Après expérimentations, l'ensemble des résultats obtenus pour les 135 instances testées pour ce cas sont détaillées dans l'annexe B.

Comme pour le premier cas d'application, le comportement des algorithmes s'améliore au fur et à mesure à chaque fois qu'on utilise une nouvelle technique d'optimisation dans la cas où la demande varie. En effet, pour tous les cas testés, l'algorithme génétique statique trouve des difficultés à converger rapidement après la variation de la demande. Partant d'une nouvelle population après chaque changement, l'optimum s'éloigne dans l'espace de recherche laissant place à une nouvelle recherche basée sur des solutions aléatoires.

Bien que les trois algorithmes convergent de la même manière après la configuration initiale, les algorithmes génétiques dynamiques (D1-AG) et (D2-AG) s'adaptent plus rapidement aux changements que l'algorithme statique. Le fait de partir des meilleures solutions après chaque variation s'avère plus efficace que de régénérer une population initiale aléatoire. La figure 5.7 illustre le comportement de nos trois algorithmes sur une instance avec 15 variations touchant 3 produits avec un degré de variation de 15%.

Contrairement au premier exemple, ce qui nous interpelle dans ce deuxième cas d'application c'est le comportement des algorithmes dynamiques (D1-AG) et (D2-AG) par rapport à l'algorithme (AG). En effet, suite aux différentes variations de la demande qui augmente dans la majorité des cas, nous remarquons que les algorithmes dynamiques continuent à converger d'une façon continue, à part quelques pics qui concernent l'algorithme (D1-AG). Cela laisse à penser que vu qu'il y a un seul paramètre qui varie (la demande du client), les algorithmes dynamiques ont tendance à réutiliser des solutions admissibles après variation des données. La courbe verte qui correspond au comportement de l'algorithme (D2-AG) illustre de manière claire ce phénomène.

Pour la suite de notre analyse, nous avons décidé d'observer l'évolution du Gap moyen calculé sur l'ensemble des scénarios testés selon trois paramètres utilisés dans le premier cas d'application :

- Le pourcentage de variation
- Le nombre de variations
- Le nombre de produits

Au regard des gaps moyens calculés, les résultats obtenus sont en adéquation avec ceux obtenus dans la section précédente. Les résultats sont cependant moins bons sur toutes les instances pour le cas de l'algorithme génétiques classique. En effet, nous enregistrons un Gap moyen de 34,7 % l'ensemble des expérimentations. Ce pourcentage connaît une augmentation aussi au niveau du premier algorithme dynamique (D1-AG) avec 16,68% mais demeure stable pour le deuxième algorithme dynamique avec 3,87%.

Maintenant que nous avons observé le comportement de nos algorithmes dans le cas de la variation de la demande, nous allons nous intéresser à l'évolution des paramètres liés aux fournisseurs afin de juger de la pertinence du choix de la méthode pour chaque scénario.

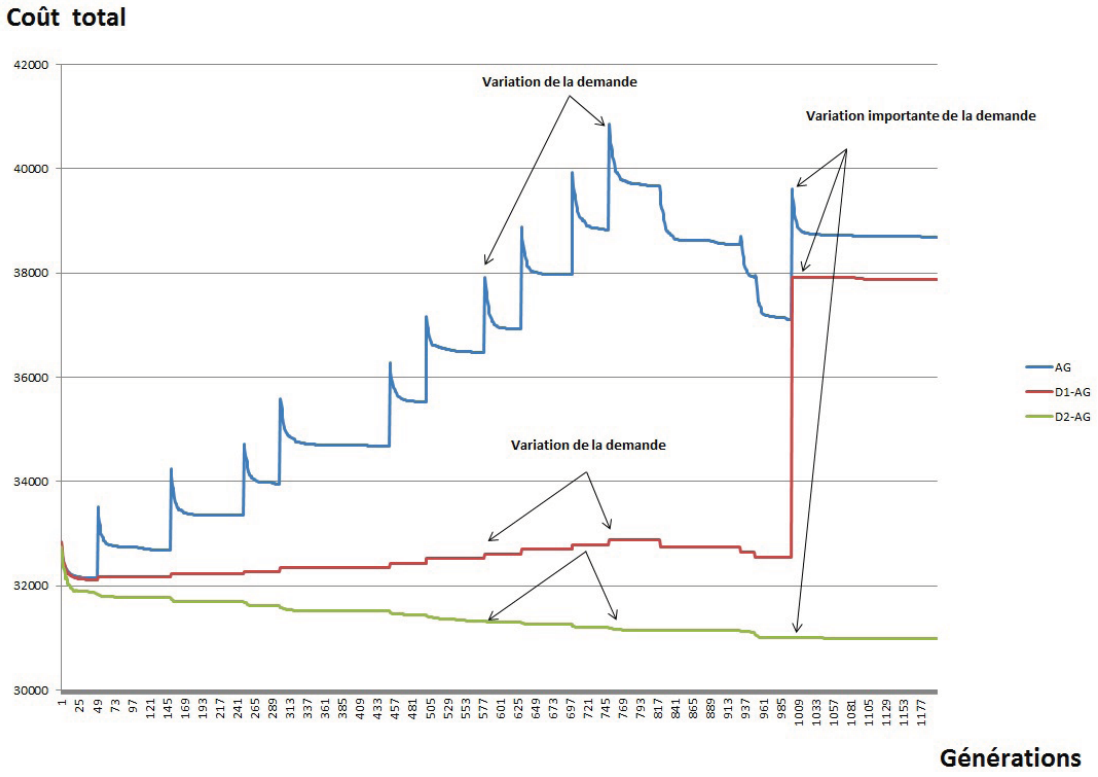

FIGURE 5.7 – Comportement des trois algorithmes pour le cas de 15 changements sur 1 produit avec une variation de 15%

TABLE 5.6 – Évolution du Gap moyen par algorithme selon le degré de variations

Degré de variations	Gap moyen AG	Gap moyen D1-AG	Gap moyen D2-AG
5	29,55%	14,86%	3,96%
10	38,86%	18,68%	3,93%
15	35,68%	16,50%	3,71%

Sur la base des tableaux récapitulatifs 5.6, 5.7, 5.8, nous constatons que l'évolution est toujours variable pour les algortihmes (AG) et (D1-AG) en dépit de la nature ou le nombre des variations enregistrées. Ces évolutions sont suivies par un écart important qui atteint 43,02% pour le cas d'une variation de la demande sur 3 produits pour l'algorithme

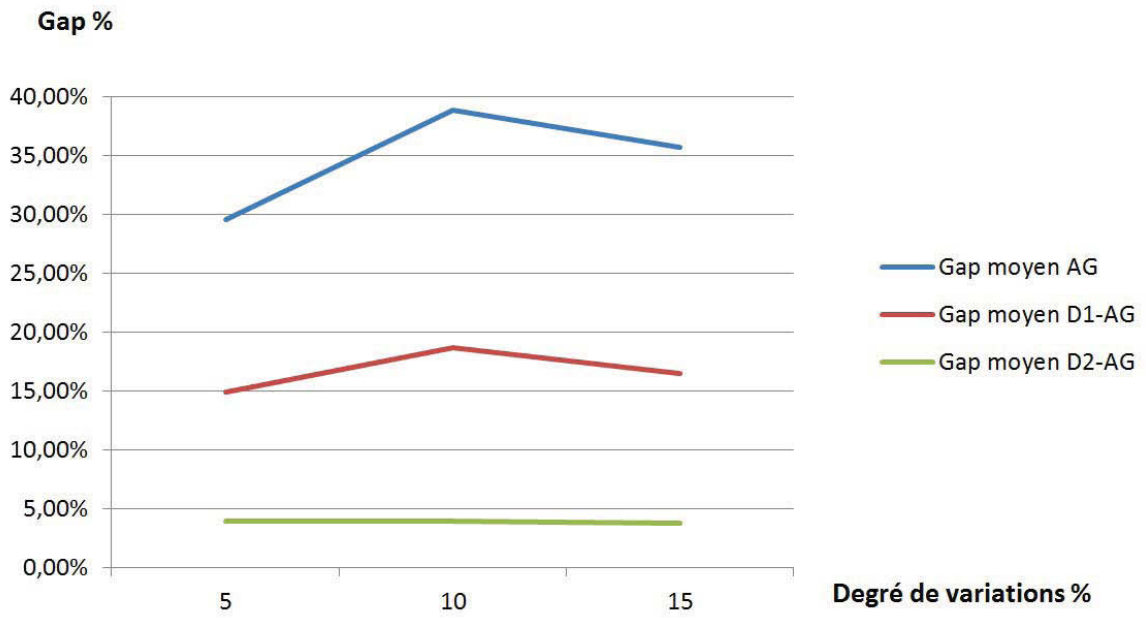

FIGURE 5.8 – Gap moyen par algorithme selon le nombre de variations

TABLE 5.7 – Évolution du Gap moyen par algorithme selon le nombre de changements

Nombre de changements	Gap moyen AG	Gap moyen D1-AG	Gap moyen D2-AG
5	21,26%	10,61%	3,38%
10	42,12%	19,03%	4,28%
15	40,71%	20,40%	3,95%

(AG). Néanmoins notre algorithme de résolution dynamique (D2-AG) continue à donner les meilleurs résultats avec un gap moyen qui ne dépasse pas 4,52%.

Pour l'algorithme statique, les variations peuvent s'expliquer par le fait que lorsque nous enregistrons des variations importantes pour des instances différentes, les paramètres de cet algorithme deviennent inadaptés. En effet, tout au long de la recherche d'optimum les taux de mutation et de croisement restent fixes. Ce cas de figure est valable aussi pour les algorithmes dynamiques mais avec moins d'importance en raison des techniques de mémorisation et de diversification utilisées. Les figures 5.8, 5.9, 5.10 illustrent l'évolution des gap moyens selon les différents paramètres étudiés.

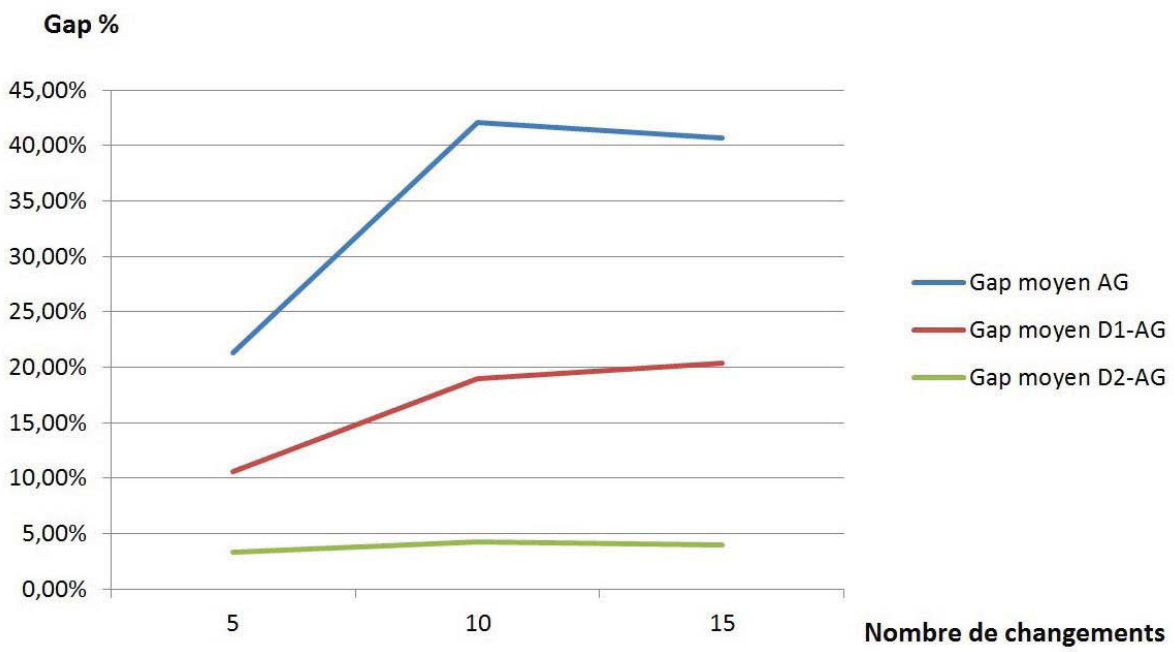

FIGURE 5.9 – Gap moyen par algorithme selon le nombre de changements

TABLE 5.8 – Évolution du Gap moyen par algorithme selon le nombre de produits

Nombre de produits	Gap moyen AG	Gap moyen D1-AG	Gap moyen D2-AG
1	27,67%	12,08%	3,36%
2	33,40%	15,51%	3,72%
3	43,02%	22,45%	4,52%

5.5 Troisième exemple d'application : variabilités asynchrones chez le client et les fournisseurs

5.5.1 Élaboration des scénarios

Dans ce troisième cas, nous nous intéresserons à la variabilité des paramètres auprès du client et des fournisseurs simultanément. L'objectif est mettre l'accent sur le caractère asynchrone des variations. En effet, jusqu'à maintenant, nous nous sommes focaliser sur des variations fréquentes certes mais touchant de manière synchronisée tous les paramètres variables à chaque fois. Ces changements touchent dans chacun des cas les fournisseurs ou le client. Dans ce genre de problématique, l'arrivée des demandes du client et la variation de capacité chez le fournisseur, par exemple, sont souvent asynchrones. Dans ce cas, les

