



UNIVERSITE ABDELMALEK ESSAADI
ECOLE NATIONALE DES SCIENCES
APPLIQUEES
TANGER

Centre d'Etudes Doctorales: « Sciences et Techniques de l'Ingénieur »
Formation Doctorale: « Sciences et Techniques de l'Ingénieur »

THESE DE DOCTORAT

Présentée
Pour l'obtention du

DOCTORAT EN SCIENCES ET TECHNIQUES DE L'INGENIEUR

Par :

MAHA AKBIB

Discipline : Génie industriel
Spécialité : Logistique

**Titre : La Technologie de Groupe Appliquée à la Chaîne
Logistique**

Soutenue le 13 Décembre 2014 devant le Jury :

Pr. Ahmed EL MOUSSAOUI
Pr. Youssef AL MARYOUH
Pr. Fouad JAWAB
Pr. Abdelouahid LYHYAOUI
Pr. Oualid KAMACH
Pr. Abdellatif GHACHAM AMRANI
Pr. Abdelfettah SEDQUI

Présidence UAE
ENCG de Tanger
EST de Fes
ENSA de Tanger
ENSA de Tanger
FPL de Larache
ENSA de Tanger

Président
Rapporteur
Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Directeur de thèse
Co-encadrant

Structure de recherche accréditée d'accueil:
Laboratoire des Technologies Innovantes de l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Tanger

Remerciements

Ces années de thèse représentent pour moi une expérience enrichissante sur le plan scientifique avec des échanges intéressants et constructifs et des discussions riches avec différents collègues de travail. Mes remerciements et ma gratitude vont au CNRST qui m'a permis à l'aide de la bourse d'excellence de me dédier à la recherche.

Au moment où s'achève l'écriture de ce rapport de thèse, j'aurais passé quatre ans au sein du Centre d'Etudes Doctorales « Sciences et Techniques de l'Ingénieur », et plus précisément au Laboratoire des Technologies Innovantes (LTI) à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées de Tanger (ENSAT).

Je remercie en premier lieu le directeur du laboratoire, le Professeur Abdelouahid LYHYAOUI, de m'y avoir accueilli.

Par ailleurs, je tiens à remercier les membres du laboratoire LTI, doctorants et professeurs pour leur soutien et qui ont permis de faire avancer ces travaux dans un contexte agréable.

Je tiens à remercier tout particulièrement, mon directeur de thèse Monsieur Abdellatif Amrani GHACHAM et mon encadrant Monsieur Abdelfettah SEDQUI, leur encadrement a été précieux et professionnel ce qui m'a permis d'atteindre les objectifs qui avaient été assignés à cette thèse. Encore un grand remerciement pour leur soutien sans faille.

J'exprime mon profond respect et mes remerciements chaleureux aux membres de jury qui ont bien voulu juger ce travail.

Enfin, j'ai une pensée toute particulière pour ma mère, mon père, mon mari, mon frère, ma famille et tous mes amis qui ont si chaleureusement supporté mon indisponibilité et qui, de près comme de loin m'ont aidé et encouragé au moment opportun.

Résumé

La concurrence se fait actuellement au niveau des chaînes logistiques qui deviennent le levier stratégique pour une meilleure productivité et concurrence sur le marché.

La performance de la chaîne logistique dépend de différents facteurs et critères qu'il faut optimiser.

Parmi les méthodes qui aident à la restructuration et à la performance de la chaîne logistique, surtout pour des sociétés traitant une grande diversité de produits manufacturiers, se trouve la Technologie de Groupe (TG). C'est une philosophie basée sur des méthodes de fouille de données ou de classification pour structurer et augmenter la performance et la compétitivité de l'entreprise. Ce concept est basé sur l'identification et l'exploitation des ressemblances entre les produits, les processus de conception et de fabrication en vue de créer des familles sur lesquels les mêmes stratégies ou traitements seront applicables.

Notre sujet de thèse vise à mener une réflexion très large sur le rôle de la TG dans l'organisation et la gestion des chaînes logistiques.

Nous avons remarqué que la TG était limitée à l'entreprise et souvent, différents problèmes de la Supply Chain sont traités en se basant sur la TG, mais sans qu'elle soit nommée. Pour cela, nous voulons standardiser son utilisation en la généralisant à toute la chaîne logistique et à tout problème relevant de la classification.

Ainsi, nous généralisons le concept de la TG en commençant par le recensement des entités utilisant la TG dans une chaîne logistique intégrée et l'inventaire des travaux correspondants. Puis en décrivant les méthodes mathématiques ou informatiques faisant partie de la TG et utilisées pour résoudre différents problèmes industriels. Tout en faisant de nouvelles propositions d'application de la TG dans la chaîne logistique.

Abstract

The competition is at present made at the level of the supply chains which become the strategic lever for a better productivity and competition on the market.

The performance of the supply chain depends on various factors and criteria which it is necessary to optimize.

Among the methods which help in the restructuring and in the performance of the supply chain, especially for companies handling a big diversity of industrial products, is the Group Technology (GT). It is a philosophy based on methods of data mining or classification in order to structure and increase the performance and the competitiveness of the company. This concept is based on the identification and the exploitation of the resemblances between products, design and manufacturing processes to create families on which the same strategies or treatments will be applicable.

Our thesis subject aims at leading a very wide reflection on the role of the GT in the organization and the management of supply chains.

We noticed that the GT was limited in the company and often, various problems are treated by basing themselves on the GT, but without being named. Then, we want to standardize its use by generalizing it to all the supply chain and to any problem being a matter of the classification.

For that purpose, it is necessary to generalize the concept of the GT by beginning with the inventory of the entities using the GT in an integrated supply chain and the inventory of the corresponding works. Then by describing the mathematical or computing methods being a part of the GT and used to solve various industrial problems. As well as making new proposals for the application of the GT in the supply chain.

Table des matières

Introduction générale.....	12
1. Contexte et motivation de l'étude	12
2. Problématique et objectifs du travail.....	12
3. Présentation de l'étude.....	13
Partie 1 : Le concept de la TG et sa généralisation à la chaîne logistique.....	16
Chapitre 1 : Etat de l'art de la Technologie de Groupe dans la chaîne logistique	16
1. Introduction.....	16
2. Définitions	17
2.1. La Technologie de Groupe.....	17
2.2. Les systèmes de TGAO.....	18
2.3. La codification	18
3. Raisons du recours à la TG	18
3.1. Les grandes mutations industrielles.....	18
3.2. L'enjeu du cycle innovation-production.....	20
3.3. Nécessité d'un nouveau modèle	20
4. TG au magasin	21
5. TG à l'atelier	21
5.1. Les avantages	22
5.2. Les méthodes de la production cellulaire statique	23
5.2.1. Méthodes basées sur la forme des produits :	24
5.2.1.1. Méthode visuelle :.....	24
5.2.1.2. Classification et codage :	24
5.2.2. Méthodes basées sur les gammes de fabrication	27
5.2.2.1. Méthodes de la réorganisation de la matrice	27
5.2.2.2. Méthodes basées sur un groupement hiérarchique	28
5.2.2.3. Méthodes basées sur la programmation mathématiques.....	30
5.2.2.4. Méthodes basées sur la théorie des graphes.....	31
5.2.2.5. Méthodes basées sur un groupement non hiérarchique.....	32
5.2.2.6. Méthodes basées sur la classification automatique	32
5.2.2.7 Les métaheuristiques	33
5.2.2.7.1 Les méthodes de recherche locale.....	34
5.2.2.7.2 Les approches évolutives	36
5.2.2.8. Réseaux de neurones : (Neural Networks).....	38

5.2.2.9. Logique floue : (Fuzzy logic)	38
5.2.2.10. Méthodes basées sur des heuristiques :	38
5.2.2.11. Méthodes hybrides.....	39
5.3. Production cellulaire dynamique	40
5.4. Production cellulaire virtuelle	42
5.5. Eléments exceptionnels.....	43
6. TG et management de production	44
7. TG et maintenance	44
8. TG et la relation client	45
8.1. La personnalisation	45
8.2. La différenciation retardée ou postponement.....	45
9. Relation entre TG et Lean Manufacturing.....	46
10. Conclusion :	48
Chapitre 2 : Généralisation de la Technologie de Groupe à la Supply chain : La Technologie de Groupe Généralisée.....	50
1. Introduction.....	50
2. Le processus d'approvisionnement :	51
2.1. Gestion des fournisseurs :	51
2.2. La gestion des approvisionnements et des stocks :	52
2.3. Le groupage de commandes chez un fournisseur :	54
2.4. Stockage de matières premières:.....	54
2.4.1. Les familles d'articles :	54
2.4.2. Les nomenclatures :	54
2.4.3. Les familles logistiques :	56
2.4.4. La classification ABC :	56
3. Le processus de production :	56
3.1. La formation de cellules de production :	56
3.2. Standardisation des processus	57
3.3. Le bureau de méthode	58
3.4. L'équilibrage de la chaîne de production	58
3.5. L'évaluation des compétences	58
3.6. La maintenance	59
3.7. Le service commercial	59
3.8. Le marketing	59

4.	Le processus de distribution :	61
4.1.	Préparation de commandes :	61
4.2.	La massification : groupage et développement durable	62
4.3.	Les tournées de livraison	62
4.4.	Tournées de véhicules avec gestion de stock (IRP)	63
4.5.	Découpe et conditionnement	63
4.4.1.	Problème du Sac à dos	63
4.4.2.	Problème du Bin Packing	63
4.6.	RFID et gestion des familles de produits	64
4.7.	Les systèmes de recommandation des sites web	64
4.8.	L'agencement de produits et achalandage	64
4.9.	Gestion des déchets :	65
5.	Le retour du produit :	65
6.	Conclusion :	65
	Partie 2 : Applications	66
	Chapitre 3 : La Technologie de Groupe appliquée à l'implantation d'atelier	68
	I - La classification des gammes basée sur la Technologie de Groupe en vue de conception de cellules flexibles de production	68
1.	Introduction :	68
2.	La mesure de ressemblance proposée :	69
2.1.	Approche de la théorie de langage :	69
2.2.	Calcul de la distance et application aux gammes de fabrication	70
2.2.1.	Propriété	71
2.2.2.	Algorithme pour le calcul de la distance	71
2.2.3.	Exemple d'exécution	72
3.	Résultats, validation et interprétation :	73
3.1.	<i>Données de base</i> :	73
3.2.	Les familles de gammes	74
4.	Comparaison	76
5.	Conclusion :	78
	II – proposition d'une méthode basée sur la méthode de vote Schulze pour l'implantation d'ateliers	79
1.	Introduction	79
2.	Méthode d'implantation proposée	81
2.1.	La méthode de Schulze avec l'heuristique de l'ensemble de Schwartz	81

2.1.1.	L'ensemble de Schwartz	81
2.1.2.	Mise en œuvre.....	81
2.2.	Application de la méthode de Schulze à l'implantation d'atelier	82
2.2.1.	la famille F1 :	83
2.2.2.	La famille F2 :.....	85
2.2.3.	La famille F3 :.....	86
2.2.4.	la famille F4 :	87
3.	Comparaison de la méthode Schulze à la méthode des rangs moyens.....	89
3.1.	Le résultat de l'application de la méthode des rangs moyens.....	89
3.2.	La comparaison des deux méthodes.....	93
4.	Conclusion	93
Chapitre 4 : L'application de la TG au E-commerce		94
1.	Introduction :.....	94
2.	Travaux liés à notre approche :	95
3.	Approche proposée.....	96
3.1.	Processus de notre approche proposée.....	97
3.1.1	Formation des communautés par l'application de BEA	97
3.1.2.	Extraction des blocs (communautés)	100
4.	Conclusion	103
Chapitre 5 : Méthode générique du management visuel pour l'aide à la décision : application à l'évaluation, satisfaction, maturité et sélection.....		104
1.	Introduction.....	104
2.	Méthode proposée.....	104
3.	Exemple d'application	105
3.1.	Données de base :	106
3.2.	Application de la méthode :	106
3.3.	Interpretation	108
4.	Utilisations au sein de la chaîne logistique globale :.....	108
4.1.	La satisfaction des clients :	108
4.2.	Le choix des fournisseurs :	109
4.3.	Le management des compétences.....	109
4.4.	La satisfaction des employés.....	110
4.5.	La maturité de la chaîne logistique	110
4.6.	Autres utilisations.....	111

5. Conclusion	112
Chapitre 6 : Méthode générique de classification : comparaison de méthodes de classification pour la formation de cellules, comparaison de gammes d'assemblage	113
1. Introduction.....	113
2. Etat de l'art.....	114
3. Approche proposée	115
3.1. Cadre théorique.....	115
3.2. Applications de la méthode proposée	119
3.2.1. Comparaison de gammes d'assemblage	119
3.2.1.1. Correspondances.....	120
3.2.1.2. Calcul des distances :	120
3.2.1.3. Exploitation	121
3.2.2. Comparaison des coefficients de similarité et leurs partitions pour la formation des cellules	123
3.2.2.1. La base de données.....	123
3.2.2.2. Calcul des distances.....	124
3.2.2.3. Exploitation	126
4. Conclusion	127
Conclusion générale	128
Bibliographie	132

Liste des figures

Figure 1 : Classification des méthodes d'aménagement cellulaire	24
Figure 2 : Exemple de classification visuelle	24
Figure 3 : Exemple d'un monocode	25
Figure 4 : Exemple d'un polycode	26
Figure 5 : Exemple d'un code hybride	26
Figure 6 : Exemple de réorganisation d'une matrice d'incidence	27
Figure 7: Evolution des coefficients de similarité dans le temps	30
Figure 8 : La TG support d'intégration.....	44
Figure 9 : Relation entre la TG et le Lean (extraie et modifiée de [142])	48
Figure 10 : Stratégies d'achat	52
Figure 11 : Courbe d'analyse ABC des stocks	53
Figure 12 : Exemple de nomenclature d'une plaque assemblé [150]	55
Figure 13 : Exemple de nomenclature de famille d'articles [150]	55
Figure 14 : Classification hiérarchique P1 des gammes avec la distance de Levenhstein	74
Figure 15 : Classification hiérarchique P2 des gammes avec la distance de Jaccard	76
Figure 16 : Classification hiérarchique P3 des gammes avec la distance de Dice-Czekanowski	76
Figure 17 : Graphe orienté des duels famille F1	84
Figure 18 : Implantation de la 1ère cellule (Famille F1)	84
Figure 19: graphe orienté des duels famille F2	85
Figure 20 : Implantation de la 2ème cellule (Famille F2)	86
Figure 21 : Graphe orienté des duels (Famille F3)	87
Figure 22 : Implantation de la 3ème cellule	87
Figure 23: Graphe orienté des duels (famille F4)	88
Figure 24 : Implantation de la cellule 4	89
Figure 25 : L'implantation de la première cellule par la méthode des rangs moyens (la famille F1) ...	92
Figure 26 : L'implantation de la deuxième cellule par la méthode des rangs moyens	92
Figure 27 : L'implantation de la troisième cellule par la méthode des rangs moyens.....	92
Figure 28 : L'implantation de la quatrième cellule par la méthode des rangs moyens	92
Figure 29 : Les utilisateurs triés en fonction des poids calculés.....	101
Figure 30 : Les items triés en fonction des poids calculés.....	102
Figure 31 : Distance entre les poids des utilisateurs (Moving Range)	102
Figure 32 : Distance entre les poids des items	103
Figure 33 : Matrice de données transformée en couleurs.....	107
Figure 34 : Matrice de couleurs triée	107
Figure 35 : Arbres d'assemblage	117
Figure 36 : Le stylo à bille	119
Figure 37 : Les 10 gammes d'assemblages de stylo	119
Figure 38 : Arbre de classification des gammes (A_i notée; $i=1,10$)	122
Figure 39 : La classification de 20 indices de similarité.....	124
Figure 40 : Classification d'indices de similarité.....	126

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les indices de similarité les plus utilisés en classification hiérarchique.....	29
Tableau 2 : Critères de la mesure de ressemblances	69
Tableau 3 : Distance entre les gammes abd et aabcd.....	72
Tableau 4 : Vérification des critères par la distance proposée	73
Tableau 5 : Exemples de gammes linéaires.....	73
Tableau 6 : familles obtenues avec $\alpha=6$	75
Tableau 7 : Eléments et profil de la famille F1	75
Tableau 8 : Eléments et profil de la famille F2	75
Tableau 9 : Eléments et profil de la famille F3	75
Tableau 10 : Eléments et profil de la famille F4	76
Tableau 11 : familles obtenues avec $\alpha =0.87$ et distance de Jaccard	77
Tableau 12 : familles obtenues avec $\alpha =0.8$ et distance de Dice-Czekanowski	77
Tableau 13: Quantités commandées	82
Tableau 14 : Confrontation par paires famille F1.....	83
Tableau 15: Confrontations par paires (famille F2).....	85
Tableau 16 : Confrontation par paires (Famille F3).....	86
Tableau 17: Confrontation par paires famille F4.....	88
Tableau 18 : Classement des machines dans la famille F2.....	90
Tableau 19 : Classement des machines dans la famille F1.....	90
Tableau 20 : Classement des machines dans la famille F4.....	91
Tableau 21 : Classement des machines dans la famille F3.....	91
Tableau 22 : Energie de liaison d'un élément par ses quatre proches voisins	98
Tableau 23 : Algorithme BEA.....	100
Tableau 24 : Echelle de type Likert.....	105
Tableau 25 : Matrice de données type likert	106
Tableau 26 : Matrice des distances entre les arbres d'assemblage.....	121
Tableau 27 : La matrice initiale de 8 machines	123
Tableau 28 : Matrice des distances entre les arbres des indices de coefficients	125

Introduction générale

1. Contexte et motivation de l'étude

Les évolutions du monde industriel, à savoir la grande diversité des produits, la variabilité des marchés et des clients à satisfaire en plus de la concurrence accrue, poussent les entreprises à améliorer leur productivité, flexibilité et réactivité. Pour cela, les entreprises cherchent toujours de nouvelles méthodes assurant des gains en termes de temps, qualité, coût...

La concurrence se fait actuellement au niveau des chaînes logistiques qui deviennent le levier stratégique pour une meilleure productivité et concurrence sur le marché.

La performance de la chaîne logistique dépend de différents facteurs et critères qu'il faut optimiser.

Parmi les méthodes qui aident à la restructuration et à la performance de la chaîne logistique, surtout pour des sociétés traitant une grande diversité de produits manufacturiers, se trouve la Technologie de Groupe (TG).

La TG est définie, selon [1], comme étant un concept qui propose de rationaliser la production en tirant profit des analogies entre les éléments du système de production. La classification est une des méthodes appropriées à l'analyse de ces analogies.

La TG s'applique à tous les niveaux de l'entreprise. Elle permet à ces entreprises de bénéficier de gains substantiels au niveau de toute la chaîne logistique.

2. Problématique et objectifs du travail

La TG représente des avantages grâce à son concept de classification et regroupement qui facilite le traitement et la gestion de familles d'objets (produits, clients...) et qui réalise un gain de temps, une amélioration de la qualité, la tension de flux...

Néanmoins, nous avons constaté que les entreprises utilisent la TG dans la plupart de leurs services mais sans se rendre compte ou sans la nommer. D'ailleurs, parfois, le terme TG est utilisé comme synonyme du problème de formation de cellules, ce qui réduit le champ d'utilisation d'une telle philosophie. Pour cela, nous voulons standardiser son utilisation en la généralisant à toute la chaîne logistique et à tout problème relevant de la formation de groupement ie : la classification.

Le sujet de cette thèse vise à mener une réflexion très large sur le rôle de la TG dans l'organisation et la gestion des chaînes logistiques.

Pour cela, nous poserons les jalons d'une nouvelle philosophie qu'on nommera la Technologie de Groupe Généralisée (TGG). Elle consistera à l'exploitation des ressemblances de tous les éléments ou ressources de la chaîne logistique en vue d'une optimisation. Elle est applicable à toutes les données issues des processus de la chaîne logistique à savoir approvisionnement, production et distribution afin d'exploiter la notion de classe (groupe, famille, cluster ...), faciliter la décision et structurer la chaîne.

3. Présentation de l'étude

Nous avons organisé notre travail en deux parties. La première, contient deux chapitres de présentation de l'état de l'art et du nouveau concept de généralisation proposé (la TGG). Quant à la seconde partie, elle contient des applications de la TG dans la chaîne logistique. Et est constituée de trois chapitres.

Le premier chapitre présente de manière plus détaillée le contexte de la thèse. Dans un premier temps, nous décrivons l'évolution de la TG depuis son apparition et les raisons du recours du monde industriel à cette technique. Les domaines d'application de la TG et les solutions apportées par l'utilisation de la TG dans quelques services de l'entreprise sont mis en évidence. Dans un second temps, nous détaillons la relation entre la TG et le lean manufacturing.

Le second chapitre pose les jalons de la TGG qui est une généralisation de la TG à la chaîne logistique. Il est consacré au recensement des entités d'une chaîne logistique intégrée, dès le fournisseur du fournisseur jusqu'au client final, qui utilisent la TG ; et à l'inventaire des travaux correspondants. Nous citons un certain nombre de problèmes relevant de la TG et utilisées dans la chaîne logistique qu'on classera en TGG. Nous voulons affirmer que chaque problème relevant de la classification sera classé comme problème de TGG.

Le Chapitre 3 contiendra l'application des méthodes relevant de la TG pour la construction des familles de produits et des cellules de production correspondantes. Ce chapitre sera divisé en deux : la détermination des familles de produits en se basant sur la classification des gammes de production en vue de conception des cellules flexibles de production, et l'implantation des cellules par l'emploi de la méthode de vote Schulze.

La formation des cellules flexibles de production relève de la Technologie de Groupe qui facilite l'identification des familles de produits et des groupes de machines.

Nous proposons une nouvelle approche pour le regroupement des produits en familles selon leurs gammes de production en se basant sur la théorie du langage. Cette approche

utilise des gammes linéaires des produits qu'on assimile à des mots du langage. On a choisit la distance de Levenhstein ou distance d'édition pour la classification des gammes.

On fera une comparaison entre les résultats de la classification hiérarchique de notre méthode et celles issues de la distance de Dice-Czekanowski et Jaccard. Pour cela, on utilisera l'indice de corrélation vectorielle RV comme indice de comparaison de ces deux classifications.

Puis, nous allons appliquer la méthode de Schulze sur les familles de produits obtenues afin de réaliser l'implantation des cellules correspondantes.

Quant au chapitre 4, nous avons proposé d'appliquer l'algorithme BEA qui est adapté pour un co-clustering des utilisateurs et items. Ceci nous permettant de trouver, de façon naturelle tous les clusters correspondant aux différentes communautés constituants, et sans contraintes a priori sur le nombre de classe. Ce qui facilite la recommandation aux utilisateurs des sites web. Cet algorithme fait partie des méthodes de la TG, très répandues dans le monde industriel. Ainsi, la TG peut être utilisée dans le E-commerce et plus précisément pour les systèmes de recommandation.

Dans le cinquième chapitre, on propose une méthode générique pour l'évaluation de concept, de mesure de satisfaction et/ou de maturité d'un concept, ainsi que l'aide à la sélection ou à la décision. Ainsi, on va créer un programme qui permet de transformer une matrice de données de type Likert en matrice de couleurs positives (Vert et ses variantes) et/ou négatives (Rouge et ses variantes) pour le management visuel. Cette matrice, qui une fois triée grâce à des permutations sur les lignes et les colonnes, permet de donner le résultat d'évaluation, de satisfaction, de maturité et aidant aussi à la prise de décision ou à l'établissement d'un plan d'action. Elle nous permet facilement de savoir les classes ou les éléments sur lesquelles on peut agir pour augmenter la performance (les éléments ayant beaucoup de rouge et ses variantes). Cette méthode a plusieurs utilisations au sein de la chaîne logistique globale notamment la satisfaction des clients ou travailleurs, la sélection des fournisseurs, le management des compétences, la maturité de la chaîne logistique, ...

Dans le chapitre 6, nous proposons une nouvelle méthodologie de comparaison des partitions. Principalement, cette fois-ci la comparaison se fera autrement et d'une façon simplifiée en regroupant en familles ces partitions. Elle est d'abord considérée comme une méthode originale de classification fondée sur la comparaison entre la structure des arbres constitués à partir d'actions logiques dont le but est de connaître les partitions les plus

proches et d'évaluer les différentes approches existantes pour la comparaison des partitions. Les solutions proposées présentaient jusqu'à présent des insuffisances ou lacunes. Différentes approches ont été proposées pour la comparaison des résultats des méthodes de classification, ces approches reposent sur les différents indices. En revanche, notre étude s'appuie sur la comparaison de leurs structures.

Partie 1 : Le concept de la TG et sa généralisation à la chaîne logistique

Chapitre 1 : Etat de l'art de la Technologie de Groupe dans la chaîne logistique

1. Introduction

Avec l'augmentation de la variété de produits et la diminution des lots de production afin de satisfaire les besoins des clients et se confronter à la concurrence, les entreprises se trouvent en face de problèmes logistiques divers. Certaines techniques utilisées dans l'industrie permettent de minimiser les coûts logistiques en tendant le flux, structurant la chaîne et gérant des groupes d'entités (produits, clients, fournisseurs...) permettant ainsi de réaliser des économies d'échelles. Parmi ces méthodes, on trouve la TG.

La TG repose sur des méthodes de fouille de données et surtout de la classification pour structurer et augmenter la performance de l'entreprise, ainsi que sa productivité. Elle est considérée comme l'une des méthodes du Lean Manufacturing.

La TG est une philosophie industrielle dans laquelle des produits semblables sont identifiés et groupés afin de profiter de leurs ressemblances dans la conception, la production, le stockage, la distribution... Le critère sur lequel est basé le groupement varie selon les besoins (formes, dimensions, matière, devis, processus de fabrication, fonction, taux de rotation, destination...).

Une entreprise peut réaliser une très grande diversité de produits dans un environnement qui devient de plus en plus complexe. Mais lorsqu'on étudie ces produits, dans les différents maillons de la chaîne logistique, on trouve des similarités. Alors, l'entreprise peut réaliser des économies en groupant les produits ayant des caractéristiques semblables en familles et appliquer des règles de gestion ou une politique commune pour chaque famille. En plus, la base de données résultante serait certainement plus facile à gérer, car le SI sera bien structuré.

Le concept de la TG a été proposé par Flanders en 1925 [2] et adopté en Russie par Mitrofanov qui en fixa les principes de base dans son livre en 1959 [3] bien que ce travail n'ait été traduit en anglais qu'en 1966 [4]. Mitrofanov a regroupé les pièces présentant des processus de fabrication similaires en familles et a défini pour chaque famille un processus consensus et des règles d'affectations de nouvelles pièces à cette famille.

Dans les années 70, l'importance économique de la TG s'est ressentie et son application pratique commence dans l'industrie. Ainsi, les chercheurs, dont Burbidge [5] [6] [7] fût l'un des pionniers, s'y sont intéressés et de nombreux livres sur la TG ont vu le jour [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17]. Burbidge [7] a développé une approche systématique sur la base de la classification des pièces semblables dans des processus standards similaires. Oliff et Burch [18] ont essayé de réduire les coûts de changement de produit qui étaient fortement dépendant des séquences en groupant les produits en familles. En utilisant ces groupes, ils ont réussi à réduire les changements entre des familles de produit et les coûts de configuration de machine. Hubbard et al. [19] ont incorporé la TG dans la technique de planification de flux de processus pour guider la production d'un système industriel répétitif. De plus, Prasad et Bhadury [20] ont appliqué la TG au groupement des jobs dans des familles basé sur les outils exigés pour ces travaux. Ils ont rapporté que la mise en œuvre de la TG aboutirait à une amélioration de 16.5 % de l'utilisation du centre d'usinage. Al-Salti et Statham [21] ont examiné une procédure efficace pour évaluer les paramètres de processus, en utilisant des données historiques de composants semblables et en se basant sur le principe de la TG. La méthodologie a impliqué la détermination de numéro de code composant, la formation de familles, recouvrant des données et évaluant des paramètres de processus. Cheng et al. [22] ont formulé un 0-1 modèle quadratique pour créer des cellules de machines et un critère pour former des familles de produits correspondantes. Leur méthodologie tient compte des copies multiples de types de machine pour lesquels ils ont proposé une procédure en deux étapes et l'expérience informatique de la procédure a été rapportée. Zhu et al. [23] ont décrit l'application de la TG dans la planification de la production industrielle de sac dans une division de produits tissée d'un fabricant de sac. Cette étude a abordé une nouvelle zone d'application de la TG qui a mené à une meilleure solution d'attributions de main-d'œuvre et a fourni à la direction de l'information de valeur essentielle pour le développement d'un avantage compétitif stratégique. Santos et Araujo [24] ont proposé une mise en œuvre informatique de l'analyse de flux de production pour la TG, appelé 'GroupTech'.

2. Définitions

2.1.La Technologie de Groupe

Selon [25], la TG est un concept de regroupement qui permet d'identifier des similitudes entre les éléments et de les reclasser en familles, en vue d'optimiser les traitements ou les actions les concernant.

C'est une philosophie de traitement basée sur le principe que des produits semblables devraient être traités de la même façon [26].

Une organisation basée sur la TG permet de réaliser des gains au niveau du temps et de l'argent tout au long de la chaîne logistique.

2.2. Les systèmes de TGAO

Un système de Technologie de Groupe Assistée par Ordinateur (TGAO) est un ensemble de logiciels permettant de mettre en œuvre des concepts de la TG dans une entreprise. L'identification, le regroupement et le traitement sont facilités par l'emploi de l'informatique [25]. Elle est à la base de l'organisation de tout système de production.

La TGAO est une exploitation informatique de la TG en choisissant une représentation de données de l'entreprise et des méthodes d'analyse de données ou de data mining. Elle peut traiter des données issues du bureau d'études, du bureau des méthodes et de l'atelier pour l'agencement et l'implantation de lignes de production [27].

2.3. La codification

La codification est le processus d'assigner des symboles aux produits pour refléter leurs attributs. Les éléments sont décrits sous la forme d'un code rassemblant leurs informations.

Le code numérique obtenu identifie en quelque sorte chaque élément. Il est alors possible, en comparant ces codes de ranger dans la même catégorie des éléments qui auraient des codes identiques ou au moins assez proches.

En TG, un élément peut désigner une pièce, un processus, une gamme, un outillage...

Différents systèmes de codification [9] existent : CETIM-PMG [28], MULTI-M, OPITZ [29], ZAFO [30], ZAKO, VETTER, SULZER, PROCAD...

3. Raisons du recours à la TG

3.1. Les grandes mutations industrielles

L'industrie d'aujourd'hui diffère profondément de l'industrie d'hier dans les produits qu'elle fabrique, les procédés qu'elle utilise, les contraintes qu'elle subit ou les relations

qu'elle entretient avec le secteur des services. Ce n'est pas un concept homogène et ses frontières sont de plus en plus difficiles à délimiter.

Citons quelques mutations que connaît aujourd'hui l'industrie :

- L'imbrication avec les services est une des grandes mutations qui s'impose à l'industrie. Les industries consomment des services internalisés ou externalisés (informatique, logistique, marketing...), mais elles sont aussi vendeuses de services associés à des produits (service après vente, maintenance...).

- La fragmentation internationale des processus de production : La décomposition internationale du processus productif est une idée déjà ancienne [31] qui est devenue un élément essentiel de l'économie internationale moderne. Puisque chaque segment d'un produit peut être fabriqué séparément des autres, les entreprises fractionnent les étapes de production nécessaires à une production donnée et de les distribuent entre différents pays/usines pour minimiser les coûts de production [32]. Néanmoins, cette liberté de séparer la fabrication des différents modules est limitée par les contraintes d'interdépendance fonctionnelle entre les différents segments dans les phases de pré-assemblage et d'assemblage [33].

- Les marchés dépendant des changements politico-économiques dans le monde.
- La concurrence exacerbée des puissances émergentes.
- l'amélioration des systèmes d'éducation et d'enseignement supérieur afin de répondre aux besoins de l'industrie.

- les progrès des technologies de l'information et de la communication : la diffusion des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) favorise la mise en œuvre d'une forme spécifique de fragmentation de la chaîne de valeur dans les services [33]. Les NTIC ont un impact très important sur la productivité et la compétitivité des entreprises industrielles en aidant à l'optimisation de la chaîne logistique [34].

- Nouveaux défis qui imposent de nouveaux enjeux et de nouvelles contraintes pour la production : le changement climatique, le développement durable, l'efficacité énergétique, la stagnation économique dans quelques domaines, besoin de main d'œuvre qualifiée et polyvalente...

Ces mutations s'accompagnent de nouvelles stratégies d'organisation de la chaîne de valeur dont la TG constitue une des plus importantes.

3.2. L'enjeu du cycle innovation-production

La croissance des marchés émergents est une des premières raisons des délocalisations. Ces marchés ont l'avantage de ne pas être saturés et de permettre beaucoup plus d'expérimentations. En effet, ils rendent nécessaire le développement de solutions particulières en s'appuyant souvent sur des technologies existantes mais amenant à inventer des solutions plus simples et moins coûteuses.

À cause des changements rapides au niveau de la conception des produits, l'innovation est l'arme de la concurrence. L'innovation est donc le seul moyen, surtout pour les anciennes puissances industrielles, de retrouver des parts du marché mondial et de la croissance car elles ne bénéficient plus de la demande mondiale des produits de bas de gammes et bon marché [35].

L'innovation peut être une arme à double tranchant, soit au niveau de l'environnement car elle peut créer des moyens pour réduire l'énergie utilisée comme elle peut créer de nouveaux risques (ex. l'énergie nucléaire) ; soit au niveau de la création d'emplois parce qu'elle peut engendrer des créations indirectes d'emploi ou une substitution des travailleurs par des machines.

La durée de vie des produits est de plus en plus courte ce qui impose un cycle innovation – production (Time To Market) très court afin de survivre à la concurrence et de satisfaire aux clients qui demandent des produits personnalisés à variantes.

L'évolution de la demande engendrant des livraisons fréquentes et en petites quantités, des délais plus courts et une évolution rapide du produit ; conduit à la recherche de la flexibilité, la réactivité et la performance des moyens de production.

3.3.Nécessité d'un nouveau modèle

Les différents facteurs liés au développement de systèmes industriels et aux changements et variété des intérêts des clients, poussent les entreprises à fabriquer des produits divers avec de hautes capacités. Donc, les systèmes industriels doivent être changés du job shop et des systèmes de production en série à de nouveaux systèmes caractérisés par [36] :

- Une grande variété de produits réalisables,

- Une grande variété de processus de fabrication,
- Un système de production plus complexe,
- Une haute flexibilité,
- Une large réactivité,
- Une gestion à caractère dynamique.

À cet égard, beaucoup d'entreprises industrielles ont remarqué l'efficacité de la TG. Il est le meilleur système pour produire des produits divers en grande quantité avec de haute productivité [37]. En plus, elle joue un rôle significatif dans les concepts de production comme le Just-In-Time (JIT), Total Quality Management (TQM) et dans les technologies comme les systèmes flexibles de production (FMS), Optimized Production Technology (OPT), Computer Integrated Manufacturing (CIM)... [38]

Pour cela, la TG a été sujet de plusieurs recherches grâce à ses avantages. Et elle a prouvée qu'elle peut être appliquée dans de nombreux domaines industriels tels que l'assemblage des circuits imprimés [39], production de fourniture [40], industrie plastique [41], structures de béton armée [42], construction navale [43], et même dans la création des programmes de machines à commande numérique [44]...

4. TG au magasin

Shafer et Ernst [45] ont appliqué les principes de la TG aux opérations de stockage.

Dans les opérations de stockage, l'efficacité peut être améliorée en plaçant ensemble dans l'entrepôt les unités de stock qui ont une grande probabilité d'être collectés simultanément, ainsi réduisant le temps nécessaire pour préparer une commande client [37]. Dans la conception et l'exploitation d'un entrepôt, on a recours à la TG (Pareto, ABC, ABZ...).

5. TG à l'atelier

Dans cette partie nous allons citer les travaux concernant l'aménagement cellulaire de l'atelier ou bien appelé la formation des cellules de production (FCP). La plus grande partie de la littérature est consacrée à ce dylème. Pendant les dernières années, le problème de formation cellulaire a été abordé dans de nombreuses œuvres parce que la conception de

systèmes de production cellulaire est connu comme un problème difficile (c'est en réalité NP-difficile).

Ce problème se pose lorsqu'il s'agit d'implanter ou de réimplanter des systèmes de production. Les premières études entamant la TG utilisaient le terme (TG) comme synonyme de la formation d'îlots de productions.

Kusiak et Chow [46] ont considéré deux formulations du problème de la TG (FCP) à savoir la formulation standard et la formulation augmentée qui associe un coût à chaque pièce ; et ont proposé deux algorithmes pour la résolution du problème (Algorithme d'identification de groupes, algorithme d'analyse des coûts).

Li [47] a entamé un algorithme prenant en compte plusieurs dimensions et non seulement les produits et les machines puisque les facteurs affectant l'aménagement cellulaire dans un atelier sont multiples comme les opérateurs, les transporteurs... Et il parle d'une Technologie de Groupe multidimensionnelle. La signification de cet algorithme est d'arranger toutes les matrices d'incidence dans une matrice d'incidence seule qui est symétrique et peut indiquer les groupes triés directement.

Foulds et Wilson [48] quant à eux, ont développé un nouveau modèle pour le problème de formation de cellules avec modification de machines, et ont proposé des heuristiques afin de le résoudre. Ils introduisent la possibilité que les machines puissent être modifiées, à un certain coût, dans le but de leur permettre d'entreprendre le rôle d'une machine différente en plus de leur rôle habituel. Avec la possibilité supplémentaire de modification de machine, le système de production est capable de traiter toute la pièce dans une seule cellule.

5.1.Les avantages

La FCP consiste en la décomposition des machines en groupes appelés « cellules », chacune de ces cellules traite une famille de produits. Les produits sont rangés en familles en se basant sur leurs similitudes (formes, gammes de fabrication...). Les principaux avantages de ce type d'aménagement se manifestent dans [49] [50] [51]:

- L'amélioration de la flexibilité, la productivité et le respect des délais dans les ateliers de production en petites et moyennes séries ;
- Les tâches de pilotage plus aisées ;

- La réduction du temps de réglage des machines ;
- La standardisation des outils ;
- La minimisation du parcours des produits ;
- La plus grande efficacité ;
- La plus grande spécialisation de la main d'œuvre ;
- La réduction des stocks et en-cours ;
- L'amélioration des relations humaine ;
- L'amélioration de la qualité.

5.2.Les méthodes de la production cellulaire statique

Ces méthodes sont, globalement, toutes des méthodes utilisées en classification automatique. Il est à noter que ces méthodes ne sont pas spécifiques à la TG, mais elles ont été utilisées dans ce contexte [52].

Ces méthodes ont comme données de départ une matrice appelée matrice d'incidence dont les lignes représentent les produits et les colonnes les machines. Leur objectif est de créer des blocs dans la matrice correspondant aux familles de produits et machines associées nécessaires pour la fabrication de ces produits. Donc chaque bloc correspond à une cellule de production.

Il existe plusieurs classification de ces méthodes en littérature [53], [52], [54], [55], [56]. Elles sont souvent classées en deux catégories (voir figure 1 [53]) :

- Méthodes basées sur la forme des produits (ressemblance physique),
- Méthodes basées sur les gammes de production (similarité des opérations).