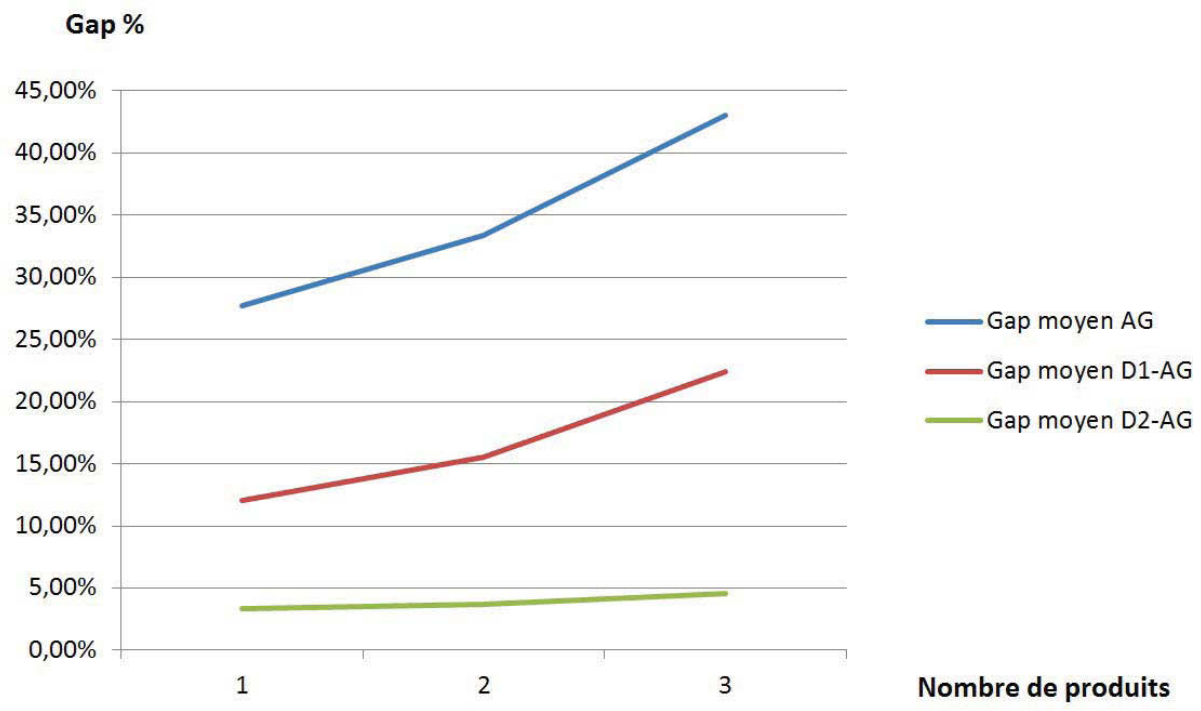

FIGURE 5.10 – Gap moyen par algorithme selon le nombre de produits

variations vont affecter :

- ***La demande du client***
- ***Le prix d'achat***
- ***Le prix d'affectation***
- ***La capacité du fournisseur***

Nous avons testé ici 9 scénarios. Chacun d'eux est composé de 5 instances. Les changements étudiés dans les scénarios concernent la demande du client pour trois produits différents. Suite aux résultats des anciens exemples, nous avons choisi de fixer le nombre de changements à 15 et le nombre de produits à 3. La figure 5.11 met en relief les différents scénarios étudiés. Par exemple, le premier scénario intègre 15 variations qui touchent trois produits et un seul fournisseur avec un pourcentage de variation équivalent à 5%. Il est à noter que la courbe rouge relative à l'algorithme (D1-AG) semble droite sur la courbe. Cela est dû aux petites variations et l'échelle adoptée pour ce cas.

5.5.2 Analyse des résultats

Après expérimentations, l'ensemble des résultats obtenus pour les 135 instances testées pour ce cas sont détaillées dans l'annexe C.

Dans cet exemple, l'accent est mis sur le caractère asynchrone des données du problème.

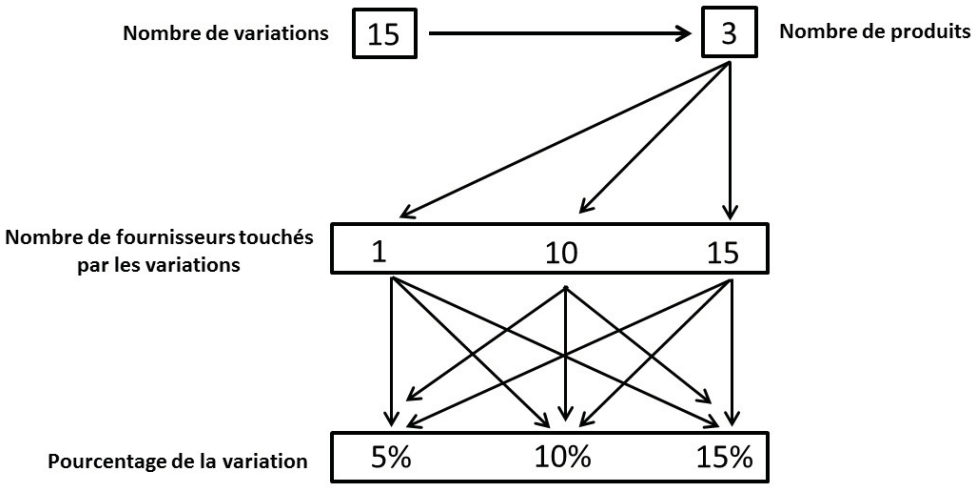

FIGURE 5.11 – Résumé du plan d'expérience pour les différents scénarios utilisés

L'objectif serait d'étudier la sensibilité de nos algorithmes non seulement pour les degrés de variations enregistrés mais aussi pour la concomitance des paramètres variables du point de vue du client et des fournisseurs.

Comme dans les deux autres exemples, les trois algorithmes convergent de la même manière après la configuration initiale. Dans l'ensemble, les algorithmes génétiques dynamiques (D1-AG) et (D2-AG) s'adaptent plus rapidement aux changements que l'algorithme statique. Néanmoins dans cet exemple et suite à des variations importantes au niveau de la demande du client à la fin de la période d'optimisation, l'algorithme dynamique (D1-AG) peine à converger. Le fait de réutiliser des solutions admissibles sans diversité bloque l'algorithme au profit d'une convergence plus rapide pour l'algorithme statique (AG). La figure 5.12 illustre le comportement de nos trois algorithmes sur une instance avec 15 variations touchant 3 produits avec un degré de variation de 15%.

Dans ce qui suit, nous avons décidé d'observer l'évolution du Gap moyen calculé sur l'ensemble des scénarios testés selon trois paramètres utilisés dans les deux premiers exemples.

Au regard des gaps moyens calculés, les résultats obtenus sont en adéquation avec ceux obtenus dans les exemples précédents. Nous enregistrons un Gap moyen de 45,08 % pour l'algorithme statique ainsi que des écarts de 23,16% et 4,13% pour les deux algorithmes (D1-AG) et (D2-AG) respectivement et ce pour 15 variations sur une période d'approvisionnement (tableau 5.9). En effet, cet écart est de l'ordre de 3% et 8% lorsque nous passons, respectivement à 5 et 10 fournisseurs pour l'algorithme statique. L'écart noté au niveau de l'algorithme (D1-AG) est de 4% et 8.5% (tableau 5.10). Des résultats détaillés

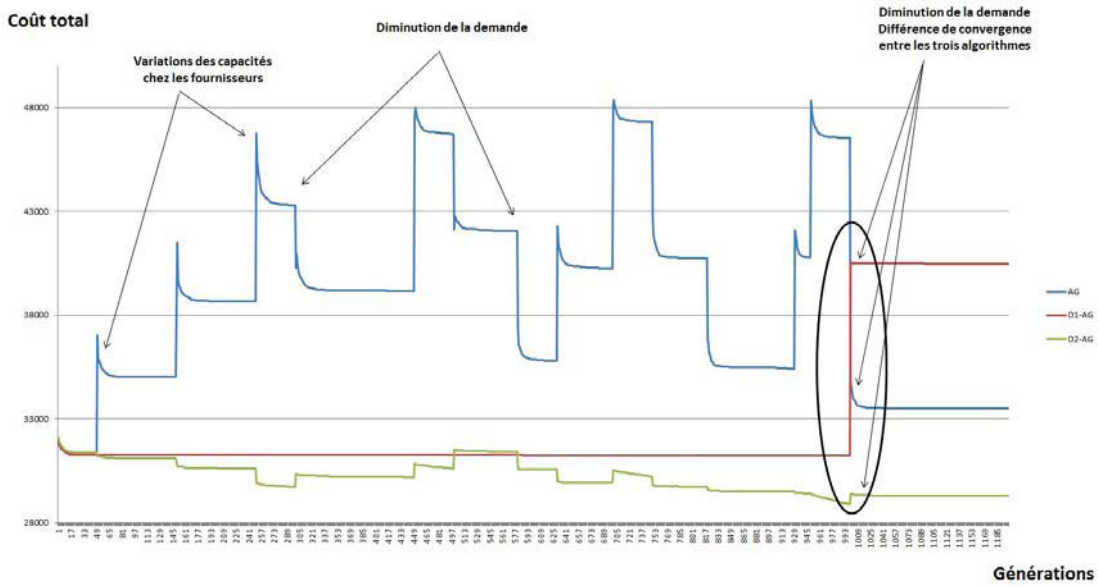

FIGURE 5.12 – Comportement des trois algorithmes pour le cas de 15 changements sur 3 produits et 10 fournisseurs avec une variation de 15%

concernant l'évolution des écarts selon le nombre des fournisseurs ainsi que les degrés de variations sont donnés par le tableau 5.12.

Cela dit, D'après les résultats, l'algorithme (D2-AG) continue à fournir les meilleurs résultats avec des écarts de performance important par rapport aux deux autres algorithmes.

TABLE 5.9 – Évolution du Gap moyen par algorithme selon le nombre de variations

Nombre de chamgements	Gap moyen AG	Gap moyen D1-AG	Gap moyen D2-AG
15	45,08%	23,16%	4,13%

5.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons testé les différents algorithmes que nous avons présentés au chapitre 4 et analysé leurs performances. Nous nous sommes appuyés pour cela sur une gamme d'instances générées aléatoirement. Ces expérimentations numériques ont permis de mettre en évidence l'intérêt des algorithmes génétiques dynamiques pour traiter le problème d'approvisionnement agile. En effet, ils se sont avérés très efficaces pour assurer une réactivité face à des changements asynchrones dans le temps. Ils ont ainsi permis d'améliorer de manière significative les résultats obtenus avec un algorithme génétique

Table 5.10 – Évolution du Gap moyen par algorithme selon le degré de variations

Degré de variations	Gap moyen AG	Gap moyen D1-AG	Gap moyen D2-AG
5	48,68%	24,44%	4,81%
10	46,58%	25,50%	4,00%
15	39,98%	19,53%	3,58%

Table 5.11 – Évolution du Gap moyen par algorithme selon le nombre de fournisseurs

Nombre de fournisseurs	Gap moyen AG	Gap moyen D1-AG	Gap moyen D2-AG
1	40,96%	18,25%	4,06%
5	43,04%	21,29%	3,49%
10	51,24%	29,93%	4,84%

Table 5.12 – Évolution du Gap moyen par algorithme selon le degré de variations et le nombre de fournisseurs

# Fournisseur(s) et % Variations	Gap AG	Gap D1-AG	Gap D2-AG
1	**40,96%**	**18,25%**	**4,06%**
5	48,54%	23,63%	4,47%
10	38,00%	15,94%	4,01%
15	36,33%	15,17%	3,69%
5	**43,04%**	**21,29%**	**3,49%**
5	43,80%	19,82%	4,63%
10	47,99%	27,04%	3,22%
15	37,35%	17,01%	2,62%
10	**51,24%**	**29,93%**	**4,84%**
5	53,69%	29,86%	5,33%
10	53,76%	33,53%	4,76%
15	46,26%	26,41%	4,42%
Moyenne des Gaps	**45,08%**	**23,16%**	**4,13%**

classique. L'ensemble de ces expérimentations nous a donc permis, selon les scénarios testés de fixer un périmètre de l'approche proposée et de donner donc la méthode adéquate pour chacun des cas de figures analysés.

Conclusion générale

Pour faire face à un marché de plus en plus concurrentiel, les entreprises se doivent d'être compétitives pour répondre de manière rapide aux attentes de leurs clients. Ces dernières années, une attention particulière a été portée sur *les technologies de l'information*.

Dans ce contexte particulier, certaines chaînes d'approvisionnement commencent à opter pour des techniques d'achats qui ont pour caractéristiques un échange instantané entre les fournisseurs et les clients. Ce procédé permet aux décideurs de mettre en concurrence directe plusieurs prestataires via Internet et une plateforme servant d'interface entre les différents protagonistes.

Le e-Commerce, les systèmes d'enchères et les systèmes d'enchères inversées en ligne, s'inscrivent parfaitement dans cette logique et offrent à l'utilisateur un choix multiple pour s'approvisionner rapidement, à moindre coût et dans les meilleurs délais.

Pour la plupart d'entreprises, l'utilisation de ces technologies est, sans doute, un moyen qui permet à l'entreprise de gagner en compétitivité. Il est donc nécessaire de se doter de moyens d'optimisation pour tirer, d'abord, le maximum de profit et d'assurer, ensuite, les meilleures performances de ces systèmes de e-Commerce et d'enchères.

Par conséquent, il nous a semblé nécessaire de de faire une thèse sur le mode de fonctionnement de ces techniques d'approvisionnement. Nous avons alors cherché à concevoir des algorithmes d'optimisation dynamique des approvisionnements pour des *chaînes logistiques agiles* qui ne soient pas uniquement performants mais aussi réactifs à des variations fréquentes dans le temps.

Contrairement aux modes d'approvisionnement classiques qui se basent sur des périodes prédéfinies, l'approvisionnement agile ne suit pas cette même logique. En effet, les méthodes proposées pour le premier cas ne sont pas en adéquation avec la réalité des nouveaux marchés et les nouveaux outils utilisés. La cadence des variations est tellement fréquente qu'il est très difficile de ré-optimiser à chaque nouveau changement.

Pour cela, nous avons mis en évidence :

- Un état de l'art sur les nouveaux modes d'approvisionnement
- Un modèle mathématique en adéquation avec la volatilité des marchés
- Une approche de résolution adaptée à ces variations fréquentes

L'objectif de ce travail de recherche était donc d'apporter des éléments d'optimisation réactives pour concevoir des algorithmes capables de faire face à des *variations asynchrones* qui caractérisent ce genre de problématiques.

Dans ce contexte, l'*optimisation dynamique* a montré des résultats encourageants dans la résolution des problèmes dont les données évoluent en fonction du temps, le but étant de chercher une solution non stationnaire qui évolue selon la variation des paramètres de la problématique abordée. L'utilisation de cette méthode au niveau des chaînes logistiques (en tout cas à notre connaissance) n'a pas encore été faite et nous a semblé adéquate à la problématique que nous avons traitée.

Dans cet esprit, nous avons cherché à expliciter trois configurations possibles pour une chaîne d'approvisionnement à deux échelons (fournisseurs-client) :

- Un cas de variations de données des fournisseurs
- Un cas de variations de la demande du client
- Un cas de variations asynchrones de données des fournisseurs et des clients

Ces trois configurations ont ensuite testées sur trois algorithmes différents

- Un algorithme génétique statique (AG)
- Un algorithme génétique dynamique (D1-AG) avec une technique de mémorisation
- Un algorithme génétique dynamique (D2-AG) avec une technique de mémorisation et une technique de diversification

Les résultats obtenus semblent être en adéquation avec notre objectif. L'algorithme (D2-AG) a montré des résultats constants sur toutes les instances testées assurant ainsi au client une solution proche de l'optimum au cours du temps.

L'approche que nous avons proposé dans cette thèse a montré son intérêt dans un contexte où l'évolution des données demeure inconnue, ce qui empêche d'utiliser des méthodes d'optimisation classiques. Ces premiers résultats s'inscrivent dans un processus qui a pour finalité la *re-configuration dynamique* de la chaîne logistique.

Perspectives

Les prochaines directions de recherche vont concerner le modèle proposé et la méthode de résolution.

Le modèle

Dans un premier temps, l'approche proposée peut être étendue à une chaîne logistique globale constituée de plusieurs maillons qui travaillent en étroite collaboration via des systèmes d'information. La seule condition serait d'avoir une information claire et précise et ce instantanément afin de respecter les règles d'équité entre les échelons qui forment ce réseau.

Dans cet esprit, l'idée serait de laisser notre approche adaptable pour plusieurs cas d'application pour des chaînes logistiques agiles. Bien que nous n'avons pas considéré des coûts de re-cnofiguration lié au changement de la structure de la chaîne logistique considérée, ces derniers peuvent être pris en considération pour des chaînes plus étendus intégrant d'autres opérations et d'autres acteurs.

D'autres variantes liées au transport multimodal, par exemple, peuvent être incluses dans la sélection des fournisseurs et viendront donner plus d'ampleur aux différentes activités logistiques que nous pouvons aborder dans ce contexte.

La méthode

Le gain de l'algorithme dynamique est lié en partie au fait que les solutions obtenues suite à la variation des paramètres sont proches des solutions précédentes. Ce qui laisserait penser que les variations de paramètres ont peu d'impact. Dans le cas de variations qui conduiraient à une solution éloignée de la solution précédente, nous avons observé que l'algorithme génétique statique donne de meilleurs résultats que l'algorithme (D1-AG).

L'aspect dynamique apparaît lors de la modification de quelques paramètres puisque l'algorithme génétique repart de la population disponible à la fin de l'optimisation précédente. Cela permet une convergence plus rapide de l'algorithme puisqu'on peut légitimement considérer que la population est donc peu diversifiée. Cependant, cela suppose que les espaces de décisions et les critères n'aient pas considérablement variés.

Ceci est parti de l'hypothèse qui corrèle implicitement le faible changement des espaces de décisions et de critères à la faible variation des paramètres. Néanmoins, il existe bien des cas où une faible variation paramétrique entraine des effets très violents. Nous avons

donc analysé la sensibilité de notre algorithme en testant des cas « extrêmes » avec 15 changements associés à une variation de 15% dans les paramètres. Cette méthode peut être aussi adaptable si nous voulons l'inscrire dans un contexte où les modifications sont plus drastiques. En effet, le nombre de solutions injectées après mémorisation peut varier selon l'intensité de la variation enregistrée. Même si le problème que nous avons traité dans cette thèse consiste à limiter les variations à une faible amplitude, le potentiel de notre méthode reste intact pour des problématiques avec des modifications majeures. En d'autres termes, un opérateur de réarrangement de solutions injectées pourra être mis en évidence pour gérer le nombre de solutions réutilisées ainsi que le nombre de solutions aléatoires.

Nous pouvons donc caractériser la population initiale (N), après changement, selon trois scénarios :

- Changements drastiques : on part d'une population aléatoire (n)
- Changements extrêmement mineurs : réutilisation de l'ancienne population avant changements (n')
- Changements moyennement mineurs ou moyennement drastiques : évaluation du nombre d'individus réutilisés selon l'intensité de la variation enregistrée ($x \times N + y \times N$). x et y étant des pondérations à déterminer tel que $(x + y) = 1$

Notre résolution dynamique, pourra inclure d'autres techniques de résolution avec des algorithmes évolutionnaires. L'intégration d'une connaissance partielle des données serait un point de départ pour utiliser des techniques de prédiction qui seront hybridées avec des techniques de mémorisation pour le cas dynamique.

Bibliographie

[Abbass *et al.* 2004] Hussein A. Abbass, Kumara Sastry, David E. Goldberg, Hussein A. Abbass, Kumara Sastry et David Goldberg. *Oiling the wheels of change : The role of adaptive automatic problem decomposition in non-stationary environments.* Rapport technique, 2004. (Cité en page 68.)

[Aguezzoul & Ladet 2006] A. Aguezzoul et P. Ladet. *Sélection et évaluation des fournisseurs : Critères et méthodes.* Revue Française de Gestion Industrielle, pages 5 – 27, 2006. (Cité en pages ix, 41 et 42.)

[Ahuja & Orlin 2001] Ravindra K. Ahuja et James B. Orlin. *Inverse Optimization.* Operations Research, vol. 49, no. 5, pages 771–783, 2001. (Cité en page 48.)

[Aissaoui *et al.* 2007] Najla Aissaoui, Mohamed Haouari et Elkafi Hassini. *Supplier selection and order lot sizing modeling : A review.* Computers and Operations Research, vol. 34, no. 12, pages 3516 – 3540, 2007. Operations Research and Outsourcing. (Cité en pages vii, 37, 38 et 44.)

[Bakos 1997] J. Yannis Bakos. *Reducing Buyer Search Costs : Implications for Electronic Marketplaces.* Manage. Sci., vol. 43, no. 12, pages 1676–1692, 1997. (Cité en page 19.)

[Beil & Wein 2003] Damian R. Beil et Lawrence M. Wein. *An Inverse-Optimization-Based Auction Mechanism to Support a Multiattribute RFQ Process.* Management Science, vol. 49, no. 11, pages 1529–1545, 2003. (Cité en page 48.)

[Benyoucef *et al.* 2003] L. Benyoucef, H. Ding et X. Xie. *Supplier selection problem : selection criteria and methods.* INRIA, Rapport de recherche, no. 4726, 2003. (Cité en pages vii et 39.)

[Bichler & Kalagnanam 2005] Martin Bichler et Jayant Kalagnanam. *Configurable offers and winner determination in multi-attribute auctions.* European Journal of Operational Research, vol. 160, no. 2, pages 380 – 394, 2005. Decision Support Systems in the Internet Age. (Cité en pages 48 et 51.)

[Bichler & Segev 2001] Martin Bichler et Arie Segev. *Methodologies for the design of negotiation protocols on E-markets.* Computer Networks, vol. 37, no. 2, pages 137 – 152, 2001. Electronic Business Systems. (Cité en page 49.)

[Bichler 2000] Martin Bichler. *An experimental analysis of multi-attribute auctions*. Decision Support Systems, vol. 29, no. 3, pages 249 – 268, 2000. (Cité en page 48.)

[Bonser & Wu 2001] Jewel S. Bonser et S. David Wu. *Procurement Planning to Maintain Both Short-Term Adaptiveness and Long-Term Perspective*. Management Science, vol. 47, no. 6, pages pp. 769–786, 2001. (Cité en page 38.)

[Bosman & La Poutre 2007] P.A.N. Bosman et H. La Poutre. *Inventory management and the impact of anticipation in evolutionary stochastic online dynamic optimization*. In Evolutionary Computation, 2007. CEC 2007. IEEE Congress on, pages 268–275, Sept 2007. (Cité en pages vii et 66.)

[Branke *et al.* 2006] Jürgen Branke, Merve Orbay et ima Uyar. *The Role of Representations in Dynamic Knapsack Problems*. In Franz Rothlauf, Jürgen Branke, Stefano Cagnoni, Ernesto Costa, Carlos Cotta, Rolf Drechsler, Evelyne Lutton, Penousal Machado, JasonH. Moore, Juan Romero, GeorgeD. Smith, Giovanni Squillero et Hideyuki Takagi, editeurs, Applications of Evolutionary Computing, volume 3907 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 764–775. Springer Berlin Heidelberg, 2006. (Cité en page 65.)

[Branke 1999] J. Branke. *Memory enhanced evolutionary algorithms for changing optimization problems*. In Evolutionary Computation, 1999. CEC 99. Proceedings of the 1999 Congress on, volume 3, pages –1882 Vol. 3, 1999. (Cité en page 65.)

[Caplice & Sheffi 2005] C. Caplice et Y. Sheffi. Combinatorial auctions for truckload transportation. 2005. in Combinatorial Auctions, P. Cramton, Y. Shoham, and R. Steinberg, Eds. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA. (Cité en page 48.)

[Chan & Chan 2010] H.K. Chan et F.T.S. Chan. *Comparative study of adaptability and flexibility in distributed manufacturing supply chains*. Decision Support Systems, vol. 48, no. 2, pages 331–341, Janvier 2010. (Cité en page 36.)

[Chandrashekar *et al.* 2007] T.S. Chandrashekar, Y. Narahari, C.H. Rosa, D.M. Kulkarni, J.D. Tew et P. Dayama. *Auction-Based Mechanisms for Electronic Procurement*. Automation Science and Engineering, IEEE Transactions on, vol. 4, no. 3, pages 297–321, July 2007. (Cité en pages ix, 48 et 49.)

[Charles 2010] Aurélie Charles. *Improving the design and management of agile supply chains : feedback and application in the context of humanitarian aid*. 2010. (Cité en page 25.)

[Che 1993] Yeon-Koo Che. *Design competition through multidimensional auctions*. Rand Journal of Economics, vol. 24, pages 668–680, 1993. (Cité en page 48.)

[Chen *et al.* 2005] Rachel R. Chen, Robin O. Roundy, Rachel Q. Zhang et Ganesh Janakiraman. *Efficient Auction Mechanisms for Supply Chain Procurement*. Management Science, vol. 51, no. 3, pages 467–482, 2005. (Cité en page 48.)

[Chen 2007] Fangruo Chen. *Auctioning Supply Contracts*. Management Science, vol. 53, no. 10, pages 1562–1576, 2007. (Cité en page 46.)

[Chen 2012] Kebing Chen. *Procurement strategies and coordination mechanism of the supply chain with one manufacturer and multiple suppliers*. International Journal of Production Economics, vol. 138, no. 1, pages 125 – 135, 2012. (Cité en pages 20 et 47.)

[Chibani *et al.* 2014] Akram Chibani, Xavier Delorme, Alexandre Dolgui et Henri Pierreval. *Dealing with Variations for a Supplier Selection Problem in a Flexible Supply Chain - A Dynamic Optimization Approach*. In ICORES 2014 - Proceedings of the 3rd International Conference on Operations Research and Enterprise Systems, Angers, Loire Valley, France, March 6-8, 2014., pages 322–327, 2014. (Cité en page 62.)