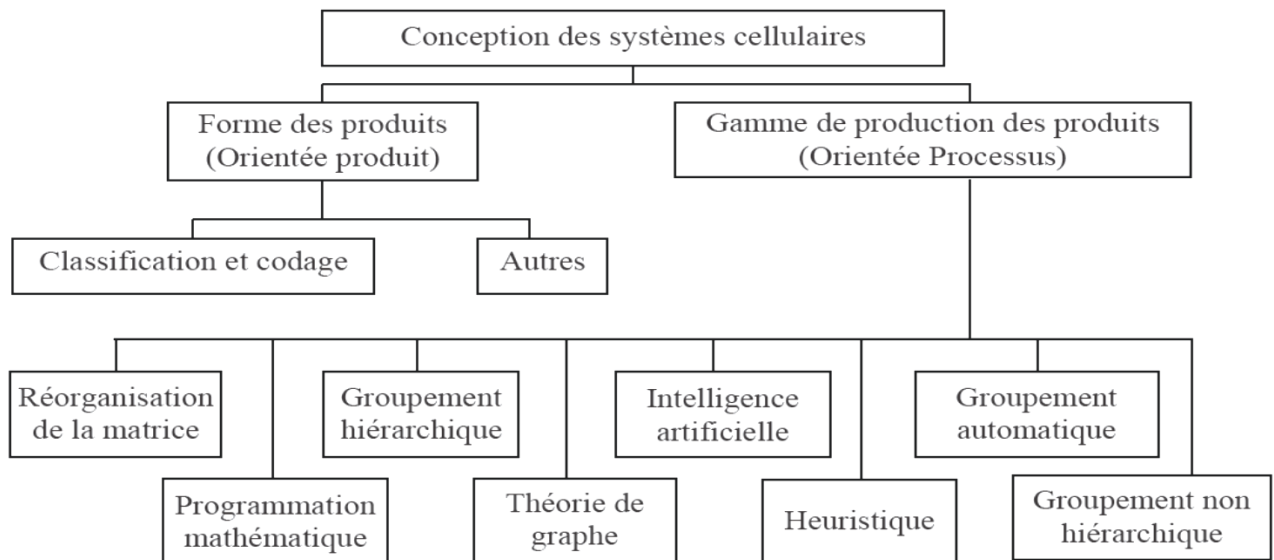


Figure 1 : Classification des méthodes d'aménagement cellulaire

5.2.1. Méthodes basées sur la forme des produits

5.2.1.1. Méthode visuelle

Le processus d'identification de familles de produits en inspectant visuellement les pièces et les assignant aux familles et aux cellules de production auxquelles ils appartiennent (figure 2). Cette approche est limitée aux pièces avec une grande géométrie physique et ce n'est pas une approche optimale puisqu'elle manque de l'exactitude et de la sophistication. Cette approche devient inefficace quand le nombre de pièces augmente [57].

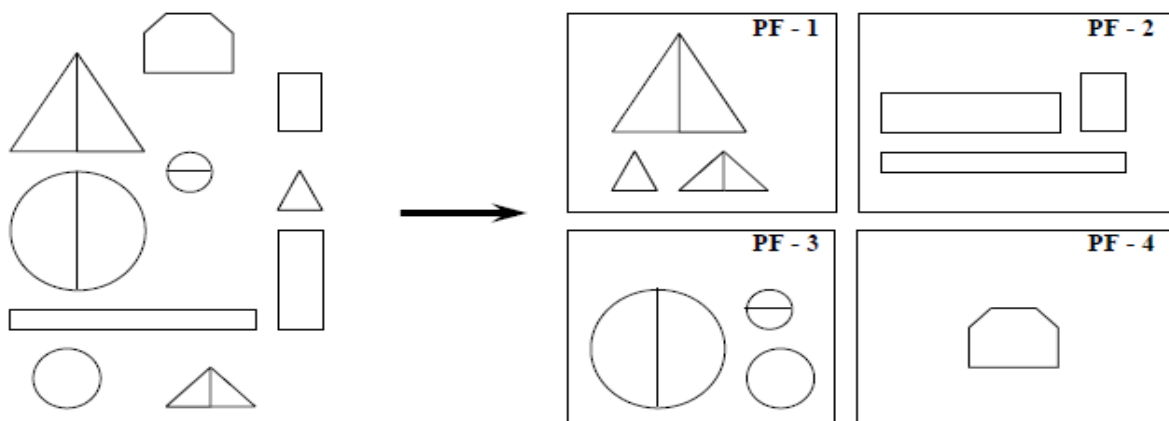


Figure 2 : Exemple de classification visuelle

5.2.1.2. Classification et codage

Cette méthode consiste à classer les produits selon leurs aspects physiques (forme, dimension, matière...) et leur affecter un code chacun.

Tatikonda et Wemmerlöv [58] ont réalisé une étude empirique sur les systèmes de classification et codage utilisés dans sept entreprises comprenant l'enquête, la sélection, la justification et la mise en œuvre. Les caractéristiques et les expériences d'utilisateurs sont comparés et analysés à travers les sept cas.

Bien qu'il y en a un grand nombre de systèmes de classification et codage, ils peuvent être groupés en trois types [59], [57]:

1. Hiérarchique ou monocode (figure 3 [60]) : Dans ce type de code, la signification de chaque caractère dépend de la signification du caractère précédent; c'est-à-dire chaque caractère amplifie les informations du précédent. L'avantage de ce type est qu'il fournit une grande quantité d'informations dans un nombre relativement petit de chiffres, mais il présente un inconvénient quant à la difficulté de définir la signification pour chaque chiffre dans un tel système. Il est très détaillé et compact, mais complexe.

Les bureaux d'étude utilisent fréquemment des systèmes de codage hiérarchiques pour la récupération de produits parce que ce type de système est très efficace pour capturer la forme, la matière et les informations de taille. Les bureaux de méthode, d'autre part, ont des besoins différents qui sont souvent basés sur des exigences de processus.

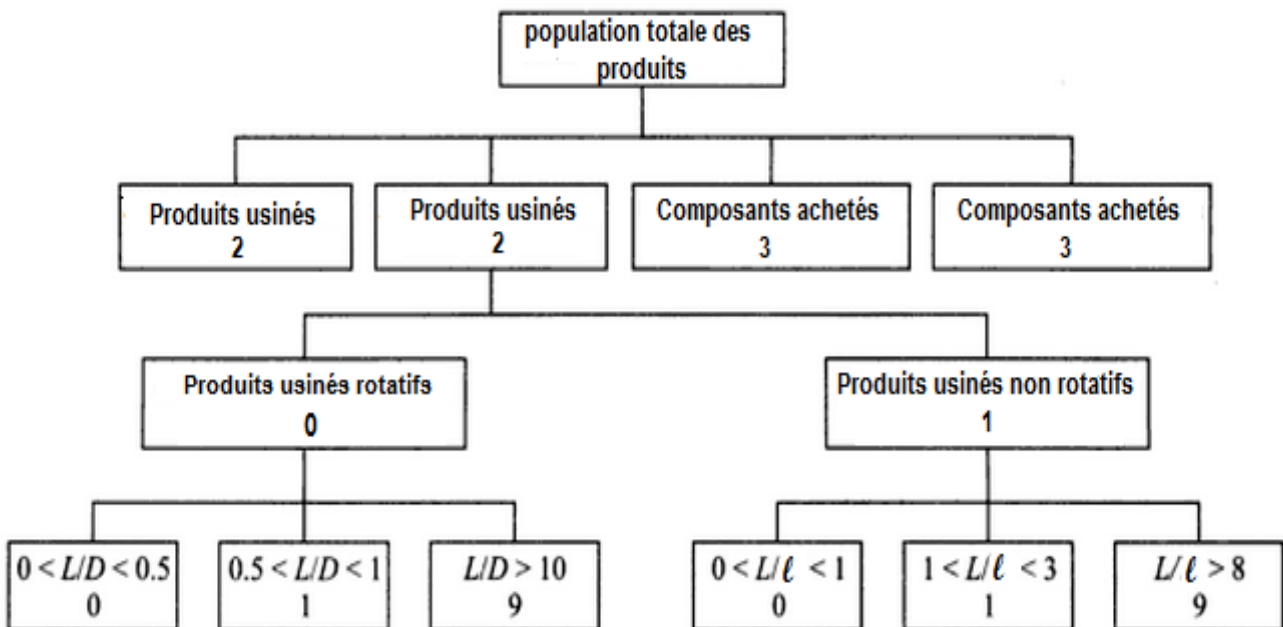


Figure 3 : Exemple d'un monocode

- **Attribut, ou polycode (figure 4 [60])** : Dans le polycode les symboles de code sont indépendants l'un de l'autre. Chaque chiffre dans un emplacement spécifique du code décrit une propriété unique du produit et il est populaire auprès des bureaux de méthode parce qu'il rend facile d'identifier les pièces qui ont les caractéristiques semblables qui exigent le même traitement. Son principal inconvénient est qu'une position dans le code doit être réservée pour chaque différent attribut de la pièce; donc, le code résultant peut devenir très long.

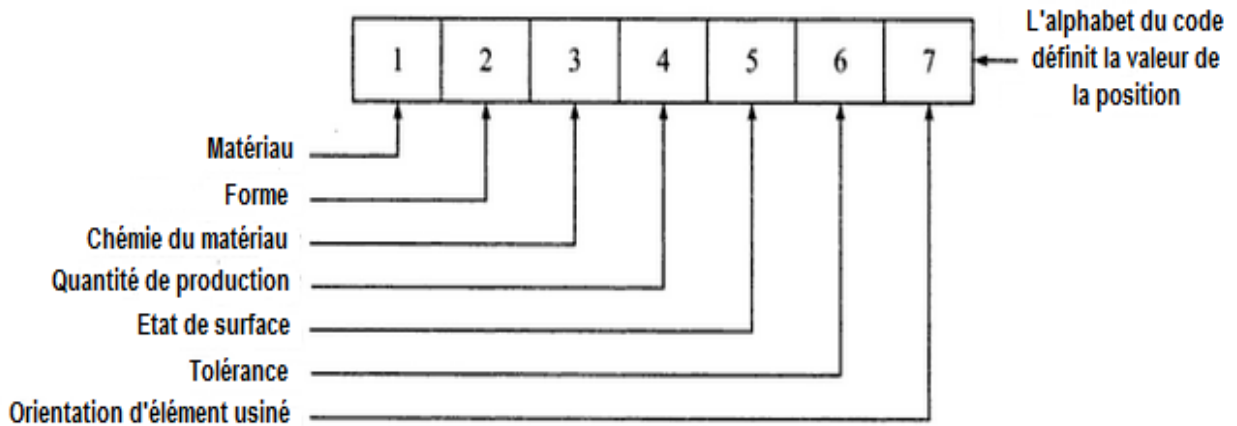


Figure 4 : Exemple d'un polycode

- **Hybride, ou mixte (figure 5 [60])** : C'est un mélange du code hiérarchique et attribut. Il retient les avantages des deux systèmes. La plupart des systèmes de codage utilisent cette structure de code puisqu'il constitue un compromis entre le bureau de méthode et le bureau d'étude.

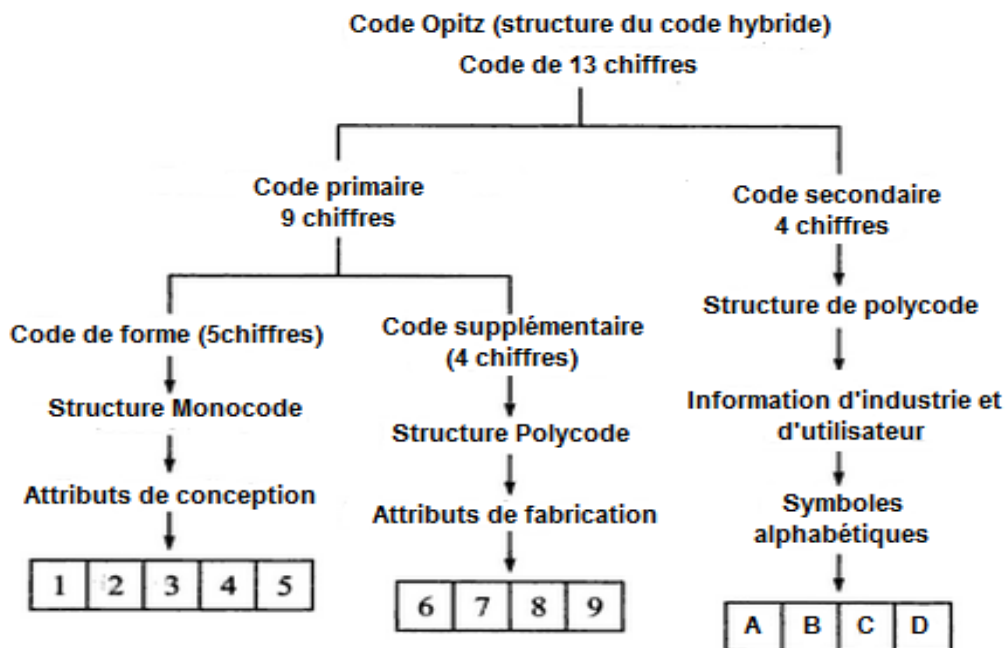


Figure 5 : Exemple d'un code hybride

5.2.2. Méthodes basées sur les gammes de fabrication

Ces méthodes sont basées sur les indices ou coefficients de similarité entre gammes. Une matrice carrée de distance représente les similarités entre les produits et /ou machines à classer. On les appelle méthodes basées sur les gammes de fabrication car elles font intervenir les gammes de production des produits lors de l'emploi de coefficients de similarité entre machines.

5.2.2.1. Méthodes de la réorganisation de la matrice

Une caractéristique commune à cette approche est que toutes les méthodes consistent à réarranger séquentiellement les colonnes et les lignes de la matrice de machine/produit selon un indice, jusqu'à ce que des blocs irréguliers soient produits tout le long de la diagonale. Ces blocs indiquent les groupes de machines qui forment les cellules, ainsi que les familles de produits fabriquées par ces cellules (figure 6).

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
P1		1			1	
P2	1			1		1
P3		1	1	1	1	
P4	1		1			1
P5		1		1		

	M2	M6	M3	M4	M1	M5
P1	1	1				
P5	1	1				
P3			1	1	1	
P2				1		
P4					1	1

Figure 6 : Exemple de réorganisation d'une matrice d'incidence

Plusieurs chercheurs ont développé des méthodes de la réorganisation de la matrice ou en anglais Array Based Clustering, dont les plus connus sont McCormick et al. [61], King [62] et Chan et Milner [63].

En 1972, McCormick a proposé l'algorithme de maximum d'énergie ou Bond Energy Algorithm (BEA) qui se base sur le lien entre un élément de la matrice d'incidence et ces quatre proches voisins [52]. Ces liens sont considérés comme des énergies, et on procède au calcul de l'énergie totale pour toutes les permutations possibles afin de choisir celle qui maximise l'énergie totale. BEA a un inconvénient qui se manifeste par le nombre très élevé

des permutations, que King essaye de limiter dans sa méthode itérative de classification par ordre (Rank Order Clustering). Cette méthode comprend un calcul de poids à chaque itération. De nombreux chercheurs dont King lui-même ont expliqué les limites de cette méthode (un grand poids peut être affecté à un élément exceptionnel, la qualité de la diagonalisation dépend de la configuration initiale de la matrice d'incidence). C'est pour cela que King et Nakornchai [64] proposent ROC2, une amélioration de ROC. La méthode de Chan et Milner est aussi itérative et consiste à réaliser des permutations de lignes et de colonnes pour regrouper le maximum de « 1 ».

Chu et Tsai [65] ont établi une comparaison entre ces trois techniques (BEA, ROC et DCA), et ont jugé que BEA est meilleure que les deux autres. Il est plus efficace et plus efficace d'utiliser BEA lors de l'existence des éléments exceptionnels.

Cependant, selon Boe et Cheng [66], ces méthodes ne produisent pas toujours de matrice de solution qui a une structure de diagonale de bloc, rendant l'identification visuelle de groupes de machines et des familles de produits extrêmement difficiles. Ils ont présenté un algorithme du proche voisin (Close Neighbour Algorithm) pour résoudre ce problème. L'algorithme est testé contre dix algorithmes existants dans la résolution de problèmes dans la littérature. Les résultats de test montrent que l'algorithme est très fiable et efficace.

5.2.2.2. Méthodes basées sur un groupement hiérarchique

La mise en œuvre de ces méthodes est simple, ce qui explique son utilisation fréquente en TGAO [49]. On distingue la classification ascendante hiérarchique (CAH) et la classification descendante hiérarchique (CDH), mais cette dernière est rarement utilisée. La classification ascendante hiérarchique est dite ascendante car elle part d'une situation où tous les individus sont seuls dans une classe, puis sont rassemblés en classes de plus en plus grandes. On obtient un dendrogramme qui est la représentation graphique sous la forme d'un arbre de la méthode de classification hiérarchique.

Ces méthodes de groupement hiérarchique se basent sur la définition d'un coefficient de similarité ou d'une distance entre les éléments (les produits et les machines) appelé indice d'agrégation et le choix d'un algorithme d'agrégation. Plusieurs indices ont été proposés et calculés à partir de la matrice d'incidence binaire [67], citons à titre d'exemple des distances et des indices de similarité les plus répondus en littérature (tableau 1):

Tableau 1 : Les indices de similarité les plus utilisés en classification hiérarchique

Distances et indices de similarité	Expressions
Distance de Hamming	$\frac{N}{T}$
Distance de Hamming pondérée	$\frac{N}{N + P}$
Indice de Jaccard	$\frac{P}{P + N}$
Indice de Kullezynki	$\frac{P}{N}$
Indice de Dice	$\frac{2P}{2P + N}$
Indice de Sokal et Sneath	$\frac{P}{P + 2N}$
Indice de Roger et Tanimoto	$\frac{P + A}{P + A + 2N}$

Avec : P : le nombre de coprésence,

A : le nombre de co-absence,

N : le nombre de non coïncidence

Et $T = P + A + N$.

Plusieurs chercheurs ont proposé des définitions et formulations de coefficients de similarité. McAuley [68] est le premier à avoir défini un coefficient de similarité entre deux machines basé sur l'indice de Jaccard. Kusiak [1] a donné une autre définition de coefficient de similarité entre deux produits.

D'autres propositions de coefficients de similarité ont été introduites. Quelques travaux de recherche ont exposé une revue de ces coefficients comme par exemple [54], [52], [53], [56], [69]...

La proposition de plusieurs définitions de coefficients de similarité a rendu les méthodes hiérarchiques très variées.

Le problème de formation de cellules intègre plusieurs paramètres de production. C'est pourquoi on trouve des dérivés de méthodes de classification hiérarchique qui prennent en compte d'autres paramètres, par exemple : les méthodes basées sur des coefficients de

similarité en tenant compte des gammes alternatives, des paramètres de productivité, des séquences des opérations...

Gupta [70] sont les premiers à avoir proposé des coefficients de similarité entre produits en tenant en compte des durées opératoires de ces produits dans les diverses machines utilisées.

La figure 7 [56] présente l'évolution des principales définitions des coefficients de similarité.

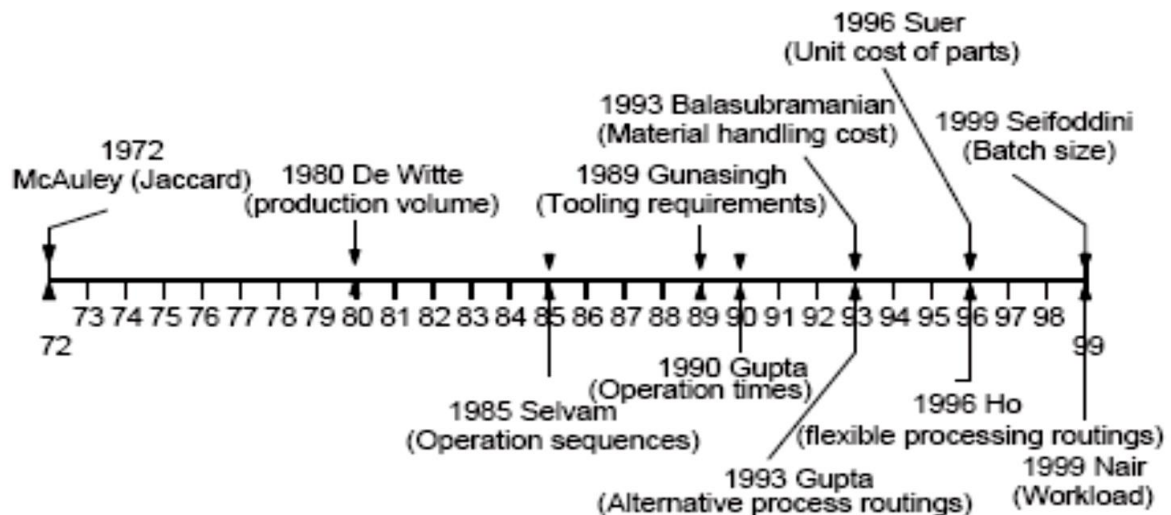


Figure 7: Evolution des coefficients de similarité dans le temps

Seifoddine et Djassemi [71] ont défini un coefficient de similarité en tenant en considération la demande et la taille des lots des produits à lancer.

Gupta [72] est le premier à avoir intégré la gamme de fabrication du produit dans la formulation des coefficients de similarité.

Genwook et al. [73] ont proposé une expression d'un coefficient de similarité entre deux produits en se basant sur les différentes gammes possibles. Ils ont aussi intégré des paramètres de pannes machines dans le coefficient de similarité entre les différentes machines.

5.2.2.3. Méthodes basées sur la programmation mathématiques

Kusiak [1] a proposé le modèle *n-centre* comme l'un des premiers modèles mathématiques pour la formation des familles de produits. Ce modèle fut l'axe de plusieurs travaux de recherches : [74], [75], [76], [77]..., qui ont essayé d'améliorer le modèle *n-centre*: soit en modifiant l'expression du coefficient de similarité, soit en améliorant la fonction objectif et/ou les contraintes.

Kusiak [1] a proposé ce modèle *n-centre* pour la formation des familles de produits. Mais en utilisant le même principe, le modèle peut aussi servir à classer les machines en groupes.

Rajamani et al. [78] sont parmi les premiers chercheurs à avoir proposé des modèles de programmation mathématique en nombres entiers pour le problème de groupement des machines lorsqu'il existe des gammes alternatives.

Panchalavarapua et Chankong [79] ont proposé un modèle de programmation mathématique linéaire en nombres entiers pour des cas spécifiques à une phase finale d'assemblage.

5.2.2.4. Méthodes basées sur la théorie des graphes

Il existe deux types principaux de graphes dans la littérature qui sont utilisés pour la résolution des problèmes de formation de cellules, à savoir : les graphes de bipartition (Bipartite graph) et les approches basées sur des réseaux de flux (The network Flow approach) [53].

La matrice d'incidence peut être également représentée selon la théorie des graphes. L'essentiel dans la solution finale de formation des cellules, est d'avoir une matrice diagonale par bloc.

Dans les graphes bipartition [52], un type de nœud représente les produits et l'autre type représente les machines. Un arc reliant deux nœuds de types différents indique l'utilisation de la machine j pour la fabrication du produit i . Suite à des itérations progressives, on supprime les arcs les plus faibles et on obtient k réseaux indépendants.

Al-quattan [80] a utilisé l'algorithme séparation et évaluation (branch and bound [81]) pour la formation des cellules mais en utilisant une démarche qui se base sur l'analyse d'un graphe de bipartition.

Vohra et al. [82] ont présenté un algorithme pour la formation de cellules pour des matrices d'incidence avec des durées opératoires. L'utilisation des réseaux de flux est la phase la plus importante de leur algorithme pour la classification simultanée des machines et des produits et ceci pour minimiser les mouvements intercellulaires.

5.2.2.5. Méthodes basées sur un groupement non hiérarchique

Les méthodes basées sur un groupement non hiérarchique sont faciles à implémenter. Chandrasekharan et Rajagopalan [83] ont proposé une méthode pour le groupement des produits et des machines. Cette méthode est intitulée : Ideal Seed Non-hierarchical Clustering (ISNC) qu'on peut traduire en français par : « la méthode de la graine idéale » pour les groupements non hiérarchiques. Les auteurs ont utilisé un indicateur de performance appelé « efficacité de groupement » qui mesure les mouvements intercellulaires et le taux d'utilisation des machines.

La méthode consiste à appliquer en première étape la théorie des graphes dans le but de surmonter l'inconvénient de la fixation du nombre de groupes à obtenir avant de commencer la résolution du problème de formation. En seconde étape, ils ont proposé de fixer une valeur initiale de k des groupes à former qu'ils ont nommée graine (seed). En troisième étape, ils ont appliqué une analyse multi variée de la matrice d'incidence.

Un an plus tard, les mêmes auteurs [84] ont proposé le modèle ZODIAC. Ce modèle constitue une amélioration du modèle initial ISNC. Ils ont ajouté une limite critique pour l'indicateur d'efficacité minimum qu'il faut respecter durant toutes les étapes de classification.

Srinivasan et Narendran [85] ont proposé la méthode GRAFICS. Cette méthode consiste à choisir la graine initiale k qui maximise la somme des coefficients de similarité entre les machines.

Selon [53], la méthode GRAFICS a amélioré le résultat de groupement.

5.2.2.6. Méthodes basées sur la classification automatique

Ces méthodes sont appelées aussi les méthodes non hiérarchiques. De nombreux algorithmes de type « plus proche voisin » ont été utilisés en TGAO. Ils consistent à créer des agrégats de produits en réunissant les produits qui sont considérés comme des points dans l'espace des machines. Il faut alors disposer d'une métrique dans cet espace et avoir la possibilité de définir de nouveaux points. Parmi ces méthodes, nous citons : centres mobiles, K-means [86], Isodata [87], Forgy [88], nuées dynamiques.

L'algorithme k-means ou l'algorithme des k-moyennes est un algorithme de partitionnement de données relevant des statistiques et de l'apprentissage automatique non supervisé. C'est une méthode dont le but est de diviser des observations en K partitions (clusters) dans lesquelles chaque observation appartient à la partition avec la moyenne la plus proche. Pour la première itération on choisit un point de départ qui consiste à associer le centre des k classes à k objets. On calcule ensuite la distance entre les objets et les k centres et on affecte les objets aux centres dont ils sont les plus proches. Puis on redéfinit les centres à partir des objets qui ont été affectés aux différentes classes. Puis on réaffecte les objets en fonction de leur distance aux nouveaux centres. Et ainsi de suite jusqu'à ce que la convergence soit atteinte.

Un inconvénient de cet algorithme est que les clusters dépendent du choix des noyaux initiaux.

La méthode des centres mobiles se différencie par rapport à k-means par le fait qu'on n'effectue pas un recentrage dès qu'un objet change de classe.

L'algorithme des nuées dynamiques est une généralisation des k-means où chaque partition est représentée par un noyau pouvant être plus complexe qu'une moyenne. La classification par la méthode des nuées dynamiques est une méthode itérative qui, quel que soit son point de départ converge vers une solution. La solution obtenue n'est pas nécessairement la même quel que soit le point de départ. Pour cette raison, on répète en général plusieurs fois les calculs pour ne retenir que la solution la plus optimale pour le critère choisi.

5.2.2.7 Les métaheuristiques

Le problème de formation de cellules fait partie des problèmes d'affectation généraux, qui représentent une classe importante des problèmes d'optimisation combinatoire. Pour ces derniers, la plupart des cas, trouver la solution optimale est très complexe ; en effet, à quelques exceptions près, la seule méthode connue pour résoudre le problème de manière exacte serait de faire une énumération complète de toutes les solutions possibles (comme dans le cas de la méthode BEA). On parle dans ce cas de problème NP-complet. Ainsi, dans ces conditions, il est nécessaire de trouver un mode de résolution qui fournisse une solution de bonne qualité dans un laps de temps raisonnable, on se contente alors d'avoir une solution approchée au mieux, obtenue par une heuristique ou une métaheuristique.

Les métaheuristiques jouent, aujourd'hui, un rôle primordial dans la résolution des problèmes d'optimisation difficile souvent issus des domaines de la recherche opérationnelle, de l'ingénierie ou de l'intelligence artificielle [89].

Ahadri [90] a considéré le problème de formation de cellules dans un contexte bi-objectif spécifié en termes d'un facteur d'autonomie et de l'équilibre de charge entre les cellules. Il a présenté trois types de méthodes métaheuristiques pour sa résolution et a comparé numériquement ces métaheuristiques. De plus, il a vérifié que ces métaheuristiques génèrent des solutions optimales pour des problèmes de petite dimension qui peuvent être résolus de façon exacte avec CPLEX.

Il existe trois classes principales de métaheuristiques, à savoir les méthodes constructives, les méthodes de recherche locale et les méthodes considérées comme évolutives (algorithmes évolutionnistes) [91]. D'après Geonwook et Leep [92], les méthodes de résolution appartenant aux deux dernières classes sont utilisées pour résoudre le problème de formation de cellules.

Toutes les métaheuristiques s'appuient sur un équilibre entre l'intensification de la recherche et la diversification de celle-ci. D'un côté, l'intensification permet de rechercher des solutions de plus grande qualité en s'appuyant sur les solutions déjà trouvées et de l'autre, la diversification met en place des stratégies qui permettent d'explorer un plus grand espace de solutions et d'échapper à des minima locaux.

5.2.2.7.1 Les méthodes de recherche locale

Les méthodes de recherche locale sont des algorithmes itératifs qui explorent l'espace des solutions admissibles en se déplaçant pas à pas d'une solution à une autre. Le passage d'une solution admissible à une autre se fait sur la base d'un ensemble de modifications élémentaires qu'il s'agit de définir de cas en cas [93].

Les algorithmes les plus connus de cette catégorie sont :

- *Le recuit simulé « Simulated annealing »*

Les origines de la méthode du *Recuit Simulé* remontent aux expériences de Metropolis en 1953 [89]. Le principe est de simuler l'évolution d'un système physique instable vers un état d'équilibre thermique à une température fixée. Boctor [74] a été parmi les premiers à

appliquer une telle méthode pour résoudre le problème de formation de cellules de production. Il a proposé un algorithme de programmation linéaire en nombres entiers qui a pour fonction objectif la minimisation du nombre d'éléments exceptionnels. Il a appliqué ensuite la méthode de recuit simulé sur dix problèmes de formation de cellules avec des matrices d'incidence binaire.

Caux et al. [94] ont proposé un algorithme qui a pour fonction objectif la minimisation du trafic intercellulaire en tenant compte de la contrainte des capacités disponibles des différentes machines du problème. Leur amélioration consiste à intégrer l'approche Branch and bound à la méthode de recuit simulé et ceci pour choisir la meilleure gamme de chaque produit qui donne une meilleure solution. Les matrices d'incidences des différents problèmes demeurent encore binaires.

Xambre et Vilarinho [95] et Wu et al. [96] ont proposé des améliorations pour l'utilisation de la méthode du Recuit Simulé. En effet, ils ont intégré le problème de machines multiples et le pourcentage d'utilisation des différentes machines dans le problème de formation des cellules.

- La méthode Tabou

Tant que l'on ne se trouve pas dans un optimum local, toute méthode itérative améliore à chaque étape la valeur de la fonction objectif. Lorsque l'on atteint par contre un optimum local, la règle de déplacement permet de choisir le moins mauvais des voisins, c'est-à-dire celui qui donne un accroissement aussi faible que possible de la fonction objectif. Ainsi, la méthode Tabou s'appuie sur un second principe qui consiste à garder en mémoire les dernières solutions visitées et à interdire le retour vers celles-ci pour un nombre fixé d'itérations, le but étant de donner assez de temps à l'algorithme pour sortir d'un minimum local.

L'utilisation de la méthode Tabou est récente pour la formation de cellules de production. Cao et Chen [97] ont proposé un modèle de programmation non linéaire en nombres entiers qui a pour fonction objectif la somme des différents coûts fixes et variables d'exploitation des cellules de production. Ils ont résolu ce modèle par l'application de la méthode Tabou.

Adenso-Diaz et al. [98] ont introduit des coefficients de similarité dans la formulation du problème puis ils ont appliqué la méthode Tabou pour les différents problèmes cités dans [74]. Ils ont amélioré légèrement les résultats.

Fould et al. [99] ont développé un algorithme de la méthode Tabou, en tenant compte du nombre de machines nécessaires par type. Ils ont essayé de minimiser les mouvements intercellulaires à travers une fonction coût et de changer si nécessaire la séquence des produits exceptionnels dans les différentes cellules.

5.2.2.7.2 Les approches évolutives

Les méthodes évolutives ont suscité un intérêt grandissant de la part de nombreuses communautés scientifiques [100]. Les modèles utilisés, leur principe inspiré de la nature, leur capacité à prendre en compte un large spectre de problèmes, la raisonnable complexité des algorithmes mis en œuvre et les performances atteintes ont indubitablement contribué à leurs succès. Plusieurs chercheurs ont utilisé les algorithmes évolutionnistes (AE) pour la conception, la configuration et la conduite des systèmes de production et en particulier des systèmes de production cellulaires.

Quand on optimise un système de production, une solution peut être, par exemple, représentée par une liste de paramètres (liste de machines par cellules, liste de produits par famille...). D'autres représentations possibles peuvent être un tableau de codes binaires par exemple [101], une liste de données [102], une expression, etc.

Falkenauer [103] a été parmi les premiers à appliquer les algorithmes génétiques pour résoudre le problème de formation de cellules de production.

Dans Pierreval et al. [104], les auteurs présentent une revue de la littérature de l'utilisation des AE soit pour la conception ou pour la configuration des systèmes de production cellulaire.

Caux et al. [101] ont proposé une méthode pour former des cellules en prenant en compte les machines et les opérateurs. Ils évitent au maximum d'affecter des opérateurs sur des machines dépassant leur compétence. Si c'est le cas, un coût d'apprentissage intervient. L'objectif est donc de minimiser les coûts de formation au regard des quantités de produits. L'algorithme évolutionniste gère une population où chaque solution est un ensemble de

cellules sur lesquelles sont affectés des opérateurs ; l'affectation des opérateurs étant réalisée par une méthode tirée de la théorie des graphes. Mak et al. [105] ont proposé des améliorations intéressantes à la formulation de l'algorithme génétique au niveau prise en compte de plusieurs paramètres de production. Vin et al. [106] ont traité le problème de formation de cellules de production en présence de gammes alternatives et de contraintes de capacité au niveau des machines, ils ont proposé une approche basée sur l'intégration d'un algorithme génétique de groupement multi-objectifs pour la formation des cellules dans un premier algorithme génétique de groupement multi-objectifs pour le choix du routage préférentiel qui permettra d'optimiser la mise en cellules en terme de trafic intercellulaire. L'objectif principal est de minimiser ce trafic en respectant les contraintes de capacité.

Nsakanda [107] a proposé une formulation du problème de formation de cellules manufacturières en présence de gammes alternatives ainsi qu'une approche de résolution. A cet effet, une modélisation qui englobe plusieurs situations spécifiques déjà traitées dans la littérature est développée. En plus de couvrir un large champ d'application, le modèle obtenu permet de tenir compte des décisions de génération de configurations cellulaires, de dimensionnement du système manufacturier cellulaire d'analyse ou d'évaluation des configurations cellulaires et, enfin, des décisions de sélection d'un sous-ensemble de pièces à produire. Étant donné la complexité combinatoire du modèle, une méthode de solution, utilisant une combinaison d'algorithme génétique et d'algorithme d'optimisation, est proposée. Dans cette méthode, l'algorithme génétique est utilisé pour fixer certains paramètres du modèle général. Le modèle résiduel qui en résulte est résolu à l'aide d'un algorithme d'optimisation pour obtenir l'évaluation des chromosomes. Compte tenu de la taille élevée de ce modèle résiduel, sa structure est exploitée afin de recourir à la décomposition Dantzig-Wolfe [108] où les sous-problèmes sont résolus à l'aide d'un algorithme de programmation dynamique.

Stawowy [109] a utilisé l'algorithme génétique pour la formation des cellules de production. Il a utilisé l'indice efficacité de groupement comme nouveau critère d'arrêt.

Par contre, Chan et al. [102] ont proposé l'application d'un algorithme génétique pour la résolution du problème de groupement des machines lorsqu'il existe des gammes alternatives, c'est-à-dire lorsqu'il existe plusieurs scénarios de fabrication possibles pour un même produit. Ils ont défini au départ un algorithme de programmation en nombres entiers qui a comme

fonction objectif la minimisation du nombre des éléments exceptionnels et des éléments vides.

5.2.2.8. Réseaux de neurones : (Neural Networks)

De nombreux chercheurs travaillant sur l'intelligence artificielle reprochent aux réseaux neuronaux de ne servir qu'à la reconnaissance des formes. Il est vrai qu'ils ont été créés pour résoudre ce problème, mais la technologie s'est développée bien au-delà des objectifs d'origine. Le principe de réseaux de neurones est aussi utilisé pour la conception de production et en particulier la conception des systèmes de production cellulaires.

Carpenter et al. [110] ont développé la théorie ART1 (*Adaptive Resonance Theory*) qui se base sur un apprentissage non supervisé. Cet apprentissage permet de décomposer les vecteurs d'entrée en groupes en se basant sur des coefficients de similarité. Plusieurs chercheurs ont proposé des modèles qui se basent sur le principe des réseaux de neurones et en particulier Venkumar et Noor-ul-Haq [111] qui ont amélioré le modèle ART 1. Ils ont affirmé que les résultats de formation des cellules sont identiques à ceux obtenus par les algorithmes évolutionnistes.

5.2.2.9. Logique floue : (Fuzzy logic)

Xu et Wang [112] sont parmi les premiers chercheurs à avoir utilisé la logique floue pour la formation des cellules de production. Ils ont appliqué plusieurs vecteurs qui décrivent les différentes entités des produits. Le nombre de familles à former étant fixe d'avance. Un nouveau type de produit est affecté à l'une des familles les plus proches en utilisant une technique de reconnaissance. Cette méthode n'est applicable que pour des matrices d'incidence binaire. Lozano et al. [113] ont amélioré les résultats de formation et ils ont rendu la méthode capable d'estimer le nombre de cellules à former.

5.2.2.10. Méthodes basées sur des heuristiques :

Une heuristique est utile lorsque l'espace de recherche, c'est-à-dire le nombre de possibilités cherchant à former les cellules, est trop grand pour être entièrement exploré : elle permet de réduire ce nombre et aboutir à une solution plus rapidement. Il existe plusieurs heuristiques pour résoudre le problème de formation de cellules en littérature.

Akturk et Balkose [114] ont proposé une heuristique pour la formation des cellules tout en optimisant plusieurs critères de performance : minimiser les éléments exceptionnels, maximiser l'utilisation des machines dans leurs cellules...

Kitaoka et al. [115] ont proposé une méthode d'analyse multivariée pour la formation des cellules de production en trois phases. Dans les deux premières phases, ils ont adopté la définition du coefficient de similarité de Kusiak pour les machines et les produits. En une troisième phase, ils ont appliquée une double classification de la matrice d'incidence selon les lignes puis selon les colonnes.

Cheng et al. [116] proposent des règles pour la classification des machines et des produits et pour le traitement des éléments exceptionnels. Ces règles sont appliquées dans un ordre bien précis en proposant des heuristiques

Mukattash et al. [117] ont proposé une heuristique pour la résolution du problème de groupement des machines lorsqu'il existe des gammes alternatives. L'entrée de cette heuristique est une matrice d'incidence avec des durées opératoires.

5.2.2.11. Méthodes hybrides

De nombreux travaux de recherche combinent entre différentes méthodes de formation de cellules afin de tirer profit de leurs avantages. Hachicha [49] a développée une méthode pour la formation des cellules de production sans ou avec l'intégration de paramètres de production. Elle consiste à combiner le principe des méthodes de classification automatique avec celui des méthodes hiérarchiques en se basant sur une définition originale de coefficients de similarité.

La force d'un algorithme hybride réside dans la combinaison de deux principes de recherche fondamentalement différents [93]. Les nombreuses adaptations qui ont été proposées dans la littérature comblent les déficiences principales des méthodes évolutives classiques dont les performances globales sont souvent bien inférieures à celle d'une méthode de recherche locale telle que la méthode tabou ou le recuit simulé. Des résultats fort intéressants ont été obtenus récemment en insérant une méthode de recherche locale dans la phase d'adaptation individuelle d'une méthode évolutive.

5.3. Production cellulaire dynamique

La réduction du cycle de vie de produit et la variation dans l'assortiment de produits et des demandes crée la condition dynamique dans les systèmes industriels. À cause de l'effet des besoins de la planification de production dans la reconfiguration et la formation de cellules dans des conditions dynamiques, l'intégration de ces concepts est une question importante et primordiale. D'autre part, la considération des exigences de l'ouvrier est un paramètre critique dans la mise en œuvre des phases de formation cellulaire qui augmente l'efficacité de conception de systèmes industriels cellulaires.

Bien que la fabrication cellulaire fournisse de grands bénéfices, la conception de systèmes industriels cellulaires est complexe pour des problèmes réels. Les méthodes de conception existantes emploient la simplification des suppositions qui détériorent souvent la validité des modèles utilisés pour obtenir des solutions. Dans les deux dernières décennies, un certain nombre de chercheurs ont effectué des études scientifiques sur la production statique et des états de demande déterminés. Cependant, dans le monde réel un modèle de CM consiste souvent en un grand nombre de variables et de contraintes. En conséquence, la meilleure configuration cellulaire pendant une période peut ne pas être efficace pendant des périodes successives et ainsi cela nécessite des reconfigurations.

Le travail de recherche de Mungwattana [118] a eu pour but de développer un modèle et une approche de solution pour la conception des systèmes industriels cellulaires qui adressent les défauts en assumant les exigences de production stochastiques et dynamiques en intégrant la flexibilité des gammes de fabrication. Un modèle mathématique et une procédure de solution optimale ont été développés pour la conception des cellules de production dans un environnement de production dynamique et stochastique employant la flexibilité des gammes. Des techniques d'optimisation pour résoudre de tels problèmes exigent d'habitude un temps substantiel et un espace de mémoire volumineux. Ainsi, une heuristique à recuit simulé a été développée pour obtenir de bonnes solutions dans des temps raisonnables. Mungwattana a évalué l'heuristique proposée de deux façons différentes : d'abord, de nombreux problèmes de conception de cellules de production ont été générés et résolus en utilisant l'heuristique. Les solutions obtenues de l'heuristique ont été comparées avec les limites inférieures de solutions obtenues de la procédure de solution optimale. Les limites inférieures ont été utilisées au lieu des solutions optimales à cause du temps informatique nécessaire pour obtenir des solutions optimales. Les résultats montrent que l'heuristique a de

bons résultats dans des circonstances diverses, mais la flexibilité des gammes de fabrication a un impact majeur sur la performance de l'heuristique. Et l'heuristique semble avoir de bons résultats indépendamment de la taille du problème. Puis, les solutions connues de deux problèmes de conception de cellules dans la littérature ont été utilisées pour comparer avec ceux de l'heuristique. L'heuristique surpasse légèrement une approche de conception, mais considérablement surpasse l'autre approche de conception.

Kia et al. [119] présentent un nouveau modèle de programmation non-linéaire à entier mixte pour la conception de l'implantation d'un système industriel cellulaire dynamique (DCMS). Trois décisions majeures en corrélation sont impliquées dans la conception de cellules de production; à savoir la formation de cellules (CF), disposition de groupe (GL) et la planification du groupe (GS). Le modèle proposé intégrant les décisions de CF et GL peut être utilisé par des chercheurs et des praticiens pour concevoir GL dans des problèmes de formation cellulaire pratiques et dynamiques. Un autre aspect compromettant de ce modèle est l'utilisation de disposition de multi-rangées pour localiser des machines dans les cellules configurées avec des formes flexibles. Ce modèle de DCMS se caractérise par une couverture vaste de caractéristiques industrielles importantes et incorpore plusieurs caractéristiques de conception incluant les gammes alternatives de fabrication, l'ordre d'opérations, le temps de traitement, le volume de production de pièces, achat de machine, duplication des machines, capacité de machine, division de lot, disposition intra-cellulaire, disposition inter-cellulaire, disposition de multi-rangées d'installations de zones égales et reconfiguration flexible. L'objectif du modèle intégré est de minimiser les coûts totaux de la gestion de matériel intra et inter-cellulaire, le transfert de machine, l'achat de nouvelles machines, et la gestion des machines. Les procédures de linéarisation sont utilisées pour transformer le modèle de programmation non-linéaire présenté en une formulation linéaire. Un algorithme de recuit simulé efficace avec la représentation de solution minutieusement conçue et la génération de voisinage est étendu pour résoudre le modèle proposé à cause de sa NP-dureté.

Niaki et al. [120] ont proposé un modèle qui a les mêmes buts et avantages que celui de Kia et al. , un modèle de programmation mathématique multi-objective à entier mixte qui considère le problème de formation cellulaire et la planification de production homogènement. De plus, ce modèle suit la détermination de politique optimale de production et l'attribution optimale de travailleurs aux cellules industrielles.

Ahmed et al. ont présenté un modèle mathématique de programmation non-linéaire à entier mixte pour concevoir des systèmes industriels cellulaires (CMS) dans un environnement dynamique (DE). Il considère les machines et la flexibilité de gammes dans des états de production dynamiques. Ce modèle de CMS appartient à une classe des problèmes NP-Complete qui ne peuvent pas être résolus par des méthodes d'optimisation traditionnelles. Ainsi, ils proposent trois méthodes méta-heuristiques célèbres, c'est-à-dire le recuit simulé (SA) [121], les algorithmes génétiques (GA) [122] et la recherche tabou (TS) pour résoudre le susdit problème.

Brun-Picard et Baboli [123] ont proposé une approche produit pour la planification des systèmes flexibles de production dont le principe fondamental mène à associer toute la connaissance et toute la capacité de décision exigée pour le contrôle aux produits actuels. Cette approche est basée sur un modèle social dans lequel les ressources et les produits sont les deux actifs pour prévoir les opérations

5.4. Production cellulaire virtuelle

Il est important de mentionner que la Production Cellulaire Virtuelle (VCM), pour des dispositions fonctionnelles, est une conversion à la Production Cellulaire (CM). La réorganisation de la disposition cellulaire pour respecter les besoins changés, cependant, peut être coûteuse et consommatrice de temps [124]. De plus, si ces changements arrivent très fréquemment, la reconfiguration devient irréalisable. Cependant, au lieu d'une redistribution physique de machines, le VCM a pour but de réduire les temps de configuration en groupant des travaux semblables dans la planification et le contrôle de production.

Le concept de cellules virtuelles permet d'entretenir la haute efficacité de configuration sans lâcher la flexibilité inhérente à une disposition de processus [125].

Plusieurs chercheurs ont proposé des algorithmes pour la résolution du problème de formation de cellules virtuelles de production. Xambre et Vilarinho [126] ont proposé un algorithme qui utilise un méta-heuristique pour améliorer l'exploration de l'espace de solution. Nomden [127] a présenté, dans sa thèse, trois études de simulation d'heuristiques d'attribution à base de famille (VCM), et en collaboration avec Van der Zee [128], il a étudié l'augmentation de la flexibilité des gammes en terme du nombre et distribution des machines alternatives disponibles pour une famille de produits et le nombre des ressources secondaires.

Chowdary et al. [129] ont développé un nouveau concept de VCM et abordé ses questions opérationnelles par une illustration numérique.

Nomden et Slomp [130] ont distingué quatre types de base de systèmes VCM : VCM concentré sur le travail (J-VMC), le VCM concentré sur les ressources (R-VMC), le VCM concentré sur la TG (GT-VMC) et le VCM concentré sur équipe (W-VMC). Et Esmæilian et Hamedi [131] ont fourni une synthèse sur les efforts récents et les développements dans le domaine des VCM pour faire des comparaisons exigées parmi les œuvres publiées et déterminer des perspectives de recherche futures.

5.5.Éléments exceptionnels

On a constaté pour n'importe quelle méthode de formation de cellules (avec ou sans gammes alternatives), qu'il est rare de trouver des cellules complètement indépendantes. C'est sans la présence d'éléments exceptionnels (EE) dans la solution finale. Les EE sont des machines de goulot d'étranglement et les parties exceptionnelles qui parcourent deux ou plus cellules industrielles. Il y en a de nombreux scénarios ou stratégies de traitement des EE, à savoir : la duplication de machines exceptionnelles, la sous-traitance de produits exceptionnels, etc.

L'application de l'une de ces stratégies est nécessaire pour atteindre les objectifs de la TG. Hachicha et al. [132] ont proposé une approche par simulation pour le choix économique entre les stratégies possibles de traitement des EE. Cette approche permet d'évaluer puis d'améliorer la performance des cellules de production. Deux stratégies, basées sur l'optimisation des coûts de transfert et d'investissement, ont été étudiées : la première consiste à admettre les machines exceptionnelles et la deuxième traite le cas de dupliquer ces machines pour éliminer les transferts entre cellules.

Shafer et al. [133] présentent un modèle de programmation mathématique qui traite des éléments exceptionnels. Une solution initiale est développée en utilisant n'importe laquelle des nombreuses procédures de formation cellulaires. Les éléments exceptionnels qui peuvent être éliminés en changeant la conception ou les plans de processus des pièces sont éliminés. Puis, le modèle de programmation mathématique est résolu pour déterminer comment le mieux traiter les éléments exceptionnels restants. Le modèle de programmation mathématique considère trois coûts importants : le coût du transfert intercellulaire; le coût de duplication de machine; et le coût de sous-traitance.

6. TG et management de production

L'intégration de la gestion d'opération et de la TG est nécessaire pour améliorer la productivité et l'efficacité. L'association de la TG à des outils de la conception assistée par ordinateur (CAO), de la fabrication assistée par ordinateur (FAO) et de la gestion de production assistée par ordinateur (GPAO) constitue un lien entre études et atelier [36] et devient un support d'intégration entre services techniques et commerciaux, voir figure 8 [134]. Par conséquent, le rôle de la TG dans le Computer-Integrated manufacturing (CIM) est plus identifié. Un aspect essentiel de l'intégration de FAO et de CAO est l'intégration d'informations utilisées en ingénierie, production et tous les autres départements dans une société. La Technologie de Groupe fournit un moyen pour structurer et enregistrer des informations sur les produits, comme les attributs de la conception et de la production, les processus et les capacités industrielles qui sont susceptibles à l'informatisation et l'analyse.

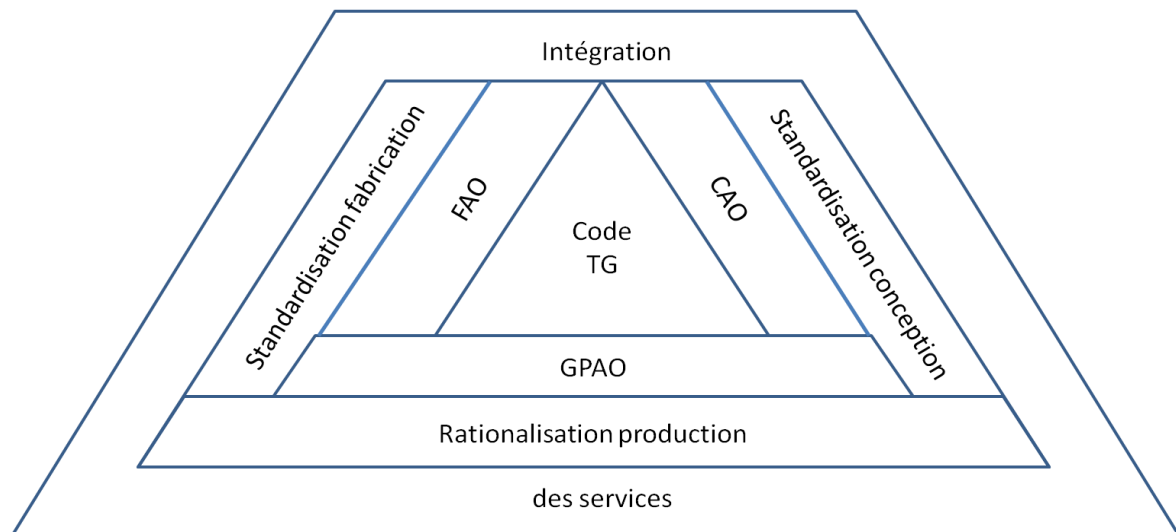


Figure 8 : La TG support d'intégration

Elle fournit un langage commun pour les utilisateurs. L'intégration de plusieurs types d'informations concernant le produit serait pratiquement impossible sans Technologie de Groupe. Par conséquent, la Technologie de Groupe est un élément important d'intégration de CAO/CAME.

7. TG et maintenance

Seifoddini et Abdelhadi [135] ont créé des cellules virtuelles de machines, non pas pour la production mais pour programmer la maintenance, et ce en appliquant la méthode de coefficient de similarité basée sur le concept de Technologie de Groupe. En effet, ils ont regroupé les équipements avec exigences de maintenance semblables. Et par conséquent, la

planification et la programmation d'opérations de maintenance selon les exigences de telles cellules simplifieront ces opérations menant à la meilleure efficacité opérationnelle.

Almomani et al. [136] ont développé un modèle de maintenance préventive qui confronte les problèmes des méthodes traditionnelles de conduite de la maintenance préventive dans des environnements de haute variété de composant/machine.

8. TG et la relation client

8.1. *La personnalisation*

La personnalisation, ou marketing one-to-one, est devenu un procédé incontournable. Parce que le monde se dématérialise et se standardise, le consommateur est désireux, par réaction, d'unicité, d'originalité et de sur-mesure. Les pratiques commerciales personnalisées se multiplient [137]. La personnalisation des produits ou des services a plusieurs objectifs. Elle permet d'abord de s'adapter aux besoins du consommateur et de tisser une relation particulière avec lui, en lui signifiant le soin qu'on apporte à la spécificité de sa demande, à la nature particulière de ses attentes et de ses motivations d'achat. Elle contribue donc à gagner sa confiance et à le fidéliser. Or, la fidélité est considérée par le marketing stratégique comme une source de performance majeure permettant de créer de la valeur sur du long terme. Ensuite, bien au-delà d'un simple procédé stratégique de fidélisation, les entreprises ont compris qu'elles avaient la possibilité de renouveler la consommation en permettant au consommateur et à ses nouvelles exigences, d'y inscrire sa quête de sens. Offrir la possibilité au consommateur d'exprimer sa personnalité à travers un produit ou un service c'est aussi lui permettre de participer à l'élaboration du produit ou service, de le co-crée. Ce faisant, l'individu rend sa consommation significative. Suzic et al. [40] ont réalisé une application de la TG et de l'analyse du flux de production (PFA) dans le processus de transformation d'une entreprise de fabrication en série à un système de personnalisation massif, et ont décrit les avantages créés par cette synergie.

8.2. *La différenciation retardée ou postponement*

La différenciation retardée est un mode d'organisation du processus de production ou d'assemblage dans lequel les opérations terminales de finition ou de personnalisation du produit sont repoussées le plus en aval possible, et si possible complètement déconnectées de la production ou de l'assemblage. Ce mode d'organisation permet de concilier des notions a priori contradictoires : obtenir un coût de fabrication bas (économie d'échelle permise par la

production en série de l'article racine) et permettre un certain degré de personnalisation, de différenciation, pour tenir compte des besoins ou attentes spécifiques du client.

Dans un environnement où les demandes sont stochastiques, cela semble une bonne stratégie de garder le stock en forme de produits semi-finis qui peuvent servir plus qu'un produit final [138].

Garcia-Dastugue et Lambert [139] ont réalisé une étude empirique sur l'utilisation de la différenciation retardée dans la supply chain, étude portant sur deux industriels, un distributeur et un détaillant. L'analyse montre que la mise en œuvre de la différenciation retardée peut conduire à plus de stock pour la firme prise individuellement. Pour atteindre son efficacité maximum elle doit être mise en œuvre dans toutes les entreprises formant la chaîne.

9. Relation entre TG et Lean Manufacturing

Le Lean est un paradigme principal pour les entreprises voulant survivre à la compétitivité et réussir leurs affaires. Le 'Lean Manufacturing' est une « gestion sans gaspillage » qui se concentre sur l'élimination systématique de pertes dans tous les aspects d'une organisation (muda [140]) et l'amélioration continue pour optimiser le procédé de fabrication et atteindre la performance en matière de productivité, qualité, coût, délais...

L'idée sous-jacente de base du 'Lean' est de minimiser la consommation des ressources qui n'ajoutent aucune valeur à un produit [141]. Elle est perçue comme une méthode pertinente pour combattre tous les types d'inefficacité.

Conformément à [142], le concept de la TG et ses processus peuvent mener à la production 'Lean' (éliminer les pertes) et finalement à l'amélioration de productivité puisque la TG a trois impacts sur le 'Lean Manufacturing' :

- Le rôle de création de familles de produits (groupement, classification et codage) dans le système industriel Lean : le groupement des produits en familles et leur codage fournit la base pour identifier les produits rapidement dans les systèmes et ce groupement réduit le temps de préparation, de stockage, le takt time, le délai de livraison et autorise le processus d'opération à diminuer la surproduction. La réduction de la surproduction influence à son tour les pertes dans la production Lean.

- Le rôle de la standardisation de conception dans le système industriel lean : La conformité de la conception inclut la standardisation du plan de processus, la planification pour les groupes de produits, le groupement des outils et des équipements ; et l'amélioration des exigences d'achat et du stock.

Ces tâches peuvent diminuer le temps (takt time, setup time et lead time), le stock des en-cours et les manutentions. Ceci peut faciliter le travail aux ouvriers et éviter la complexité dans le système, diminuer et éliminer des mouvements supplémentaires, des licenciements économiques ou des processus inutiles, qui représentent des gaspillages dans les systèmes de production Lean.

- Le rôle du management de la TG et usine automatisée dans le système industriel Lean : Les systèmes automatisés dans l'usine utilisent de plus en plus de nouvelles technologies tel que des systèmes de commande numérique direct, les machines à commande numérique qui contrôlent les processus de production par un ordinateur central ou automate programmable. Les ordinateurs pourraient être utilisés dans les systèmes de production pour la conception, la production et la gestion de processus (CIM) [143].

Ces mécanismes peuvent améliorer la qualité à cause de la réduction des défauts et des erreurs et l'élimination des pertes dans un système de production Lean.

En général, les buts de la production Lean peuvent être obtenus par l'application de la philosophie de TG étant donné que la TG favorise le raccourcissement des délais, l'amélioration de la qualité, la réduction des stocks, la diminution des retards, l'augmentation de la souplesse, de la flexibilité et de la réactivité ; ce qui résulte en la diminution des coûts (voir figure 9).

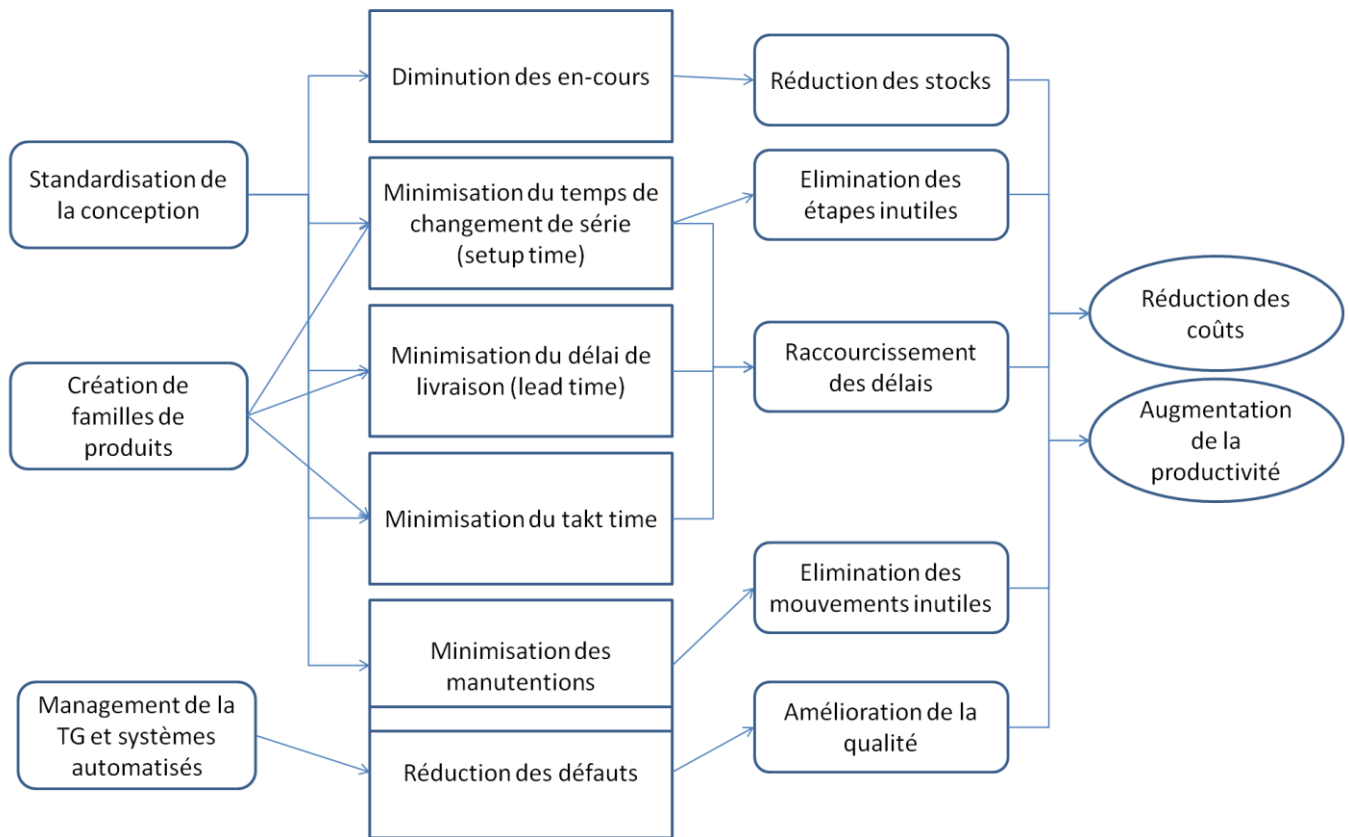


Figure 9 : Relation entre la TG et le Lean (extraie et modifiée de [142])

Hu et al. [144] ont présenté et analysé l’expérience d’une entreprise qui utilise un système de production Lean basé sur la TG.

10. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons mis en avant plusieurs techniques et méthodes de la Technologie de Groupe. Le nombre de travaux de recherche dans ce domaine a fortement augmenté ces dernières années, notamment par l’utilisation de nouvelles approches surtout en ce qui concerne la formation de cellules de production. Ces travaux sont de plus en plus complexes mais aussi de plus en plus efficaces.

Il est reconnu que la TG est l’une des clés du succès pour l’implémentation des systèmes manufacturiers flexibles [112]. Elle facilite l’implémentation du mode de fabrication Juste-à-Temps qui est difficile à concevoir sans une simplification préalable par une technique efficace de rationalisation des produits et des traitements.

Nous avons donnée un résumé sur l’état de l’art de la TG, ainsi, l’extension de la TG vers tous les services est avantageuse. A titre d’exemple, au service achat, elle permet de standardiser les semi-œuvrés et les composants de commerce. Et au service commercial, elle facilite les calculs de devis et autorise la diversification du catalogue.

Dans ce sens, nous proposons au second chapitre, la généralisation de la TG à tous les services de l'entreprise et sa chaîne logistique. Une philosophie que l'on nommera : la Technologie de Groupe Généralisée (TGG). Alors, en généralisant la TG à la chaîne logistique, on va montrer que la TG peut être appliquée dans tous les processus de la chaîne logistique à savoir l'approvisionnement, la production, la distribution et le retour. En effet, on va décrire un certain nombre de problèmes et de méthodes utilisées dans la chaîne logistique qu'on classera en TGG.

Chapitre 2 : Généralisation de la Technologie de Groupe à la Supply chain : La Technologie de Groupe Généralisée

1. Introduction

Les contraintes modernes, diverses et variées qui pèsent sur les systèmes de production (zéro stock / zéro délai / zéro défaut, diversité des pièces, inconstance des séries...) ont amené ces services à repenser la façon d'organiser celles-ci afin de gagner en productivité et rentabilité.

Les productions sont maintenant exécutées le plus possible en îlot de fabrication qui est une organisation de moyens de production adaptée au plus près aux besoins d'un ensemble défini de pièces que l'on nomme famille de pièces. Cette organisation relève de la TG qu'on peut définir comme un concept d'analyse et un outil de rationalisation de la production. Le système de production est considéré comme un processus complexe tenant compte de très nombreuses variables de natures diverses, prenant des valeurs très différentes et interagissant de manière multiples. L'observation de ce système sur un horizon déterminé oblige à prendre en compte un ensemble important de données, dont la structuration dépasse les possibilités humaines. La technologie de groupe consiste à regrouper les données techniques et économiques en familles homogènes (classification) afin d'optimiser les flux de matières et faciliter la mise au point de solutions utilisant le savoir-faire de l'entreprise en tirant profit de l'analogie au niveau des formes, des dimensions, des devis, des processus de fabrication...

Mais nous avons remarqué que plusieurs autres services de l'entreprise (le Bureau d'étude, le Bureau des Méthodes, le service commercial, la qualité, ...) utilisent la TG dans le traitement de leurs différents problèmes mais parfois sans qu'ils se rendent compte. Alors, nous voulons standardiser son utilisation en la généralisant à toute la chaîne logistique et à tout problème relevant de la classification. Pour cela nous consacrerons ce chapitre au recensement des entités d'une chaîne logistique intégrée, dès le fournisseur du fournisseur jusqu'au client final, qui utilisent la TG et à l'inventaire des travaux correspondants.

Le but de ce chapitre est de montrer comment l'application de la TG peut être généralisée aux processus de la chaîne logistique globale qui sont le processus d'approvisionnement, le processus de production et le processus de distribution. A ce niveau, elle sera nommée : la Technologie de Groupe Généralisée (TGG) [145].

La Technologie de Groupe Généralisée (TGG) que nous proposons est un concept original puisqu'il généralise l'application de la TG à toute la chaîne logistique et à tous les services de l'entreprise. Ainsi, nous définissons la TGG :

La TGG est une philosophie basée sur l'exploitation des ressemblances entre tous les éléments ou ressources de la chaîne logistique en vue d'une optimisation. Elle est applicable à toutes les données issues des processus de la chaîne logistique à savoir approvisionnement, production et distribution afin d'exploiter la notion de classe (groupe, famille, cluster ...) et favoriser la décision. Par conséquent, les éléments ou entités de l'entreprise sur lesquels portent la TTG sont multiples (produits, machines, gammes, formes, fonctions, clients, fournisseurs, pannes, compétences, stocks, système de recommandation, ...). La TGG est basée sur des méthodes d'apprentissage supervisé ou non tels que la classification, l'analyse de données et généralement le domaine de data mining ou de business intelligence ou de l'IA.

En se basant sur cette définition, nous pouvons affirmer que chaque problème relevant de la classification sera classé comme problème de TGG.

Par conséquent, en généralisant la TG à la chaîne logistique, on va montrer que la TG peut être appliquée dans tous les processus de la chaîne logistique à savoir l'approvisionnement, la production, la distribution. Pour cela, on va décrire un certain nombre de méthodes utilisées dans la chaîne logistique qu'on classera en TGG.

2. Le processus d'approvisionnement :

La chaîne d'approvisionnement constitue un maillon stratégique dans la chaîne logistique globale, la recherche des économies au niveau de ce processus s'avère de plus en plus nécessaire pour les entreprises. En plus, l'efficacité des activités d'approvisionnement conditionne l'efficacité de la production et de toute l'activité commerciale. Da Saliva et Junior [146] ont appliqué la TG au niveau de la fonction achat au sein d'un conglomérat afin de standardiser la description des articles enregistrés dans son système d'achats et par cette standardisation, former des lots d'achat réduisant le coût total.

Pour mieux gérer les flux au moindre coût, on aura recours à l'application de la TGG :

2.1. *Gestion des fournisseurs :*

Un processus excellent pour une relation peut être complètement faux pour une autre. La segmentation de fournisseurs [147] aide l'entreprise à aligner l'assignation de ses ressources limitées avec ses buts stratégiques. La stratégie d'achat diffère en fonction du type

de marché (Monopole, concurrence, monopsonne, oligopole) et le coût du changement de fournisseur; on ne peut pas traiter le fournisseur d'un produit spécifique qui existe peu sur le marché de la même façon qu'un fournisseur d'un produit standard, peu coûteux et existant partout (figure 10). Donc on divise les fournisseurs en groupes en fonction du type du marché. Chaque segment de fournisseur est marqué par une manière unique de négociation, de communication et des stratégies de gestion spécifiques.

La segmentation par lots ou le découpage par lots des fournisseurs permet d'identifier le meilleur fournisseur pour chaque lot afin de le sélectionner. C'est également une manière de maintenir une certaine pression sur la performance des fournisseurs. Mais elle sert aussi à rendre le changement de fournisseur plus facile et plus rapide bien que les coûts de changement restent importants.

La méthode ABC peut être utilisée pour cette segmentation en se basant sur le critère du chiffre d'affaires d'achat par exemple. Comme on peut utiliser les méthodes multicritères pour la classification des fournisseurs.

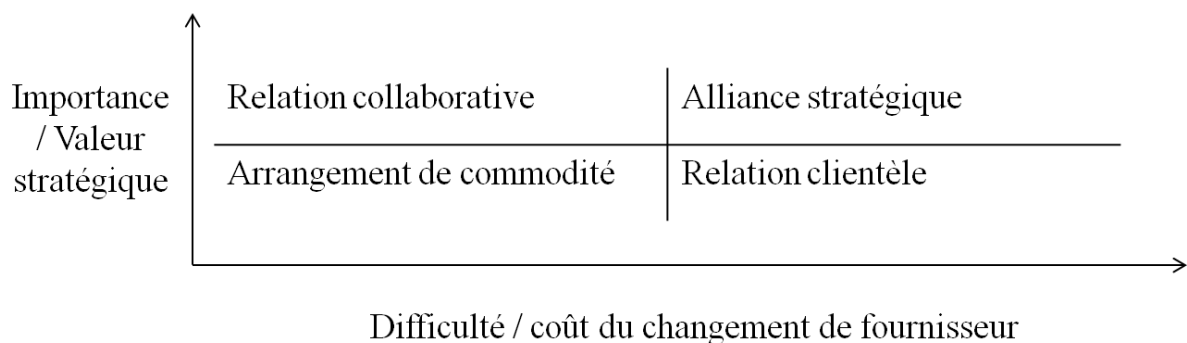


Figure 10 : Stratégies d'achat

2.2. La gestion des approvisionnements et des stocks :

La conception d'entrepôt se base principalement sur les familles ABC, le taux de rotation, la méthode ABZ...

La classification ABC favorise la maîtrise et la régulation économique des niveaux des stocks dans le magasin. Elle se fait à la suite d'une analyse des consommations sur une période délimitée.

Les articles en stock font l'objet d'une classification en fonction de leurs valeurs, car la gestion se fera différemment selon le « poids » de l'article à gérer par rapport à la valeur du stock. Ils sont décomposés en catégories A, B et C selon la loi de Pareto ou loi des 20/80.

Selon les cas, des différents critères peuvent être utilisés (la valeur des stocks, le volume des stocks, le délai d'approvisionnement, la durée de vie du produit). Grâce à ces classes les stratégies d'approvisionnement et les fréquences d'inventaire sont définis.

L'indice de Gini ou indice de concentration permet de déterminer, avec l'aide du graphique, si le critère retenu est pertinent, et donc de savoir s'il faut poursuivre l'étude, ou s'il faut choisir un autre critère d'analyse. L'indice est symbolisé par le signe γ et formulé comme suit [148] :

$$\gamma = \frac{(\text{somme des valeurs du critère cumulées en \%} \times \% \text{ d'une seule référence}) - 5000}{5000}$$

Il doit être supérieur à 0.6 pour montrer que l'étude est intéressante (Dans le cas où l'on doit effectuer un choix entre plusieurs critères, il faut retenir celui dont l'indice de Gini est le plus élevé).

La courbe résultante de l'application de la méthode ABC est de la forme suivante (figure 11) [149] :

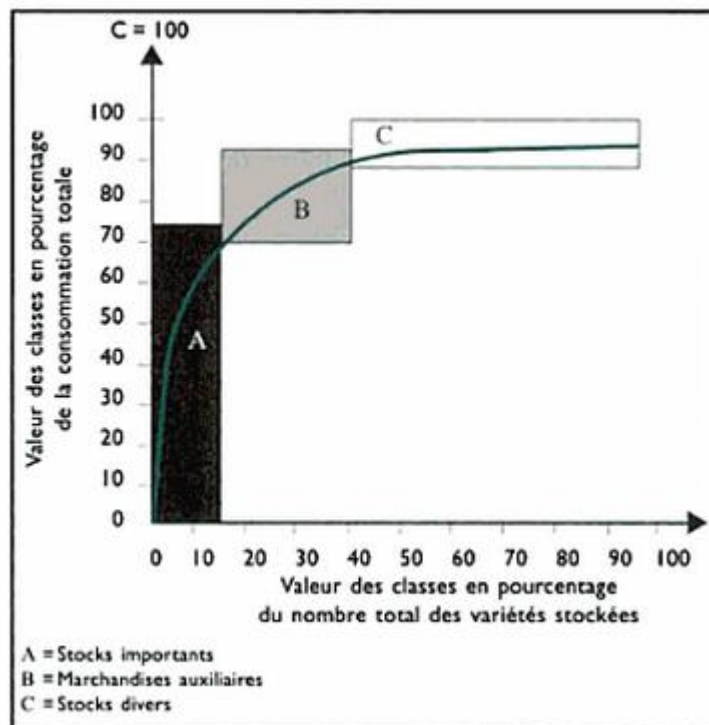


Figure 11 : Courbe d'analyse ABC des stocks

L'utilisation d'un classement en classes homogènes de gestion (CHG) est un plus qui peut permettre d'optimiser la gestion des stocks. Une CHG (ABZ) [150], comme son nom

l'indique, regroupe les articles méritant la même gestion : voir la même politique d'approvisionnement et la même stratégie de service.

Les critères pris en considération pour définir les CHG sont les classes ABC, le délai d'approvisionnement, la fréquence des mouvements des stocks et l'indice de stabilité des articles. On peut utiliser des méthodes de classification ABZ pour déterminer les classes similaires.

2.3. Le groupage de commandes chez un fournisseur :

Les coûts administratifs et les coûts de transport peuvent être réduits en groupant les commandes de plusieurs articles chez le même fournisseur. Il faut chercher une périodicité de commande commune entre les articles afin de pouvoir les regrouper chez le fournisseur.

2.4. Stockage de matières premières:

La gestion des stocks ne se limite pas aux techniques permettant d'optimiser les approvisionnements. Après la livraison, les marchandises doivent être stockées d'une manière rationnelle et économique. Le recours au regroupement informatique des articles devient incontournable. Le but de cette démarche est d'améliorer la gestion des articles de même groupe et de rationaliser le suivi des stocks. Les techniques de regroupement des articles fréquemment rencontrées sont : les familles d'article, les nomenclatures, les familles logistiques, la classification ABC [151].

2.4.1. Les familles d'articles :

Une famille d'article est un groupe d'articles qui ont soit les mêmes caractéristiques, soit les mêmes fonctions dans une unité. Il n'existe pas de modèle standard de famille d'articles. Dans le grand nombre des cas, on distingue :

- Les familles d'articles par nature : Ce type de regroupement tient uniquement compte de la nature de l'article (ex : roulements, courroies...).
- Les familles d'articles par destination : La destination peut être liée soit à la fonction remplie par cet article, soit à l'utilisateur ou service utilisateur, ou un équipement, une machine, un outil (C'est le cas des pièces de rechange).

2.4.2. Les nomenclatures :

La nomenclature est une représentation hiérarchique des composants d'un article. La liaison entre l'article composé et ses composants s'appelle lien de nomenclature. Dans une

représentation arborescente, chaque composant est accompagné d'un coefficient. Ce dernier indique le nombre d'unités de ce composant dans l'article composé.

La nomenclature d'un article composé comprend plusieurs niveaux. Le nombre de niveaux dépend de la complexité de l'article composé. Un numéro est attribué à chaque niveau du haut vers le bas de la structure en commençant par le 0. On peut stocker les articles selon le niveau de la nomenclature afin de faire des approvisionnements des lignes plus facilement.

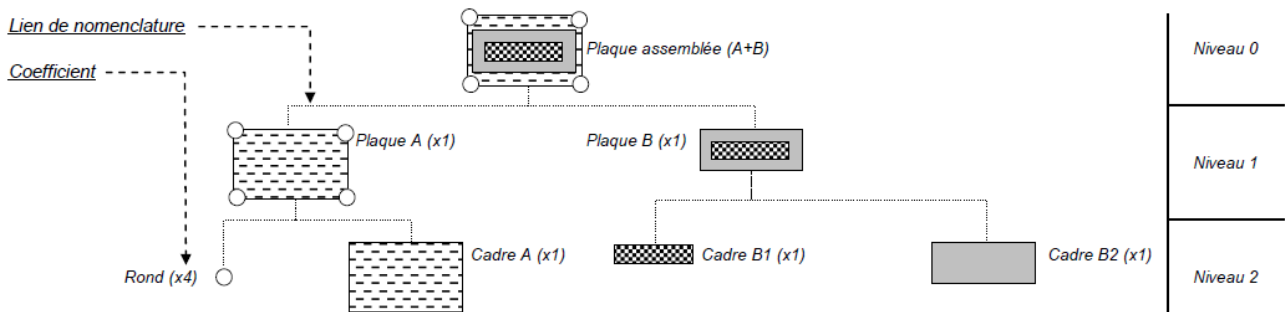


Figure 12 : Exemple de nomenclature d'une plaque assemblée [150]

Il existe diverse autres structures de nomenclature.

La structure de la nomenclature est très souvent transposée et utilisée pour la décomposition des familles ou classes d'articles. La famille d'article étant l'élément composé, ses composants sont alors les sous-familles et ensuite les articles qui occupent toujours le niveau le plus bas de la structure. Les composants de niveau inférieur « articles » sont les seuls que l'on retrouve dans le magasin. Tous les autres composants de niveau intermédiaire « sous-famille » ainsi que l'élément composé « famille » ne sont que des textes descriptifs de la structure de nomenclature ou de classification.

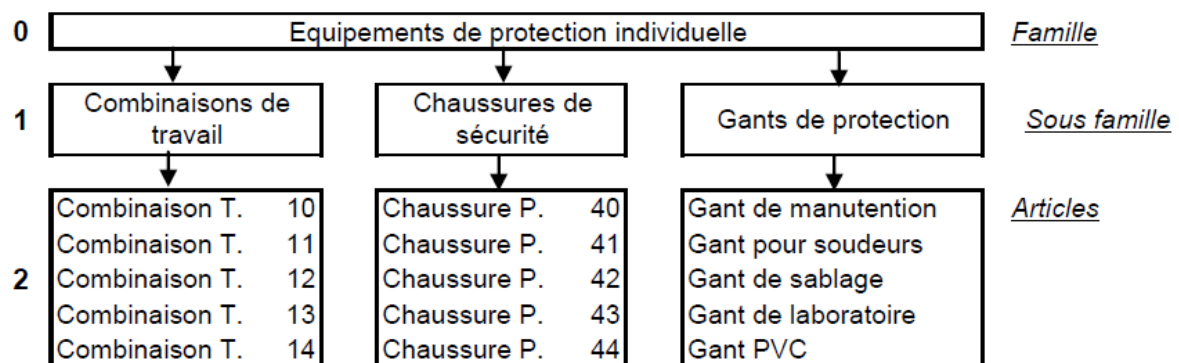


Figure 13 : Exemple de nomenclature de famille d'articles [150]

2.4.3. Les familles logistiques :

Une famille logistique est un groupe d'articles qui nécessitent les mêmes moyens matériels pour être manipulés et déplacés (articles sur palette ; articles à ranger en hauteur ; articles cylindriques ; articles sur roulettes...).