[Choudhary *et al.* 2014] Devendra Choudhary, Ravi Shankar, Prasanta K Dey, Harish Chaudhary et Lakshman S Thakur. *Benefits of retailer–supplier partnership initiatives under time-varying demand : a comparative analytical study*. International Journal of Production Research, vol. 52, no. 14, pages 4279–4298, 2014. (Cité en page 47.)

[Christopher *et al.* 2006] Martin Christopher, Helen Peck et Denis Towill. *A taxonomy for selecting global supply chain strategies*. The International Journal of Logistics Management, vol. 17, no. 2, pages 277–287, 2006. (Cité en pages 26 et 27.)

[Colin & Paché 1988] J. Colin et G. Paché. La logistique de distribution : l'avenir du marketing. 1988. Paris : Chotard et associés, 209 p. (Cité en page 31.)

[Cruz *et al.* 2010] Carlos Cruz, Juan R. González et David a. Pelta. *Optimization in dynamic environments : a survey on problems, methods and measures*. Soft Computing, vol. 15, no. 7, pages 1427–1448, Décembre 2010. (Cité en pages ix, 64, 65, 66, 67 et 68.)

[D'Amours S. 2001] Levasseur M. D'Amours S. Jabiri A. *Les processus de catégorisation des fournisseurs au sein des entreprises de classe mondiale*. 4ème Congrès international de génie industriel, Aix-en-Provence, France, 2001, 2001. (Cité en page 42.)

[Dang & Jennings 2003] Viet Dung Dang et Nicholas R. Jennings. *Optimal Clearing Algorithms for Multi-unit Single-item and Multi-unit Combinatorial Auctions with Demand/Supply Function Bidding*. In Proceedings of the 5th International Conference on Electronic Commerce, ICEC '03, pages 25–30, New York, NY, USA, 2003. ACM. (Cité en page 48.)

[Davila *et al.* 2003] Antonio Davila, Mahendra Gupta et Richard Palmer. *Moving Procurement Systems to the Internet : : the Adoption and Use of E-Procurement Technology Models*. European Management Journal, vol. 21, no. 1, pages 11 – 23, 2003. (Cité en page 20.)

[de Boer & van der Wegen 2003] L. de Boer et L.L.M van der Wegen. *Practice and promise of formal supplier selection : a study of four empirical cases*. Journal of Purchasing and Supply Management, vol. 9, no. 3, pages 109 – 118, 2003. (Cité en page 38.)

[Delorme *et al.* 2009] Xavier Delorme, Alexandre Dolgui, Mohamed Essafi, Laurent Linxe et Damien Poyard. *Machining lines automation*. In Springer Handbook of Automation, pages 599–617. Springer, 2009. (Cité en page 26.)

[Deng *et al.* 2014] Xinyang Deng, Yong Hu, Yong Deng et Sankaran Mahadevan. *Supplier selection using AHP methodology extended by D numbers*. Expert Systems with Applications, vol. 41, no. 1, pages 156–167, Janvier 2014. (Cité en page 43.)

[Devaraj *et al.* 2012] Sarv Devaraj, Ganesh Vaidyanathan et Abhay Nath Mishra. *Effect of purchase volume flexibility and purchase mix flexibility on e-procurement performance : An analysis of two perspectives*. Journal of Operations Management, vol. 30, no. 8, pages 509 – 520, 2012. (Cité en pages 20 et 47.)

[Dickson 1966] G.W. Dickson. *An analysis of vendor selection systems and decisions*. Journal of Purchasing, vol. 2, no. 1, pages 28 – 41, 1966. (Cité en pages 39 et 41.)

[Ding *et al.* 2005] Hongwei Ding, Lyes Benyoucef et Xiaolan Xie. *A simulation optimization methodology for supplier selection problem*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol. 18, no. 2-3, pages 210–224, 2005. (Cité en pages 13 et 43.)

[Dolgui & Proth 2010] Alexandre Dolgui et Jean-Marie Proth. Supply chain engineering : useful methods and techniques. Springer Science & Business Media, 2010. (Cité en page 30.)

[Dridi 2010] Imen Harbaoui Dridi. *Optimisation Heuristique pour la résolution du m-PDPTW statique et dynamique*. PhD thesis, 2010. Thèse de doctorat en Automatique, Génie Informatique et Traitement de Signal. (Cité en page 73.)

[Ellram 1990] Lisa M Ellram. *The supplier selection decision in strategic partnerships*. Journal of Purchasing & Materials Management, vol. 26, no. 4, page 8, 1990. (Cité en page 42.)

[Ellram 1995] Lisa M Ellram. *Partnering pitfalls and success factors*. International Journal of Purchasing and Materials Management, vol. 31, no. 1, pages 35–44, 1995. (Cité en page 42.)

[Elshamli *et al.* 2004] A. Elshamli, H.A. Abdullah et S. Areibi. *Genetic algorithm for dynamic path planning*. In Electrical and Computer Engineering, 2004. Canadian Conference on, volume 2, pages 677–680 Vol.2, May 2004. (Cité en page 67.)

[Emiliani 2006] M.L. Emiliani. *Executive decisionâmaking traps and B2B online reverse auctions*. Supply Chain Management : An International Journal, vol. 11, no. 1, pages 6–9, 2006. (Cité en page 49.)

[Féniès 2006] P. Féniès. *Une méthodologie de modélisation par processus multiples et incrémentiels : application pour l'évalusation des performances de la supply chain.* PhD thesis, 2006. Thèse soutenue à l'université Blaise Pascal, Clermont II. (Cité en page 42.)

[Galasso 2007] François Galasso. *Aide à la planification dans les chaînes logistiques en présence de demande flexible.* PhD thesis, Institut National Polytechnique De Toulouse, 2007. (Cité en page 19.)

[Ganeshan *et al.* 1999] Ram Ganeshan, Eric Jack, MichaelJ. Magazine et Paul Stephens. *A Taxonomic Review of Supply Chain Management Research.* vol. 17, pages 839–879, 1999. (Cité en page 30.)

[Genin 2003] Patrick Genin. *Planification tactique robuste avec usage d'un A.P.S. - Proposition d'un mode de gestion par plan de référence.* PhD thesis, 2003. Thèse de doctorat en Science de gestion de L'École Natioanle Supérieure des Mines de Paris. (Cité en pages 30 et 31.)

[Ghadimi *et al.* 2015] Pezhman Ghadimi, Amir Hossein Azadnia, Cathal Heavey, Alexandre Dolgui et Birkan Can. *A review on the buyer–supplier dyad relationships in sustainable procurement context : past, present and future.* International Journal of Production Research, pages 1–20, 2015. (Cité en pages 13 et 43.)

[Ghodsypour & O'Brien 1998] S.H. Ghodsypour et C. O'Brien. *A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming.* International Journal of Production Economics, vol. 56-57, pages 199–212, Septembre 1998. (Cité en page 43.)

[Goldberg 1989] David E. Goldberg. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 1st édition, 1989. (Cité en page 77.)

[González *et al.* 2011] JuanR. González, AntonioD. Masegosa et IgnacioJ. García. *A cooperative strategy for solving dynamic optimization problems.* Memetic Computing, vol. 3, no. 1, pages 3–14, 2011. (Cité en page 68.)

[Gosling *et al.* 2010] J. Gosling, L. Purvis et M.M. Naim. *Supply chain flexibility as a determinant of supplier selection.* International Journal of Production Economics, vol. 128, no. 1, pages 11 – 21, 2010. Integrating the Global Supply Chain. (Cité en page 27.)

[Grellier 2008] Emilie Grellier. *Optimisation de tournées de véhicules dans le cadre de la logistique inverse : modélisation et résolution par des méthodes hybrides.* Theses, Université de Nantes, Janvier 2008. (Cité en page 71.)

[Guillaume 2011] Romain Guillaume. *Gestion des risques dans les chaînes logistiques : planification sous incertitude par la théorie des possibilités*. PhD thesis, 2011. Thèse de doctorat en Génie industriel de L'Université de Toulouse. (Cité en page 17.)

[Handa *et al.* 2006] H. Handa, Dan Lin, L. Chapman et Xin Yao. *Robust Solution of Salting Route Optimisation Using Evolutionary Algorithms*. In Evolutionary Computation, 2006. CEC 2006. IEEE Congress on, pages 3098–3105, 2006. (Cité en pages 67, 68 et 69.)

[Harrington *et al.* 2011] Lisa H Harrington, Sandor Boyson et Thomas M Corsi. X-scm : The new science of x-treme supply chain management. Routledge, New York, NY, 2011. (Cité en page 28.)

[Hinkle C.L. 1969] Robinson P.J. Hinkle C.L. *Vendor evaluation using cluster analysis*. Journal of Purchasing, vol. 5, no. 3, pages 49–58, 1969. (Cité en page 42.)

[Hinkle C.L. 1987] Robinson P.J. Hinkle C.L. *supplier selection strategies*. Journal of purchasing and materials management, vol. 23, no. 3, pages 7–12, 1987. (Cité en page 42.)

[Ho *et al.* 2010] W. Ho, X. Xu et P.K. Dey. *Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection : A literature review*. European Journal of Operational Research, vol. 202, no. 1, pages 16–24, 2010. cited By 345. (Cité en page 41.)

[Hohner *et al.* 2003] Gail Hohner, John Rich, Ed Ng, Grant Reid, Andrew J. Davenport, Jayant R. Kalagnanam, Ho Soo Lee et Chae An. *Combinatorial and Quantity-discount Procurement Auctions Benefit Mars, Incorporated and its Suppliers*. Interfaces, vol. 33, no. 1, pages 23–35, Janvier 2003. (Cité en page 48.)

[Huang *et al.* 2005] George Q. Huang, X.Y. Zhang et L. Liang. *Towards integrated optimal configuration of platform products, manufacturing processes, and supply chains*. Journal of Operations Management, vol. 23, no. 3-4, pages 267–290, Avril 2005. (Cité en page 36.)

[Ivanov & Sokolov 2010] D. Ivanov et B. Sokolov. Adaptive supply chain management. 2010. Springer, London, 2010. (Cité en page 28.)

[Ivanov *et al.* 2010] Dmitry Ivanov, Boris Sokolov et Joachim Kaeschel. *A multi-structural framework for adaptive supply chain planning and operations control with structure dynamics considerations*. European Journal of Operational Research, vol. 200, no. 2, pages 409–420, Janvier 2010. (Cité en pages 25, 27 et 30.)

[Ivanov *et al.* 2015] Dmitry Ivanov, Alexandre Dolgui, Boris Sokolov, Frank Werner et Marina Ivanova. *A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0*. International Journal of Production Research, no. ahead-of-print, pages 1–17, 2015. (Cité en page 28.)

[Jones & Riley 1985] T. Jones et D. Riley. *Using inventory for competitive advantage through Supply Chain Management.* International Journal of Physical Distribution and Material Management, vol. 15, no. 5, pages 16–26, 1985. (Cité en page 30.)

[Kahraman *et al.* 2003] Cengiz Kahraman, Ufuk Cebeci et Ziya Ulukan. *Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP.* Logistics Information Management, vol. 16, no. 6, pages 382–394, 2003. (Cité en page 42.)

[Kameshwaran 2004] S. Kameshwaran. *Algorithms for piecewise linear knapsack problems with applications in electronic commerce.* PhD thesis, 2004. Ph.D. dissertation, Department of Computer Science and Automation, Indian Institute of Science, Bangalore, India. (Cité en page 48.)

[Katsikeas *et al.* 2004] C.S. Katsikeas, N.G. Paparoidamis et E. Katsikea. *Supply source selection criteria : the impact of supplier performance on distributor performance.* Indutrial Marketing Management, 2004. (Cité en page 41.)

[Kingsman 1986] Brian G. Kingsman. *Purchasing raw materials with uncertain fluctuating prices.* European Journal of Operational Research, vol. 25, no. 3, pages 358 – 372, 1986. (Cité en page 38.)

[Koren *et al.* 2003] Y. Koren, U. Heisel, F. Jovane, T. Moriwaki, G. Pritschow, G. Ulsoy et H. Van Brussel. Reconfigurable manufacturing systems. Springer Berlin Heidelberg, 2003. (Cité en page 26.)

[Koste & Malhotra 1999] Lori L Koste et Manoj K Malhotra. *A theoretical framework for analyzing the dimensions of manufacturing flexibility.* Journal of Operations Management, vol. 18, no. 1, pages 75 – 93, 1999. (Cité en page 27.)

[Lee 2004] Hau L Lee. *The triple-A supply chain.* Harvard business review, vol. 82, no. 10, pages 102–12, 157, Octobre 2004. (Cité en pages 24 et 25.)

[Lepagnot *et al.* 2009] J. Lepagnot, A. Nakib, H. Oulhadj et P. Siarry. *Performance Analysis of MADO Dynamic Optimization Algorithm.* pages 37–42, Nov 2009. (Cité en pages vii, 64 et 65.)

[Lepagnot 2011] Julien Lepagnot. *Conception de métaheuristique pour l'optimisation dynamique. Application à l'analyse des séquences d'images IRM.* PhD thesis, 2011. Thèse de doctorat en Informatique de l'Univérsité Paris-Est. (Cité en page 88.)