Cette distinction est fort utile dans la mesure où son application permet de sélectionner plus facilement les outils nécessaires pour la manutention des articles dans le magasin (transpalette, diable, chariot, élévateur...).

Le regroupement à des emplacements voisins des articles d'une famille logistique commune permet de ramener au minimum les temps de stockage et de prélèvement de ces derniers lors des sorties pour la consommation. Les méthodes telles que optimisent leur emplacement.

2.4.4. La classification ABC :

On peut utiliser la classification ABC dans ce cas pour stocker les articles au même endroit en se basant sur le critère de la fréquence de mouvements : ceux qui sont utilisés fréquemment seront rangés ensemble et près de la sortie du magasin afin de minimiser aussi le trajet parcourus par l'opérateur.

3. Le processus de production :

3.1. La formation de cellules de production :

L'organisation de l'atelier de production en cellules est considérée l'une des plus importantes applications de la TGG. Cette application consiste à regrouper les produits similaires en familles de produits et les machines en cellules en se basant sur les similarités de traitement plutôt que sur les aspects fonctionnels semblables. Puis à affecter les familles de produits aux cellules créées.

La formation de cellules (FC) aboutisse à des améliorations de la qualité et de la productivité en réduisant le temps de production, les rebuts, le temps de configuration... [152].

De nombreux chercheurs ont étudié le problème de formation de cellules (PFC). Kusiak et Chow [51] ont présenté les méthodes pour la résolution du problème à savoir la classification et l'analyse de groupement en plus des formulations pour son modélisation et les algorithmes associés. Arora et al. [153] ont discuté les différentes techniques de FC et les ont classées en 5 catégories : Procédures descriptives, Analyse de groupement, Théorie de

graphe, Intelligence artificielle et Programmation mathématique. Yin et Yasuda [56] ont établi une vue d'ensemble sur les méthodes de coefficients de similarités appliquées au PFC. Quant à Ghosh et al. [154], les Meta-heuristiques comme les algorithmes évolutionnaires (algorithmes génétiques), la recherche Tabou, optimisation de colonie de fourmis ont constitué le thème de leur travail. Et afin d'améliorer la performance des cellules, des stratégies pour l'identification et l'élimination des éléments exceptionnels ont été proposé [51], [132], [155] et [156].

Certains chercheurs ont développé de nouvelles approches incluant d'autres problèmes tels que la disposition des machines dans les cellules dans le but de minimiser le coût des mouvements intra-cellules et inter-cellules [157] [158] et la planification des opérations simultanément avec la FC en considérant les détails d'assemblage [159].

Les chercheurs sont toujours intéressés par la suggestion de nouveaux algorithmes pour la résolution du PFC et leur comparaison avec ceux existants [160], [161], [162].

D'autres chercheurs comme Bidanda et al. [163] ont abordé les problèmes humains relatifs au PFC tel que l'identification des compétences, le travail d'équipe, gestion de conflits...

3.2.Standardisation des processus

Lors de la conception de nouveaux produits, le décideur fait appel à son expérience industrielle, cependant il ne peut pas mémoriser toutes les situations ni avoir la même expérience que son collègue, d'où l'intérêt d'uniformiser la connaissance de l'ensemble des acteurs et de la mémoriser afin de la réutiliser. Nous pouvons utiliser les grilles du savoir-faire pour extraire les solutions industrielles et le Raisonnement à Partir de Cas pour le choix de solutions similaires [164].

La conception d'un nouveau produit devient plus facile et plus rapide en tirant profit de l'analogie avec des anciens produits qui présentent le plus de similitudes avec le nouveau. Le principe consiste d'abord à classifier et coder les produits déjà réalisés par l'entreprise. Les produits sont groupés en familles en fonction des formes, des dimensions, des matériaux, du processus de fabrication, etc. Puis, on codifie la nouvelle pièce et on cherche les pièces correspondantes aux codes les plus proches.

Dans les services de préparation des fabrications, la TGG permet de répondre rapidement aux demandes nouvelles des marchés, aux modifications à apporter aux

fabrications stabilisées, aux nouveaux produits résultant des innovations réalisées par les bureaux d'études. Les documents (gamme de fabrication, contrats de phases, cartes de contrôle...) constituent alors une réelle banque de données consultable par l'ensemble du personnel travaillant à la préparation du travail.

3.3.Le bureau de méthode

La classification des gammes pour l'obtention des familles de produits dont chacune sera affectée à une cellule de production constitue l'une des applications de la TGG. La recherche de familles de gamme peut se faire en se basant sur les mesures de ressemblances [36].

3.4.L'équilibrage de la chaîne de production

Dans une chaîne de production, les produits sont déplacés d'un poste de travail à l'autre, pour être progressivement fabriqués. Un employé est affecté à chaque poste de travail. Le défi d'une chaîne de production est d'équilibrer les postes afin d'éviter les pertes de temps et les goulots.

Il s'agit d'affecter les opérations aux stations tout en respectant les différentes contraintes de façon à optimiser un critère d'efficacité donné. Ce problème se pose lors de la conception préliminaire d'une nouvelle ligne, mais également au moment d'un changement important de la production. Une mauvaise répartition des opérations aux stations peut entraîner un temps mort non justifié et des coûts supplémentaires inutiles pour chacune des pièces produites [165].

Suite à l'importance croissante de ce problème dans la production, beaucoup de travaux de recherche ont été menés [166], [167], [168]. Scholl et al. [169] proposent une approche basée sur le concept de groupes d'opérations. Ces groupes d'opérations correspondent aux opérations qui doivent impérativement être réalisées sur une même station.

3.5.L'évaluation des compétences

Pour gagner des parts de marchés, pour assurer une bonne qualité de service, ou pour proposer de nouveaux produits, les dirigeants ont souvent l'intime conviction que la croissance économique de l'entreprise et l'amélioration des conditions de travail passent par un investissement dans le développement de compétences. Ce qui exprime le besoin permanent de mieux gérer les richesses humaines des travailleurs et qui se traduit par la nécessité d'identifier, de valoriser et, le plus souvent, de développer celles-ci [170].

Après les avoir identifiés, il est préférable de grouper ces compétences en classes dans le but de faciliter leur développement.

3.6. La maintenance

Le concept de la TGG est appliqué pour former des cellules virtuelles de machines avec des conditions de maintenance semblables (types de pannes...). La planification des opérations de maintenance préventive selon les exigences de telles cellules simplifieront ces opérations menant à la meilleure efficacité opérationnelle.

La méthode de coefficient de similarité peut être utilisée pour la formation de ces cellules [135]. La classification ABC a été aussi utilisée pour prioriser les opérations de la maintenance selon la signification des équipements et des processus de production.

Chater et al. [171] ont réalisé une étude centrée sur l'impact technico-économique de la fonction logistique sur la performance des activités de la maintenance. En effet, pour la gestion des interventions de maintenance, il s'agit d'une gestion du flux d'informations, d'une gestion des stocks de pièces de rechanges et des moyens de manutention, ou encore de l'argent immobilisée par les pièces à fortes valeurs. Alors, la logistique peut avoir un rôle crucial sur la pertinence d'un bon système de maintenance. Et par conséquent la TG intervient principalement en maintenance au niveau de la gestion du stock de pièces de rechange pour lequel ils ont appliqué la classification ABC dont l'objectif était d'analyser le processus d'approvisionnements en pièces de rechange et déterminer les articles nécessaires à conserver en stock pour assurer un niveau de service normal et satisfaisant. Puis classer ces articles selon les nouveaux modes de gestion de stock (CHG, 3 nouveaux processus d'approvisionnement).

3.7. Le service commercial

Le coût est un facteur de très grande importance dans le processus de prise de décision, ce qui implique que l'estimation des coûts dès la phase de conception s'avère nécessaire et les entreprises cherchent des méthodes leur permettant de faire une estimation rapide et précise du prix de revient des pièces à fabriquer. Une approche pour l'évaluation du prix de revient de toute nouvelle pièce en se basant sur les prix de revient des pièces similaires déjà fabriquées par l'entreprise a été proposée par Talbi [172]. L'approche proposée est basée sur une méthode d'évaluation combinée (analogique et paramétrique) et d'un outil d'aide à la décision.

3.8. Le marketing

Bien segmenter ses clients est un pré requis à toute action commerciale efficace. La segmentation forme la base analytique d'une gestion de portefeuille de client car ça permet d'adapter précisément, à chaque segment, les techniques de prospection et de vente, les prix, le produit...

Cette segmentation peut se baser sur plusieurs critères comme : La valeur et le potentiel des clients, la taille et l'implantation géographique, les usages et les comportements des clients, les besoins exprimés, les canaux de distribution ...

Prim-Allaz et Sabadie [173] propose un nouvel outil de segmentation de la clientèle qui est l'orientation relationnelle de clients.

La grille de segmentation du marché est une méthode visuelle pour diviser les clients en plusieurs bandes et niveaux de demandes et spécifications de qualité de produit et les relier aux segments spécifiques du marché [174].

Les campagnes de marketing adressées aux clients choisis aléatoirement produisent souvent des coûts énormes et une réponse faible. De plus, de telles campagnes ont tendance à inutilement ennuyer des clients et les faire moins probablement répondants aux communications futures. Le ciblage précis des actions de marketing peut potentiellement résulter en un retour sur investissement plus grand [175].

Le modèle Uplift constitue une application de la TG en marketing. Il désigne une génération de modèles statistiques employés en marketing quantitatif pour détecter les populations des consommateurs sensibles à une offre commerciale. Pour les opérations de marketing ciblées, « uplift » aide à identifier les groupes de personnes étant susceptibles de répondre positivement à une sollicitation marketing. Par là, cette technique permet de réduire le nombre de messages commerciaux émis, et donc le coût de la publicité. Elle est à la fois une amélioration des techniques marketing classiques et un complément aux techniques du data mining.

C'est une technique d'exploration de données nouvellement appliquée dans les services financiers, les télécommunications et les industries du marketing direct de la vente au détail pour les activités de montée en gamme (up-selling) [176], de vente additionnelle (cross-selling) [177], de taux d'attrition (churn) [178] et de fidélisation.

Le modèle Uplift divise la clientèle en quatre segments basés sur l'action prévue d'une campagne marketing. Tout d'abord, les personnes qui réagissent négativement à un traitement marketing sont dénommées les « réfractaires ». L'action commerciale génère un effet boomerang négatif sur ce segment, qui va à l'encontre de l'effet souhaité. Ces personnes n'achètent pas parce qu'elles ont été sollicitées pour un achat. Ensuite, nous pouvons définir les « causes acquises » qui sont des groupes de personnes fidèles consommant indépendamment des circonstances et actions commerciales. Les « causes perdues » consomment peu, quels que soient les efforts commerciaux consentis. Enfin, les « groupes influençables » répondent positivement à l'opération commerciale. L'effort marketing doit

porter sur les seuls clients influençables. Les efforts de fidélisation n'ont pas d'impact ou même un impact parfois négatif pour les trois autres catégories. L'opération marketing qui privilégie le ciblage sur la valeur des clients très réceptifs maximise son retour sur investissement [179].

4. Le processus de distribution :

4.1.Préparation de commandes :

Véritable opération à valeur ajoutée, la préparation de commandes ou picking consiste à collecter les articles stockés dans l'entrepôt et à les regrouper avant de les expédier aux clients.

Réussir à rationaliser et à optimiser cette tâche permet à la fois de gagner en productivité et d'améliorer la qualité de service et donc l'image de marque de l'entreprise (prélèvement des bonnes références en bonnes quantités, envoi des commandes dans le respect des délais négociés avec les clients, etc.).

Pour obtenir une efficacité et efficience dans le processus de préparation de commandes (en termes de coûts, délais et qualité), on peut réduire la longueur des trajets en optant pour une classification et un rangement des références du type ABC (références les plus commandées en volume sont situées aux endroits les plus accessibles et par conséquent, on évitera les trajets inutiles dans la zone de prélèvement). Et En respectant des circuits de préparation qui n'obligent pas le préparateur à passer plusieurs fois au même endroit (ordre de prélèvement optimisé).

De nombreuses méthodes de prélèvement existent, citons :

- Le prélèvement par article : Les listes de prélèvement sont traitées au fur et à mesure quelles arrivent dans le magasin. Les articles sont par conséquent prélevés suivant l'ordre d'arrivée de la demande chez le préparateur ;

- Le prélèvement de groupe : Sur la base de nombreuses commandes émises par les clients, le logiciel effectue une opération de groupage et tri les postes de commande par référence sur les listes de prélèvement. L'édition des listes est périodique. Le prélèvement effectué est alors suivi des opérations physiques de tri par commande et emballage ;

- Le prélèvement par zone. Presque identique dans le principe au prélèvement par groupe, celui-ci a pour particularité le tri des postes de commande par emplacement de

stockage dans les listes de prélèvement. Ce qui a l'avantage de permettre un gain de temps car les articles sont prélevés dans une même zone de stockage.

Deux principaux modes de tri sont utilisés lors de la préparation des commandes :

- Le tri informatique des articles sur les listes de prélèvement : Son but principal est de faciliter le prélèvement et gagner du temps. Le tri des listes réduit le nombre de rotation vers un même emplacement ou une même zone de stockage ;

- Le tri physique des articles après le prélèvement : Effectué dans des centres de tri, il a pour but la reconstitution des commandes clients et l'optimisation du transport de livraison. Les articles prélevés sont groupés par commande, par client, puis par zone géographique.

4.2. La massification : groupage et développement durable

Pour une meilleure et plus fréquente distribution, moins de surface de stockage à l'intérieur de l'entreprise, pour une réduction des déplacements et mutualisation des coûts, les grands groupes construisent des centres de consolidation où les entreprises livrent ses produits pour une distribution commune et optimisée, ce phénomène s'appelle la massification. Sur ces grands pôles de stockage, les économies d'échelle sont gigantesques et l'entreprise met un pied dans le développement durable quand elle réunit les envois de marchandises en provenance de plusieurs expéditeurs ou à l'adresse de plusieurs destinataires.

4.3. Les tournées de livraison

Les tournées de livraison consistent à grouper les livraisons de plusieurs clients dans un même camion dans le but de minimiser les distances et les coûts de transport en optimisant le remplissage des camions.

L'utilisation des algorithmes exacts [180] permettait seulement de résoudre des problèmes de taille limitée, alors il était difficile de planifier une tournée de livraison optimale avec un nombre de clients élevé et des contraintes liées aux capacités, aux ressources...

Pour résoudre ce problème, on fait appel à des heuristiques [180] [181] qui se divisent en trois classes à savoir les méthodes constructives tels que l'algorithme de Clarke and Wright, les algorithmes à deux phases tels que l'algorithme de balayage de Gillet et Miller et les méthodes d'amélioration tels que l'algorithme de Lin-Kernighan [182].

Les méta-heuristiques [181] comme la recherche taboue et les algorithmes génétiques viennent améliorer les résultats des heuristiques bien qu'ils requièrent plus de temps de calcul.

4.4. Tournées de véhicules avec gestion de stock (IRP)

Les tournées de véhicules avec gestion de stock (IRP) consistent à élaborer un planning de visite chez les clients qui évite les situations de rupture de stock tout en minimisant les coûts des tournées des véhicules. Le transbordement permet de mieux optimiser ces tournées et d'améliorer ainsi les performances globales du système [183].

4.5. Découpe et conditionnement

4.4.1. Problème du Sac à dos

Le problème du sac à dos, noté également KP (en anglais, Knapsack problem) est un problème d'optimisation combinatoire [184]. Il modélise une situation analogue au remplissage d'un sac à dos, ne pouvant supporter plus d'un certain poids, avec tout ou partie d'un ensemble donné d'objets ayant chacun un poids et une valeur. Les objets mis dans le sac à dos doivent maximiser la valeur totale, sans dépasser le poids maximum. En pratique, la version multidimensionnelle peut servir à modéliser et résoudre le problème du remplissage d'un container dont le volume et la charge maximale sont limitées. Un autre exemple est celui de la gestion de personnel. Dans une version simplifiée, on estime la productivité ou la compétence de chaque personne (son « poids » dans le problème), et on lui attribue d'autres variables : son coût et sa disponibilité. Chacun de ces paramètres représente une dimension du sac à dos. On définit finalement les contraintes liées à son projet eu égard les paramètres précédents : le budget disponible et le temps imparti pour réaliser le travail. La résolution permet de déterminer quelles personnes doivent être retenues pour réaliser le projet.

Le problème du sac à dos, dans sa version classique, a été étudié en profondeur. Il existe donc de nombreuses méthodes aujourd'hui pour le résoudre (Métaheuristiques, programmation dynamique [185], approches hybrides [186]...).

4.4.2. Problème du Bin Packing

Le problème de bin packing relève de la recherche opérationnelle et de l'optimisation combinatoire. Il s'agit de trouver le rangement le plus économique possible pour un ensemble d'articles dans des boîtes. Le problème classique se définit en une dimension, mais il existe de nombreuses variantes en deux ou trois dimensions. Le problème de bin packing peut être appliqué au rangement d'objets dans des boîtes, dans un entrepôt, dans des camions...(avec superposition de boîtes, de palette...).

Le problème de bin packing a été largement étudié dans la communauté de recherche opérationnelle. Il existe des heuristiques très efficaces pour le résoudre, et une modélisation très efficace utilisant l'optimisation linéaire [187].

Le problème de bin packing a de fortes connexions avec le problème du sac à dos (knapsack). Ces deux problèmes sont les représentants les plus connus de ce qu'on appelle dans la communauté de recherche opérationnelle les problèmes de découpe et de conditionnement (cutting and packing).

4.6. RFID et gestion des familles de produits

La RFID est un système d'identification par radiofréquence qui permet d'écrire, de stocker et de relire des informations sur des étiquettes électroniques intégrées aux produits à tracer. Un système RFID se compose d'une puce électronique équipée d'une antenne (l'étiquette RFID) et d'un lecteur. Elle peut être utilisée pour classifier les produits.

La RFID facilite les inventaires, permet de tracer les rayons et par conséquent la réduction des ruptures, augmente la qualité grâce à la minimisation de la saisie manuelle, permet d'avoir une meilleure visibilité sur la chaîne logistique globale et donc l'amélioration de la prévision de la demande. On l'utilise pour la classification.

4.7. Les systèmes de recommandation des sites web

Avec le développement rapide de l'internet et la large application du E-commerce, ce n'est pas facile pour les clients de trouver les marchandises appropriées à leur intérêt. D'où l'importance d'un système de recommandation (SR) qui filtre les données et permet de fournir les éléments d'information (films, livres, images...) qui sont susceptibles d'intéresser l'utilisateur : les utilisateurs fournissent un feedback sur les articles achetés, et le SR utilise ces informations dans le but de prédire leurs préférences pour des articles qu'ils n'ont pas encore vu ; et de recommander les articles d'évaluation élevée à un nouveau utilisateur.

Il existe deux technologies pour créer les SR, elles consistent à classifier les utilisateurs et/ou les articles dans des groupes, à savoir le filtrage basé sur le contenu (le contenu des articles), et le filtrage collaboratif (basé sur les avis d'autres utilisateurs semblables) [188]. La deuxième technologie est la plus réussie. Mais les SR souffrent de trois problèmes : l'adaptabilité, l'insuffisance de données et le problème du premier évaluateur que les chercheurs essayent d'y remédier [189].

4.8. L'agencement de produits et achalandage

Dans les grandes surfaces, le bon ou le mauvais placement d'un produit influence le chiffre d'affaire sur ce dernier. Par conséquent, les emplacements sont affectés aux produits en ordre de priorité et en se basant sur le comportement des clients (plan de circulation type du client).

Les produits qu'on veut mettre en valeur doivent être placés au milieu des rayons et les produits courants qui sont la plupart de temps en promotion seront placés aux angles des rayons (têtes de gondole). Pour les autres produits, l'emplacement va être déterminé par la marge que le supermarché va réaliser lorsqu'il vend le produit et par le prix que la marque est disposée à fixer pour mettre son produit en avant.

4.9. Gestion des déchets

La gestion des déchets dans une entreprise commence par faire un inventaire des déchets produits, puis consiste à classer ces déchets dans des catégories qui suivront des filières de gestion variables selon leurs caractéristiques (dangerosité, quantité...). On distingue trois grandes classes : Les déchets industriels spéciaux dont leur élimination nécessite des traitements particuliers dans des centres spécialisés, les déchets industriels banals qui ne sont pas toxiques et peuvent être traités dans les mêmes installations que les déchets ménagers ; et les déchets inertes qui ne produisent aucune réaction importante de nature à nuire à l'environnement au cours de leur stockage.

5. Le retour du produit

En raison des règlements gouvernementaux et de la conscience environnementale des consommateurs, le produit à sa fin de vie est retourné à l'entreprise. La détermination de la meilleure option pour ces produits est un problème important confronté par ces entreprises, vu qu'il y en a cinq options : réutilisation directe, réparation, nouvelle fabrication, recyclage et disposition [190]. La décision pour choisir entre ces options exige, lors de la classification des produits rendus, la considération de facteurs qualitatifs et quantitatifs divers comme l'impact sur l'environnement, la qualité, le coût...

6. Conclusion

Nous avons posé les jalons d'une philosophie appliquée à la chaîne logistique qui est la TGG. Cette dernière agit en faveur d'une optimisation de la chaîne et l'amélioration de la performance, ainsi que la facilité de prise de décision. Nous avons décrit les éléments de la chaîne logistique utilisant des méthodes de la TGG (data mining, BI, IA, graphes, ...) ainsi que leurs avantages.

Ainsi, la TGG trouve son application à tous les processus de la chaîne logistique depuis les fournisseurs jusqu'aux clients. Par la suite, nous nous baserons sur la TGG pour développer des méthodes résolvant des problèmes d'apprentissage ou de classification en exploitant le concept de famille qui réduit la diversité et facilite la décision.

Partie 2 : Applications

La deuxième partie de cette thèse sera consacrée aux applications que nous avons proposées pour la TGG au sein de la supply chain.

La première application, et qui sera développée dans le troisième chapitre, concerne l'application des méthodes relevant de la TG pour la construction des familles de produits et des cellules de production correspondantes. Ce chapitre sera divisé en deux : la détermination des familles de produits en se basant sur la classification des gammes de production en vue de la conception des cellules flexibles de production, et l'implantation des cellules par l'emploi de la méthode de vote Schulze.

La formation des cellules flexibles de production relève de la Technologie de Groupe qui facilite l'identification des familles de produits et des groupes de machines.

Nous proposons une nouvelle approche pour le regroupement des produits en familles selon leurs gammes de production en se basant sur la théorie du langage. Cette approche utilise des gammes linéaires des produits qu'on assimile à des mots du langage. On a choisi la distance de Levenshtein ou distance d'édition pour la classification des gammes.

On fera une comparaison entre les résultats de la classification hiérarchique de notre méthode et celles issues de la distance de Dice-Czekanowski et Jaccard. Pour cela, on utilisera l'indice de corrélation vectorielle RV comme indice de comparaison de ces deux classifications.

Puis, nous allons appliquer la méthode de Schulze sur les familles de produits obtenues afin de réaliser l'implantation des cellules correspondantes.

En ce qui concerne le chapitre 4, nous allons utiliser un algorithme relevant de la TG (BEA) pour le co-clustering des utilisateurs et items. Ainsi, la classification croisée (co-clustering) permet de former simultanément des clusters d'utilisateurs et d'items, de façon à ce que les utilisateurs considérés comme similaires tendent à noter de la même manière les items considérés comme similaires. Ce qui rend la recommandation plus efficace et plus précise.

Le Chapitre 5 contiendra un outil d'aide à la décision conçu en s'inspirant du concept de l'abaque de Régnier et du management visuel. Le management visuel, levier du Lean, est très conseillé pour l'amélioration de la performance des entreprises. Il est basé sur des méthodes visuelles facilitant la définition des objectifs, la prise de décision et la réactivité. Ces

méthodes visuelles rendent les problèmes plus faciles à résoudre car l'image et les graphiques donnent une vision plus claire.

Dans ce travail, on propose une méthode générique pour l'évaluation de concept, de mesure de satisfaction et/ou de maturité d'un concept, ainsi que l'aide à la sélection ou à la décision. Elle ressemble aux méthodes d'analyse SWOT ou analyse FFOM « F-orces F-aiblesses O-pportunités M-enaces ou FFOR « F-orces F-aiblesses O-pportunités R-isque ».

Ainsi, on va créer un programme qui permet de transformer une matrice de données de type Likert en matrice de couleurs positives (Vert et ses variantes) et/ou négatives (Rouge et ses variantes) pour le management visuel. Cette matrice, qui une fois triée grâce à des permutations sur les lignes et les colonnes, permet de donner le résultat d'évaluation, de satisfaction, de maturité et aidant aussi à la prise de décision ou à l'établissement d'un plan d'action. Elle nous permet facilement de savoir les classes ou les éléments sur lesquelles on peut agir pour augmenter la performance (les éléments ayant beaucoup de rouge et ses variantes). Cette méthode a plusieurs utilisations au sein de la chaîne logistique globale notamment la satisfaction des clients ou travailleurs, la sélection des fournisseurs, le management des compétences, la maturité de la chaîne logistique, ...

Dans le chapitre 6, nous proposons une nouvelle méthodologie de comparaison des partitions. Principalement, cette fois-ci la comparaison se fera autrement et d'une façon simplifiée en regroupant en familles ces partitions. Elle est d'abord considérée comme une méthode originale de classification fondée sur la comparaison entre la structure des arbres constitués à partir d'actions logiques dont le but est de connaître les partitions les plus proches et d'évaluer les différentes approches existantes pour la comparaison des partitions. Les solutions proposées présentaient jusqu'à présent des insuffisances ou lacunes. Différentes approches ont été proposées pour la comparaison des résultats des méthodes de classification, ces approches reposent sur les différents indices. En revanche, notre étude s'appuie sur la comparaison de leurs structures.

Chapitre 3 : La Technologie de Groupe appliquée à l'implantation d'atelier

I - La classification des gammes basée sur la Technologie de Groupe en vue de conception de cellules flexibles de production

1. Introduction :

En raison des besoins divers des clients et de la prolifération du produit, les fabricants sont confrontés à des difficultés traitant le changement fréquent de la conception et les variations récurrentes des processus, qui augmentent la complexité du produit et des structures de production [191], [192]. Le développement de produits multiples basé sur des familles de produits partageant une plate-forme commune a été bien reconnu comme une approche réussie dans beaucoup d'industries [193].

La technologie de Groupe (TG) est un principe d'organisation qui peut être appliqué à tous les domaines d'une société industrielle. Ce principe repose sur la combinaison de composants identiques ou semblables pour définir des groupes, des classes ou des familles en utilisant un système de classification [194]. Le but est de décomposer le système industriel en sous-systèmes qui sont plus faciles à contrôler.

L'étape principale dans la conception de systèmes industriels est de grouper les produits en familles et les machines en cellules dans lesquelles une ou plusieurs familles de produits sont fabriquées [80]. Une famille de produit est une collection des produits qui sont semblables en ce qui concerne leurs formes géométriques, leurs dimensions et/ou la présentation d'étapes semblables dans le procédé de fabrication.

Ce travail considère le dernier critère. Le nombre d'études consacrées à la détermination de familles de produit en prenant en compte l'ordre d'opérations est limité [195], [194], [196], [197], [36]. Ceci est dû à la difficulté de déterminer une mesure de ressemblance vérifiant quelques critères industriels [198] à savoir la non-coïncidence d'opération, l'ordre d'opération, la permutation d'opération et le numéro d'opération.

Dans le but de concevoir des cellules flexibles, nous proposons une nouvelle approche basée sur la théorie de langage pour la détermination de familles de gammes [199], [200]. Elle prend en compte toutes les approches précédentes basées sur l'analyse typologique et plus particulièrement la classification hiérarchique.

Donc, dans la deuxième partie, on propose une mesure de ressemblance pour la classification des gammes, convenant au cas industriel et répondant aux critères susmentionnés [194], [198]. Dans la partie 3, les résultats de la méthode et des interprétations

sont présentés. Et en ce qui concerne la quatrième et dernière partie, elle contiendra la comparaison entre notre méthode et les méthodes de Jaccard [68] et de Dice-Czekanowski [201] tout en proposant une variante.

2. La mesure de ressemblance proposée :

Plusieurs approches ont été développées pour identifier des familles de produit et les cellules de machine associées. Ces approches peuvent être classifiées selon deux groupes [202]:

- Approches basées sur les caractéristiques de produit (morphodimensionnelle),
- Approches basées sur les méthodes de fabrication (gammes).

Ces approches emploient des mesures de ressemblance appliquées à la recherche de familles de produit et des cellules de machine. Deux composantes sont nécessaires [203] :

- un métrique (la distance, indice de similarité...),
- un algorithme de classification.

2.1. Approche de la théorie de langage :

Pour le groupement de produits en familles, il est raisonnable d'élaborer des partitions en faisant des comparaisons entre les gammes de fabrication [204]. À cette fin, les gammes traitées sont des gammes linéaires qui sont semblables quant à leur procédé de fabrication. La mesure de ressemblance proposée pour la classification de ces gammes doit vérifier les critères suivants [194], [198]:

Tableau 2 : Critères de la mesure de ressemblances

Critère physique	Propriété
C1: Non-coïncidence	Plus la non-coïncidence augmente, plus l'indice de similarité croît
C2: Ordre des opérations	L'ordre des opérations est fidèlement traduit
C3: Permutation	La permutation de deux phases consécutives a moins d'incidence sur l'indice que toute autre permutation
C4: Nombre d'opérations par gamme	La différence de K opérations entre deux courtes gammes doit avoir plus d'influence sur l'indice que pour deux longues gammes

Pour résoudre ce problème, nous remarquons l'analogie existante entre les mots d'un langage et les gammes (linéaires) de produits.

En conséquence, nous proposons l'assimilation des gammes (linéaires) du produit aux mots d'un langage qui est défini en utilisant un alphabet (l'ensemble d'opérations de machine).

Nous choisissons la distance pondérée Levenhstein, aussi appelée la distance d'édition [205] qui vérifie les critères susdits, voir le tableau 2.

2.2. Calcul de la distance et application aux gammes de fabrication

Les définitions suivantes seront utilisées :

- Une gamme linéaire est définie comme une gamme dans laquelle les opérations sont exécutées dans l'ordre séquentiel.

- Une opération vide est une opération qui correspond à une lettre nulle dans la théorie du langage 'μ'.

- Une gamme vide correspond à un mot nul dans la théorie du langage 'μ'.

Trois opérations sont utilisées pour le calcul de la distance d'édition entre les gammes S1 et S2 :

- La substitution d'une opération b de la gamme S2 par une opération a de la gamme S1, noté $a \rightarrow b$ et dont le coût est $c(a, b)$,

- L'insertion d'une opération dans une gamme de fabrication, $\mu \rightarrow a$, dont le coût est $c(a, \mu)$ avec μ l'opération vide,

- Suppression d'une opération d'une gamme de fabrication, $a \rightarrow \mu$, dont le coût est $c(a, \mu)$, μ l'opération vide.

Exemple :

La gamme S1 = ab peut être changée en gamme S2 = bac par l'ensemble d'opérations élémentaires suivant :

$(\mu \rightarrow c), (b \rightarrow \mu), (c \rightarrow b), (\mu \rightarrow c)$

qui correspond aux étapes de transformation : ab, cab, ca, ba, bac. Le coût de cette transformation qui n'est pas optimale est :

$$c(\mu, c) + c(b, \mu) + c(c, b) + c(\mu, c)$$

La distance $d(S1, S2)$ est l'ordre le moins cher de la transformation élémentaire nécessaire pour changer S1 en S2. Pour calculer $d(S1, S2)$ et éviter l'explosion combinatoire, nous devons considérer la contrainte naturelle : $d(a, b) = c(a, b)$ qui consiste à remplacer une opération a par l'opération b impliquant l'inégalité triangulaire :

$$c(a, b) + c(b, e) \geq c(a, e)$$

Cette condition permet la détermination de la transformation de coût minimale dans un ensemble fini.

La transformation de la séquence correspond au minimum des étapes nécessaires afin de changer S1 en S2, utilisant les trois opérations décrites ci-dessous. À titre d'exemple, le

résultat final est représentable de la façon suivante :

$$\begin{array}{cccccc}
 S1 = & a_1 & a_2 & a_3 & \dots & a_n & \mu \\
 & | & | & | & & | & | \\
 S2 = & \mu & b_1 & b_2 & \dots & b_{n-1} & b_n
 \end{array}$$

Les opérations liées par une ligne indiquent une substitution. Les opérations liées avec l'opération vide μ sont des insertions ou des suppressions. Il est aussi imposé que deux lignes ne doivent pas se croiser à l'intérieur d'une séquence et ne doivent particulièrement pas commencer de (ou avoir fin sur) la même opération.

S1 est donc transformé en S2 par :

$$(a_1 \rightarrow \mu), (a_2 \rightarrow b_1), \dots, (a_n \rightarrow b_{n-1}), (\mu \rightarrow b_n)$$

2.2.1. Propriété

Le coût d'une transformation de coût minimale est égal au coût d'une séquence de coût minimale [206].

Donc, la forme particulière des séquences permet l'introduction d'une relation de récursion avec la transformation de coût minimale.

$$\begin{aligned}
 S1 &= a_1 \dots a_n \\
 S2 &= b_1 \dots b_m \\
 S1(i) &= a_1 \dots a_i \\
 D(i, j) &= d(S1(i), S2(j)) \\
 &\quad \left\{ \begin{array}{l} D(i-1, j-1) + c(a_i, b_j) \\ D(i-1, j) + c(a_i, \mu) \\ D(i, j-1) + c(\mu, b_j) \end{array} \right. \\
 D(i, j) &= \min \left\{ \begin{array}{l} D(i-1, j-1) + c(a_i, b_j) \\ D(i-1, j) + c(a_i, \mu) \\ D(i, j-1) + c(\mu, b_j) \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

2.2.2. Algorithme pour le calcul de la distance

L'additivité du critère de coût quant au coût élémentaire assure qu'une méthode de programmation dynamique peut alors être utilisée. Elle est traduite par l'algorithme suivant [205]:

- 1) $D(0, 0) = 0$
- 2) for $i := 1$ to n do

$$D(i, 0) := D(i-1, 0) + c(a_i, \mu)$$
- 3) for $j := 1$ to m do

$$D(0, j) := D(0, j-1) + c(\mu, b_j)$$

4) for $i:=1$ to n do

for $j:=1$ to m do

$$D(i, j) = \min \begin{cases} D(i-1, j-1) + c(a_i, b_j) \\ D(i-1, j) + c(a_i, \mu) \\ D(i, j-1) + c(\mu, b_j) \end{cases}$$

5) $d(S1, S2) = D(n, m)$.

2.2.3. Exemple d'exécution

Soit $O = \{a, b, c, d\}$ l'ensemble d'opérations à être exécutées sur les machines A, B, C et D. Et soit deux gammes de fabrication $S1 = a a b a c d$ et $S2 = a b d$,

$c(x, y) = 1$ pour chaque $x, y \in O \cup \{\mu\}$ et $x \neq y$, $c(x, x) = 0$ pour chaque $x \in O$.

L'exécution pas à pas de l'algorithme de [205] donne le tableau dont le dernier élément représente le résultat.

Tableau 3 : Distance entre les gammes abd et aabacd

	μ	A	A	B	A	c	d
μ	0	1	2	3	4	5	6
a	1	0	1	2	3	4	5
b	2	1	1	1	2	3	4
d	3	2	2	2	2	3	3

Séquence correspondant à une distance de 3 entre S1 un S2 :

```

a a b a c d
| | | | |
a  $\mu$  b  $\mu$   $\mu$  d

```

Remarque :

Les liens correspondent à un chemin minimal par la matrice de distance du premier élément au dernier, voir le tableau 3.

Cette distance vérifie précisément les susdits critères, comme indiqué dans le tableau 4 :

Tableau 4 : Vérification des critères par la distance proposée

Critères	Gammes	Distance
non-coïncidence	S1= abc S2= afc	$d(S1, S2) = 1$
	S1= abc S2= efg	$d(S1, S2) = 3$
Permutation	S1= abc S2= acb	$d(S1, S2) = 2$
	S1= acb S2= cab	$d(S1, S2) = 2$
Ordre des opérations	S1= abc S2= abc	$d(S1, S2) = 0$
	S1= abc S2= bac	$d(S1, S2) = 2$
Nombre d'opérations par gamme	S1= abc S2= a	$d(S1, S2) = 2$
	S1= abc S2= ab	$d(S1, S2) = 1$

3. Résultats, validation et interprétation :

3.1. Données de base :

Nous avons proposé la considération de gammes linéaires comme étant semblables aux mots d'un langage. En conséquence une modification légère à leur représentation est nécessaire par rapport au travail antérieur. Pour évaluer les résultats de la méthode, nous appliquons la distance proposée aux gammes décrites dans la table 1. Les gammes sont notés S_i , avec $i=1 \dots 31$.

Tableau 5 : Exemples de gammes linéaires

S1	TEHKSF	S17	ADPEGKJNRQ
S2	TCHKF	S18	AEKLIHFN
S3	TDCHKF	S19	ABKMGIJN
S4	TCGHK	S20	ABHKL
S5	TDCHKEF	S21	AEHKSMIQFN
S6	TCIHKMEF	S22	ACHKLF
S7	TCHKMUQFN	S23	ACHKF
S8	TCHKMUQFN	S24	AEGHKF
S9	TDCHKLEF	S25	ACHKF
S10	TDCHKLEF	S26	ABHKMIQFN
S11	ABPEHIKM	S27	ADHKLEMIQFN
S12	ACPEHKLMOJRQSN	S28	ADHKLEMIQFN
S13	ACPEHK	S29	ABK
S14	ADPEHKLSMOQN	S30	ABHKLMIFN
S15	ACPEHKMORQN	S31	ACHKEF
S16	ADPEGKJN		

La distance d'édition a été appliquée à ces gammes avec les conditions suivantes :

- $c(a, a) = 0$ pour chaque opération,
- $c(a,b) = 1$ avec $a \neq b$ (dans ce cas les opérations de transformation insertion, substitution et suppression sont appliquées) pour chaque opération $b \in O \cup \{ \mu \}$.

On obtient une matrice de distances que nous allons utiliser pour la détermination de l'arbre de classification. En mettant $S_i = i$ et en appliquant l'algorithme de classification hiérarchique ascendante qui prend comme critère d'agrégation le lien moyen, nous arrivons au dendrogramme suivant de la figure 14 :

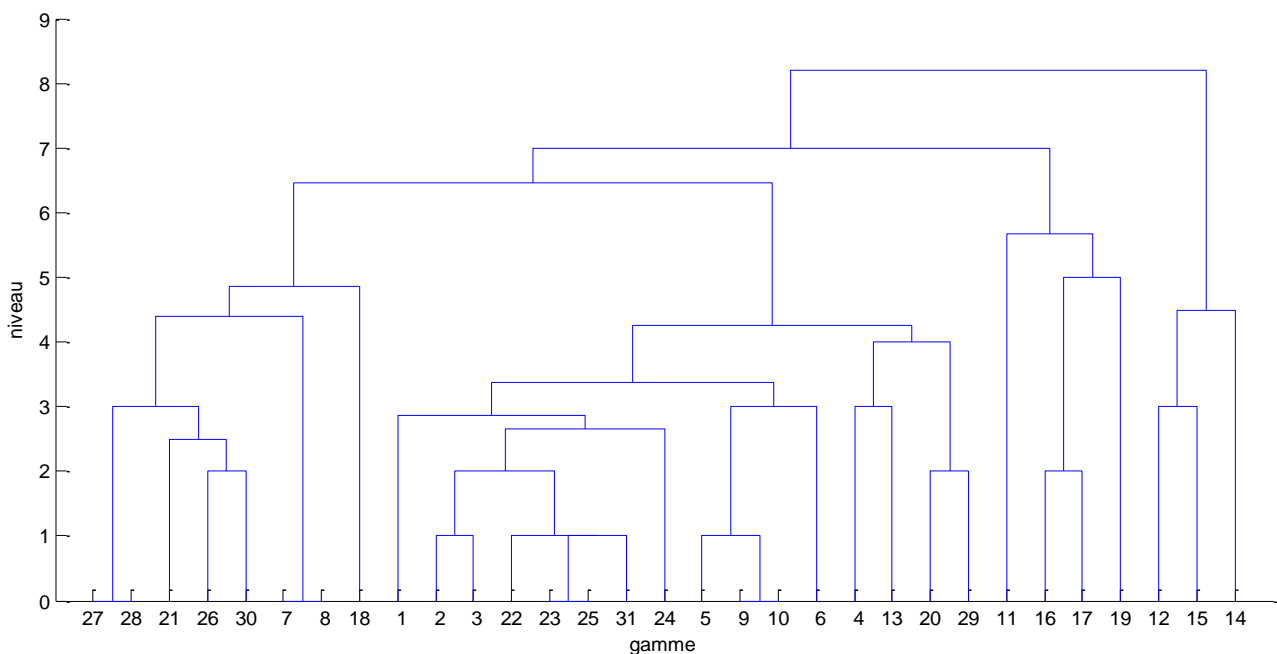


Figure 14 : Classification hiérarchique P1 des gammes avec la distance de Levenshtein

3.2. Les familles de gammes

La détermination de familles de gammes exige la coupure de l'arbre de classification au seuil approprié.

La détermination du seuil α est facile. Quand nous choisissons $\alpha = 6$, nous obtenons quatre familles de gammes décrites dans le tableau 6. Les tableaux 7, 8, 9 et 10 spécifient les éléments et le profil de chaque famille.

Tableau 6 : familles obtenues avec $\alpha=6$

Famille n° 1: nombre de gammes 16 51.6 % du nombre total.	F1={ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 13, 20, 22, 23, 24, 25, 29, 31 }
Famille n° 2: nombre de gammes 4, 12.9 % du nombre total.	F2={ 11, 16, 17, 19 }
Famille n° 3: nombre de gammes 3, 9.6 % du nombre total.	F3={ 12, 14, 15 }
Famille n° 4: nombre de gammes 8, 25.8 % du nombre total.	F4={ 7, 8, 18, 21, 26, 27, 28, 30 }

Tableau 7 : Eléments et profil de la famille F1

Gammes		Gammes	
S1	TEHKSF	S13	ACPEHK
S2	TCHKF	S20	ABHKL
S3	TDCHKF	S22	ACHKLF
S4	TCGHK	S23	ACHKF
S5	TDCHKEF	S24	AEGHKF
S6	TCIHKMEF	S25	ACHKF
S9	TDCHKLEF	S29	ABK
S10	TDCHKLEF	S31	ACHKEF
Profil de la famille F1: Gammes courtes caractérisées par l'occurrence des séquences CHKF and AHK			

Tableau 8 : Eléments et profil de la famille F2

Gammes		Gammes	
S11	ABPEHIKM	S17	ADPEGKJNRQ
S16	ADPEGKJN	S19	ABKMGIJN
Profil de la famille F2 : Gammes longues caractérisées par l'occurrence de la séquence APEK			

Tableau 9 : Eléments et profil de la famille F3

Gammes		Gammes	
S12	ACPEHKLMOJRQSN	S14	ADPEHKLSMOQN
S15	ACPEHKMORQN		
Profil de la famille F3 : Gammes longues caractérisées par l'occurrence de la séquence APEHKMOQN			

Tableau 10 : Eléments et profil de la famille F4

Gammes		Gammes	
S7	TCHKMUQFN	S26	ABHKMIQFN
S8	TCHKMUQFN	S27	ADHKLEMIQFN
S18	AEKLIHFN	S28	ADHKLEMIQFN
S21	AEHKSMIQFN	S30	ABHKLMIFN
Profil de la famille F4: Gammes courtes caractérisées par l'occurrence des séquences HKMFN and AKIFN			

4. Comparaison

Nous allons comparer notre classification hiérarchique, obtenue par l'utilisation de la distance de Levenhstein, à celles obtenues en utilisant :

- La distance de Dice-Czekanowski [201] , (figure 15)
- La distance de jaccard [68], (figure 16)

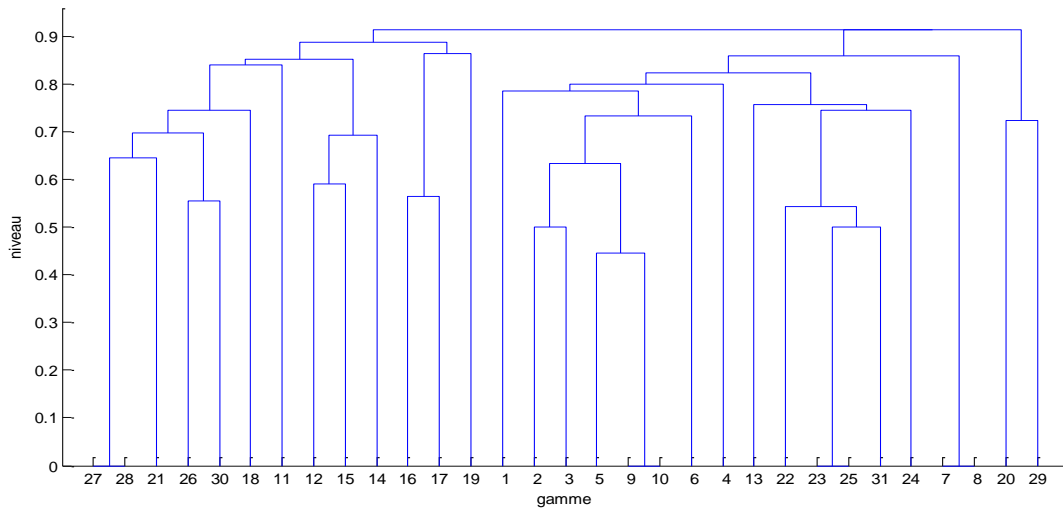


Figure 15 : Classification hiérarchique P2 des gammes avec la distance de Jaccard

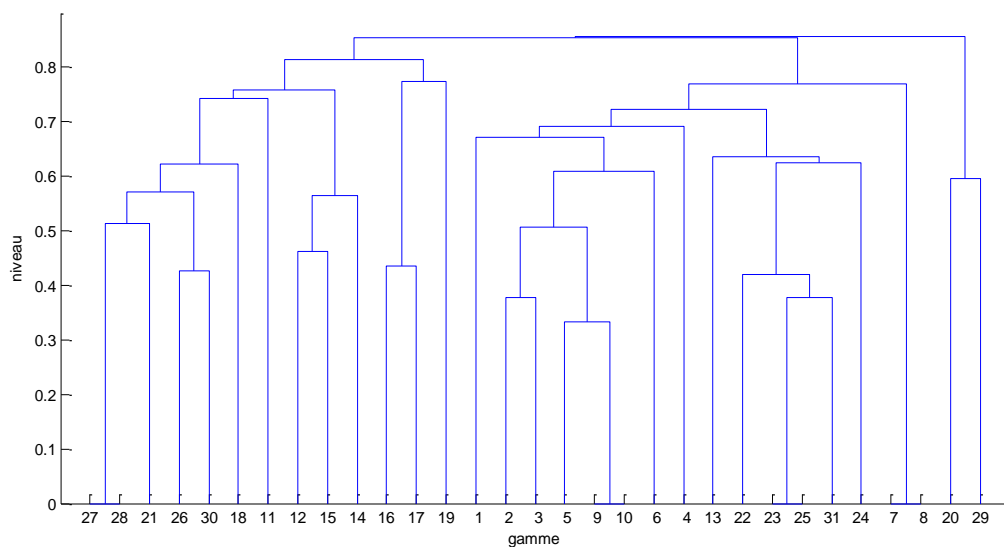


Figure 16 : Classification hiérarchique P3 des gammes avec la distance de Dice-Czekanowski

De la même manière, on découpe ces deux classifications hiérarchiques. Nous choisissons $\alpha = 0.8$ pour la figure 16 et $\alpha = 0.87$ pour la figure 15. Alors nous obtenons quatre familles de gammes décrites dans les tableaux 11 et 12.

Tableau 11 : familles obtenues avec $\alpha = 0.87$ et distance de Jaccard

Famille n° 1: nombre de gammes 16 51.6 % du nombre total.	F1={1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 22, 23, 24, 25, 31}
Famille n° 2: nombre de gammes 3, 9.6 % du nombre total.	F2={16, 17, 19}
Famille n° 3: nombre de gammes 10, 32.2 % du nombre total.	F3={11, 12, 14, 15, 18, 21, 26, 27, 28, 30}
Famille n° 4: nombre de gammes 2, 6.4 % du nombre total.	F4={20, 29}

Tableau 12 : familles obtenues avec $\alpha = 0.8$ et distance de Dice-Czekanowski

Famille n° 1: nombre de gammes 16 51.6 % du nombre total.	F1={1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 22, 23, 24, 25, 31}
Famille n° 2: nombre de gammes 3, 9.6 % du nombre total.	F2={16, 17, 19}
Famille n° 3: nombre de gammes 10, 32.2 % du nombre total.	F3={11, 12, 14, 15, 18, 21, 26, 27, 28, 30}
Famille n° 4: nombre de gammes 2, 6.4 % du nombre total.	F4={20, 29}

Pour comparer les 3 classifications P1, P2 et P3, nous allons utiliser l'indice de corrélation vectoriel RV [207]. Cet indice est formulé comme suit [208] :

$$RV (P1, P2) = \frac{\sum_{i,j} (C_{ij}^1)(C_{ij}^2)}{\sqrt{\sum_{i,j} (C_{ij}^1)^2 \sum_{i,j} (C_{ij}^2)^2}}$$

Avec : C^k est le tableau relationnel associé à P^k , dont le terme général C_{ij}^k est défini par :

$$C_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{si les deux gammes } i \text{ et } j \text{ sont dans la même classe de la partition } P_k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

On trouve que : $RV (P1,P2) = 0.7259$

$RV (P1,P3) = 0.7259$

$RV (P2,P3) = 1$

Donc, en ce qui concerne les classifications P2 (distance de Jaccard) et P3 (distance de Dice-Czekanowski), elles sont identiques, la seule différence est que la distance de Dice-Czekanowski permet un meilleur étalement et une meilleure discrimination. Cela s'explique par le fait que ces deux distances peuvent se mettre sous la forme générale [201] :

$$D = \sqrt{\frac{N}{\alpha P + N}}$$

Avec : respectivement $\alpha = 2$ et $\alpha = 1$ pour Dice-Czekanowski et Jaccard.

P est la coprésence

N est la non-coïncidence

Le coefficient RV entre P1, P2 et P1, P3 est suffisamment grand pour juger les classifications hiérarchiques de voisines.

5. Conclusion :

L'approche de théorie de langage ouvre une direction très intéressante pour la détermination de familles de produit. D'une part, elle permet la résolution du problème de représentation d'opérations qui se répètent plusieurs fois dans un ordre. Donc la méthode élimine la propagation d'erreur dans le calcul de distance et, en conséquence, dans les résultats de processus de classification. D'autre part, cette approche a permis l'adaptation de la distance Levenhstein pondérée dans le cas des gammes de fabrication linéaires. La distance vérifie les critères soulignés par [194] et [198] pour la détermination de famille de produit. La distance :

- S'applique aux gammes de longueurs différentes,
- Prend en compte des permutations d'opérations,
- Prend en compte l'ordre d'opérations,
- Ne prend pas en compte les co-absences, qui peuvent augmenter la similitude des gammes.

Ceci est dû à la conception de la distance qui est basée sur trois opérations fondamentales : substitution, remplacement et suppression d'éléments. En outre, la distance utilise directement des données brutes sans transcodage.

Pour la détermination des familles de gammes, la franchise de la détermination de seuil, permet l'introduction de nouveaux critères subjectifs pour la caractérisation de famille de

produit.

Cette approche ouvre de nouvelles perspectives pour la représentation de familles de gammes au moyen des automates finis d'état. Alors la prise de décisions pour la classification de nouveaux produits devient plus simple et rend la recherche de gammes mères plus déterminé.

II – proposition d'une méthode basée sur la méthode de vote Schulze pour l'implantation d'ateliers

1. Introduction

Plusieurs méthodes sont issues de la société, de la nature ou sont bio-inspirées. Le vote pendant les élections en faveur des candidats préférés en est une.

Malheureusement, il n'est pas toujours facile de faire un seul choix quand on dispose de préférences de beaucoup d'électeurs. Les méthodes de vote désignent tout type de processus permettant de faire ce choix.

Un énorme nombre de méthodes de vote existe. On distingue généralement trois grandes familles de systèmes électoraux :

- La première regroupe les modes de scrutin majoritaire, régis par la logique du « le vainqueur gagne tout », autrement dit le candidat ou la liste de candidats arrivé premier est le seul représenté.
- La seconde regroupe les modes de scrutin proportionnel, qui s'efforcent d'attribuer des représentants à toutes les formations politiques en fonction de leurs résultats respectifs.
- Enfin la famille des scrutins mixtes regroupe tous les systèmes électoraux combinant les effets des systèmes issus des deux autres familles.

Le système le plus utilisé est celui du vote de pluralité (scrutin majoritaire), mais il y a aussi des situations dans lesquelles on pourrait demander aux électeurs de donner un classement complet d'un certain nombre d'alternatives.

La théorie du vote est devenue un objet d'étude universitaire à l'époque de la Révolution française [209]. Jean-Charles de Borda [210] a proposé une méthode d'élection des membres de l'Académie des Sciences. Son système a été contesté par le marquis de Condorcet, qui

propose plutôt la méthode de comparaison par paires qu'il avait conçue [211]. Et qui est la base de méthodes de décision multicritères (sur classement).

Alors que Condorcet et Borda sont généralement considérés comme les pères fondateurs de la théorie du vote, des recherches récentes ont montré que le philosophe Ramon Llull avait découvert à la fois la méthode Borda et une méthode qui satisfait aux critères de Condorcet au XIII^{ème} siècle. Les manuscrits dans lesquels il a décrit ces méthodes avaient été oubliés par l'histoire, jusqu'à leur redécouverte en 2001 [212].

En 1958, Duncan Black a construit une méthode qui a mélangé les méthodes de Condorcet et Borda. À savoir, le gagnant de la méthode Black sera le gagnant Condorcet, à moins qu'il n'existe pas, alors, le gagnant Borda sera choisi [213].

Les travaux du Marquis de Condorcet ont inspiré F. Marcotorchino et P. Michaud à créer l'analyse relationnelle en 1977. C'est une théorie basée sur la représentation relationnelle (comparaison par paires) des différentes variables et l'optimisation sous contraintes linéaires du critère de Condorcet. L'analyse relationnelle a permis d'avoir des avancées théoriques et pratiques conséquentes.

La méthode de Condorcet présente un paradoxe. Condorcet montre comment le vote majoritaire peut conduire à une préférence collective non-transitive, en particulier cyclique.

La méthode de Schulze permet de résoudre la plupart des conflits générés par le paradoxe de Condorcet.

La méthode de Schulze est un système de vote développé en 1997 par Markus Schulze qui choisit un gagnant simple dans un vote avec classement des candidats. La méthode peut également être employée pour créer une liste ordonnée de gagnants.

Si un candidat gagne tous ses duels lors des confrontations par paires avec les autres candidats (gagnant de Condorcet), la méthode de Schulze garantit que ce candidat gagnera.

En raison de cette propriété, la méthode de Schulze est, par définition, une méthode de Condorcet. Contrairement aux méthodes Borda et Vote alternatif de Ware par exemple, qui peuvent choisir un autre gagnant que le gagnant de Condorcet.

La méthode Schulze [214] permet de résoudre la plupart des conflits générés par le paradoxe de Condorcet mais ne garantit pas un unique gagnant.

Beaucoup d'heuristiques ont été proposées pour la résolution de la méthode de Schulze. Les heuristiques les plus importantes sont l'heuristique du chemin gagnant et l'heuristique de l'ensemble de Schwartz. Malgré leur aspect très différent, elles donnent toutes le même résultat.

Nous allons choisir l'heuristique de l'ensemble de Schwartz car l'heuristique du chemin gagnant considère les candidats non listés comme placés après les autres et selon un même degré de préférence. Et cette condition pourra fausser nos résultats lorsqu'on considère les machines non existantes dans une gamme comme placées après les autres.

2. Méthode d'implantation proposée

Nous allons appliquer la méthode de Schulze sur les données des cellules issues de la classification des gammes dans le but de trouver l'implantation efficace de chaque cellule [215].

La méthode de Schulze permettra de créer un ordre de machines susceptible de minimiser les mouvements inter-cellules.

2.1. La méthode de Schulze avec l'heuristique de l'ensemble de Schwartz

Avec le concept de l'ensemble de Schwartz, la méthode Schulze peut être décrite dans une façon très concise [214]. On donne un aperçu ci-dessous :

2.1.1. L'ensemble de Schwartz

L'ensemble de Schwartz est constitué de la manière suivante :

- Un groupe de tête est un groupe de candidats qui n'ont perdu aucune confrontation avec des candidats qui ne sont pas dans le groupe de tête ;
- Un groupe de tête minimal est un groupe de tête qui ne contient pas de groupe de tête plus petit ;
- L'ensemble de Schwartz est constitué de tous les candidats appartenant à au moins un groupe de tête minimal.

2.1.2. Mise en œuvre

Les électeurs remplissent leur bulletin en plaçant les différents candidats dans l'ordre de leur préférence comme dans toute méthode Condorcet.

Les confrontations par paires sont alors organisées. On établit alors un graphe orienté pondéré : les sommets sont les candidats. Si le candidat X confronté au candidat Y

gagne n confrontations et en perd p et si $n > p$, on crée un arc de X vers Y pondéré par « $n-p$ ». Cette méthode est comparable à la méthode Prométhée avec n : flux sortant, et p : flux entrant.

La méthode de Schulze consiste alors à :

1. éliminer du graphe les sommets qui n'appartiennent pas à son ensemble de Schwartz (les arcs ayant pour origine ou extrémité un sommet supprimé sont supprimés également) ;
2. si le graphe obtenu ne comporte plus aucun arc, alors les candidats correspondant aux sommets de ce graphe sont déclarés vainqueurs ex æquo (il y a un vainqueur unique s'il ne reste qu'un sommet) et la méthode est terminée ;
3. sinon, supprimer du graphe le ou les arc(s) dont la pondération est minimale (c'est-à-dire le ou les arc(s) correspondant à la défaite la plus courte) puis retourner à l'étape 1.

2.2. Application de la méthode de Schulze à l'implantation d'atelier

Nous appliquons cette méthode aux données du tableau formé de produits et leurs gammes qui sont une suite de machines.

Nous allons employer la méthode de Schulze dans le but de créer une liste ordonnée des gagnants (machines). On reprend les familles de gammes obtenues dans la première partie de ce chapitre (F1, F2, F3 et F4).

Chaque famille désigne une cellule de production. Nous appliquerons la méthode Schulze sur ces familles pour trouver la disposition de cellules. Nous considérerons les gammes de fabrication des produits comme les bulletins des électeurs et les quantités de produits comme le nombre des électeurs.

Les quantités commandées des produits sont illustrées par le tableau 13 :

Tableau 13: Quantités commandées

Les produits	Moyenne de la quantité commandée / semaine	Les produits	Moyenne de la quantité commandée / semaine
P1	60	P17	60
P2	55	P18	60
P3	60	P19	65
P4	55	P20	60
P5	60	P21	60
P6	65	P22	55
P7	60	P23	65

P8	60	P24	60
P9	55	P25	50
P10	50	P26	55
P11	65	P27	65
P12	70	P28	55
P13	60	P29	55
P14	70	P30	50
P15	65	P31	60
P16	60		

La méthode sera appliquée sur chacune des familles afin d'obtenir l'implantation des cellules.

2.2.1. la famille F1 :

On effectue les confrontations par paires (tableau 14) :

Tableau 14 : Confrontation par paires famille F1

	d[*],A]	d[*],B]	d[*],C]	d[*],D]	d[*],E]	d[*],F]	d[*],G]	d[*],H]	d[*],I]	d[*],K]	d[*],L]	d[*],M]	d[*],P]	d[*],S]	d[*],T]
d[A,*]		115	290	0	180	290	60	410	0	465	115	0	60	0	0
d[B,*]	0		0	0	0	0	0	60	0	115	60	0	0	0	0
d[C,*]	0	0		0	350	575	55	690	65	690	160	65	60	0	0
d[D,*]	0	0	225		165	225	0	225	0	225	105	0	0	0	0
d[E,*]	0	0	0	0		410	60	180	0	180	0	0	0	60	0
d[F,*]	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
d[G,*]	0	0	0	0	0	60		115	0	115	0	0	0	0	0
d[H,*]	0	0	0	0	290	695	0		0	870	220	65	0	60	0
d[I,*]	0	0	0	0	65	65	0	65		65	0	65	0	0	0
d[K,*]	0	0	0	0	290	695	0	0	0		220	65	0	60	0
d[L,*]	0	0	0	0	105	160	0	0	0	0		0	0	0	0
d[M,*]	0	0	0	0	65	65	0	0	0	0	0		0	0	0
d[P,*]	0	0	0	0	60	0	0	60	0	60	0	0		0	0
d[S,*]	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0		0
d[T,*]	0	0	400	225	290	405	55	460	65	460	105	65	0	60	

On constitue le graphe orienté des duels (figure 17):

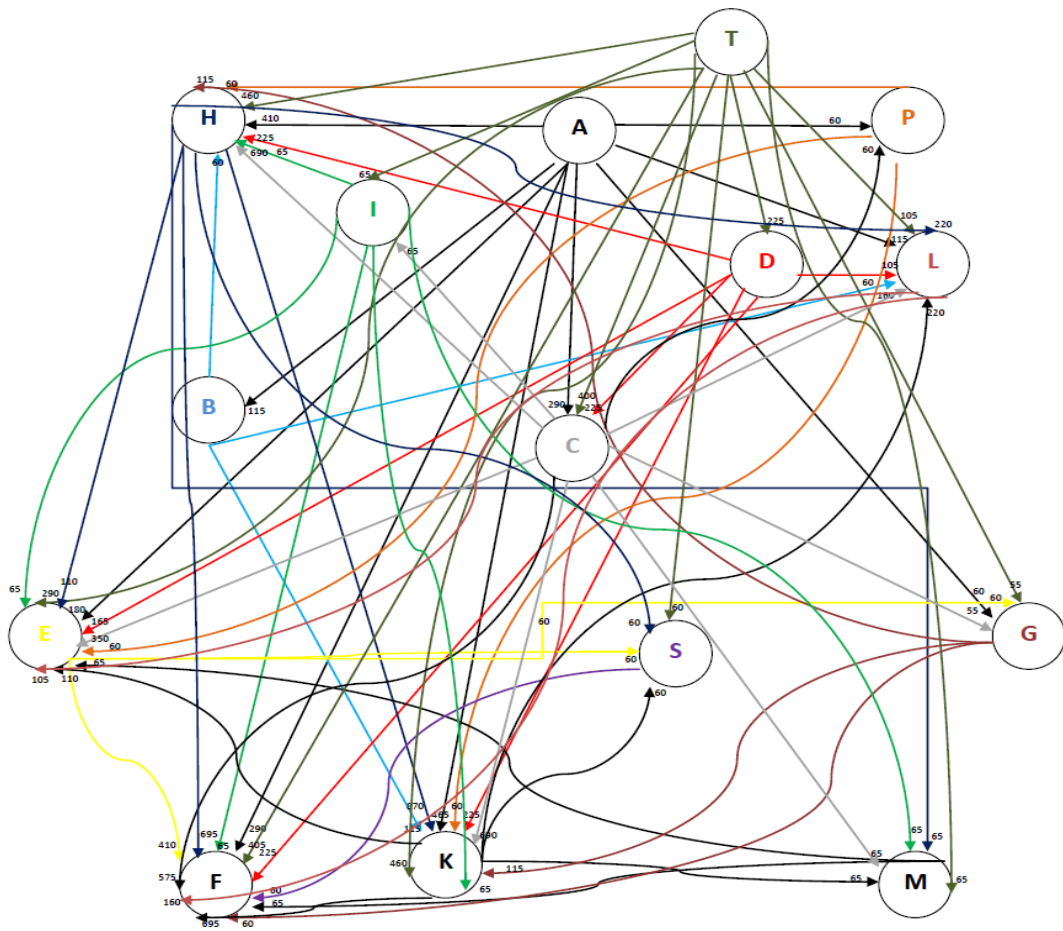


Figure 17 : Graphe orienté des duels famille F1

L'ensemble de Schwartz est constitué de l'ensemble {A,T}. Les candidats A et T sont alors les premiers gagnants. Donc les deux machines seront placées en parallèle.

Après qu'un candidat gagne, on l'élimine afin de trouver le 2^{ème} gagnant (celui qui gagnera si le premier vainqueur n'existe plus).

Si on ne trouve pas de gagnant, nous éliminons l'arc de la défaite la plus petite.

On répète l'application de l'heuristique jusqu'à ce qu'on obtient un ordre des machines.

Pour la première famille, et par conséquent, la première cellule, l'implantation sera comme suit (figure 18) :

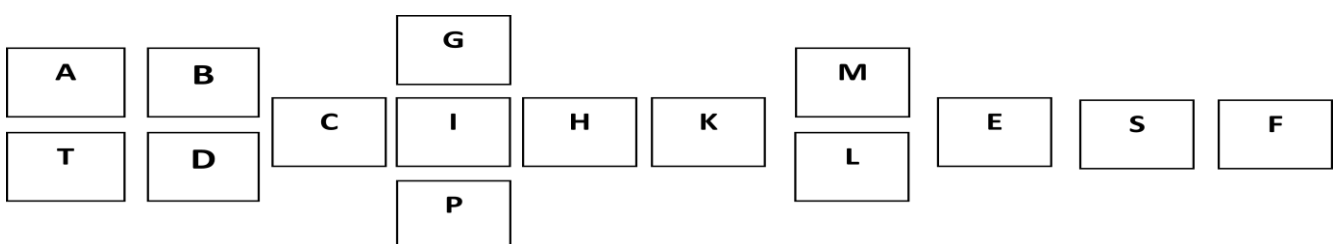


Figure 18 : Implantation de la 1ère cellule (Famille F1)

2.2.2. La famille F2 :

On effectue les confrontations par paires (tableau 15) :

Tableau 15: Confrontations par paires (famille F2)

	d[* ,A]	d[* ,B]	d[* ,D]	d[* ,E]	d[* ,G]	d[* ,H]	d[* ,I]	d[* ,J]	d[* ,K]	d[* ,M]	d[* ,N]	d[* ,P]	d[* ,Q]	d[* ,R]
d[A,*]		130	120	185	185	65	130	185	250	130	185	185	60	60
d[B,*]	0		0	65	65	65	130	65	130	130	65	65	0	0
d[D,*]	0	0		120	120	0	0	120	120	0	120	120	60	60
d[E,*]	0	0	0		120	65	65	120	185	65	120	0	60	60
d[G,*]	0	0	0	0		0	65	185	120	0	185	0	60	60
d[H,*]	0	0	0	0	0		65	0	65	65	0	0	0	0
d[I,*]	0	0	0	0	0	0		65	65	65	65	0	0	0
d[J,*]	0	0	0	0	0	0	0		0	0	185	0	60	60
d[K,*]	0	0	0	0	65	0	65	185		130	185	0	60	60
d[M,*]	0	0	0	0	65	0	65	65	0		65	0	0	0
d[N,*]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	60	60
d[P,*]	0	0	0	185	120	65	65	120	185	65	120		60	60
d[Q,*]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
d[R,*]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	

On constitue le graphe orienté des duels (figure 19):

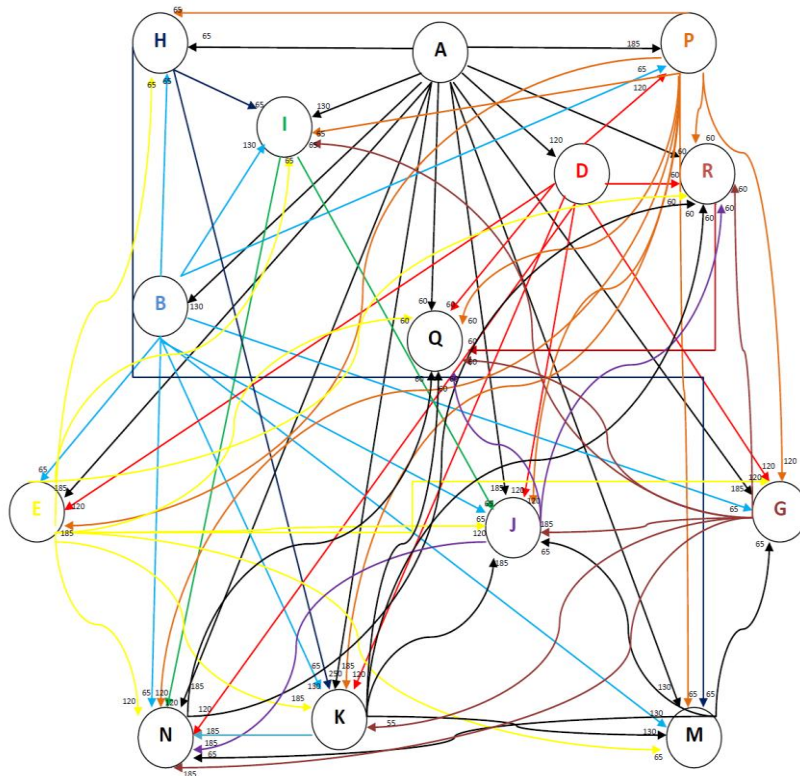


Figure 19: graphe orienté des duels famille F2

L'ensemble de Schwartz est constitué du singleton {A}. Le candidat (la machine) A est alors le premier gagnant.

Pour la deuxième famille, et par conséquent, la deuxième cellule, l'implantation sera comme suit (figure 20) :

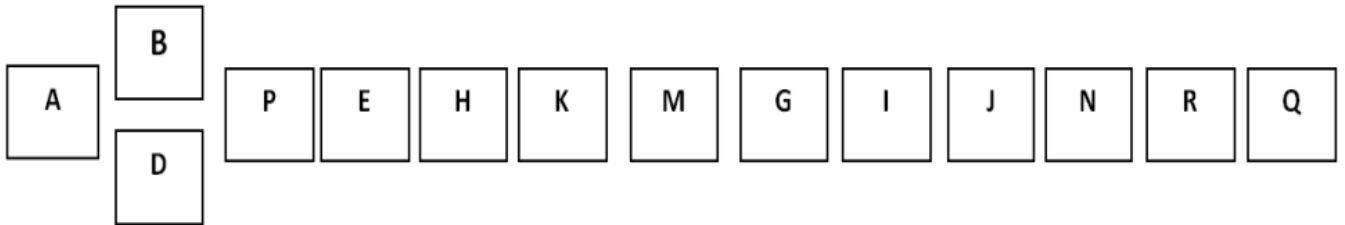


Figure 20 : Implantation de la 2ème cellule (Famille F2)

2.2.3. La famille F3 :

On effectue les confrontations par paires (tableau 16) :

Tableau 16 : Confrontation par paires (Famille F3)

	d[* ,A]	d[* ,C]	d[* ,D]	d[* ,E]	d[* ,H]	d[* ,J]	d[* ,K]	d[* ,L]	d[* ,M]	d[* ,N]	d[* ,O]	d[* ,P]	d[* ,Q]	d[* ,R]	d[* ,S]
d[A,*]		135	70	205	205	70	205	140	205	205	205	205	205	135	140
d[C,*]	0		0	135	135	70	135	70	135	135	135	135	135	135	70
d[D,*]	0	0		70	70	0	70	70	70	70	70	70	70	0	70
d[E,*]	0	0	0		205	70	205	140	205	205	205	0	205	135	140
d[H,*]	0	0	0	0		70	205	140	205	205	205	0	205	135	140
d[J,*]	0	0	0	0	0		0	0	0	70	0	0	70	70	70
d[K,*]	0	0	0	0	0	70		140	205	205	205	0	205	135	140
d[L,*]	0	0	0	0	0	70	0		140	140	140	0	140	70	140
d[M,*]	0	0	0	0	0	70	0	0		205	205	0	205	135	70
d[N,*]	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
d[O,*]	0	0	0	0	0	70	0	0	0	205		0	205	135	70
d[P,*]	0	0	0	205	205	70	205	140	205	205	205		205	135	140
d[Q,*]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	205	0	0		0	70
d[R,*]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	0	0	135		70
d[S,*]	0	0	0	0	0	0	0	0	70	140	70	0	70	0	

On constitue le graphe orienté des duels (figure 21):

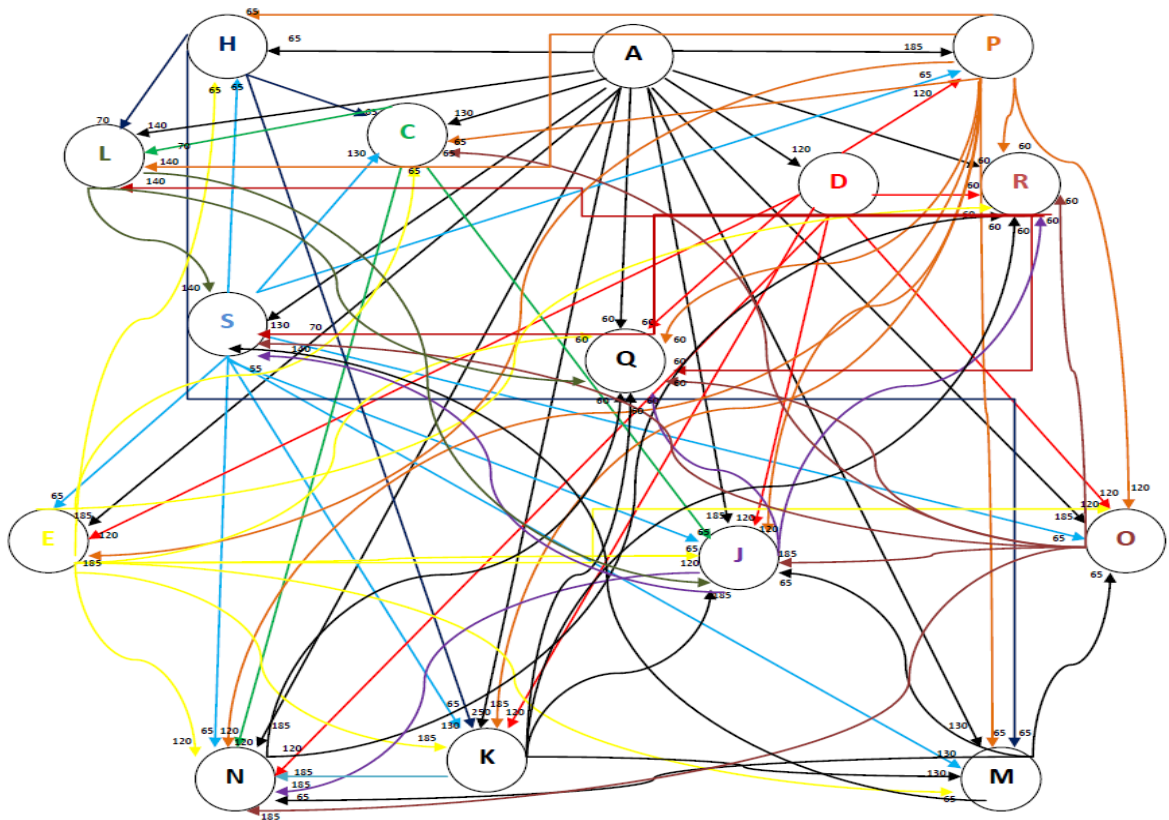


Figure 21 : Graphe orienté des duels (Famille F3)

L'ensemble de Schwartz est constitué du singleton $\{A\}$. Le candidat A est alors le premier gagnant.

On répète l'application de l'heuristique jusqu'à ce qu'on obtient un ordre des machines.