[Lin *et al.* 2006] Ching-Torng Lin, Hero Chiu et Po-Young Chu. *Agility index in the supply chain.* International Journal of Production Economics, vol. 100, no. 2, pages 285 – 299, 2006. (Cité en page 24.)

[Liu *et al.* 2011] Quan Liu, Sherry X. Sun, Huaiqing Wang et Jing Zhao. *A multi-agent based system for e-procurement exception management.* Knowledge-Based Systems, vol. 24, no. 1, pages 49 – 57, 2011. (Cité en page 47.)

[Liu *et al.* 2013] Shuren Liu, Changgeng Liu et Qiying Hu. *Optimal procurement strategies by reverse auctions with stochastic demand.* Economic Modelling, vol. 35, no. 0, pages 430 – 435, 2013. (Cité en page 47.)

[Lorentziadis 2014] Panos L. Lorentziadis. *Pricing in a supply chain for auction bidding under information asymmetry.* European Journal of Operational Research, vol. 237, no. 3, pages 871–886, 2014. (Cité en page 46.)

[M. Eso & Ladanyi 2001] J. R. Kalagnanam M. Eso S. Ghosh et L. Ladanyi. *Bid evaluation in procurement auctions with piece wise linear supply curves.* Rapport technique, IBM, Tech. Rep. RC22219 (W0110-087), 2001. (Cité en page 48.)

[Mack *et al.* 2007] Yolanda Mack, Tushar Goel, Wei Shyy et Raphael Haftka. *Surrogate Model-Based Optimization Framework : A Case Study in Aerospace Design.* In Shengxiang Yang, Yew-Soon Ong et Yaochu Jin, editeurs, Evolutionary Computation in Dynamic and Uncertain Environments, volume 51 of *Studies in Computational Intelligence*, pages 323–342. Springer Berlin Heidelberg, 2007. (Cité en page 67.)

[Mahmoudi 2006] Jaouher Mahmoudi. *Simulation et gestion des risques en planification distribuée de chaines logistiques : Application au secteur de l'électronique et des télécommunications.* PhD thesis, 2006. Thèse de doctorat délivrée par l'École Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace. (Cité en page 15.)

[Mandal & Deshmukh 1994] Anukul Mandal et SG Deshmukh. *Vendor selection using interpretive structural modelling (ISM).* International Journal of Operations & Production Management, vol. 14, no. 6, pages 52–59, 1994. (Cité en page 42.)

[McCullen *et al.* 2006] P. McCullen, R. Saw, M. Christopher et D. Towill. *The F1 Supply Chain : Adapting the Car to the Circuit - the Supply Chain to the Market.* Supply Chain Forum, vol. 7, no. 1, pages 14–23, 2006. (Cité en pages vii, 24 et 25.)

[Mcmanus & Hastings 2004] H. Mcmanus et D. Hastings. *A Framework for Understanding Uncertainty and its Mitigation and Exploitation.* In Complex Systems MIT Engineering Systems Symposium, 2004. (Cité en page 17.)

[Melnyk *et al.* 2014] Steven A. Melnyk, Ram Narasimhan et Hugo A. DeCampos. *Supply chain design : issues, challenges, frameworks and solutions.* International Journal of Production Research, vol. 52, no. 7, pages 1887–1896, 2014. (Cité en page 28.)

[Mentzer *et al.* 2001] John T. Mentzer, William DeWitt, James S. Keebler, Soonhong Min, Nancy W. Nix, Carlo D. Smith et Zach G. Zacharia. *What is Supply Chain Management ?* 2001. (Cité en pages 14 et 30.)

[Merzouk 2007] Salah Eddine Merzouk. *Problème de dimensionnement de lots et de livraisons : application au cas de la chaîne logistique.* PhD thesis, 2007. Thèse de

doctorat en Automatique et Informatique de l'Univérsité de Technologie de Belfort-Montéliard 2007. (Cité en pages ix, 9 et 10.)

[Michalewicz *et al.* 2007] Zbigniew Michalewicz, Martin Schmidt, Matthew Michalewicz et Constantin Chiriac. *Adaptive Business Intelligence : Three Case Studies*. In Shengxiang Yang, Yew-Soon Ong et Yaochu Jin, editeurs, Evolutionary Computation in Dynamic and Uncertain Environments, volume 51 of *Studies in Computational Intelligence*, pages 179–196. Springer Berlin Heidelberg, 2007. (Cité en page 67.)

[Min 1994] Hokey Min. *International supplier selection : a multi-attribute utility approach*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, vol. 24, no. 5, pages 24–33, 1994. (Cité en page 42.)

[Mouloua 2007] Zerouk Mouloua. *Scheduling for cooperative supply chains*. PhD thesis, 2007. Thèse de doctorat en Informatique de L'Institut Polytechnique de Lorraine. (Cité en page 13.)

[Nazari-Shirkouhi *et al.* 2013] Salman Nazari-Shirkouhi, Hamed Shakouri, Babak Javadi et Abbas Keramati. *Supplier selection and order allocation problem using a two-phase fuzzy multi-objective linear programming*. Applied Mathematical Modelling, vol. 37, no. 22, pages 9308–9323, Mai 2013. (Cité en page 43.)

[Ng & Skitmore 1995] S Thomas Ng et R Martin Skitmore. *CP-DSS : decision support system for contractor prequalification*. Civil Engineering Systems, vol. 12, no. 2, pages 133–159, 1995. (Cité en page 42.)

[Ng *et al.* 2006] E. Ng, L. Brown, K. Hastings et F. Cassidy. *Supplier Selection in Industrial Supply-chains : The case of Taiwanese Agribusiness*. 2006. (Cité en pages ix et 40.)

[Nguyen *et al.* 2012] Trung Thanh Nguyen, Shengxiang Yang et Juergen Branke. *Evolutionary dynamic optimization : A survey of the state of the art*. Swarm and Evolutionary Computation, vol. 6, pages 1–24, Octobre 2012. (Cité en pages 64, 65, 66 et 69.)

[Oh *et al.* 2013] Seungjin Oh, Kwangyeol Ryu et Mooyoung Jung. *Reconfiguration framework of a supply network based on flexibility strategies*. Computers and Industrial Engineering, vol. 65, no. 1, pages 156 – 165, 2013. Intelligent Manufacturing Systems. (Cité en page 37.)

[Osman & Demirli 2010] Hany Osman et Kudret Demirli. *A bilinear goal programming model and a modified Benders decomposition algorithm for supply chain reconfiguration and supplier selection*. International Journal of Production Economics, vol. 124, no. 1, pages 97–105, Mars 2010. (Cité en page 43.)

[Paché & Spalanzani 2007] G. Paché et A. Spalanzani. La gestion des chaînes logistiques multi-acteurs. 2007. Presses universitaires de Grenoble. (Cité en page 31.)

[Pant *et al.* 2003] Somendra Pant, Rajesh Sethi et Madan Bhandari. *Making sense of the e-supply chain landscape : an implementation framework*. International Journal of Information Management, vol. 23, no. 3, pages 201–221, 2003. (Cité en page 19.)

[Peng & Reynolds 2004] B. Peng et R.G. Reynolds. *Cultural algorithms : knowledge learning in dynamic environments*. In Evolutionary Computation, 2004. CEC2004. Congress on, volume 2, pages 1751–1758 Vol.2, June 2004. (Cité en page 68.)

[Pham *et al.* 2014] Long Pham, Jeffrey Teich, Hannele Wallenius et Jyrki Wallenius. *Multi-attribute online reverse auctions : Recent research trends*. European Journal of Operational Research, vol. 242, no. 1, pages 1 – 9, 2014. (Cité en pages 45 et 51.)

[Pillac *et al.* 2013] Victor Pillac, Michel Gendreau, Christelle Guéret et Andrés L. Medaglia. *A review of dynamic vehicle routing problems*. European Journal of Operational Research, vol. 225, no. 1, pages 1–11, Février 2013. (Cité en pages ix, 66 et 72.)

[Pillac 2012] Victor Pillac. *Dynamic vehicle routing : solution methods and computational tools*. Theses, Ecole des Mines de Nantes ; universidad de los andes, Septembre 2012. (Cité en pages 71, 72 et 73.)

[Richter & Yang 2009] Hendrik Richter et Shengxiang Yang. *Learning behavior in abstract memory schemes for dynamic optimization problems*. Soft Computing, vol. 13, no. 12, pages 1163–1173, 2009. (Cité en pages 68 et 69.)

[Rocco S. 2005] C.M. Rocco S. *A Hybrid Approach Based on Evolutionary Strategies and Interval Arithmetic to Perform Robust Designs*. In Franz Rothlauf, Jürgen Branke, Stefano Cagnoni, DavidWolfe Corne, Rolf Drechsler, Yaochu Jin, Penousal Machado, Elena Marchiori, Juan Romero, GeorgeD. Smith et Giovanni Squillero, editeurs, Applications of Evolutionary Computing, volume 3449 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 623–628. Springer Berlin Heidelberg, 2005. (Cité en page 67.)

[Rohlfshagen *et al.* 2009] Philipp Rohlfshagen, Per Kristian Lehre et Xin Yao. *Dynamic Evolutionary Optimisation : An Analysis of Frequency and Magnitude of Change*. In Proceedings of the 11th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation, GECCO '09, pages 1713–1720, New York, NY, USA, 2009. ACM. (Cité en page 65.)

[Rossi *et al.* 2008] Claudio Rossi, Mohamed Abderrahim et Julio César Díaz. *Tracking Moving Optima Using Kalman-based Predictions*. Evol. Comput., vol. 16, no. 1, pages 1–30, Mars 2008. (Cité en pages 68 et 69.)

[Ryu & Jung 2003] Kwangyeol Ryu et Mooyoung Jung. *Agent-based fractal architecture and modelling for developing distributed manufacturing systems*. International Journal of Production Research, vol. 41, no. 17, pages 4233–4255, Janvier 2003. (Cité en page 36.)

[Sandholm 2002] Tuomas Sandholm. *Algorithm for optimal winner determination in combinatorial auctions*. Artificial Intelligence, vol. 135, no. 12, pages 1 – 54, 2002. (Cité en page 48.)

[Sarkis J 2000] Talluri S Sarkis J. *A model for strategic supplier selection*. In Proceedings of the 9th international IPSERA Conference, In : Leenders, M. (Ed.), pages 652–661, 2000. (Cité en page 42.)

[Schoenherr *et al.* 2012] Tobias Schoenherr, Sachin B. Modi, W.C. Benton, Craig R. Carter, Thomas Y. Choi, Paul D. Larson, Michiel R. Leenders, Vincent A. Mabert, Ram Narasimhan et Stephan M. Wagner. *Research opportunities in purchasing and supply management*. International Journal of Production Research, vol. 50, no. 16, pages 4556–4579, 2012. (Cité en page 20.)

[Siarry 2014] Patrick Siarry. Métaheuristiques. 2014. (Cité en pages 77 et 79.)

[Simchi-Levi 2004] David Simchi-Levi. Operations rules. 2004. The MIT Press. (Cité en page 27.)

[Smierzchalski & Michalewicz 2000] R. Smierzchalski et Z. Michalewicz. *Modeling of ship trajectory in collision situations by an evolutionary algorithm*. Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, vol. 4, no. 3, pages 227–241, Sep 2000. (Cité en page 67.)

[Stadtler 2005] Hartmut Stadtler. *Supply chain management and advanced planning - basics, overview and challenges*. European Journal of Operational Research, vol. 163, no. 3, pages 575 – 588, 2005. Supply Chain Management and Advanced Planning. (Cité en pages 16, 19 et 31.)

[Talluri & Narasimhan 2003] Srinivas Talluri et Ram Narasimhan. *Vendor evaluation with performance variability : A max–min approach*. European Journal of Operational Research, vol. 146, no. 3, pages 543–552, 2003. (Cité en page 42.)

[Talluri *et al.* 2007] S. Talluri, R. Narasimhan et S. Viswanathan. *Information technologies for procurement decisions : a decision support system for multi-attribute e-reverse auctions*. International Journal of Production Research, vol. 45, no. 11, pages 2615–2628, 2007. (Cité en pages vii, 20, 23, 47, 50 et 51.)

[Tezuka *et al.* 2006a] M. Tezuka, M. Munetomo, K. Akama et M. Hiji. *Genetic Algorithm to Optimize Fitness Function with Sampling Error and its Application to Financial Optimization Problem*. In Evolutionary Computation, 2006. CEC 2006. IEEE Congress on, pages 81–87, 2006. (Cité en page 67.)

[Tezuka *et al.* 2006b] M. Tezuka, M. Munetomo, K. Akama et M. Hiji. *Genetic Algorithm to Optimize Fitness Function with Sampling Error and its Application to Financial Optimization Problem*. pages 81–87, 2006. (Cité en page 67.)

[Tinos & Yang 2007] Renato Tinos et Shengxiang Yang. *Genetic Algorithms with Self-Organizing Behaviour in Dynamic Environments*. In Shengxiang Yang, Yew-Soon Ong et Yaochu Jin, editeurs, Evolutionary Computation in Dynamic and Uncertain Environments, volume 51 of *Studies in Computational Intelligence*, pages 105–127. Springer Berlin Heidelberg, 2007. (Cité en page 67.)