Pour la troisième famille, et par conséquent, la troisième cellule, l'implantation sera comme suit (figure 22) :

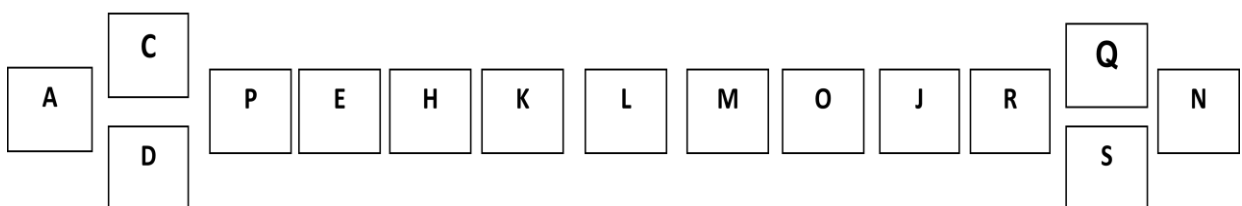


Figure 22 : Implantation de la 3ème cellule

2.2.4. la famille F4 :

On effectue les confrontations par paires (tableau 17) :

Tableau 17: Confrontation par paires famille F4

	d[*,A]	d[*,B]	d[*,C]	d[*,D]	d[*,E]	d[*,F]	d[*,H]	d[*,I]	d[*,K]	d[*,L]	d[*,M]	d[*,N]	d[*,Q]	d[*,S]	d[*,T]	d[*,U]
d[A,*]		105	0	120	240	345	345	345	345	230	285	345	235	60	0	0
d[B,*]	0		0	0	0	105	105	105	105	50	105	105	55	0	0	0
d[C,*]	0	0		0	0	120	120	0	120	0	120	120	120	0	0	120
d[D,*]	0	0	0		120	120	120	120	120	120	120	120	120	0	0	0
d[E,*]	0	0	0	0		240	120	240	120	60	180	240	180	60	0	0
d[F,*]	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	465	0	0	0	0
d[H,*]	0	0	0	0	120	465		285	405	170	405	465	355	60	0	120
d[I,*]	0	0	0	0	0	345	60		0	0	0	345	235	0	0	0
d[K,*]	0	0	0	0	120	465	60	345		230	405	465	355	60	0	120
d[L,*]	0	0	0	0	120	230	60	230	0		170	170	120	0	0	0
d[M,*]	0	0	0	0	0	405	0	285	0	0		405	355	0	0	120
d[N,*]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0
d[Q,*]	0	0	0	0	0	355	0	0	0	0	0	355		0	0	0
d[S,*]	0	0	0	0	0	60	0	60	0	0	60	60	60		0	0
d[T,*]	0	0	120	0	0	120	120	0	120	0	120	120	120	0		120
d[U,*]	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	120	120	0	0	0	

On construit le graphe orienté des duels (figure 23):

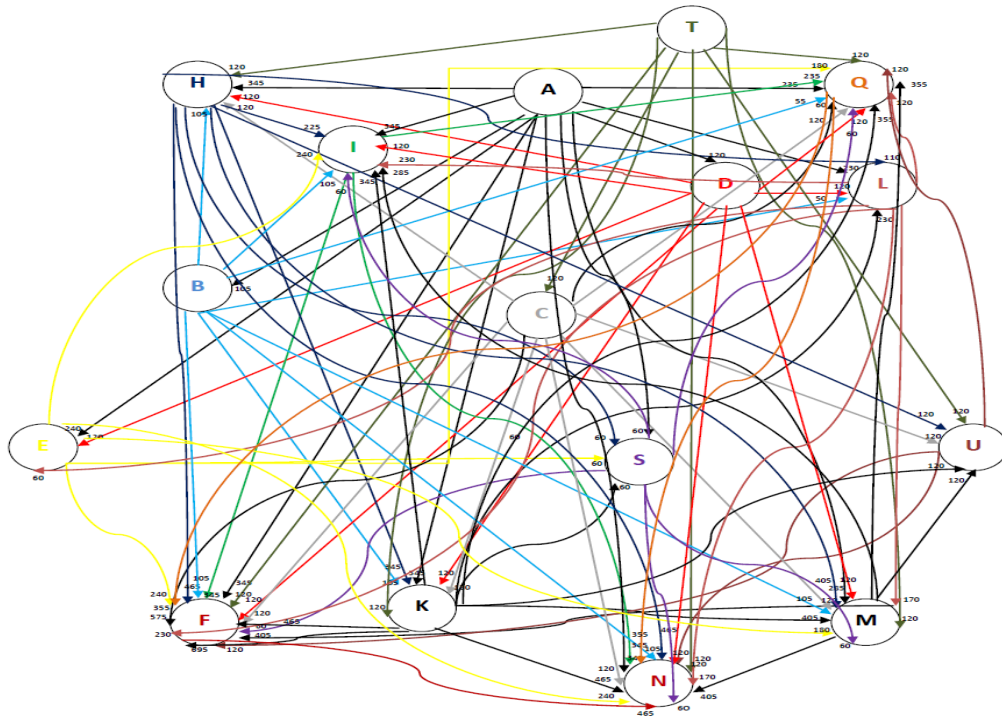


Figure 23: Graphe orienté des duels (famille F4)

L'ensemble de Schwartz est constitué de l'ensemble {A,T}. Les candidats A et T sont alors les premiers gagnants. Donc les deux machines seront placées en parallèle.

Ainsi pour la quatrième famille, et par conséquent, la quatrième cellule, l'implantation sera comme suit (figure 24) :

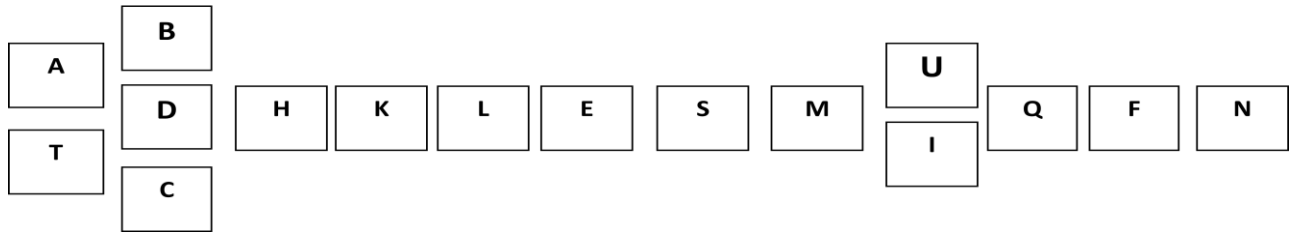


Figure 24 : Implantation de la cellule 4

3. Comparaison de la méthode Schulze à la méthode des rangs moyens

Nous allons comparer notre implantation d'atelier, obtenue par l'utilisation de la méthode Schulze, à celle obtenue en utilisant la méthode des rangs moyens.

3.1. Le résultat de l'application de la méthode des rangs moyens

La méthode des rangs moyens utilise des classements individuels pour en tirer un classement global [216]. C'est une méthode de classement simple, inspirée par le test de Friedman [217].

La méthode des rangs moyens est de loin la plus employée pour l'implantation d'atelier. Elle est, en particulier, utilisée dans la plupart des logiciels statistiques (SPSS, SAS, BMDP) [218].

Les rangs moyens et le classement correspondant de toutes les familles sont présentés dans les tableaux 18, 19, 20 et 21.

Tableau 19 : Classement des machines dans la famille F1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	P	S	T
S1					2	6		3		4				5	1
S2			2			5		3		4					1
S3			3	2		6		4		5					1
S4			2				3	4		5					1
S5			3	2	6	7		4		5					1
S6			2		7	8		4	3	5		6			1
S9			3	2	7	8		4		5	6				1
S10			3	2	7	8		4		5	6				1
S13	1		2		4			5		6			3		
S20	1	2						3		4	5				
S22	1		2			6		3		4	5				
S23	1		2			5		3		4					
S24	1				2	6	3	4		5					
S25	1		2			5		3		4					
S29	1	2								3					
S31	1		2		5	6		3		4					
Total rangs	8	4	28	8	40	76	6	54	3	72	22	6	3	5	8
Nb de rangs	8	2	12	4	8	12	2	15	1	16	4	1	1	1	8
Rang moyen	1	2	2,3	2	5	6,3	3	3,6	3	4,5	5,5	6	3	5	1
Classe memnt	1	3	5	3	11	15	6	9	6	10	13	14	6	11	1

Tableau 18 : Classement des machines dans la famille F2

	A	B	D	E	G	H	I	J	K	M	N	P	Q	R
S11	10	20		40		50	60		70	80		30		
S16	10		20	40	50			70	60		80	30		
S17	10		20	40	50			70	60		80	30	100	90
S19	10	20			50		60	70	30	40	80			
Total rangs	40	40	40	120	150	50	120	210	220	120	240	90	100	90
Nb de rangs	4	2	2	3	3	1	2	3	4	2	3	3	1	1
Rang moyen	10	20	20	40	50	50	60	70	55	60	80	30	100	90
Classe memnt	1	2	2	5	6	6	9	11	8	9	12	4	14	13

Tableau 21 : Classement des machines dans la famille F3

	A	C	D	E	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
S12	10	20		40	50	100	60	70	80	140	90	30	120	110	130
S14	10		20	40	50		60	70	90	120	100	30	110		80
S15	10	20		40	50		60		70	110	80	30	100	90	
Total rangs	30	40	20	120	150	100	180	140	240	370	270	90	330	200	210
Nb de rangs	3	2	1	3	3	1	3	2	3	3	3	3	3	2	2
Rang moyen	10	20	20	40	50	100	60	70	80	123	90	30	110	100	105
Classe memnt	1	2	2	5	6	11	7	8	9	15	10	4	14	11	13

Tableau 20 : Classement des machines dans la famille F4

	A	B	C	D	E	F	H	I	K	L	M	N	Q	S	T	U
S7			20			80	30		40		50	90	70		10	60
S8			20			80	30		40		50	90	70		10	60
S18	10				20	70	60	50	30	40		80				
S21	10				20	90	30	70	40		60	100	80	50		
S26	10	20				80	30	60	40		50	90	70			
S27	10			20	60	100	30	80	40	50	70	110	90			
S28	10			20	60	100	30	80	40	50	70	110	90			
S30	10	20				80	30	70	40	50	60	90				
Total rangs	60	40	40	40	160	680	270	410	310	190	410	760	470	50	20	120
Nb de rangs	6	2	2	2	4	8	8	6	8	4	7	8	6	1	2	2
Rang moyen	10	20	20	20	40	85	34	68	39	48	59	95	78	50	10	60
Classe memnt	1	3	3	3	8	15	6	13	7	9	11	16	14	10	1	12

Selon ces résultats, les cellules seront implantées comme suit :

- Pour la première cellule qui correspond à la fabrication des produits de la famille F1, on trouve l'implantation ci-dessous :

-

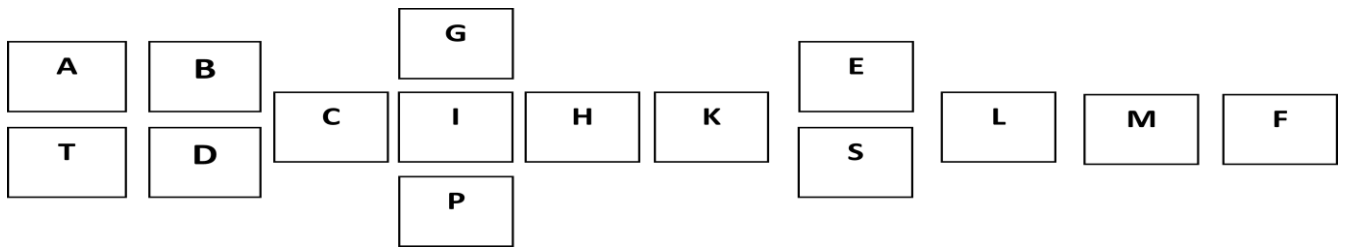


Figure 25 : L'implantation de la première cellule par la méthode des rangs moyens (la famille F1)

- Pour la deuxième cellule qui correspond à la fabrication des produits de la famille F2, on trouve l'implantation ci-dessous :

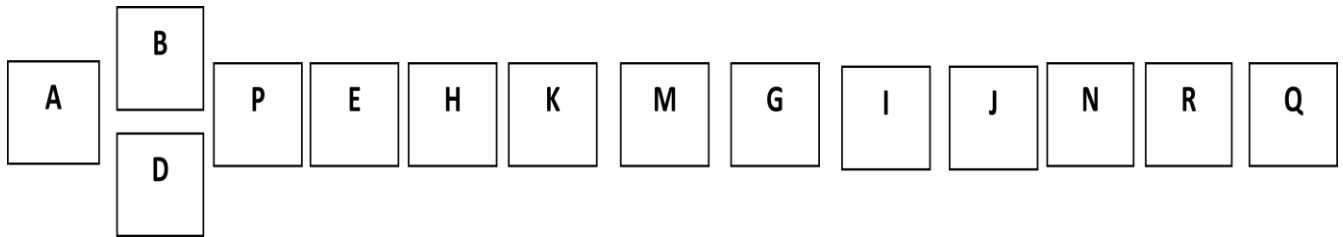


Figure 26 : L'implantation de la deuxième cellule par la méthode des rangs moyens

- Pour la troisième cellule qui correspond à la fabrication des produits de la famille F3, on trouve l'implantation ci-dessous :

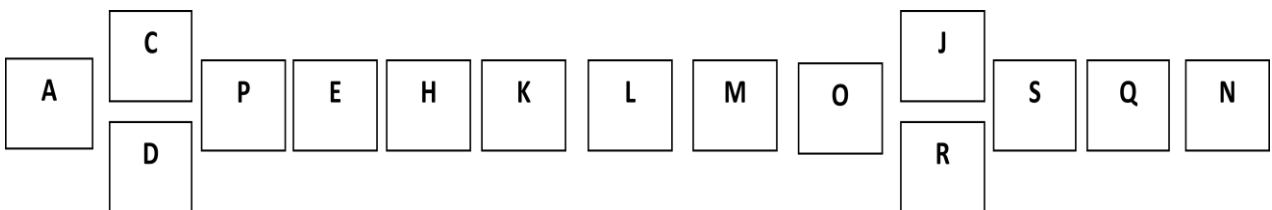


Figure 27 : L'implantation de la troisième cellule par la méthode des rangs moyens

- Pour la quatrième cellule qui correspond à la fabrication des produits de la famille F4, on trouve l'implantation ci-dessous :

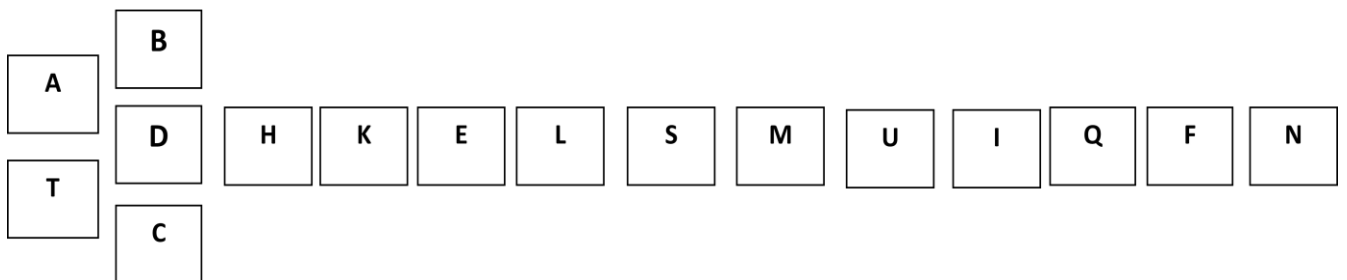
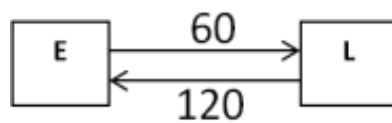


Figure 28 : L'implantation de la quatrième cellule par la méthode des rangs moyens

3.2. La comparaison des deux méthodes

Nous remarquons quelques différences entre les résultats des deux méthodes. Ces différences sont dues au fait que la méthode des rangs moyens est compensatoire.

Nous pouvons dire que le résultat de la méthode Schulze est meilleur parce que cette méthode prend en compte la quantité de produits déplacés d'une machine à une autre. Cela signifie qu'elle minimise les mouvements intracellulaires. Par exemple, dans la famille F4 et en appliquant la méthode Schulze, la machine L précède la machine E, ce qui s'oppose au résultat de la méthode des rangs moyens. Et si nous retournons aux produits dans cette famille et à leurs quantités commandées, nous verrons que le flux est plus élevé de L à E :



4. Conclusion

Dans cette partie, nous avons proposé une nouvelle méthode pour résoudre le problème d'implantation intracellulaire. La méthode Schulze est une méthode de vote que nous avons appliquée au problème d'implantation d'atelier. Nous avons choisi l'heuristique de l'ensemble de Schwartz pour la résolution de la méthode Schulze.

Nous avons assimilé les gammes de fabrication des produits aux bulletins des électeurs et les quantités commandées au nombre des électeurs.

La méthode Schulze nous a donné de meilleurs résultats comparés à ceux de la méthode des rangs moyens parce qu'elle prend en compte la quantité de produits déplacés d'une machine à une autre. Cette méthode nous a permis de créer un ordre de machines susceptible de minimiser les mouvements d'intra-cellules.

Chapitre 4 : L'application de la TG au E-commerce

1. Introduction :

Avec l'énorme masse d'information circulant dans le Web, il est de plus en plus difficile de trouver rapidement et efficacement des informations nécessaires et utiles. Cependant, avec l'apparition des Systèmes de Recommandations (SR) au cours des années 90 [219] [220] [221], la réduction de la surcharge d'information est devenue facile.

En effet, c'est un système qui a pour objectif d'aider les utilisateurs à trouver des articles intéressants, prévoir l'information pertinente qui répondra à leur satisfaction et leurs besoins réels grâce à un processus de recueil, de filtrage et de recommandation de l'information.

Les SR sont habituellement classés en trois catégories [222], à savoir la recommandation à base du contenu, le filtrage collaboratif, et l'approche hybride.

Les méthodes de recommandation à base de contenu considèrent les caractéristiques d'articles (par exemple, acteurs, genres de films..., etc) afin de générer des recommandations.

D'autre part, Le filtrage collaboratif FC est considéré comme la technique de recommandation la plus réussie. En effet, il est le plus utilisé dans les systèmes de recommandation pour le e-commerce. Cette technique permet de recommander un élément à un utilisateur en fonction des profils des utilisateurs qui lui sont les plus proches.

Dans un système de recommandation basé sur le FC, les données sont présentées sous forme matricielle, dont les lignes et les colonnes sont respectivement basés sur un ensemble d'utilisateurs et un ensemble d'articles. Chaque utilisateur évalue un ensemble d'éléments en leur affectant certaines valeurs. L'approche hybride génère des recommandations en combinant les deux approches à base de contenu et du filtrage collaboratif.

Pour éviter les faiblesses des techniques de filtrage collaboratif, des travaux de recherche ont mis l'accent sur des techniques de classification basées sur les modèles, dans le but d'être plus précis et plus efficace. Ainsi, sur la base des notes utilisateurs (votes), ces techniques regroupent les utilisateurs (ou items) formant des clusters. Cette approche donne une nouvelle façon d'identifier le voisinage permettant de faire la recommandation, sans utiliser la base de données entière, elle a produit plusieurs méthodes, à savoir le regroupement hiérarchique, le regroupement par partitionnement, le regroupement par modélisation [223], [224], [225], [226]. Une autre classe de modèle, qui a fait ces preuves en filtrage collaboratif

durant ces dernières années, est la factorisation matricielle [227], [228], [229], [230], [231], [232]. La plupart de ces méthodes peuvent être regroupés selon les approches monofiltering et bifiltering.

De nos jours, la dernière génération des méthodes de Filtrage Collaboratif (FC) nécessite encore des améliorations supplémentaires pour rendre la recommandation plus efficace et plus précise, en particulier pour les grands ensembles de données. La plupart des algorithmes de filtrage collaboratif existants souffrent encore du problème de la rareté et l'évolutivité, surtout que les utilisateurs et les éléments de la base de données des votes ou notes sont en augmentation continue, nécessitant des algorithmes robustes et évolutifs.

Parmi les méthodes les plus utilisées du filtrage collaboratif basé sur les modèles, se trouve celui utilisant les modèles de classification. La classification non supervisée (clustering) sur des données matricielles, formées d'utilisateurs et items, permet de former des blocs pertinents et significatifs. Ainsi, la classification croisée (co-clustering) permet de former simultanément des clusters d'utilisateurs et d'items, de façon à ce que les utilisateurs considérés comme similaires tendent à noter de la même manière les items considérés comme similaires.

Dans ce sens, nous proposons dans ce chapitre d'appliquer l'algorithme de co-classification, Bond Energy Algorithm (BEA) qui est adapté pour un co-clustering des utilisateurs et items. Ceci nous permettant de trouver, de façon naturelle tous les clusters correspondant aux différentes communautés constituants, et sans contraintes a priori sur le nombre de classe. Cet algorithme fait partie des méthodes de la TG, très répandues dans le monde industriel. Ainsi, la TG peut être utilisée dans le E-commerce et plus précisément pour les systèmes de recommandation.

2. Travaux liés à notre approche

Les algorithmes de FC à base de mémoire présentent des lacunes et ne sont pas convenables pour un grand système. Pour cela et pour atteindre une meilleure performance de prédiction, les chercheurs ont proposés des approches fondées sur des FC à base de modèle.

Les techniques de FC à base de modèle, traitent mieux le problème d'évolutivité en traitant des groupes d'exemples, plutôt que toute la base de données. Dans un système de recommandation, nous trouvons des utilisateurs qui partagent les mêmes goûts et les mêmes centres d'intérêt. Par conséquent, nous pouvons les regrouper pour former une communauté.

De nombreuses approches traitent ce problème dans la littérature. Chaque approche fournit plusieurs méthodes. La plupart de ces méthodes de collaboration peuvent être regroupés en deux types d'approches : monofiltering [233], [234], [235], [236] ou bifiltering (co-clustering).

En dépit du problème de la rareté, le défi le plus important des FC est l'évolutivité. De nombreux chercheurs ont trouvé que l'utilisation de la technique de co-clustering est plus robuste pour résoudre ce problème, et elle est un moyen viable pour augmenter l'évolutivité tout en conservant une bonne qualité de recommandation [233], [235], [237]. Le co-clustering implique à la fois le regroupement des utilisateurs et des articles simultanément. Dans [238], l'algorithme a utilisé ce partitionnement simultané et il l'a effectué en un filtrage collaboratif en temps réel. Les auteurs du [238], [237] ont utilisé aussi une méthode de co-clustering, mais en introduisant une analyse de la dualité entre les utilisateurs et les articles. Ils proposent un algorithme basé sur le co-clustering et une nouvelle mesure de similarité.

Ainsi, lorsque la base de données est grande, il est plus approprié d'utiliser la méthode ClustKnn présentée dans [239], [240]. Les auteurs ont d'abord compressé les données en construisant un modèle de clustering efficace, les recommandations sont ensuite générées en utilisant une approche efficace basée sur les plus proches voisins. Un résumé des travaux sur le FC basé sur le clustering peuvent être consultés dans [241].

Une classe récente de modèles réussis de filtrage collaboratif est basée sur la factorisation matricielle. De nombreuses méthodes ont montré que l'usage des méthodes de factorisation pour le co-clustering donne un meilleur résultat, comme est le cas des méthodes SVD, NMF, Tri-NMF, PMF, Non linear PMF, Bayesian PMF, et NPCA [242], [243], [244], [245], [246], [247], [248].

3. Approche proposée

La taille grandissante des réseaux nous oblige à chercher des méthodes capables de faciliter leur gestion. Ce besoin implique la recherche des méthodes pour les structurer sous forme de groupes ayant des caractéristiques communes.

De nos jours, les données utilisant la classification croisée ou co-clustering proviennent du domaine de la bioinformatique, text mining, mais aussi de l'industrie. Contrairement aux méthodes de classification automatique habituelles, les méthodes de co-clustering traitent

l'ensemble des lignes et l'ensemble des colonnes d'un tableau de données simultanément en cherchant à obtenir des blocs homogènes.

Dans le domaine industriel, le co-clustering fait parti des techniques de la Technologie de Groupe (TG). Il s'agit d'un concept basé sur l'identification et l'exploitation des ressemblances, ou la similarité entre les produits et les processus de conception et de fabrication, en vue de rationaliser la production et diminuer les coûts industriels.

Dans ce sens, nous allons présenter l'algorithme de co-classification nommé BEA, adapté au co-clustering des utilisateurs et items. Il est issu du monde industriel et généralise des algorithmes de co-classification, qui travaillaient sur la TG.

Pour un système de recommandation, l'utilisation de la TG, et précisément l'algorithme de BEA permet la formation des communautés. Cet algorithme est basé sur le réarrangement des lignes et des colonnes pour reformuler la matrice d'utilité sous forme d'une matrice composée des blocs. Les indexes des lignes et colonnes de ces blocs représentent les membres utilisateurs et items des communautés qui sont caractérisés par une forte similarité. Chaque bloc représente une association forte entre les utilisateurs et les items.

Seules quelques méthodes se sont penchées sur une extraction complète (i.e. non heuristique). Ce problème qui reste toujours un problème difficile, tandis qu'aucun cadre théorique fort ne permet leur caractérisation.

Chose qui implique la recherche d'une nouvelle méthode pour effectuer une extraction exacte et automatique après la formation des blocs naturels par BEA.

On peut résumer le processus de notre approche comme suit :

- Réorganiser la matrice en mettant ensemble à proximité tous les individus et tous les items qui se ressemblent par l'application de BEA
- Détecter et extraire les classes d'individus qui constituent les communautés.

3.1. Processus de notre approche proposée

3.1.1 Formation des communautés par l'application de BEA

Nous avons signalé que le but de l'algorithme BEA est de réaliser une co-classification sur une matrice creuse afin d'identifier les groupes d'objets en faisant des permutations des lignes et des colonnes de la matrice d'incidence.

Il cherche aussi à afficher et découvrir les associations et les interrelations qui existent entre les groupes les uns aux autres. Cette démarche algorithmique est proposée dans [249]. Elle se base sur la liaison entre un élément de la matrice d'incidence ou la matrice d'utilité et ces quatre proches voisins, tel qu'il est illustré dans le Tableau 22.

D'après [249], ces liaisons peuvent être considérées comme une énergie.

La représentation des données pour le filtrage collaboratif traditionnel est basée sur la construction d'une matrice A de $N \times M$ utilisateur / élément, qui est présentée dans le tableau 1. R_{ij} signifie la note de l'item i évalué par l'utilisateur j .

Tableau 22 : Energie de liaison d'un élément par ses quatre proches voisins

	i_1	i_2	i_3	...	i_M
u_1	R_{11}	R_{12}	R_{13}	...	R_{1M}
u_2	R_{21}	R_{22}	R_{23}	...	R_{2M}
u_3	R_{31}	R_{32}	R_{33}	...	R_{3M}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
u_N	R_{N1}	R_{N2}	R_{N2}	...	R_{NM}

D'autre part, en tenant compte de l'énergie frontalière calculée, la permutation des lignes et des colonnes se fait à fin de rassembler les éléments de la matrice pour créer un nouveau regroupement avec énergie maximale. La permutation est basée sur la valeur du coefficient d'énergie maximale (EM), comme suit :

$$\text{Energie}(R_{22}) = R_{22} * (R_{12} + R_{21} + R_{23} + R_{32}) \quad (1)$$

avec $R_{ij} = \{1: 5\}$

D'une manière générale, la Mesure d'Efficacité (ME) d'une matrice A non négative de dimension $N \times M$, est la somme des forces de liaisons de celle-ci. ME, alors est donnée par :

$$\text{ME}(A) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N R_{ij} (R_{i,j+1} + R_{i,j-1} + R_{i+1,j} + R_{i-1,j}) \quad (2)$$

avec $R_{0,j} = R_{M+1,j} = R_{i,0} = R_{i,N+1} = 0$:

Maximiser la ME par les permutations des lignes et des colonnes sert à créer des énergies solides de liaison en entraînant les grands éléments d'une matrice d'être ensemble. La ME définie ci-dessus présente des avantages théoriques et computationnels très importants. D'une part, la ME est applicable à des réseaux de toute taille ou forme, la seule exigence est que les éléments du tableau doivent être non négatifs. D'autre part, les liaisons verticales (horizontales) ne sont pas affectées par la permutation des colonnes (lignes). Par conséquent, l'optimisation de la ME peut être obtenue exactement par une recherche de la permutation optimale de la colonne (ligne). La contribution de la ME pour n'importe quelle colonne (ou ligne) est uniquement influencée par les deux colonnes adjacentes (ou lignes).

Comme indiqué précédemment, l'algorithme de maximum d'énergie vise à maximiser la somme de l'énergie de liaison sur toutes les permutations des lignes et colonnes de la matrice A. Autrement dit, nous voulons trouver

$$\max \left\{ \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N R_{ij} (R_{i,j+1} + R_{i,j-1} + R_{i+1,j} + R_{i-1,j}) \right\} \quad (3)$$

Où la maximisation est faite sur $N!M!$ matrices possibles, qui peuvent être obtenues à partir de la matrice de départ, par permutations des lignes et des colonnes. Ce problème de maximum d'énergie, comme indiqué précédemment dans [227], se réduit à deux optimisations distinctes ; l'une pour les lignes et l'autre pour les colonnes. Etant donné que les problèmes sont-équivalents, seul le premier doit être discuté.

Soit $\Pi = \{r(1), r(2), \dots, r(N)\}$ une permutation des N colonnes de la matrice A, en produisant une nouvelle matrice $[b_{i,j}] = [R_{i,r(j)}]$. La maximisation de la somme de la liaison des lignes est donnée par (avec la contrainte $b_{i,0} = b_{i,N+1} = 0$)

$$\max_r \left\{ \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N b_{ij} (b_{i,j-1} + b_{i,j+1}) \right\} \quad (4)$$

où Π va sur les $N!$ permutations possibles. Cela peut être reformulé sous forme d'un problème d'affectation quadratique (QAP), une classe de problèmes d'allocation pour lequel plusieurs algorithmes optimaux et sous-optimaux ont été proposés. Ces algorithmes sont utilisables sur des matrices de petites tailles, car ils sont coûteux en temps pour un N grand, et n'exploitent pas la caractéristique du plus proche voisin. Un algorithme approximatif de QAP

de sélection séquentielle sous-optimale, a été publié et utilisé avec succès pour déterminer les ordres de la matrice correspondant au optima local de la ME. Il est beaucoup plus rapide et satisfaisant, celui de l'algorithme BEA, décrit dans [250] (tableau 23):

Tableau 23 : Algorithme BEA

1. Placer l'une des colonnes arbitrairement. Régler $i = 1$.
2. Essayer de placer individuellement chacun des restants $N-i$ colonnes dans chacune des $i + 1$ positions possibles (à gauche et à droite des colonnes i déjà placés), et de calculer la contribution de chaque colonne pour la ME. Placer la colonne qui donne la plus grande contribution supplémentaire à la ME dans son meilleur emplacement. Incrémenter i de 1 et répéter jusqu'à ce que $i = N$.
3. Lorsque toutes les colonnes ont été placées, répétez la procédure sur les lignes.

Cet algorithme a plusieurs caractéristiques importantes:

- Il est rapide car le temps de calcul ne dépend que de la taille de la matrice. Pour une matrice de $M \times N$, le nombre d'opérations augmente de $[M^2 \cdot N + N^2 \cdot M]/2$.
- Le classement final obtenu à l'aide de l'algorithme est indépendant de l'ordre dans lequel les lignes (colonnes) sont présentées. Mais, il ne dépend que de la ligne initiale (colonne) choisie pour initier le processus de sélection séquentielle. Cependant, les regroupements finaux et les relations, sont insensibles à l'initialisation et leur ME associé sont numériquement proches.
- L'algorithme donnera à partir de la matrice d'entrée, une matrice de sortie sous forme de blocs purs sans intersection, ou bien en forme de blocs de checkerboard. Dans le cas de la forme checkerboard, les blocs d'éléments non nuls de la matrice sur la diagonale principale ne représentent que des groupes purs sans interaction de ligne et de colonne des variables mais les blocs non diagonaux indiquent les relations entre les groupes.

3.1.2. Extraction des blocs (communautés)

Faisant les réorganisations des lignes et des colonnes en se basant sur l'énergie frontalière, BEA reforme la matrice sous forme des blocs des valeurs similaires et non nul. Mais, cet algorithme ne présente pas une méthode d'extraction automatique. On parle de la détection automatique des blocs.

La solution proposée dans cette partie suit la démarche suivante :

Après l'application de BEA sur la matrice d'utilité de dimension (NxM), nous proposons de faire une deuxième réorganisation basée sur le poids $P(u_i)$ calculée pour chaque ligne (utilisateur) :

$$P(u_i) = \sum_{j=1}^M R_{ij} * w_j \quad \text{Avec} \quad w_j = 2^{M-j} \quad (5)$$

et le poids $P(i_j)$ de chaque colonne (item).

Nous considérons que ce poids est associé à chaque objet, que ça soit l'item ou l'utilisateur. La brique de base de notre méthode est un algorithme de partitionnement sur une dimension qui sera utilisé sur l'ensemble des utilisateurs et l'ensemble des items qui sont représentés par leurs poids. L'utilité de ces poids apparait lorsqu'on décide de les rangés par ordre décroissant.

En effet, ce poids et son tri décroissant transformera la matrice issue de BEA sous une forme diagonale, montrera l'homogénéité des membres de même classe (utilisateurs ou items) et permettra de projeter l'ensemble des poids d'utilisateurs sur un axe et celui des items sur un autre axe afin de différencier entre les classes items et celles des utilisateurs.

En appliquant la démarche sur une partie réduite des données MovieLens, on a trouvé les résultats figurant dans les figures 29 et 30.

Ces résultats montrent l'existence des groupes des utilisateurs / items ayant des poids similaires, ce qui explique l'appartenance à la même communauté. Mais à un utilisateur/ item donné, nous trouvons une variance remarquable entre des poids, ce qui explique l'hétérogénéité entre les deux utilisateurs/items. Par conséquent, ces deux éléments peuvent représenter les frontières de chaque communauté.

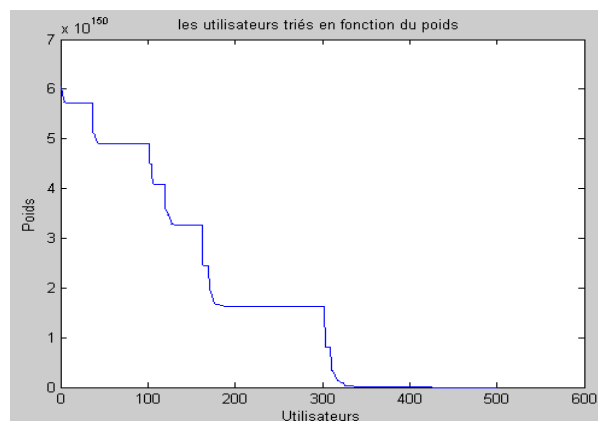


Figure 29 : Les utilisateurs triés en fonction des poids calculés

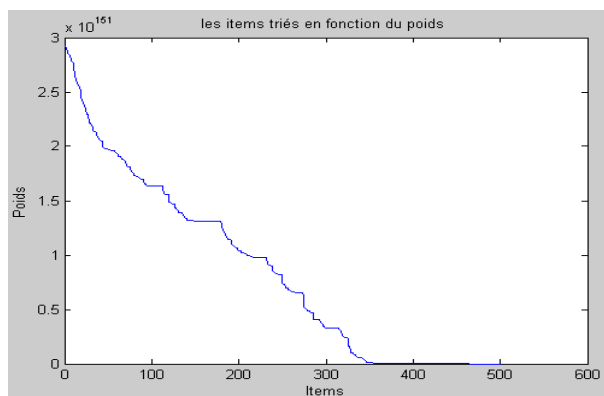


Figure 30 : Les items triés en fonction des poids calculés

L'approche proposée dans ce chapitre essaye d'appliquer une solution de co-clustering pour les systèmes de recommandation, et de rechercher des couples de partitions utilisateurs et items, en se basant sur le dit poids, en détectant les frontières de chaque communauté utilisateurs ou items.

Dans la suite, le calcul de la distance entre les poids des utilisateurs / items (Moving Range), est exprimé par la différence entre deux éléments successivement ordonnés. En se basant sur celle-ci, on peut facilement détecter les frontières de chaque communauté. Il suffit de faire une présentation graphique (voir figures 31 et 32) pour toutes les distances calculées pour les utilisateurs ainsi pour les items.

En observant les résultats présentés, on peut déterminer les communautés (classes) avec les membres utilisateurs et items. En choisissant un seuil et en le projetant sur l'axe des utilisateurs ainsi, sur l'axe des items.

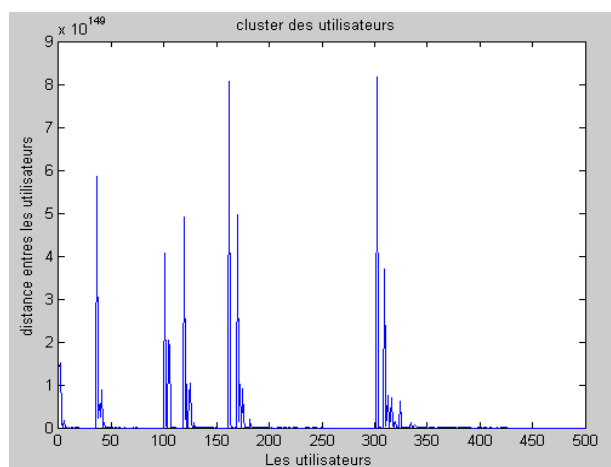


Figure 31 : Distance entre les poids des utilisateurs (Moving Range)

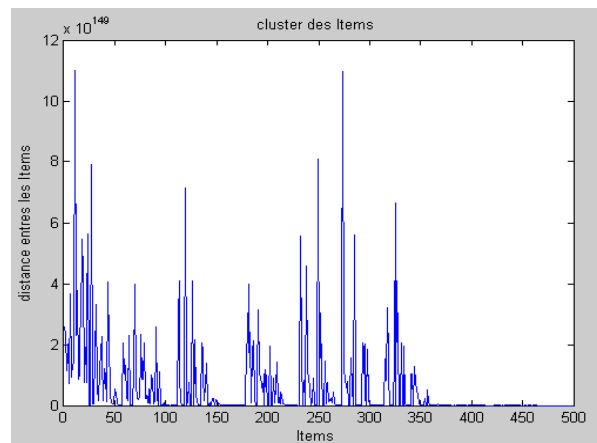


Figure 32 : Distance entre les poids des items

Lors de la projection de la différence des poids des items sur une dimension, les classes des items sont séparées. Pour tout couple de valeur de poids d'items consécutifs séparés par la plus grande distance, on peut faire un découpage et ainsi de suite. On choisit les meilleures divisions.

Cette méthode produit un ensemble des clusters définis par des intervalles inclut les items ou utilisateurs sur une dimension. Elle réalise une partition des données puisque les clusters ne se chevauchent pas d'après la figure 3.a pour les utilisateurs et la figure 3.b pour les items. Alors, ces divisions sont facilement acceptées et cette méthode est tout à fait efficace, car, nous avons des séparations importantes entre les données.

4. Conclusion

La solution proposée est considérée comme une extension de l'algorithme de BEA, surtout au niveau de l'extraction des classes. En effet, cette méthode transforme la matrice issue à partir de BEA sous une forme diagonale par une mesure appliquée à chaque ligne et colonne. Ensuite nous avons appliqué une différence entre ces mesures (Moving Range) qui représentent les utilisateurs et les items afin d'avoir par la suite deux projections sur lesquelles les classes à la fois d'utilisateurs et items sont bien séparées.

La méthode a été testée avec succès sur la base de données MovieLens. Nous attendons également d'évaluer cette méthode pour être capable d'identifier de telles informations intéressantes sur différents problèmes.

Chapitre 5 : Méthode générique du management visuel pour l'aide à la décision : application à l'évaluation, satisfaction, maturité et sélection

1. Introduction

La vision est certainement notre principal sens permettant d'appréhender une situation, donc c'est très difficile de traiter et résoudre un problème s'il n'est pas visible. Les entreprises ont de plus en plus recours aux approches du Lean notamment le management visuel.

Le management visuel est une démarche d'amélioration continue qui permet de rendre visible tout ce qui a du sens et partager la connaissance de la situation en toute transparence. Ainsi, il permet de représenter et comparer les données, d'identifier les causes des problèmes ce qui facilite la réactivité afin d'être en mesure de réagir rapidement pour solutionner les problèmes; et aide à prendre les décisions au bon niveau [251].

Le Management visuel doit se faire, sous une présentation claire, sobre et homogène, et surtout doit contenir des informations et des indicateurs représentatifs et utiles [252].

Les écarts significatifs observés par rapport aux objectifs fixés doivent donner lieu à une analyse et à un plan d'action correctif.

Notre méthode ressemble aux méthodes d'analyse SWOT qui s'adresse généralement à l'analyse des deux environnements interne (forces et faiblesses) et externe (opportunités et menaces) de l'entreprise afin d'atteindre une approche systématique et une assistance pour les décisions [253] [254]. Cette analyse, combinée avec les méthodes d'aide à la décision multicritère, est importante pour la formulation et le développement de la stratégie de l'entreprise [255] [256].

Par la suite, nous allons détailler notre méthode générique, l'illustrer avec un exemple d'application. Puis, nous allons citer les diverses utilisations de la méthode proposée au sein de la chaîne logistique globale.

2. Méthode proposée

Notre méthode relève du concept de management visuel qui a pour but de présenter l'information d'une façon claire et signifiante.

Alors pour faciliter le traitement des données, on propose un outil visuel générique pour l'évaluation de concept, de mesure de satisfaction et/ou de maturité d'un concept, ainsi que l'aide à la sélection ou à la décision [257].

Nous allons créer un programme qui permet de transformer une matrice de données de type Likert en matrice de couleurs positives et/ou négatives pour le management visuel.

Cette matrice, qui une fois triée grâce à des permutations sur les lignes et les colonnes, permet de donner le résultat d'évaluation, de satisfaction, de maturité et aidant aussi à la prise de décision ou à l'établissement d'un plan d'action [258].

Elle nous permet facilement de savoir les classes ou les éléments sur lesquelles on peut agir pour augmenter la performance (les éléments ayant beaucoup de couleurs négatives).

Pour ce programme nous avons choisi :

- Une échelle de type Likert variant de -5 à 5 (voir tableau 24).
- Les couleurs positives seront le Vert et ses variantes.
- Les couleurs négatives seront le Rouge et ses variantes.

Tableau 24 : Echelle de type Likert

Note	Signification
5	Tout à fait d'accord / Très bien
3 / 4	D'accord / Bien
1 / 2	Mitigé / Moyen
0	Pas d'opinion
-1 / -2	Mitigé / Moyen
-3 / -4	Pas tout à fait d'accord / Mauvais
- 5	Pas du tout d'accord / Très mauvais

3. Exemple d'application

Pour l'entreprise, connaître les attentes de la clientèle cible est incontournable face à une concurrence effrénée. Ainsi que le Maintien de sa distinction demande un vif sens de l'observation et une capacité d'action. Les entreprises positionnées s'adaptent plus rapidement.

Les attentes des clients sont les facteurs clés de la satisfaction à la clientèle et elles se reflètent dans les ventes moyennes de l'entreprise. Grâce à un sondage concis, On obtient de l'information cruciale pour adapter la stratégie de l'entreprise rapidement.

Le sondage peut être mené en points de vente ou en ligne sur le site web ou à l'aide de la page Facebook de l'entreprise... selon plusieurs indicateurs, à savoir : le service, le prix, la rapidité de réponse, la disponibilité, la compétence, le respect des délais, la facturation, l'image de la société, la qualité des produits, la qualité des relations, diversité des produits proposés, l'engagement de l'entreprise...

Pour résoudre les problèmes qu'affronte l'entreprise avec les clients, elle doit d'abord connaître la source de ses problèmes (ses points faibles et les clients non satisfaits).

Les lignes de la matrice des données contiendront les clients et les colonnes les indicateurs sélectionnés (voir tableau 25).

3.1. Données de base

Nous disposons des données sur les avis de 7 clients à propos de 9 services de l'entreprise utilisés comme indicateurs de niveau de satisfaction des clients.

Tableau 25 : Matrice de données type likert

	Prix	Service	Respect délais	Qualité produits	Image entreprise	Qualité relations	Diversité produits	Rapidité réponse	Compétence
Client 1	2	3	3	-3	1	2	-5	-3	1
Client 2	5	3	4	1	3	3	-3	3	1
Client 3	4	2	5	2	2	3	-4	2	3
Client 4	3	0	5	0	1	0	-3	-1	2
Client 5	3	3	4	-1	3	2	-4	1	4
Client 6	4	-1	4	2	4	2	-2	2	4
Client 7	4	0	5	-2	3	1	-1	3	4

3.2. Application de la méthode

A l'aide du programme créé, nous transformons les données de type Likert en données colorés (Figure 33).

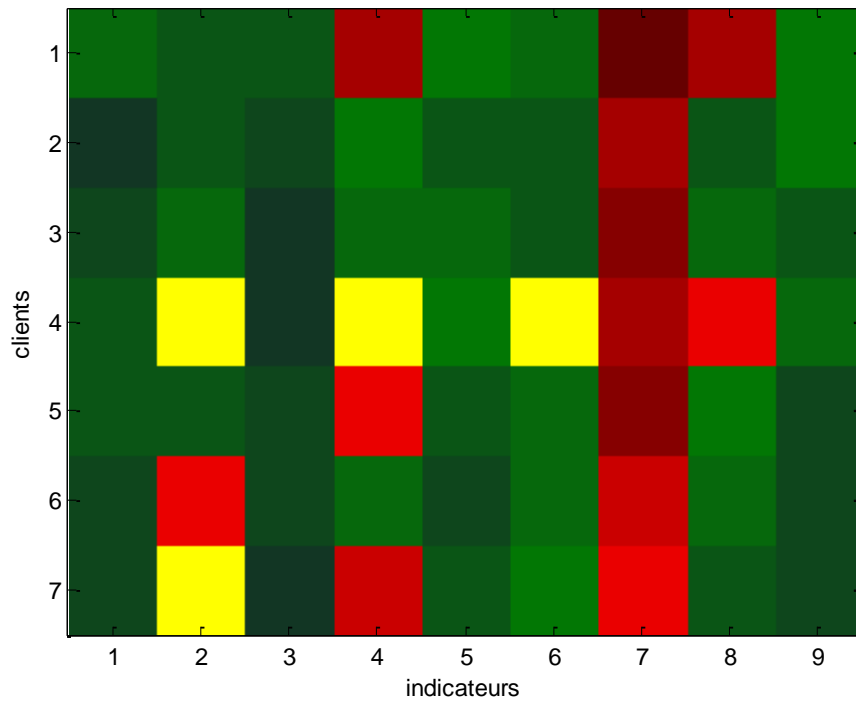


Figure 33 : Matrice de données transformée en couleurs

Une fois la matrice triée, on obtient la figure 34.

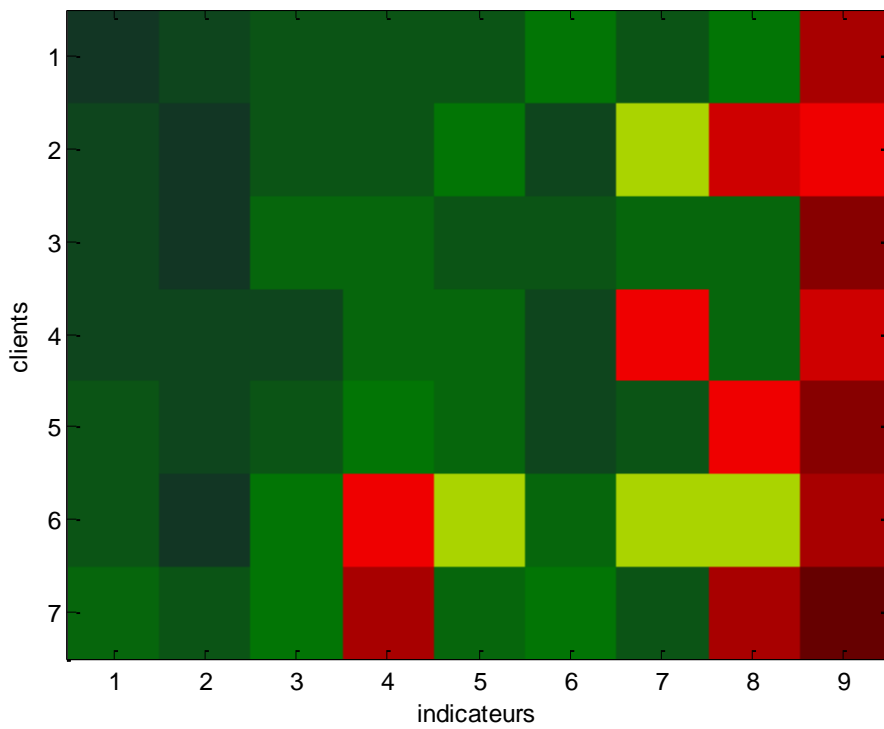


Figure 34 : Matrice de couleurs triée

3.3. Interpretation

Sur cette figure, on peut clairement voir que l'entreprise a un problème concernant la diversité des produits et qu'elle doit changer sa stratégie vis-à-vis de ce point. Aussi nous pouvons voir que les clients 1 et 4 sont les clients les plus insatisfaits, l'entreprise doit être à leur écoute.

4. Utilisations au sein de la chaîne logistique globale

4.1. La satisfaction des clients

Pendant les deux dernières décennies, les organisations de tous les types ont de plus en plus reconnu l'importance de la satisfaction client et sa fidélité [259]. Plus la satisfaction et la fidélité du client est haute plus l'entreprise est à une position compétitive forte aboutissant à une plus grande part de marché et à une augmentation des profits [260].

La satisfaction client est généralement assumée comme étant un déterminant significatif de ventes répétitives et de fidélité client ; d'ailleurs plus de 60 % de ventes à de nouveaux clients peut être attribué aux références de bouche à oreille [261]. On l'a aussi longtemps considéré comme un des antécédents clés pour créer la fidélité à la marque.

Il existe un très grand nombre de facteurs influençant la satisfaction. L'importance de ces facteurs a mené à une recherche croissante pour définir les caractéristiques essentielles de critères de service. On cite parmi ces facteurs : la qualité de service, prix, fiabilité, disponibilité [262], respect du délai, qualité produit, l'anticipation des attentes clients et l'image de l'entreprise [263], performance logistique, innovations dans les prestations proposées [264] [265].

D'après J. E. Lewin [266], lorsqu'il y a plusieurs changements concernant le personnel de contact clé, l'entreprise peut avoir des difficultés pour satisfaire le client. En plus, les changements rapides des attentes de la clientèle, des technologies et de la concurrence exigent aux entreprises d'améliorer leur agilité [267] et leur flexibilité tout au long de la chaîne logistique soit au niveau du développement des produits [268], soit au niveau de la production [269] dans le but d'arriver à la satisfaction client.

L'entreprise doit être tout le temps consciente de la réaction de ses clients par n'importe quelle méthode (questionnaire, réclamations, retours...). Et par conséquent, notre matrice sera formée de tous les clients de l'entreprise (lignes) et les critères pertinents (colonnes).

4.2. Le choix des fournisseurs

La gestion d'approvisionnement contemporaine vise à maintenir un partenariat à long terme avec les fournisseurs et à utiliser un nombre restreint de fournisseurs mais fiables. Donc, le choix des fournisseurs adéquats implique beaucoup plus que le balayage d'une série de tarif/prix et dépendra d'une large gamme de facteurs tant quantitatifs que qualitatifs.

La sélection de fournisseurs est un problème de prise de décisions multicritères. Les critères et les techniques de prise de décisions sont deux éléments importants dans ce problème.

Dickson [270] était l'un des premiers dans ce domaine d'étude. Il a identifié 23 critères différents incluant la qualité, la livraison, la performance, la politique de réclamation et de garantie, la capacité et les installations de production, le prix net et les capacités techniques. Weber, Current et Benton [271] ont catégorisé la littérature sur la sélection de fournisseur en passant en revue 74 articles. Ils ont identifié des critères tels que l'emplacement géographique et la Capacité technologique. Les critères les plus populaires sont : la qualité, la livraison et le prix [272].

De vastes approches de prise de décisions multicritères ont été proposé pour la sélection des fournisseurs, comme la procédure analytique de hiérarchisation (AHP), procédure analytique réseau (ANP), raisonnement à base de cas (CBR), analyse d'enveloppement de données (DEA), théorie des ensembles flous [273], algorithme génétique (AG), programmation mathématique, la technique de notation multi-attributs simple (SMART) et leurs hybrides [272].

La définition des critères appropriés peut être faite par une équipe d'experts dans le domaine d'industrie de l'entreprise.

Pour la matrice de données de notre programme dans ce cas, les lignes contiendront les fournisseurs candidats et les colonnes sont les critères choisis.

4.3. Le management des compétences

Le maintien et le développement d'avantages compétitifs à un marché constamment changeant exigent la création et l'exploitation d'un réseau de compétences adéquates. En conséquence, le management de compétence est un problème-clé dans la gestion stratégique aussi bien que tactique [274].

Gérer des compétences exige la capacité d'évaluer la valeur de compétence d'une organisation qui compte sur plusieurs facteurs. Elle a l'objectif principal de définir et continuellement maintenir des compétences, selon les objectifs de la société.

Cette gestion de compétence peut être organisée selon quatre sortes de processus (identification, évaluation, acquisition des compétences et utilisation de ces connaissances) [275].

A l'aide de notre programme, l'entreprise peut évaluer les compétences existantes chez elle et même définir les compétences dont elle a besoin et par conséquent, décider soit d'acquérir de nouvelles compétences ou bien de former celles existantes et dans quels domaines.

Les managers peuvent attribuer des notes aux employés variantes entre -5 à 5 (signifiants : compétent, polyvalent, pas du tout compétent...) concernant différentes tâches et missions.

4.4. La satisfaction des employés

La satisfaction des employés entretient des liens étroits avec les phénomènes d'implication, d'engagement et de motivation au travail, mais aussi avec l'absentéisme [276], la rotation du personnel, le climat social, la production, la performance, la santé physique, la santé mentale [277], le stress, ou encore avec la satisfaction de vie globale [278]. Donc l'entreprise doit donner de l'importance à ce point. La satisfaction au travail dépend de plusieurs facteurs : appropriation de l'espace [279], composantes du climat de travail [280]...

4.5. La maturité de la chaîne logistique

La concurrence mondiale n'est plus entre les organisations, mais plutôt entre les chaînes logistiques. Ce qui pousse les entreprises à développer leur supply chain qui est donc devenue une façon potentiellement de valeur pour garantir un avantage compétitif et améliorer la performance organisationnelle [281].

La maturité de la chaîne logistique passe par plusieurs niveaux (le terme Supply Chain n'a pas de signification dans l'organisation, Supply Chain collaborative en interne, collaboration interne et externe, partage d'informations tout au long de la Supply chain...), et concerne l'ensemble des fonctionnalités de l'entreprise depuis la stratégie d'entreprise jusqu'à la mesure des performances en passant par les différentes composantes de la logistique.

Les travaux réalisés dans ce domaine relient la maturité de la chaîne logistique à sa performance [282], [283], [284]. Paché et Spalanzani [285] ont proposé cinq niveaux de maturité.

Pour comprendre les enjeux et le fonctionnement de la supply chain, et par conséquent, définir le niveau de maturité qu'elle a atteint ; il faut évaluer les forces et les faiblesses logistiques.

Par le biais de notre programme, l'entreprise peut définir pour chaque fonctionnalité les critères susceptibles d'indiquer le niveau de maturité. Par exemple, pour la réactivité logistique, on trouve des critères comme la flexibilité, l'agilité, personnalisation des produits, standardisation, lead time, temps improductifs, créances clients. Et ainsi évaluer la maturité de sa chaîne logistique.

4.6. Autres utilisations

Notre outil peut être utilisé dans d'autres parties de la chaîne logistique à savoir :

- La détection des pannes machines les plus fréquentes et même les machines qui tombe beaucoup en pannes afin d'aider le service maintenance à prendre la décision la plus appropriée (acquisition de nouvelles machines, planification de la maintenance préventive...).

- La gestion des ressources humaines (suivi du taux d'absentéisme, détermination des primes d'équipe...)

- La qualité des pièces fabriquées ou bien les défauts les plus fréquents pour une famille de pièces.

- L'animation des réunions qui peut se baser sur cet outil pour rendre visible la contribution de chacun (prendre l'avis de tous les participants vis-à-vis des différents points à traiter sans perdre du temps : notes / couleurs).

- Le choix des indicateurs de performance car chaque indicateur a des caractéristiques qui déterminent sa qualité et son utilité.

À vrai dire on peut l'utiliser à peu près partout. Là où on a besoin d'évaluer, mesurer, sélectionner ou décider.

5. Conclusion

Grâce à la représentation visible d'informations critiques d'une entreprise, le personnel comprend mieux ce que l'on attend de lui, ce qui se manifeste habituellement par des efforts en vue de performances de travail plus élevées. Le management visuel donne aussi des informations exploitables qui permettent à la hiérarchie de mieux contrôler les performances de travail et de déterminer en temps réel les domaines où des améliorations sont requises. Le résultat global contribue à augmenter la productivité dans toute l'entreprise en augmentant l'efficacité et la qualité tout en améliorant la disponibilité des machines et des installations.

Notre méthode est générale à l'ensemble des activités de la chaîne logistique, et peut même être appliquée dans d'autres domaines.

Nous avons posé la base d'une méthode générique pour l'aide à la décision, mais c'est possible dans nos prochains travaux d'utiliser d'autres algorithmes pour la programmation de la méthode et même faire une comparaison entre eux dans le but de les évaluer et choisir le plus adapté à la méthode.

Chapitre 6 : Méthode générique de classification : comparaison de méthodes de classification pour la formation de cellules, comparaison de gammes d'assemblage

1. Introduction

La comparaison des classifications est l'une des questions ouvertes en analyse de données. Le besoin de comparer deux classifications survient lors de l'obtention de plusieurs partitions portant sur un même ensemble de données. L'objectif de notre travail est de trouver une procédure formalisée qui repose sur la comparaison des structures des arbres de classification (dendrogrammes) dans le cas de comparaison de deux ou plusieurs classifications dans les différents contextes [286].

Dans ce chapitre, l'approche pour la comparaison de partitions dans notre cas est définie en utilisant la classification des variables. Il s'agit de trouver les arbres hiérarchiques par les méthodes de classification de variables, et de les comparer à partir de la distance de Marczewski-Steinhaus [287]. Quand on dispose de deux partitions effectuées sur les mêmes individus, par exemple avec deux jeux de variables ou bien avec deux algorithmes, on peut comparer ces deux partitions par notre méthode pour savoir si elles sont proches ou éloignées. Une façon d'aborder ce problème consiste à calculer un indice de concordance entre partitions et à définir une valeur critique à partir de laquelle on conclura que les deux partitions sont ou non concordantes. Beaucoup des travaux ont été consacré à la présentation et à la définition des différents indices qui nous paraissent intéressants, mais moins performants que notre méthode. La plupart de ces indices sont présentés en formulations contingentes et relationnelles en utilisant les formules de passages proposées par Kendall [288] et Marcotorchino [289]. A l'indice bien connu de Rand et celui corrigé par Hubert [290], une version asymétrique de Rand [291] a été proposée et utilisée pour la comparaison de partitions emboîtées, avec des nombres différents de classes. Deux autres indices inspirés de test de Mac Nemar et de l'indice de Jaccard. L'indice de corrélation vectorielle introduit par Robert et Escoufier [207] qui se révèle identique au coefficient de Janson et Vegelius [292], le coefficient kappa de Cohen [293], l'indice de redondance proposé par Stewart et Love [294], ainsi que l'indice de Popping [295].

Au lieu de comparer des résultats de partitions directement, nous avons proposé une méthode de comparaison basée sur les dendrogrammes. Ainsi la comparaison entre arbres hiérarchiques et non pas la comparaison des classes résultantes directement a pour but de fournir un outil rationnel et efficace pour le regroupement des différentes méthodes de classifications. Elle sera une démarche générale incluant le choix de méthodes les plus proches et de situer des méthodes aux autres ou une nouvelle méthode aux anciennes.

Notre objectif est de proposer une méthode universelle applicable à plusieurs domaines tels que l'industrie, la bioinformatique, la philologie, la botanique. Cette méthode a pour but de :

- combler un vide en proposant une méthode pour la comparaison de plusieurs méthodes de classification en se basant sur leurs dendrogrammes issus de la classification hiérarchique, ou tout problème modélisé par des binaires.
- comparer des méthodes de classification hiérarchiques (basées sur des mesures de ressemblance) en se basant sur leurs dendrogrammes ou les résultats d'algorithmes transformés en dendrogramme afin de les situer les une par rapport aux autres sur le dendrogramme de la méthode proposée,
- de trouver des classes de méthodes afin de recommander les meilleures.
- de classer chaque nouvelle méthode de la littérature et la situer par rapport aux meilleures et mauvaises classes.

Nous allons prendre deux exemples d'application de cette méthode :

- Le cas d'amélioration des performances du système d'assemblage au niveau de la gestion dynamique de production : flexibilité et réactivité dans le but de réduire le nombre des gammes en gardant une meilleure gamme associée à des gammes de remplacement.
- Le cas de la comparaison des indices de similarité appliqués à une matrice dans le but de former des cellules.

2. Etat de l'art

Un grand nombre d'études liées à la comparaison de classification ont été publiées.

Ainsi, Youness et Saporta [296] ont cité le coefficient de corrélation vectorielle et le coefficient kappa de Cohen comme étant des coefficients permettant de tester la similitude entre deux partitions en les comparant à leur distribution simulée dans le cas de données provenant d'une même partition « mère ». Boubou [297] a utilisé l'indice de Rand [298] pour

la comparaison de deux classifications. Après Youness [208] a proposé plusieurs indices pour la comparaison de deux partitions notamment : l'indice de Rand, de Rand corrigé, de Rand asymétrique [291], l'indice de Mc Nemar, l'indice de Jaccard, l'indice de corrélation vectorielle, l'indice de Janson et Vegelius, l'indice de redondance, le coefficient Kappa de Cohen et l'indice de popping. D'autres chercheurs ont étudié la performance de ces indices de similarité. Yin and Yasuda [299] ont comparé la performance de 20 coefficients de similarité bien connus et testé leurs deux caractéristiques : la discriminabilité et la stabilité. Dimopoulos et Mort [300] ont examiné la possibilité de développer des nouveaux coefficients de similarité pour la solution de problèmes simples de formation cellulaires en employant un algorithme de programmation Génétique et les ont comparés au coefficient de Jaccard.

Une méthode a été utilisée pour la comparaison de deux classifications hiérarchiques en associant à chaque structure hiérarchique, une matrice ultramétrique, puis en calculant le coefficient de Spearman r_s entre les deux ultramétriques [208], mais presque tous les travaux publiés sont reliés à la comparaison des classifications avec des indices. Notre travail s'intéresse à la comparaison de structures hiérarchiques telles que les gammes binaires ou les indices de similarités. Pour cela, nous comparerons les structures hiérarchiques avec la distance Marczewski-Steinhaus.

3. Approche proposée

Notre méthode est basée sur la classification qui consiste à appliquer un algorithme de CAH sur la matrice des distances Marczewski-Steinhaus. Nous utilisons un algorithme de classification ascendante hiérarchique en tenant compte du critère du lien moyen. Ensuite, à partir de l'arbre de classification et en procédant à des coupures dans l'arbre, nous obtenons un certain nombre de familles. Le choix du seuil dépend des critères connus comme Ward ou autres critères (nombre de méthodes de classification de remplacement, les partitions les plus proches d'une partition donnée, etc.) qui conditionne les objectifs visés. Ainsi, nous avons utilisé cette méthode dans plusieurs domaines. Cette méthode présente l'avantage de fournir une vue globale sur des familles cohérentes de gammes. Le cadre théorique de l'étude [287] est exposé avant la présentation des deux exemples.

3.1. Cadre théorique

• Hypergraphes générés par arborescence

D'après [287], Les arbres d'assemblage traités sont un cas particulier d'hypergraphes générés par arborescence dont la famille des nœuds possède des propriétés spéciales.

Soit $X = \{x_1, x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ l'ensemble des sommets terminaux d'une arborescence.

$d^-(x_i) = 1$, $d^+(x_i) = 0$ pour tout élément de X où $d^-(x_i)$ et $d^+(x_i)$ représentent respectivement les demis-degrés intérieurs et extérieurs du nœud x_i . Soit A la classe de toutes les arborescences avec X l'ensemble des sommets terminaux. Soit $A \in \mathcal{A}$ représenté par l'hypergraphe (X, E_A) où la classe des arêtes E_A est définie ci-dessous : chaque $v \in X$ (i.e. chaque nœud non terminal dans l'arborescence génère $d^+(v) - 1$ arêtes dans E_A . Une telle arête consiste en ces éléments de X qui sont des nœuds terminaux de la sous arborescence générée par v et qui est obtenue en considérant v comme une racine c'est-à-dire en supposant que $d^-(v) = 0$.

La méthode de construction de H_A conduit a l'insertion suivante :

Proposition1 :

(i) Si $H_A = (X, E_A)$ est l'hypergraphe généré par une arborescence $A \in \mathcal{A}$ comme décrit ci-dessus, alors $|E_A| = n - 1$

(ii) L'hypergraphe H_A généré par $A \in \mathcal{A}$ est non simple si au moins un des nœuds

$v \in A$ tel que $d^+(v) \geq 2$.

Par définition, un hypergraphe est simple si toutes ses arêtes sont distinctes.

• Distances entre arborescences

Soit X un ensemble fini tel que $|E_A| = n$; où $|\cdot|$ est le cardinal de l'ensemble. Soit E^* la classe de tous les sous ensembles de X , et $\mu(E)$ la mesure de E sur E^* . Considérons $\mu(E) < \infty \forall E \in E^*$. La distance de *Marczewski-Steinhaus* [287] entre deux ensembles E_1 et E_2 de E^* est :

$$\sigma_\mu(E_1, E_2) = \begin{cases} \frac{\rho(E_1, E_2)}{\mu(E_1 \cup E_2)} & \text{si } E_1 \cup E_2 > 0 \\ 0 & \text{si } E_1 \cup E_2 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Avec $\rho(E_1, E_2) = \mu(E_1 \Delta E_2)$, Δ est la différence symétrique.

Notons que $0 \leq \sigma_\mu(E_1, E_2) \leq 1$. En particulier si nous considérons que $\mu_c(E) = |E|$ et posons ensuite $e_1 = |E_1|$, et $e_2 = |E_2|$ et $d = |E_1 \cap E_2|$.

$$\sigma_{\mu c}(E_1, E_2) = \frac{e_1 + e_2 - 2d}{e_1 + e_2 - d} \quad (2)$$

Nous avons aussi : $0 \leq \sigma_{\mu c}(E_1, E_2) \leq 1$

Considérons A_1 et A_2 , éléments de A représentés respectivement par les hypergraphes $H_{A_1} = (X, E_{A_1})$ et $H_{A_2} = (X, E_{A_2})$. La distance entre ces hypergraphes tient en considération l'étape spécifique de la construction des arêtes. La distance entre arborescences est donnée par la formule suivante :

$$d(A_1, A_2) = \frac{1}{n-1} \min_{p \in P} \sum_{i=1}^{n-1} \sigma_{\mu}(E_{A_1}^i, E_{A_2}^{p_i}) \quad (3)$$

Où p_i est le $i^{\text{ème}}$ élément de la permutation p des $n-1$ entiers. P est l'ensemble de toutes les permutations, $\sigma_{\mu}(\dots)$ est donnée ci-dessus. $E_{A_1}^i \in E_{A_1}$ et $E_{A_2}^{p_i} \in E_{A_2}$ $i=1$ à $n-1$.

Les faits suivants sont impliqués par la définition précédente :

- (i) (A, d) est un espace métrique.
- (ii) $d(A_1, A_2) \leq 1$, A_1 et $A_2 \in A$. La distance $d(\dots)$ est strictement plus petite que 1 si on utilise $\sigma_{\mu c}(\dots)$ au lieu de $\sigma_{\mu}(\dots)$.

Cette distance est valable pour les arbres n -aires d'une façon générale. Nous utilisons dans le cas binaire car la structure choisie pour la description des gammes est celle des arbres binaires [301].

• **Exemple de distance entre arborescences :**

On prend un petit exemple (figure 35) pour mieux illustrer le calcul de la distance :

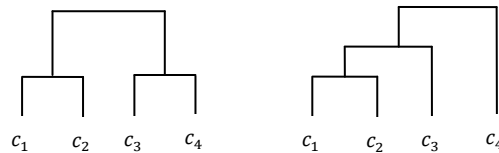


Figure 35 : Arbres d'assemblage

Soient $X = \{ c_1, c_2, c_3, c_4 \}$ l'ensemble des composants d'un produit et A_1 et A_2 deux arbres d'assemblages possibles (figure 1). Nous calculons la distance proposée entre les deux gammes A_1 et A_2 de A , basées sur l'ensemble des composants X . $|X| = 4$.

Pour cela, nous cherchons les ensembles E_{A_1} et E_{A_2} des sous-arbres correspondant aux étapes intermédiaires de la constitution du produit. Ces étapes sont les arêtes des hypergraphes $H_{A_1} = (X, E_{A_1})$ et $H_{A_2} = (X, E_{A_2})$. D'après la proposition 1, le nombre d'étapes intermédiaires pour la constitution du produit est $|E_{A_1}| = |E_{A_2}| = |X| - 1 = 3$.

Pour simplifier les notations, nous posons $c_i = i$:

$$E_{A_1} = \{\{1,2\}, \{3,4\}, \{1,2,3,4\}\} \text{ avec } E_{A_1}^1 = \{1,2\}, E_{A_1}^2 = \{3,4\} \text{ et } E_{A_1}^3 = \{1,2,3,4\}.$$

$$E_{A_2} = \{\{1,2\}, \{1,2,3\}, \{1,2,3,4\}\}$$

La distance $d(A_1, A_2)$ donnée par la formule de Marczewski-Steinhaus se calcule entre les composantes de E_{A_1} et les composantes des permutations de E_{A_2} . Pour cela, nous cherchons l'ensemble P des permutations p de E_{A_2} . P est décrit comme suit :

$$\{\{1,2\}, \{1,2,3\}, \{1,2,3,4\}\}$$

$$\text{avec } E_{A_1}^1 = \{1,2\}, E_{A_1}^2 = \{1,2,3\} \text{ et } E_{A_1}^3 = \{1,2,3,4\}$$

$$\{\{1,2\}, \{1,2,3,4\}, \{1,2,3\}\}$$

$$\text{avec } E_{A_1}^1 = \{1,2\}, E_{A_1}^2 = \{1,2,3,4\} \text{ et } E_{A_1}^3 = \{1,2,3\}$$

$$\{\{1,2,3\}, \{1,2\}, \{1,2,3,4\}\}$$

La même démarche est appliquée pour chercher $E_{A_2}^{p_i}$

$$\{\{1,2,3\}, \{1,2,3,4\}, \{1,2\}\}$$

$$\{\{1,2,3,4\}, \{1,2\}, \{1,2,3\}\}$$

$$\{\{1,2,3,4\}, \{1,2,3\}, \{1,2\}\}$$

Nous calculons la distance entre E_{A_1} et les permutations de E_{A_2} . Le minimum des valeurs obtenues nous assure la distance entre les arbres A_1 et A_2 . Dans le cas traité ci-dessus, $d(A_1, A_2) = 0.25$.

3.2. Applications de la méthode proposée

3.2.1. Comparaison de gammes d'assemblage

Nous empruntons à [287] le cas d'assemblage d'un stylo à bille décrit en figure 36. On se base essentiellement ici sur les gammes déterminées au LAB pour réaliser nos travaux et montrer l'intérêt de la méthode.

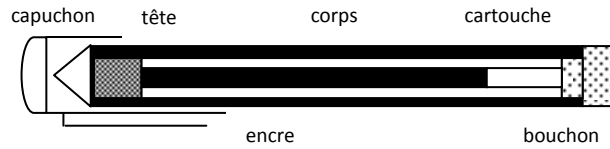


Figure 36 : Le stylo à bille

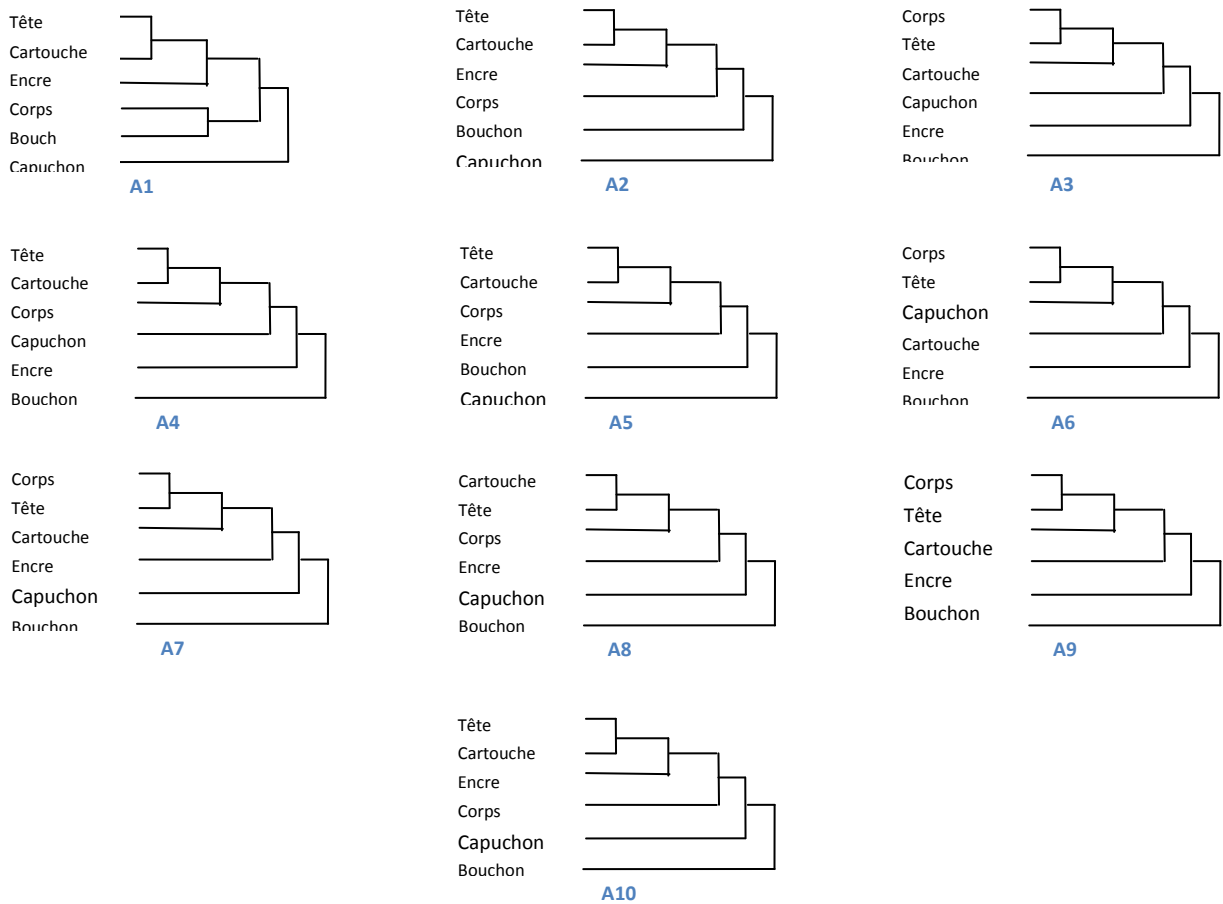


Figure 37 : Les 10 gammes d'assemblages de stylo

3.2.1.1. Correspondances

Notons d'abord les correspondances entre les différentes assertions ci-dessus et les propriétés physiques ou logiques concernant le produit :

X -----> L'ensemble de composants du produit à assembler

A -----> L'ensemble des gammes admissibles,

E_{A_1} -----> ensemble de sous-arbres de l'arbre A_1 , décrivant les étapes intermédiaires de l'assemblage $H_{A_1} = (X, E_{A_1})$ sous-entend la définition ci-dessus pour le produit dont les composants appartiennent à X . La figure 3 donne toutes les gammes admissibles du stylo obtenues à partir du logiciel LEGA développé au LAB, décrivant ainsi l'ensemble A .

Remarques :

-Deux sous ensembles disjoints correspondent aux éléments du produit assemblables en parallèle,

- Deux sous-ensembles identiques correspondent au cas où l'arbre d'assemblage n'est pas binaire,

-Si l'on classe les éléments de E_{A_1} , alors le dernier élément décrit le produit fini.

3.2.1.2. Calcul des distances :

On applique le même raisonnement au calcul des distances entre les gammes du stylo. Le stylo à bille est constitué d'une tête(te), une cartouche (car), de l'encre(en), d'un corps (co), d'un bouchon (bo), et d'un capuchon (cap).

L'ensemble des composants du stylo est :

$X = \{te, car, en, co, bo, cap\}$

A titre d'exemple, pour les deux premiers arbres d'assemblage de la figure 3, les ensembles des étapes intermédiaires pour l'assemblage du stylo E_{A_1} et E_{A_2} sont donnés. Ils sont impliqués directement dans le calcul de la distance d entre A_1 et A_2 comme décrit par l'exemple du paragraphe 2.2.

$$|E_{A_1}| = |E_{A_2}| = |X| - 1 = 5.$$

$$E_{A_1} = \{\{te, car\}, \{co, bo\}, \{te, car, en\}, \{te, car, en, co, bo\}, \{te, car, en, cap, co, bo\}\}$$

$$E_{A_2} =$$

$$\{\{te, car\}, \{te, car, en\}, \{te, car, en, co\}, \{te, car, en, co, bo\}, \{te, car, en, co, bo, cap\}\}$$

$$d(A_1, A_2) = 0.16$$

Les distances calculées entre les différents arbres d'assemblage sont données au tableau 26.

Tableau 26 : Matrice des distances entre les arbres d'assemblage

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}
A_1	0.000	0.160	0.386	0.326	0.200	0.470	0.316	0.266	0.250	0.226
A_2		0.000	0.380	0.246	0.100	0.440	0.300	0.166	0.233	0.066
A_3			0.000	0.133	0.140	0.100	0.080	0.213	0.146	0.319
A_4				0.000	0.146	0.233	0.213	0.080	0.280	0.180
A_5					0.000	0.380	0.200	0.066	0.313	0.166
A_6						0.000	0.180	0.313	0.246	0.313
A_7							0.000	0.133	0.066	0.233
A_8								0.000	0.200	0.100
A_9									0.000	0.300
A_{10}										0.000

3.2.1.3. Exploitation

A partir de la matrice des distances, deux méthodes peuvent être appliquées pour l'obtention de résultats :

- La méthode directe qui consiste d'abord à choisir la meilleure gamme suivant un critère tel que la présence du maximum de parallélisme entre opérations (cette caractéristique permet la réactivité). Dans ce cas, la gamme assurant le maximum de parallélisme est la gamme de profondeur minimale. L'application au cas du stylo donne la gamme A_1 comme la meilleure au sens du parallélisme des opérations. Les gammes de remplacement sont ensuite sélectionnées en fonction de leur proximité, au sens de la distance. Leur nombre est habituellement fixé arbitrairement par l'entreprise, 0 à 3 communément. Si nous déterminons les 3 gammes les plus proches de la gamme A_1 , nous obtenons une suite de gammes entièrement ordonnées selon la proximité décrite par l'ensemble $Groupe(A_1) = \{A_2, A_{10}, A_5\}$

- Une deuxième méthode basée sur la classification qui consiste à appliquer un algorithme de partitionnement sur la matrice des distances. Nous utilisons un algorithme de classification ascendante hiérarchique en tenant compte du critère du diamètre maximum. Ensuite, à partir de l'arbre de classification donné par la figure 38 et en procédant à des coupures dans l'arbre, nous obtenons un certain nombre de familles de gammes d'assemblage.

Le choix du seuil dépend des critères retenus (nombre de gammes de remplacement, les gammes les plus proches d'une gamme donnée, etc.) qui conditionne les objectifs visés par l'entreprise. Cette méthode présente l'avantage de fournir une vue globale sur des familles cohérentes de gammes.

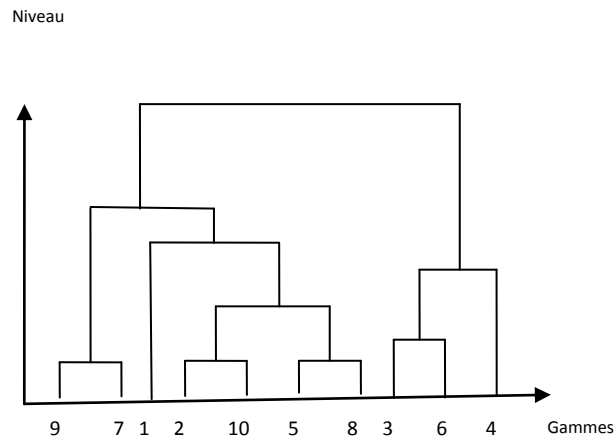


Figure 38 : Arbre de classification des gammes (A_i notée $i; i=1,10$)

Pour la recherche d'une famille formée de la meilleure gamme et des gammes de remplacement, il est nécessaire de couper dans l'arbre de classification à un niveau approprié. Un groupe formé d'une seule gamme par exemple ne présente guère d'intérêt. La gamme A_1 étant ici la meilleure, la coupure doit alors s'effectuer à un niveau $\alpha > 0.266$

Pour un niveau $0.266 < \alpha < 0.313$, on obtient ainsi les 3 familles de gammes suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Famille } F_1 : F_1 = \{A_1, A_2, A_5, A_8, A_{10}\} \\ \text{Famille } F_2 : F_2 = \{A_7, A_9\} \\ \text{Famille } F_3 : F_3 = \{A_3, A_4, A_6\} \end{array} \right.$$

L'on constate que la famille F_1 contient la meilleure gamme et des gammes de remplacement dont le nombre dépend du niveau de la coupure.