[Tinos & Yang 2008] R. Tinos et Shengxiang Yang. *Evolutionary programming with q-Gaussian mutation for dynamic optimization problems*. pages 1823–1830, June 2008. (Cité en pages 68 et 69.)

[Tracey & Leng Tan 2001] Michael Tracey et Chong Leng Tan. *Empirical analysis of supplier selection and involvement, customer satisfaction, and firm performance*. Supply Chain Management : An International Journal, vol. 6, no. 4, pages 174–188, 2001. (Cité en page 42.)

[Verma & Pullma 1998] R. Verma et M.E. Pullma. *An analysis of the supplier selection process*. International Journal of Management Science, vol. 26, no. 6, pages 739 – 750, 1998. (Cité en pages 41 et 42.)

[Vokurka *et al.* 1996] Robert J Vokurka, Joobin Choobineh et Lakshmi Vadi. *A prototype expert system for the evaluation and selection of potential suppliers*. International Journal of Operations & Production Management, vol. 16, no. 12, pages 106–127, 1996. (Cité en page 42.)

[Vonderembse *et al.* 1995] M. Vonderembse, M. Tracey, C.L. Tan et E.J. Bardi. *Current purchasing practices and JIT : some of effects on inbound logistics*. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, vol. 25, no. 3, pages 33 – 48, 1995. (Cité en page 41.)

[Wang & Davison 2008] Jian Wang et Brian D. Davison. *Explorations in Tag Suggestion and Query Expansion*. In Proceedings of the 2008 ACM Workshop on Search in Social Media, SSM '08, pages 43–50, New York, NY, USA, 2008. ACM. (Cité en page 46.)

[Ware *et al.* 2014] Nilesh R. Ware, S.P. Singh et D.K. Banwet. *A mixed-integer non-linear program to model dynamic supplier selection problem*. Expert Systems with Applications, vol. 41, no. 2, pages 671–678, Février 2014. (Cité en page 44.)

[Weber *et al.* 1991] C.A. Weber, J.R. Current et W.C. Benton. *Vendor selection criteria and methods*. European Journal of Operational Research, vol. 50, pages 2 – 18, 1991. (Cité en pages 39 et 41.)

[Weber *et al.* 2000] Charles A Weber, John Current et Anand Desai. *An optimization approach to determining the number of vendors to employ*. Supply Chain Management : An International Journal, vol. 5, no. 2, pages 90–98, 2000. (Cité en page 42.)

[Wehbe 2011] Arz Wehbe. *Structuration des critères de sélection de partenaires : application au projet de développement de produits nouveaux*. PhD thesis, 2011. Thèse de doctorat en productique de L'Université de Toulouse. (Cité en page 41.)

[Wu *et al.* 2009] Wann-Yih Wu, Badri Munir Sukoco, Chia-Ying Li et Shu Hui Chen. *An integrated multi-objective decision-making process for supplier selection with bundling problem*. Expert Systems with Applications, vol. 36, no. 2, pages 2327–2337, Mars 2009. (Cité en page 43.)

[Yang & Xia 2009] Jian Yang et Yusen Xia. *Acquisition Management Under Fluctuating Raw Material Prices*. Production and Operations Management, vol. 18, no. 2, pages 212–225, 2009. (Cité en page 46.)

[Yu *et al.* 2008] Ya-Wen Yu, Hsiao-Cheng Yu, Holly Itoga et Tyng-Ruu Lin. *Decision-making factors for effective industrial e-procurement*. Technology in Society, vol. 30, no. 2, pages 163 – 169, 2008. (Cité en page 49.)

[Zhao *et al.* 2015] Fuguo Zhao, Desheng Wu, Liang Liang et Alexandre Dolgui. *Lateral inventory transshipment problem in online-to-offline supply chain*. International Journal of Production Research, pages 1–13, 2015. (Cité en page 19.)

[Zouggar 2009] Aïcha-Amrani Zouggar. *Impact des contrats d'approvisionnement sur la performance de la chaîne logistique : Modélisation et simulation*. PhD thesis, 2009. Thèse de doctorat en Productique de L'Université Bordeaux 1. (Cité en pages ix, 18, 40 et 41.)

Annexe A

Annexes Demande Constante

Table A.1 – Résumé des résultats du premier scénario avec demande constante

Nombre de variations	Nombre de fournisseurs	Degré de variations (%)	Résultat AG	Résultat D1- AG	Résultat D2- AG	Borne Inf	Gap AG %	Gap D1-AG %	Gap D2-AG %
5	1	5	37836786	38009898	37647962	36874153	2,61%	3,08%	2,10%
5	1	10	37628517	37758404	37505827	36382605	3,42%	3,78%	3,09%
5	1	15	37470241	37659245	37413519	36297013	3,23%	3,75%	3,08%
5	5	5	37388243	37749699	37353133	36223634	3,22%	4,21%	3,12%
5	5	10	37111773	34139501	33996395	32770973	13,25%	4,18%	3,74%
5	5	15	36615766	34114829	34187131	33150690	10,45%	2,91%	3,13%
5	10	5	36862744	34066035	34275065	33125986	11,28%	2,84%	3,47%
5	10	10	36023187	34238508	34367547	33236809	8,38%	3,01%	3,40%
5	10	15	35068126	33956226	34014756	32959210	6,40%	3,02%	3,20%
10	1	5	37549572	35294613	35604829	34294744	9,49%	2,92%	3,82%
10	1	10	37258277	35401534	35521765	34341180	8,49%	3,09%	3,44%
10	1	15	37069189	35124357	35206805	33779078	9,74%	3,98%	4,23%
10	5	5	36784589	34856979	35024957	34168580	7,66%	2,01%	2,51%
10	5	10	36362231	34427061	34575920	33589394	8,26%	2,49%	2,94%
10	5	15	35168729	33432791	33086950	31787138	10,64%	5,18%	4,09%
10	10	5	36717926	34475635	34344863	33372774	10,02%	3,30%	2,91%
10	10	10	36547897	34600336	34574325	33586744	8,82%	3,02%	2,94%
10	10	15	35126714	32300272	32036291	30425350	15,45%	6,16%	5,29%
15	1	5	37583807	34932958	34875080	33585544	11,90%	4,01%	3,84%
15	1	10	37172502	34697364	34652212	33724986	10,22%	2,88%	2,75%
15	1	15	36496384	34055933	33732334	32927340	10,84%	3,43%	2,44%
15	5	5	36684053	34358393	34461739	33307996	10,14%	3,15%	3,46%
15	5	10	36356543	34162133	34452902	33255987	9,32%	2,72%	3,60%
15	5	15	36297239	33677380	33960432	32305123	12,36%	4,25%	5,12%
15	10	5	34940534	33347967	33134432	31956445	9,34%	4,35%	3,69%
15	10	10	36101920	33589726	33480650	32508280	11,05%	3,33%	2,99%
15	10	15	38980321	35777037	34865974	33654874	15,82%	6,31%	3,60%

Table A.2 – Résumé des résultats du deuxième scénario avec demande constante

Nombre de variations	Nombre de fournisseurs	Degré de variations (%)	Résultat AG	Résultat D1- AG	Résultat D2- AG	Borne Inf	Gap AG %	Gap D1-AG %	Gap D2-AG %
5	1	5	37343181	36436429	36387891	35357259	5,62%	3,05%	2,91%
5	1	10	37491144	36572970	36202653	35160769	6,63%	4,02%	2,96%
5	1	15	36904505	36191276	36061390	35068094	5,24%	3,20%	2,83%
5	5	5	37099852	36332690	35817971	34685848	6,96%	4,75%	3,26%
5	5	10	36621770	35601366	35476614	34415958	6,41%	3,44%	3,08%
5	5	15	36163473	35337422	34448451	33278797	8,67%	6,19%	3,51%
5	10	5	36420546	35532059	35425595	33701781	8,07%	5,43%	5,11%
5	10	10	35637610	34637115	33623759	32308795	10,30%	7,21%	4,07%
5	10	15	34748683	33470037	31726215	30662621	13,33%	9,16%	3,47%
10	1	5	36796002	35968950	35174155	34267016	7,38%	4,97%	2,65%
10	1	10	36422656	35609805	35171116	34017583	7,07%	4,68%	3,39%
10	1	15	36411812	35996568	35281587	34055407	6,92%	5,70%	3,60%
10	5	5	33497938	32992574	31597051	29010324	15,47%	13,73%	8,92%
10	5	10	39380688	38922787	37491150	35204308	11,86%	10,56%	6,50%
10	5	15	39125527	38304806	37098296	34643465	12,94%	10,57%	7,09%
10	10	5	31357159	30970723	27704645	26295322	19,25%	17,78%	5,36%
10	10	10	29847927	28782353	23518874	22090336	35,12%	30,29%	6,47%
10	10	15	29398433	28111510	22114983	20504436	43,38%	37,10%	7,85%
15	1	5	37439384	35397470	35160540	34014098	10,07%	4,07%	3,37%
15	1	10	37217465	35065271	35031867	34061314	9,27%	2,95%	2,85%
15	1	15	36430084	34070127	34416680	33116431	10,01%	2,88%	3,93%
15	5	5	36177535	34269992	34119049	33123042	9,22%	3,46%	3,01%
15	5	10	35122322	33200926	33078251	31228191	12,47%	6,32%	5,92%
15	5	15	33485034	31367830	30916339	29138975	14,91%	7,65%	6,10%
15	10	5	35900322	33415511	33379290	32180399	11,56%	3,84%	3,73%
15	10	10	34870947	32675524	32169734	30665225	13,71%	6,56%	4,91%
15	10	15	32067406	28821919	26673329	25092231	27,80%	14,86%	6,30%

Table A.3 – Résumé des résultats du troisième scénario avec demande constante

Nombre de variations	Nombre de fournisseurs	Degré de variations (%)	Résultat AG	Résultat D1- AG	Résultat D2- AG	Borne Inf	Gap AG %	Gap D1-AG %	Gap D2-AG %
5	1	5	36343099	34715432	34539393	33774725	7,60%	2,79%	2,26%
5	1	10	36338065	34665739	34752725	33745851	7,68%	2,73%	2,98%
5	1	15	35972519	34334130	34260452	33170032	8,45%	3,51%	3,29%
5	5	5	34938966	33333874	33745577	32590965	7,20%	2,28%	3,54%
5	5	10	35367743	33198654	33335826	32028334	10,43%	3,65%	4,08%
5	5	15	34856057	32509198	32569769	31343593	11,21%	3,72%	3,91%
5	10	5	33834373	32377846	32507015	31515667	7,36%	2,74%	3,15%
5	10	10	33706288	31512139	31420189	30315866	11,18%	3,95%	3,64%
5	10	15	32181902	29746278	28697461	27591912	16,64%	7,81%	4,01%
10	1	5	36793734	34748849	34847729	34058590	8,03%	2,03%	2,32%
10	1	10	36728894	34536393	34870997	33737775	8,87%	2,37%	3,36%
10	1	15	36351722	34418182	34429867	33198853	9,50%	3,67%	3,71%
10	5	5	35973592	34157709	34256993	32806127	9,66%	4,12%	4,42%
10	5	10	36368307	34404428	34327493	33542010	8,43%	2,57%	2,34%
10	5	15	34614441	33177677	33030327	31530978	9,78%	5,22%	4,76%
10	10	5	35396704	33919175	34129809	32507117	8,89%	4,34%	4,99%
10	10	10	35848999	34122117	34406118	32705325	9,61%	4,33%	5,20%
10	10	15	33999427	32160689	32040393	30368030	11,96%	5,90%	5,51%
15	1	5	36565529	34580247	34665547	33579778	8,89%	2,98%	3,23%
15	1	10	35504018	33948248	33802655	32623899	8,83%	4,06%	3,61%
15	1	15	36924141	34984162	34881760	33902345	8,91%	3,19%	2,89%
15	5	5	35788706	34322054	33757805	32890660	8,81%	4,35%	2,64%
15	5	10	36239041	34399508	34006858	33330239	8,73%	3,21%	2,03%
15	5	15	35782917	34035963	33733456	32948929	8,60%	3,30%	2,38%
15	10	5	36691968	34567367	34583364	33642555	9,06%	2,75%	2,80%
15	10	10	36511970	33969771	34383025	32767431	11,43%	3,67%	4,93%
15	10	15	33753054	33906335	34465185	32547249	3,70%	4,18%	5,89%

Table A.4 – Résumé des résultats du quatrième scénario avec demande constante

Nombre de variations	Nombre de fournisseurs	Degré de variations (%)	Résultat AG	Résultat D1- AG	Résultat D2- AG	Borne Inf	Gap AG %	Gap D1-AG %	Gap D2-AG %
5	1	5	37813390	37956588	37922861	36690751	3,06%	3,45%	3,36%
5	1	10	37707223	37885131	37848806	36822370	2,40%	2,89%	2,79%
5	1	15	37658992	38151860	36903397	36760514	2,44%	3,78%	0,39%
5	5	5	37738732	37984675	37426992	36058467	4,66%	5,34%	3,80%
5	5	10	37562658	37686507	35933155	34849368	7,79%	8,14%	3,11%
5	5	15	37401540	37538369	34641174	33580609	11,38%	11,79%	3,16%
5	10	5	37801326	37574602	36124537	34823264	8,55%	7,90%	3,74%
5	10	10	37423452	37256353	33878931	32682822	14,50%	13,99%	3,66%
5	10	15	37231546	37515648	31133139	29501246	26,20%	27,17%	5,53%
10	1	5	37408754	37749184	36587222	35654678	4,92%	5,87%	2,62%
10	1	10	37440301	37626817	37493394	36162020	3,53%	4,05%	3,68%
10	1	15	37473803	37451782	37306899	36166378	3,62%	3,55%	3,15%
10	5	5	37131165	37199585	35065024	33385156	11,22%	11,43%	5,03%
10	5	10	37175703	37760074	30455888	29273865	26,99%	28,99%	4,04%
10	5	15	37052103	37636341	29694228	28548747	29,79%	31,83%	4,01%
10	10	5	36870944	37329247	30235841	28235350	30,58%	32,21%	7,09%
10	10	10	36408147	37115042	25642903	24340867	49,58%	52,48%	5,35%
10	10	15	36104334	36966207	22974644	21201315	70,29%	74,36%	8,36%
15	1	5	37424353	38022391	37666224	36461119	2,64%	4,28%	3,31%
15	1	10	37459396	37888216	36722301	34880422	7,39%	8,62%	5,28%
15	1	15	37363607	37626554	37685719	36353516	2,78%	3,50%	3,66%
15	5	5	37169316	37651396	31816276	30928925	20,18%	21,74%	2,87%
15	5	10	36997171	37440512	25337778	24365548	51,84%	53,66%	3,99%
15	5	15	37330964	37460793	37227194	35447093	5,31%	5,68%	5,02%
15	10	5	36988074	37267600	27326890	26194218	41,21%	42,27%	4,32%
15	10	10	36304429	36729233	23201553	22253490	63,14%	65,05%	4,26%
15	10	15	37075545	37598049	36337557	33864571	9,48%	11,02%	7,30%

Table A.5 – Résumé des résultats du cinquième scénario avec demande constante

Nombre de variations	Nombre de fournisseurs	Degré de variations (%)	Résultat AG	Résultat D1- AG	Résultat D2- AG	Borne Inf	Gap AG %	Gap D1-AG %	Gap D2-AG %
5	1	5	37842442	38184243	38268467	36869449	2,64%	3,57%	3,79%
5	1	10	37651006	37581087	38209385	36420910	3,38%	3,19%	4,91%
5	1	15	37160891	37500923	38208676	36044172	3,10%	4,04%	6,01%
5	5	5	37649317	37645237	38174701	36520904	3,09%	3,08%	4,53%
5	5	10	37305142	37398179	37200671	35616386	4,74%	5,00%	4,45%
5	5	15	36424972	37226648	36202411	34331738	6,10%	8,43%	5,45%
5	10	5	36983194	37056579	37446152	35257318	4,90%	5,10%	6,21%
5	10	10	36042353	36557751	35712833	34111910	5,66%	7,17%	4,69%
5	10	15	35325854	35825204	32976660	30882997	14,39%	16,00%	6,78%
10	1	5	37005062	36983977	37108185	35437753	4,42%	4,36%	4,71%
10	1	10	36622125	37395080	37027872	35284172	3,79%	5,98%	4,94%
10	1	15	36675197	37523757	36477354	35210471	4,16%	6,57%	3,60%
10	5	5	33509117	34909993	31924311	29475127	13,69%	18,44%	8,31%
10	5	10	32952432	33880665	29350199	27252428	20,92%	24,32%	7,70%
10	5	15	32382984	34195518	28878894	26784842	20,90%	27,67%	7,82%
10	10	5	31659265	33097125	27755834	25359196	24,84%	30,51%	9,45%
10	10	10	30238961	31961377	24852276	22928314	31,88%	39,40%	8,39%
10	10	15	29799133	31591029	23534056	21672061	37,50%	45,77%	8,59%
15	1	5	37843143	37925519	37250671	36503693	3,67%	3,90%	2,05%
15	1	10	37521080	37794128	37308020	35764795	4,91%	5,67%	4,31%
15	1	15	36890168	37270366	36815758	35158582	4,93%	6,01%	4,71%
15	5	5	36410449	36524155	36166394	34805784	4,61%	4,94%	3,91%
15	5	10	35671378	35858597	34427979	32780641	8,82%	9,39%	5,03%
15	5	15	34250578	34929345	32667458	30639404	11,79%	14,00%	6,62%
15	10	5	36396001	36239054	35530247	34269944	6,20%	5,75%	3,68%
15	10	10	35383676	36038000	33478263	32169889	9,99%	12,02%	4,07%
15	10	15	32699616	34221109	28198089	26911346	21,51%	27,16%	4,78%

Annexe B

Annexes Demande Variable

Table B.1 – Résumé des résultats du premier scénario avec demande variable

Nombre de variations	Nombre de produits	Degré de variations (%)	Résultat AG	Résultat D1- AG	Résultat D2- AG	Borne Inf	Gaq AG %	Gap D1-AG %	Gap D2-AG %
5	1	5	39118963	38519727	38835223	37472161	4,39%	2,80%	3,64%
5	1	10	40178596	38545096	38498110	36880577	8,94%	4,51%	4,39%
5	1	15	41379716	39332103	38570540	37419934	10,58%	5,11%	3,07%
5	2	5	40558866	38721225	38776987	37322108	8,67%	3,75%	3,90%
5	2	10	43340439	39673078	38646150	37483042	15,63%	5,84%	3,10%
5	2	15	46478498	40848013	38557126	37476304	24,02%	9,00%	2,88%
5	3	5	42201123	39466604	38537388	37447002	12,70%	5,39%	2,91%
5	3	10	47164266	41416676	38576497	37619269	25,37%	10,09%	2,54%
5	3	15	52120325	43124161	38516306	37461845	39,13%	15,11%	2,81%
10	1	5	41249312	39048427	38467468	37277842	10,65%	4,75%	3,19%
10	1	10	42597494	39132975	38181191	37194317	14,53%	5,21%	2,65%
10	1	15	41744332	38938717	38605094	37323293	11,85%	4,33%	3,43%
10	2	5	45960582	40539403	38442431	37426368	22,80%	8,32%	2,71%
10	2	10	50383077	41091965	38563232	37395835	34,73%	9,88%	3,12%
10	2	15	47823339	40693306	38695874	37865498	26,30%	7,47%	2,19%
10	3	5	50204540	41603659	38478700	37480896	33,95%	11,00%	2,66%
10	3	10	56995365	42261890	38288590	36745591	55,11%	15,01%	4,20%
10	3	15	53315714	41497917	38194227	36826394	44,78%	12,69%	3,71%
15	1	5	43722863	40060502	37630697	36490910	19,82%	9,78%	3,12%
15	1	10	43194307	39769330	37968432	37387362	15,53%	6,37%	1,55%
15	1	15	42434009	39156215	37708761	36915881	14,95%	6,07%	2,15%
15	2	5	46479590	39851490	37730042	36666776	26,76%	8,69%	2,90%
15	2	10	45680118	39968087	37969759	36987171	23,50%	8,06%	2,66%
15	2	15	44761487	39543906	38193269	37103397	20,64%	6,58%	2,94%
15	3	5	50925906	41326119	37890009	36952828	37,81%	11,83%	2,54%
15	3	10	49773276	41335383	37670520	36588952	36,03%	12,97%	2,96%
15	3	15	48213713	40543853	38210871	37041385	30,16%	9,46%	3,16%

Table B.2 – Résumé des résultats du deuxième scénario avec demande variable

Nombre de variations	Nombre de produits	Degré de variations (%)	Résultat AG	Résultat D1- AG	Résultat D2- AG	Borne Inf	Gaq AG %	Gap D1-AG %	Gap D2-AG %
5	1	5	39103295	38246146	38123401	36436711	7,32%	4,97%	4,63%
5	1	10	40043028	38786308	37642230	36580410	9,47%	6,03%	2,90%
5	1	15	41093001	39193123	38159883	37387581	9,91%	4,83%	2,07%
5	2	5	40379288	38883231	37921036	36693876	10,04%	5,97%	3,34%
5	2	10	43271290	39894862	37851164	36966097	17,06%	7,92%	2,39%
5	2	15	46276387	40908751	38057472	37363820	23,85%	9,49%	1,86%
5	3	5	42148686	39096613	37660144	36293816	16,13%	7,72%	3,76%
5	3	10	47064905	41243829	38197182	37279997	26,25%	10,63%	2,46%
5	3	15	51954624	42861310	37856713	36742472	41,40%	16,65%	3,03%
10	1	5	40937947	39395079	37686221	36723998	11,47%	7,27%	2,62%
10	1	10	41941489	38852881	37795176	36929854	13,57%	5,21%	2,34%
10	1	15	41255910	38863235	37944665	36985538	11,55%	5,08%	2,59%
10	2	5	45629347	39849452	37560047	36377505	25,43%	9,54%	3,25%
10	2	10	49792637	40306890	37561214	36493440	36,44%	10,45%	2,93%
10	2	15	47457174	40003877	38207624	37135418	27,79%	7,72%	2,89%
10	3	5	50133019	41532370	37479711	36584980	37,03%	13,52%	2,45%
10	3	10	56971508	41978587	37477884	36546363	55,89%	14,86%	2,55%
10	3	15	53250830	41253840	37232108	36371965	46,41%	13,42%	2,36%
15	1	5	43433513	39426536	37355386	36349674	19,49%	8,46%	2,77%
15	1	10	43118504	39233615	37382550	35960175	19,91%	9,10%	3,96%
15	1	15	42430523	38736855	37443786	36654748	15,76%	5,68%	2,15%
15	2	5	46048346	39619797	37343992	36368602	26,62%	8,94%	2,68%
15	2	10	45229807	39875606	37669612	36647067	23,42%	8,81%	2,79%
15	2	15	44241122	39227221	37559311	36311690	21,84%	8,03%	3,44%
15	3	5	50646392	40829534	37528068	36724130	37,91%	11,18%	2,19%
15	3	10	49582210	40924319	38157686	37091233	33,68%	10,33%	2,88%
15	3	15	47973552	39930926	37783423	36424513	31,71%	9,63%	3,73%

Table B.3 – Résumé des résultats du troisième scénario avec demande variable

Nombre de variations	Nombre de produits	Degré de variations (%)	Résultat AG	Résultat D1- AG	Résultat D2- AG	Borne Inf	Gaq AG %	Gap D1-AG %	Gap D2-AG %
5	1	5	41191863	38555834	37140554	36040463	14,29%	6,98%	3,05%
5	1	10	46043623	40279813	36872758	35552115	29,51%	13,30%	3,71%
5	1	15	45332491	38972349	36747462	35816468	26,57%	8,81%	2,60%
5	2	5	39583600	37724379	35626333	34321451	15,33%	9,91%	3,80%
5	2	10	45030811	39739107	35692350	35057232	28,45%	13,35%	1,81%
5	2	15	44286309	38875302	35361091	34637178	27,86%	12,24%	2,09%
5	3	5	38535599	37602945	34058494	32671586	17,95%	15,09%	4,24%
5	3	10	44212785	39347424	34404495	32738345	35,05%	20,19%	5,09%
5	3	15	42865838	38480740	33254284	31833960	34,65%	20,88%	4,46%
10	1	5	49452115	41191818	36780731	35651152	38,71%	15,54%	3,17%
10	1	10	55925518	40952066	36558491	35425345	57,87%	15,60%	3,20%
10	1	15	51740938	40458356	36488989	35117629	47,34%	15,21%	3,91%
10	2	5	48279656	40482176	36636504	35874231	34,58%	12,84%	2,12%
10	2	10	55431804	41029107	36259592	35208119	57,44%	16,53%	2,99%
10	2	15	49618213	39861199	35037964	33835030	46,65%	17,81%	3,56%
10	3	5	47837541	40489219	36343930	34699342	37,86%	16,69%	4,74%
10	3	10	54445098	41365929	36489596	35620722	52,85%	16,13%	2,44%
10	3	15	48549513	40014144	34828966	33111469	46,62%	20,85%	5,19%
15	1	5	49857805	40839757	36705376	35423417	40,75%	15,29%	3,62%
15	1	10	47435495	40015429	35986826	34801288	36,30%	14,98%	3,41%
15	1	15	47521953	39304753	36727702	35791155	32,78%	9,82%	2,62%
15	2	5	48865078	39529334	36106870	35236588	38,68%	12,18%	2,47%
15	2	10	48044519	40379229	36036084	35278085	36,19%	14,46%	2,15%
15	2	15	46128533	39396105	35595658	34928736	32,06%	12,79%	1,91%
15	3	5	49271973	40115616	36668844	35680391	38,09%	12,43%	2,77%
15	3	10	48132661	39920551	36697134	35383522	36,03%	12,82%	3,71%
15	3	15	46371078	39348584	36197932	34688718	33,68%	13,43%	4,35%

Table B.4 – Résumé des résultats du quatrième scénario avec demande variable

Nombre de variations	Nombre de produits	Degré de variations (%)	Résultat AG	Résultat D1- AG	Résultat D2- AG	Borne Inf	Gaq AG %	Gap D1-AG %	Gap D2-AG %
5	1	5	41790957	39587192	37812549	36934785	13,15%	7,18%	2,38%
5	1	10	46411458	40928956	37474586	36885212	25,83%	10,96%	1,60%
5	1	15	46068557	39939199	37908376	37327499	23,42%	7,00%	1,56%
5	2	5	41455861	39034137	37568369	36491561	13,60%	6,97%	2,95%
5	2	10	45930889	40781443	37434073	35868681	28,05%	13,70%	4,36%
5	2	15	45054709	39692364	36887791	35031731	28,61%	13,30%	5,30%
5	3	5	41104490	39165838	37332328	36153483	13,69%	8,33%	3,26%
5	3	10	44879752	40805156	36544174	33293490	34,80%	22,56%	9,76%
5	3	15	44077411	39888256	34423744	32783549	34,45%	21,67%	5,00%
10	1	5	49005887	41798396	36915266	35202473	39,21%	18,74%	4,87%
10	1	10	53113442	41645377	36955567	35923357	47,85%	15,93%	2,87%
10	1	15	51326380	40824727	35982365	34515989	48,70%	18,28%	4,25%
10	2	5	47277306	41022329	36608201	34391632	37,47%	19,28%	6,45%
10	2	10	50834001	41565856	34925689	31847688	59,62%	30,51%	9,66%
10	2	15	48704215	40829793	33350137	30466516	59,86%	34,02%	9,46%
10	3	5	45394839	40620465	35296854	33995199	33,53%	19,49%	3,83%
10	3	10	47746576	41523368	30147299	25924143	84,18%	60,17%	16,29%
10	3	15	45699675	40956947	27672069	24082994	89,76%	70,07%	14,90%
15	1	5	50694939	42773287	37962390	35456678	42,98%	20,64%	7,07%
15	1	10	46955466	41075629	36587307	35027012	34,06%	17,27%	4,45%
15	1	15	47223782	40073252	36499881	35170119	34,27%	13,94%	3,78%
15	2	5	48625804	40797994	35375029	31754576	53,13%	28,48%	11,40%
15	2	10	44178769	40904352	27123709	25510361	73,18%	60,34%	6,32%
15	2	15	46574387	40045410	36563088	35456606	31,36%	12,94%	3,12%
15	3	5	46297511	40596444	28805307	25501836	81,55%	59,19%	12,95%
15	3	10	41948740	40416998	25559662	23818876	76,12%	69,68%	7,31%
15	3	15	46178526	40090450	35925599	34390200	34,28%	16,58%	4,46%

Table B.5 – Résumé des résultats du cinquième scénario avec demande variable

Nombre de variations	Nombre de produits	Degré de variations (%)	Résultat AG	Résultat D1- AG	Résultat D2- AG	Borne Inf	Gaq AG %	Gap D1-AG %	Gap D2-AG %
5	1	5	41874153	39415614	37563028	36573826	14,49%	7,77%	2,70%
5	1	10	46520606	41306693	37555183	36617490	27,04%	12,81%	2,56%
5	1	15	45620110	40341386	37400198	36271437	25,77%	11,22%	3,11%
5	2	5	41008402	39185024	37412816	36693633	11,76%	6,79%	1,96%
5	2	10	45128502	40899997	37022749	36284651	24,37%	12,72%	2,03%
5	2	15	43916517	39690912	36405673	34368371	27,78%	15,49%	5,93%
5	3	5	40667427	38701509	36744453	35695614	13,93%	8,42%	2,94%
5	3	10	43808326	40108322	36078839	34615897	26,56%	15,87%	4,23%
5	3	15	42514808	38990353	34183887	32948552	29,03%	18,34%	3,75%
10	1	5	48739558	41869294	36851593	35779213	36,22%	17,02%	3,00%
10	1	10	54951694	45117110	37555183	36615600	50,08%	23,22%	2,57%
10	1	15	51264035	40958454	36357171	35202210	45,63%	16,35%	3,28%
10	2	5	44876556	39508233	34331620	32955974	36,17%	19,88%	4,17%
10	2	10	49953715	41610455	32729821	31086100	60,69%	33,86%	5,29%
10	2	15	46280824	39173862	31999758	30053515	53,99%	30,35%	6,48%
10	3	5	41964901	38685408	32629208	30161381	39,13%	28,26%	8,18%
10	3	10	46700633	38803458	28435551	27947413	67,10%	38,84%	1,75%
10	3	15	42748752	38365927	26268819	25762134	65,94%	48,92%	1,97%
15	1	5	48845271	41254789	28457862	26984168	81,01%	52,89%	5,46%
15	1	10	49365781	40216587	35154913	32647951	51,21%	23,18%	7,68%
15	1	15	46512649	39647527	32567981	30895489	50,55%	28,33%	5,41%
15	2	5	45296187	39645819	31269747	29957981	51,20%	32,34%	4,38%
15	2	10	46875944	38649578	29678459	28956784	61,88%	33,47%	2,49%
15	2	15	46985763	37894561	30125567	29876451	57,27%	26,84%	0,83%
15	3	5	47594816	40357981	28975489	27645918	72,16%	45,98%	4,81%
15	3	10	48976518	39678461	28279481	26985791	81,49%	47,03%	4,79%
15	3	15	47594811	38976451	26727941	25867291	84,00%	50,68%	3,33%

Annexe C

Annexes Données Asynchrones

Table C.1 – Résumé des résultats pour les première et le deuxième instances avec données asynchrones

Instance	Nombre de variations	Nombre de produits	Nombre de fournisseurs	Degré de variations (%)	Résultat AG	Résultat D1- AG	Résultat D2- AG	Borne Inf	Gaq AG %	Gap D1-AG %	Gap D2-AG %
1	15	3	1	5	50361588	41546061	37604100	36559362	37,75%	13,64%	2,86%
1	15	3	1	10	48744604	40806868	37033774	36253311	34,46%	12,56%	2,15%
1	15	3	1	15	46559730	39494186	36296489	35478436	31,23%	11,32%	2,31%
1	15	3	5	5	49053150	40103314	36441152	35592683	37,82%	12,67%	2,38%
1	15	3	5	10	48269382	40710193	36520283	35785353	34,89%	13,76%	2,05%
1	15	3	5	15	46428819	39989903	35741713	34794414	33,44%	14,93%	2,72%
1	15	3	10	5	47499982	39738202	35181229	33805755	40,51%	17,55%	4,07%
1	15	3	10	10	47617700	40953069	34949486	34132360	39,51%	19,98%	2,39%
1	15	3	10	15	45548118	39973461	34334469	33445891	36,18%	19,52%	2,66%
2	15	3	1	5	50377358	41570132	37138640	35931558	40,20%	15,69%	3,36%
2	15	3	1	10	48718980	40628412	37218607	36365470	33,97%	11,72%	2,35%
2	15	3	1	15	46557805	39411840	36568900	35051089	32,83%	12,44%	4,33%
2	15	3	5	5	48943425	40177618	36313072	35423486	38,17%	13,42%	2,51%
2	15	3	5	10	46306837	39151259	35663937	34605514	33,81%	13,14%	3,06%
2	15	3	5	15	43365770	38436579	34177695	32702905	32,61%	17,53%	4,51%
2	15	3	10	5	48037450	40274839	36009778	35283582	36,15%	14,15%	2,06%
2	15	3	10	10	44932961	39125476	34972379	33117729	35,68%	18,14%	5,60%
2	15	3	10	15	40682439	37462404	30497545	28416227	43,17%	31,83%	7,32%

Table C.2 – Résumé des résultats pour les troisième, quatrième et la cinquième instances avec données asynchrones

Instance	Nombre de variations	Nombre de produits	Nombre de fournisseurs	Degré de variations (%)	Résultat AG	Résultat D1- AG	Résultat D2- AG	Borne Inf	Gaq AG %	Gap D1-AG %	Gap D2-AG %
3	15	3	1	5	49857805	40839757	36705376	35423417	40,75%	15,29%	3,62%
3	15	3	1	10	47435495	40015429	35986826	34801288	36,30%	14,98%	3,41%
3	15	3	1	15	47521953	39304753	36727702	35791155	32,78%	9,82%	2,62%
3	15	3	5	5	48865078	39529334	36106870	35236588	38,68%	12,18%	2,47%
3	15	3	5	10	48044519	40379229	36036084	35278085	36,19%	14,46%	2,15%
3	15	3	5	15	46128533	39396105	35595658	34928736	32,06%	12,79%	1,91%
3	15	3	10	5	49271973	40115616	36668844	35680391	38,09%	12,43%	2,77%
3	15	3	10	10	48132661	39920551	36697134	35383522	36,03%	12,82%	3,71%
3	15	3	10	15	46371078	39348584	36197932	34688718	33,68%	13,43%	4,35%
4	15	3	1	5	50694939	42773287	37962390	35456678	42,98%	20,64%	7,07%
4	15	3	1	10	46955466	41075629	36587307	35027012	34,06%	17,27%	4,45%
4	15	3	1	15	47223782	40073252	36499881	35170119	34,27%	13,94%	3,78%
4	15	3	5	5	48625804	40797994	35375029	31754576	53,13%	28,48%	11,40%
4	15	3	5	10	44178769	40904352	27123709	25510361	73,18%	60,34%	6,32%
4	15	3	5	15	46574387	40045410	36563088	35456606	31,36%	12,94%	3,12%
4	15	3	10	5	46297511	40596444	28805307	25501836	81,55%	59,19%	12,95%
4	15	3	10	10	41948740	40416998	25559662	23818876	76,12%	69,68%	7,31%
4	15	3	10	15	46178526	40090450	35925599	34390200	34,28%	16,58%	4,46%
5	15	3	1	5	48845271	41254789	28457862	26984168	81,01%	52,89%	5,46%
5	15	3	1	10	49365781	40216587	35154913	32647951	51,21%	23,18%	7,68%
5	15	3	1	15	46512649	39647527	32567981	30895489	50,55%	28,33%	5,41%
5	15	3	5	5	45296187	39645819	31269747	29957981	51,20%	32,34%	4,38%
5	15	3	5	10	46875944	38649578	29678459	28956784	61,88%	33,47%	2,49%
5	15	3	5	15	46985763	37894561	30125567	29876451	57,27%	26,84%	0,83%
5	15	3	10	5	47594816	40357981	28975489	27645918	72,16%	45,98%	4,81%
5	15	3	10	10	48976518	39678461	28279481	26985791	81,49%	47,03%	4,79%
5	15	3	10	15	47594811	38976451	26727941	25867291	84,00%	50,68%	3,33%

Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II

NNT : xxx

Akram CHIBANI

Dynamic optimization of agile supply chains : An application to online procurement

Speciality : Industrial Engineering

Abstract : In a context of increased competition between enterprises, supply chains are struggling to respond to an increasingly volatile and complex environment. With technological advances, current practices to build efficient supply chains have changed. Indeed, the enthusiasms of companies with the use of internet have lead researchers to find adequate methods to cope with the dynamic nature of logistics networks. The purpose of this thesis is to address a dynamic procurement issue under asynchronous and repetitive variations over time. The supply chain considered is composed of two levels (buyer-suppliers) operating in highly agile environment. The questions facing the buyer is how many units of product should be purchased and from which supplier in response to variation in term of price and capacity. Because of this highly changing environment characterized by frequents changes in a short time, most of the classical optimization approaches seems inadequate to address these problems. Recently, dynamic optimization has been used successfully to deal with such problems. However, we have no knowledge of its application in a supply chain context. We propose a dynamic genetic approach which is applied to an e-procurement context in aim to optimize the procurement process during time.

Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II

NNT : xxx

Akram CHIBANI

Optimisation dynamique des chaînes logistiques agiles : application au cas d'approvisionnement en ligne

Spécialité : Informatique-Productique

Résumé : Les nouvelles technologies de l'information deviennent un moyen incontournable pour réaliser des transactions instantanées dont tirent profit certaines chaînes logistiques. De ce fait, de nouveaux moyens liés aux opérations d'approvisionnement se développent. Leur émergence est directement liée à l'environnement volatile où évoluent désormais de plus en plus de chaînes logistiques. Les opérations d'approvisionnement du type «e-Procurement» sont des exemples de ces nouvelles pratiques où les chaînes logistiques sont qualifiées d'agiles. L'objectif de cette thèse est d'aborder des problématiques d'approvisionnement où un décideur est confronté au problème de choix de fournisseurs ainsi que la quantité de produits commandée durant le temps. Ces systèmes évoluent dans un environnement changeant caractérisé par des variations asynchrones et répétitives des prix d'achat et de commande ainsi que des capacités des fournisseurs et où l'évolution de ces données est inconnue. L'exemple des systèmes d'achat sur Internet ainsi que les systèmes d'enchères inversées en ligne s'inscrivent parfaitement dans la problématique traitée ici. Dans ce cadre, les approches classiques d'optimisation peuvent s'avérer inadaptées pour ce problème. Les travaux récents sur l'optimisation dynamique peuvent répondre à ce type de questionnement mais n'ont pour l'instant pas été étudiées dans le contexte des chaînes logistiques. Nous proposons, dans cette thèse, une approche basée sur des algorithmes génétiques dynamiques que nous avons illustrée avec trois cas d'application dans le cadre de l'approvisionnement en ligne.