Dans ce cas, la méthode permet de résoudre le problème général de classification de gammes pour l'analyse de différentes gammes logiques d'un produit en vue de leur sélection. La distance de Marczewski-Steinhaus est particulièrement adaptée pour la résolution de ce problème. Pour améliorer la réactivité du système d'assemblage et partant de sa robustesse, nous avons proposé une démarche générale incluant le choix d'une meilleure gamme au sens d'un critère tel que le maximum de parallélisme des opérations et celui de ses gammes de

remplacement pour palier aux inévitables aléas de la production tels que le défaut de composant ou l'indisponibilité d'une machine. Donc la méthode exploite l'arbre de classification sur lequel on effectue des coupures donnant des familles dont l'une d'entre elles contient alors à la fois la meilleure gamme et les gammes de remplacement.

3.2.2. Comparaison des coefficients de similarité et leurs partitions pour la formation des cellules

3.2.2.1. La base de données

Nous empruntons à [299] et [66] la matrice initiale de données (tableau 27) :

Tableau 27 : La matrice initiale de 8 machines

		Les produits																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Machines	1	0	1	1					1	1		1		1	1		1	1		1		
	2			1	1		1	1							1					1		1
	3		1						1	1		1			1	1		1	1		1	
	4			1	1		1	1			1									1		1
	5	1				1	1				1		1				1		1			
	6	1				1				1	1		1			1						1
	7			1	1		1	1				1	1							1		1
	8			1	1		1	1												1		1

On dispose de 8 machines dont on doit identifier les groupes afin de créer des cellules de production. Chaque cellule contiendra un nombre de machines qui traite une famille de produits.

On se base ici sur les 20 indices de similarité comparés dans l'article [299] pour classer les machines de la matrice en familles.

La figure 39 donne toutes les classifications / partitions obtenues.

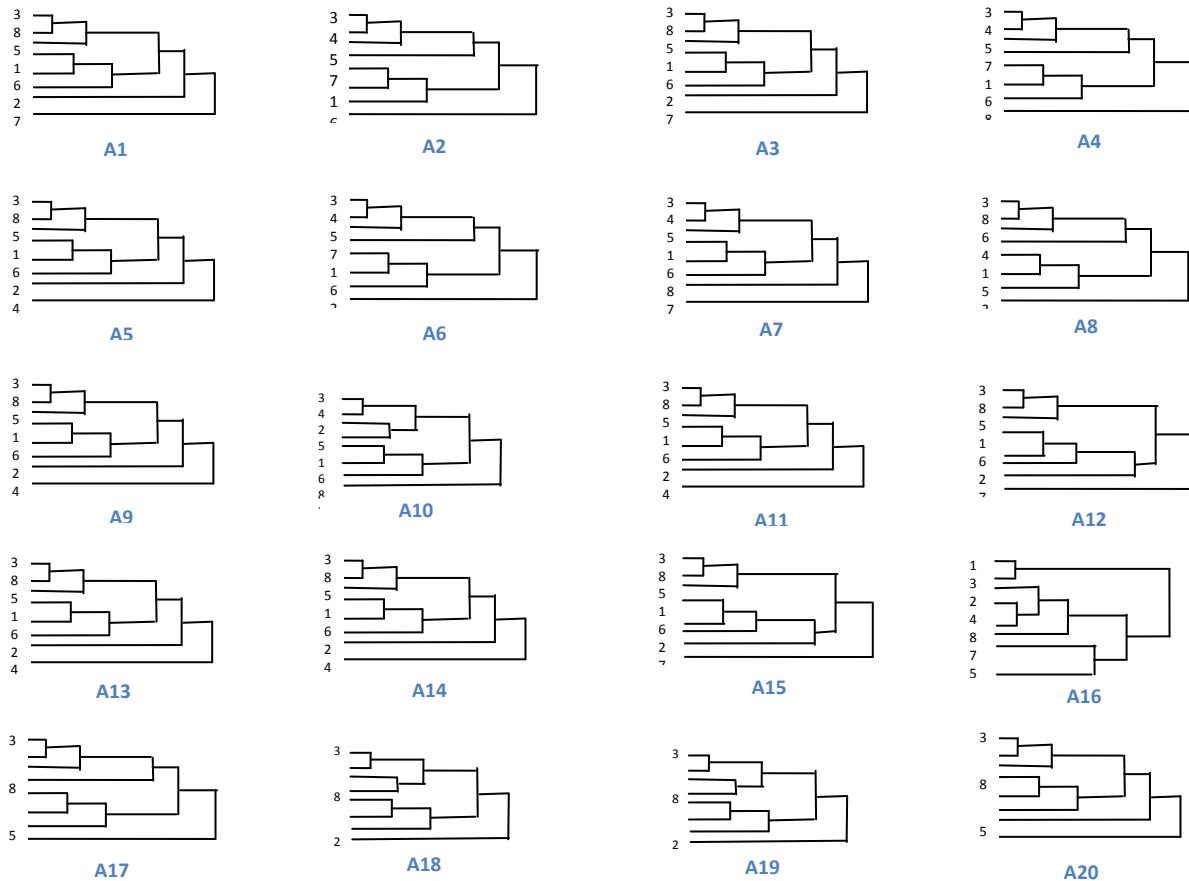


Figure 39 : La classification de 20 indices de similarité

3.2.2.2. Calcul des distances

Pour pouvoir comparer ces indices de similarité, et par conséquent la distance entre partitions obtenues, on utilise la distance de Marczewski – Steinhaus comme décrit ci-dessus.

Par exemple, pour calculer la distance entre le premier et le deuxième dendrogramme de la figure 39, les ensembles des étapes intermédiaires pour la classification E_{A_1} et E_{A_2} sont donnés. Ils sont impliqués directement dans le calcul de la distance d entre A_1 et A_2 .

$$|E_{A_1}| = |E_{A_2}| = |X| - 1 = 7.$$

$$E_{A_1} = \left\{ \begin{array}{l} \{3,8\}, \{1,6\}, \{3,8,5\}, \{1,6,2\}, \\ \{3,8,5,1,6,2\}, \{3,8,5,1,6,2,7\}, \\ \{3,8,5,1,6,2,7,4\} \end{array} \right\}$$

$$E_{A_2} = \{\{3,4\}, \{1,6\}, \{3,4,5\}, \{1,6,8\}, \{3,4,5,7\}, \{3,4,5,7,1,6,8\}, \{3,4,5,7,1,6,8,2\}\}$$

$$d(A_1, A_2) = 0.3810$$

Les distances calculées entre les différents arbres sont données au tableau 28.

Tableau 28 : Matrice des distances entre les arbres des indices de coefficients

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}	A_{17}	A_{18}	A_{19}	A_{20}
A_1	0	0.3810	0	0.3810	0.0357	0.3095	0.3146	0.3478	0.0357	0.3748	0.0357	0.0816	0.0357	0.0357	0.0816	0.5722	0.1097	0.3387	0.3388	0
A_2		0	0.3810	0	0.3810	0.1071	0.0816	0.5000	0.3810	0.1857	0.3809	0.3963	0.3810	0.3810	0.3963	0.5607	0.3238	0.4976	0.4976	0.3810
A_3				0.3810	0.0357	0.3095	0.3146	0.3478	0.0357	0.3748	0.0357	0.0816	0.0357	0.0357	0.0816	0.5723	0.1097	0.3388	0.3388	0
A_4					0.3810	0.1071	0.0816	0.5000	0.3809	0.1857	0.3809	0.3963	0.3810	0.3810	0.3963	0.5607	0.3238	0.4976	0.4976	0.3810
A_5					0	0.3095	0.3121	0.3197	0	0.3476	0	0.1097	0	0	0.1097	0.5697	0.0816	0.3048	0.3048	0.0357
A_6						0	0.1862	0.5000	0.3095	0.2571	0.3095	0.3172	0.3095	0.3095	0.3172	0.5607	0.2524	0.4677	0.4677	0.3095
A_7							0	0.4578	0.3120	0.1811	0.3120	0.3810	0.3121	0.3121	0.3810	0.5723	0.3044	0.4701	0.4701	0.3146
A_8								0	0.3197	0.4000	0.3197	0.3963	0.3197	0.3197	0.3963	0.5488	0.2952	0.2214	0.2214	0.3478
A_9									0	0.3476	0	0.1097	0	0	0.1097	0.5697	0.0816	0.3048	0.3048	0.0357
A_{10}										0	0.3476	0.4024	0.3476	0.3476	0.4024	0.5440	0.3310	0.4571	0.4571	0.3748
A_{11}											0	0.1097	0	0	0.1097	0.5697	0.0816	0.3048	0.3048	0.0357
A_{12}												0	0.1097	0.1097	0	0.5607	0.1786	0.3833	0.3833	0.0816
A_{13}													0	0	0.1096	0.5697	0.0816	0.3048	0.3048	0.0357
A_{14}														0	0.1096	0.5697	0.0816	0.3048	0.3048	0.0357
A_{15}															0	0.5607	0.1786	0.3833	0.3833	0.0816
A_{16}																0	0.5488	0.5440	0.5440	0.5723
A_{17}																	0	0.3143	0.3143	0.1097
A_{18}																		0	0	0.3388
A_{19}																			0	0.3388
A_{20}																				0

3.2.2.3. Exploitation

A partir de la matrice des distances, et en appliquant l'algorithme de classification ascendante hiérarchique (CAH), on obtient un dendrogramme (figure 40). A partir de ce dernier et en procédant à des coupures selon les objectifs fixés, nous obtenons des familles d'indices.

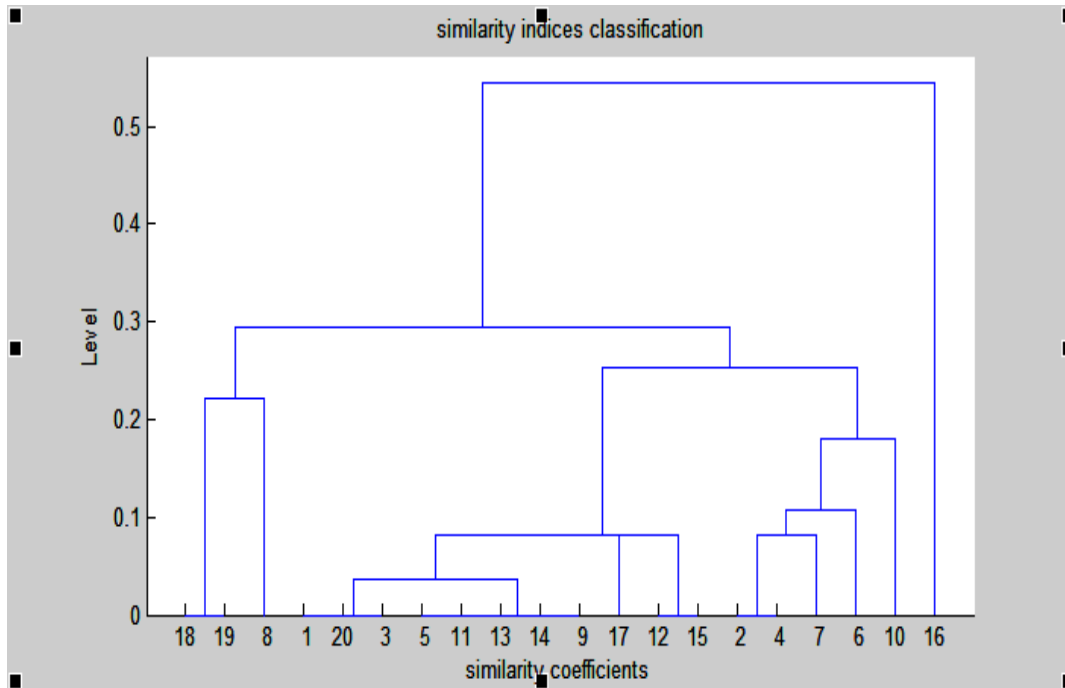


Figure 40 : Classification d'indices de similarité

Pour la recherche de familles d'indices, il est nécessaire de couper dans l'arbre de classification à un niveau approprié selon Ward. On va choisir $0.221 < \alpha < 0.252$.

Pour ce niveau, on obtient ainsi les 4 familles d'indices suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Famille } F_1 : F_1 = \{18,19,8\} \\ \text{Famille } F_2 : F_2 = \{1,20,3,5,11,13,14,9,17,12,15\} \\ \text{Famille } F_3 : F_3 = \{2,4,7,6,10\} \\ \text{Famille } F_4 : F_4 = \{16\} \end{array} \right.$$

En se basant sur [299], Nous déduisons que nous avons trouvé les mêmes résultats et nous pouvons dire que la famille F2 contient les indices les plus performants comme Jaccard, Sorenson, Kulczynski et Sokal and Sneath 2. Par contre, la famille F3 est celle des indices inefficaces à savoir : Hamann, Simple matching, Rogers and Tanimoto.

4. Conclusion

Nous avons présenté une méthodologie qui a pour but de fournir un outil rationnel et efficace pour le regroupement des différentes méthodes de classifications ou des différentes gammes de fabrication. Une démarche générale incluant le choix de méthodes les plus proches et celui des familles de remplacement. Nous avons pu résoudre le problème général de classification de gammes par l'analyse des différentes gammes logiques d'un produit en vue de leur sélection.

Enfin, il nous semble intéressant de continuer l'application de cette méthode de classification dans différents contextes dont le but est de la généraliser pour comparer les méthodes de classifications pour n'importe quelles données partitionnées .Il suffit juste d'avoir leurs structures hiérarchiques.

Dans les travaux futurs, afin de généraliser et d'évaluer cette méthode, nous allons l'appliquer au domaine de la phylogénétique et utiliser le Bootstrap et l'arbre de consensus, puis utiliser le Treemap pour la visualisation.

Conclusion générale

Avec l'augmentation de la variété de produits et la diminution des lots de production, et afin de satisfaire les besoins des clients et survivre à la concurrence, les entreprises se trouvent en face de problèmes importants de logistique.

Certaines techniques utilisées dans l'industrie permettent de minimiser les coûts logistiques mais pas les éliminer. Et autant que la taille de l'usine augmente, ces dépenses croissent. La solution pour contrer à ces dépenses est la Technologie de Groupe (TG) qui permet de réaliser des économies d'échelles.

La Technologie de Groupe, basée sur l'exploitation des similarités entre objets, a pour objectifs principaux la rationalisation et l'optimisation du processus de production pour les entreprises ayant principalement trait à une production en petites et moyennes séries.

Dans ce cadre, des efforts importants ont été consentis pour le développement de la classification des produits en familles et des machines en cellules afin de tirer profit de leurs analogies dans les différents services de l'entreprise.

La TG est un concept organisationnel qui a fait l'objet de nombreuses recherches cette dernière décennie. Malgré ça, il reste restreint à un nombre succinct d'utilisations.

Dans cette thèse nous avons généralisé la TG à toute la chaîne logistique, et ainsi posé les jalons d'une nouvelle philosophie qu'on a nommé la Technologie de Groupe Généralisée (TGG). Ce nouveau concept s'appuie sur l'exploitation des ressemblances de tous les éléments ou ressources de la chaîne logistique en vue d'une optimisation. Elle est applicable à toutes les données issues des processus de la chaîne logistique afin d'exploiter la notion de classe (groupe, famille, cluster ...) et favoriser la décision. Alors, chaque problème relevant de la classification sera classé comme problème de TGG.

Dans un premier temps, nous avons décrit l'évolution de la TG depuis son apparition et les raisons du recours du monde industriel à cette technique. Les domaines d'application de la TG et les solutions apportées par l'utilisation de la TG dans quelques services de l'entreprise ont été mis en évidence. Dans un second temps, nous avons détaillé la relation entre la TG et le lean manufacturing. Puis, nous avons posé les jalons de la TGG. Nous avons décrit un certain nombre de méthodes utilisées dans la chaîne logistique qu'on a classé en TGG.

Après avoir cité les applications de la TG dans la chaîne logistique, nous avons décrit de nouvelles méthodes faisant partie de la TG et utilisées pour résoudre différents problèmes industriels, tout en faisant de nouvelles propositions d'application de la TG dans la chaîne logistique.

Notre première contribution était d'appliquer des méthodes relevant de la TG pour la construction des familles de produits et des cellules de production correspondantes. Cette contribution est divisée en deux : la détermination des familles de produits en se basant sur la classification des gammes de production en vue de conception des cellules flexibles de production, et l'implantation des cellules par l'emploi de la méthode de vote Schulze.

La formation des cellules flexibles de production relève de la Technologie de Groupe qui facilite l'identification des familles de produits et des groupes de machines. Nous avons proposé une nouvelle approche pour le regroupement des produits en familles selon leurs gammes de production en se basant sur la théorie du langage. Cette approche utilise des gammes linéaires des produits qu'on assimile à des mots du langage. On a choisit la distance de Levenhstein ou distance d'édition pour la classification des gammes. On a réalisé une comparaison entre les résultats de la classification hiérarchique de notre méthode et celles issues de la distance de Dice-Czekanowski et Jaccard en utilisant l'indice de corrélation vectorielle RV comme indice de comparaison de ces deux classifications.

Puis, nous avons appliqué la méthode de Schulze sur les familles de produits obtenues afin de réaliser l'implantation des cellules correspondantes.

Dans le cadre de l'application de la TG au e-commerce, nous avons essayé de proposer une nouvelle méthode SR. Pour ce faire, nous avons proposé d'appliquer l'algorithme BEA qui est adapté pour un co-clustering des utilisateurs et items. Ceci nous permettant de trouver, de façon naturelle tous les clusters correspondant aux différentes communautés constituants, et sans contraintes a priori sur le nombre de classe. Ce qui facilite la recommandation aux utilisateurs des sites web.

Notre troisième contribution a été la création d'une méthode générique pour l'évaluation de concept, de mesure de satisfaction et/ou de maturité d'un concept, ainsi que l'aide à la sélection ou à la décision. Ainsi, on a créé un programme qui permet de transformer une matrice de données de type Likert en matrice de couleurs positives (Vert et ses variantes) et/ou négatives (Rouge et ses variantes) pour le management visuel. Cette matrice, qui une fois triée grâce à des permutations sur les lignes et les colonnes, permet de donner le résultat

d'évaluation, de satisfaction, de maturité et aidant aussi à la prise de décision ou à l'établissement d'un plan d'action. Elle nous permet facilement de savoir les classes ou les éléments sur lesquelles on peut agir pour augmenter la performance (les éléments ayant beaucoup de rouge et ses variantes). Cette méthode a plusieurs utilisations au sein de la chaîne logistique globale notamment la satisfaction des clients ou travailleurs, la sélection des fournisseurs, le management des compétences, la maturité de la chaîne logistique, ...

Plusieurs méthodes ont été proposées pour répondre à un même problème comme la détermination des cellules de fabrication. Aucun outil n'existe pour comparer ces méthodes et voir clair. Ainsi, nous avons proposé une nouvelle méthodologie de comparaison des partitions. Elle est d'abord considérée comme une méthode originale de classification fondée sur la comparaison entre la structure des arbres de classification (dendrogrammes) dont le but est de connaître les partitions les plus proches et d'évaluer les différentes approches existantes. Les solutions proposées présentaient jusqu'à présent des insuffisances ou lacunes.

L'ensemble des méthodes proposées couvre une petite partie de ce que présente la TGG dans la chaîne logistique. Ainsi, ce travail ouvre la voie vers d'autres applications et propositions dans la chaîne logistique.

Une perspective intéressante serait d'utiliser d'autres algorithmes pour la programmation de la méthode visuelle générique et même faire une comparaison entre eux dans le but de les évaluer et choisir le plus adapté à la méthode.

D'une part, l'application de l'approche proposée de Schulze, et l'implantation des machines dans les cellules restent des opérations manuelles. Le développement informatique de cette approche, s'avère une perspective rapide. D'autre part, nous devons prendre en considération la présence des éléments exceptionnels dans les cellules et déterminer la solution pour y remédier.

Nous pouvons aussi utiliser notre méthode de classification de partitions, présentée en chapitre 6, pour la comparaison de notre classification hiérarchique de gammes avec celle de Dice-Zekanowski et de Jaccard.

La méthode de classification des partitions peut être améliorée en l'appliquant à d'autres données relevant de plusieurs domaines. Dans les travaux futurs, afin de généraliser et d'évaluer cette méthode, nous allons l'appliquer au domaine de la phylogénétique et utiliser le Bootstrap et l'arbre de consensus, puis utiliser le Treemap pour la visualisation.

Nous attendons également d'évaluer la méthode du E-commerce pour être capable d'identifier de telles informations intéressantes sur différents problèmes.

Bibliographie

- [1] A. Kusiak, «The generalized group technology concept,» *Int. J. of Production Research*, vol. 25, pp. 561-569, 1987.
- [2] R. E. Flanders, «Design, manufacture and production control of a standard machine,» *ASME Transactions*, vol. 46, 1925.
- [3] S. Mitrofanov, *Nauchnye osnovy gruppovoï tekhnologii*, Leningrad: Lenizdat, 1959.
- [4] Mitrofanov, *Scientific Principles of group technology*, vol. 1, T.J. Grayson, National Lending Library for Science and Technology, 1966, p. 185 .
- [5] J. L. Burbidge, «Group technology: proceedings of an international seminar held at the Turin International Centre from 8th to 13th September 1969,» International Centre for Advanced Technical and Vocational Training, 1973.
- [6] J. L. Burbidge, «The introduction of group technology,» John Wiley & sons, Incorporated, 1975.
- [7] J. L. Burbidge, «Production Flow Analysis: For Planning Group Technology,» Clarendon Press, Oxford, 1989.
- [8] G. Ranson, «Group Technology: A Foundation for Better Total Company Operation,» McGraw-Hill, London, 1972.
- [9] C. C. Gallagher et W. A. Knight, *Group Technology*, London: Butterworths, 1973.
- [10] C. C. Gallagher et W. A. Knight, «Group technology production methods in manufacture,» E. Horwood, 1986.
- [11] E. A. Arn, «Group technology: an integrated planning and implementation concept for small and medium batch production,» Springer-Verlag, 1975.
- [12] M. F. DeVries, S. M. Harvey et V. A. Tipni, «Group technology: an overview and bibliography,» Machinability Data Center, 1976.
- [13] I. Ham, «Introduction to group technology,» Society of Manufacturing Engineers, 1976.
- [14] R. C. Wilson et R. A. Henry, «Introduction to group technology in manufacturing and engineering,» Industrial Development Division, Institute of Science and Technology, University of Michigan, 1977.
- [15] K. Jablin, S. C. Kahan et R. E. Turner, «A feasibility study of implementing group technology: Chicago Pneumatic Tool Company,» 1978.

- [16] N. L. Hyer, «Capabilities of Group Technology,» Computer and Automated Systems Association of SME, Publications Development Department, Marketing Services Division, 1987.
- [17] C. S. Snead, «Group technology: foundation for competitive manufacturing,» Van Nostrand Reinhold, 1989.
- [18] M. Oliff et E. Burch, «Multiproduct production scheduling at Owens Corning Fiberglass.,» *Interfaces*, vol. 15, pp. 25-34, 1985.
- [19] D. Hubbard, S. Taylor et S. Bolander, «Process flow scheduling in a high volume repetitive manufacturing environment,» *Production & Inventory Management Journal*, vol. 33 , pp. 21-26, 1992.
- [20] T. Prasad et B. Bhadury, «Productivity improvement of a machining center,» *Production & Inventory Management Journal*, vol. 34, pp. 20-35, 1993.
- [21] M. Al-Salti et A. Statham, «The Application of Group Technology Concept for Implementing SPC in Small Batch Manufacture,» *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 11, n° %14, pp. 64-76, 1994.
- [22] C. Cheng, C. Goh et A. Lee, «A two stage procedure for designing a group technology system,» *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 15, n° %16, pp. 41-50, 1995.
- [23] Z. Zhu, W. Cernich, P. Meredith et P. Lanier, «Scheduling customized bag production: an application of the Group Technology concept,» *Industrial Management & Data Systems*, vol. 97, n° %11, p. 31–36, 1997.
- [24] N. Santos et L. Araujo, «Computational system for Group Technology-PFA case study,» *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 14, n° %12, pp. 138-152, 2003.
- [25] AFNOR, «organisation et gestion de la production industrielle : Concepts fondamentaux de la gestion de production,» norme française NFX 50-310, l'association française de normalisation, 1991.
- [26] R. Askin et C. Standridge, *Modeling and analysis of manufacturing systems.*, New York: John Wiley, 1993.
- [27] A. Nadif, TGAO *La technologie de groupe : Pour une meilleure organisation du système de production*, Ellipses, coll. Technosup, 2010.
- [28] Y. Nadir, M. Chaabane et C. Marty, «PROCEDURE—automated coding system in group technology for rotational parts,» *Computers in Industry*, vol. 23, pp. 39-47, November 1993.
- [29] H. Opitz, *A classification system to describe workpieces*, Pergamon Press, 1970, p. 10.

- [30] H. OPITZ, W. EVERSHEIM et H. P. WIENDAHL, «WORKPIECE CLASSIFICATION AND ITS INDUSTRIAL,» *International Journal of Machine Tool Design and Research*, vol. 9, p. 39–50, 1969.
- [31] B. LASSUDRIE-DUCHÊNE, «Décomposition Internationale des Processus Productifs et Autonomie Nationale,» chez *Internationalisation et Autonomie de décision : repères pour les choix français*, Economica, 1982.
- [32] F. Defever et J.-L. Mucchielli, «Décomposition internationale de la chaîne de valeur Une étude de la localisation des firmes multinationales dans l'Union européenne élargie,» *Revue économique*, vol. 56, pp. 1185 - 1205, 2005.
- [33] P. Moati et M. El Mouhoub, «Décomposition internationale des processus productifs, polarisations et division cognitive du travail,» *Revue d'Economie Politique*, Décembre 2005.
- [34] GMV conseil, «L'impact des NTIC sur la compétitivité des entreprises industrielles,» étude présentée à la Commission Permanente de Concertation pour l'Industrie, 2000.
- [35] S. Guillon, G. Klossa, F. Perret, E. Sartorius et J. Serris, «Le nouvel impératif industriel,» Ministère français de l'économie des finances et de l'industrie, 2012.
- [36] A. Sedqui, «Nouvelle approche pour la classification des gammes de production,» Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 1995.
- [37] I. Ham, K. Hitomí et T. Yoshida, *Group technology: applications to production management*, Kluwer-Nijhoff Pub., 1985, p. 189.
- [38] A. Gunasekaran, S. Goyal, I. Virtanen et P. Yli-Olli, «an investigation into the application of group technology in advanced manufacturing systems,» *Int. J. Computer integrated manufacturing*, vol. 7, pp. 215-228, 1994.
- [39] J. Smed, M. Johnsson, T. Johtela et O. Nevalainen, «Group Technology in Electronics Assembly,» Turku Centre for Computer Science (TUCS), University of Turku, Finland, 1999.
- [40] N. Suzić, B. Stevanov, I. Ćosić, Z. Anišić et N. Sremčev, «Customizing Products through Application of Group Technology: A Case Study of Furniture Manufacturing,» *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 58, pp. 724-731, 12 2012.
- [41] P. Ying-Fun, «Application of group technology in Hong Kong plastic,» University of Hong kong, 1978.
- [42] J. F. Sacchetti, S. R. T. Kumara et V. E. Sanvido, «A group technology based classification and coding system for reinforced concrete structures,» The Pennsylvania State University, USA, 1989.
- [43] T. S. CORPORATION, «PRODUCT WORK CLASSIFICATION AND CODING,» A PROJECT OF THE NATIONAL SHIPBUILDING RESEARCH PROGRAM, SEATTLE DIVISION, SEATTLE, WASHINGTON,

June 1986.

- [44] J. NOVAK - MARCINCIN, M. JANAK, L. NOVAKOVA - MARCINCINOVA et J. TOROK, «NEW METHOD OF CNC PROGRAMS CREATION BY GROUP TECHNOLOGY THEORY APPLICATION,» chez *Annals & Proceedings of DAAAM International 2012*, Vienna, Austria, 2012.
- [45] S. Shafer et R. Ernst, «Applying group technology principles to warehousing operations.,» *Journal of Purchasing & Materials Management*, pp. 39-42, 1993.
- [46] A. Kusiak et W. S. Chow, «Efficient solving of the Group Technology problem,» *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 6, p. 117–124, 1987.
- [47] M.-L. Li, «The algorithm for integrating all incidence matrices in multi-dimensional group technology,» *Int. J. Production Economics*, vol. 86, p. 121–131, 2003.
- [48] L. R. Foulds et J. M. Wilson, «The general cell formation problem : manufacturing cell creation with machine modification costs,» Business school research series, Loughborough University, UK, 2003.
- [49] W. Hacicha, «NOUVELLES APPROCHES POUR LA FORMATION DES CELLULES DE PRODUCTION DANS LE CADRE D'UNE DÉMARCHE DE CONCEPTION,» L'École Nationale d'Ingénieurs de Sfax, 2009.
- [50] A. Burgess, I. Morgan et T. Vollmann, «Cellular manufacturing: its impact on the total factory,» *Int. J. of Production Research*, vol. 31, pp. 2059-2077, 1993.
- [51] A. Kusiak et W. S. Chow, «Decomposition of manufacturing systems,» *IEEE Journal of robotics and automation*, vol. 4, pp. 457-471, 1988.
- [52] N. Singh et D. Rajamani, *Cellular manufacturing systems: Design, Planning and control*, New York. USA: Chapman & Hall, 1996.
- [53] J. Joines, R. King et C. Culbreth, «A comprehensive Review of Production-Oriented Manufacturing Cell Formation Techniques,» North Carolina State University-IE Technical Report, Raleigh, 1996.
- [54] G. Shambu, C. Suresh et Pegels, «Performance evaluation of cellular manufacturing systems: a taxonomy and review of research,» *Int. J. of Operations and Production Management*, vol. 16, pp. 81-103, 1996.
- [55] H. Slim, R. Askin et A. Vakharia, «Cell formation in Group technology: review, evaluation and directions for future research,» *Computers and Industrial engineering*, vol. 34, pp. 3-20, 1998.
- [56] Y. Yin et K. Yasuda, «Similarity coefficient methods applied to the cell formation problem: A taxonomy and review,» *Int. J. of Production Economics*, vol. 101, p. 329–352, 2006 .

- [57] M. AGARWAL, A. K. KAMRANI et H. R. PARSAEI, «An automated coding and classification system with supporting database for effective design of manufacturing systems,» *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 5, pp. 235-249, 1994.
- [58] M. V. TATIKONDA et U. WEMMERLOV, «Adoption and implementation of group technology classification and coding systems : insights from seven case studies,» *INT. J. PROD. RES.*, vol. 30, pp. 2087-2110, 1992,.
- [59] F. J. SANDOVAL et D. J. DORANTES, «State-of-the-art in coding systems by a geometrical and technological approach,» chez *Proceedings of the 2002 WSEAS International Conferences*, Cancun, Mexico, May 2002.
- [60] M. SARCAR, K. MALLIKARJUNA RAO et K. LALIT NARAYAN, *Computer Aided Design and Manufacturing*, PHI Learning Private Limited , 2013, p. 728.
- [61] W. T. McCormick Jr., P. J. Schweitzer et T. W. White, «Problem Decomposition and Data Reorganization by a Clustering Technique,» *Operations Research*, vol. 20, n° 15, pp. 993-1009, Septembre 1972.
- [62] J. R. KING, «Machine-component grouping in production flow analysis: an approach using a rank order clustering algorithm.,» *International Journal of Production Research*, vol. 18, pp. 213-232, 1980.
- [63] H. M. CHAN et D. A. MILNER, «Direct clustering algorithm for group formation in cellular manufacture.,» *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 1, pp. 65-75, 1982.
- [64] J. R. KING et V. NAKORNCHAI, «Machine-component group formation in group technology: review and extension.,» *International Journal of Production Research*, vol. 20, pp. 117-133, 1982.
- [65] C. Chu et M. Tsai, «A comparison of three array-based clustering techniques for manufacturing cell formation,» *Int. J. of Production Research*, vol. 28, n° 18, pp. 1417-1433, 1990.
- [66] W. Boe et C. H. Cheng, «A close neighbour algorithm for designing cellular manufacturing systems,» *INT. J. PROD. RES.*, vol. 29, pp. 2097 - 2116, 1991.
- [67] P. Baptise et H. Baboli, «L'implantation d'atelier : Chapitre 3,» chez *Maîtrise et organisation des flux industriels, Traité IC2 Productique*, Paris, Ed. Hermes Science, 2001.
- [68] J. McAuley, «Machine grouping for efficient production,» *Prod Eng*, 1972.
- [69] P. K. ARORA, A. HALEEM et M. K. SINGH, «Recent development of cellular manufacturing systems,» *Sa-dhana*, vol. 38, p. 421-428, June 2013.
- [70] T. Gupta et H. Saifoddini, «Production data based similarity coefficient for machinecomponent grouping decisions in the design of a cellular manufacturing system,» *Int. J. of Production*

- Research*, vol. 28, n° 17, pp. 1247-1269, 1990.
- [71] H. Seifoddine et M. Djassemi, «Merits of the production volume based similarity coefficient in machine cell formation,» *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 14, pp. 35-44, 1995.
- [72] T. Gupta, «Design of manufacturing cells for flexible environment considering alternative routing,» *Int. J. of Production Research*, vol. 31, n° 16, pp. 1259-1273, 1993.
- [73] J. Geonwook, H. Leep et H. Parsaei, «A cellular manufacturing system based on new similarity coefficient which considers alternative routes during machine failure,» *Computers and Industrial engineering*, vol. 34, n° 11, pp. 21-36, 1998.
- [74] F. Boctor, «A linear formulation of the machine-part cell formation problem,» *Int. J. of Production Research*, vol. 29, n° 12, pp. 343-356, 1991.
- [75] Y. Won, «New p-median approach to cell formation with alternative process plans,» *Int. J. of Production Research*, vol. 38, n° 11, pp. 229-240, 2000.
- [76] J. Wang, «Formation of machine cells and part families in cellular manufacturing systems using a linear assignment algorithm,» *Automatica*, vol. 39, pp. 1607-1615, 2003.
- [77] Y. Won et K. Lee, «Modified p-median approach for efficient GT cell formation,» *Computers and Industrial Engineering*, vol. 46, pp. 495-510, 2004.
- [78] R. Rajamani, R. Singh et Y. Aneja, «Integrated design of cellular manufacturing systems in the presence of alternative process plans,» *Int. J. of Production Research*, vol. 28, pp. 1541-1554, 1990.
- [79] P. Panchalavarapua et V. Chankong, «Design of cellular manufacturing systems with assembly considerations,» *Computers and Industrial Engineering*, vol. 48, pp. 449-469, 2005.
- [80] I. Al-Qattan, «Designing Flexible Manufacturing Cells using a Branch and Bound Method,» *International Journal of Production Research*, vol. 28, pp. 325-336, 1990.
- [81] J. Clausen, «Branch and Bound Algorithms - Principles and Examples,» *Parallel Computing in Optimization*, pp. 239-267, 1997.
- [82] T. Vohra, D. Chen, J. Chang et H. Chen, «A network approach to cell formation in cellular manufacturing,» *Int. J. of Production Research*, vol. 28, pp. 2075-2084, 1990.
- [83] M. Chandrasekharan et R. Rajagopalan, «An ideal seed non-hierarchical clustering algorithm for cellular manufacturing,» *Int. J. of Production Research*, vol. 24, n° 12, pp. 451-464, 1986.
- [84] M. Chandrasekharan et R. Rajagopalan, «Zodiac: an algorithm for concurrent formation of part families and machines cells,» *Int. J. of Production Research*, vol. 25, n° 16, pp. 835-850, 1987.

- [85] G. Srinivasan et T. T. Narendran, «Graphics -a nonhierarehical clustering algorithm for group technology,» *International journal of production research*, vol. 29, n° %13, pp. 463-478, 1991.
- [86] J. MacQueen, «Some methods for classification and analysis of multivariate observations,» chez *Fifth Berkeley Symposium on Mathematics, Statistics and Probability*, University of California Press, 1967.
- [87] G. BALL et D. HALL, «ISODATA, a novel method of data anlysis and pattern classification,» Stanford Research Institute, Stanford, CA. , 1965.
- [88] E. W. Forgy, «Cluster analysis of multivariate data: efficiency vs interpretability of classifications,» *Biometrics*, vol. 21, p. 768–769, 1965.
- [89] J. Teghem et M. Pirlot, «Optimisation approchée en recherche opérationnelle : Chapitre 1,» chez *Métaheuristiques pour l'optimisation combinatoire. Traité IC2 Productique*, Paris, Hermes Science, 2002.
- [90] M. Z. AHADRI, «La résolution du problème de formation de cellules dans un contexte multicritère,» Faculté des arts et des sciences, Université de Montréal, Montréal, 2013.
- [91] D. Costa, «Méthodes de résolution constructives, séquentielles et évolutives pour les problèmes d'affectation sous contraintes,» Thèse de doctorat, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse, 1995.
- [92] J. Geonwook et H. Leep, «Forming part families by using genetic algorithm and designing machine cells under demand changes,» *Computers and Operations Research*, vol. 33, n° %11, p. 263–283, 2006.
- [93] M. WIDMER, «LES METAHEURISTIQUES : DES OUTILS PERFORMANTS POUR LES PROBLEMES INDUSTRIELS,» chez *3ème Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation "Conception, Analyse et Gestion des Systèmes Industriels" - MOSIM'01*, Troyes, France, 2001.
- [94] C. Caux, R. Bruniaux et H. Pierreval, «Cell formation with alternative process plans and machine capacity constraints: A new combined approach,» *Int. J. of Production Economics*, vol. 64, n° %11-3, pp. 279-284, 2000.
- [95] A. Xambre et P. Vilarinho, «A simulated annealing approach for manufacturing cell formation with multiple identical machines,» *European Journal of Operational Research*, vol. 151 , pp. 434-446, 2003.
- [96] T. H. Wu, S. H. Chung et C. C. Chang, «Hybrid simulated annealing algorithm with mutation operator to the cell formation problem with alternative process routings,» *Expert Systems with Applications*, 2008.
- [97] D. Cao et M. Chen, «Using penalty function and Tabu search to solve cell formation problems with fixed cell cost,» *Computers and Operations Research*, vol. 31, p. 21–37, 2004.

- [98] B. Adenso-Diaz, S. Lozano et I. Eguira, «Part-machine grouping using weighted similarity coefficients,» *Computers and Industrial Engineering*, vol. 48, n° 13, pp. 553-570, 2005.
- [99] L. Fould, A. French et J. Wilson, «The sustainable cell formation problem: manufacturing cell creation with machine modification costs,» *Computers and Operations Research*, vol. 33, n° 14, pp. 1010-1032, 2006.
- [100] J. Paris, C. Caux et H. Pierreval, «Les approches évolutionnistes, Chapitre 12,» chez *Evaluation des performances des systèmes de production, Traité IC2 Productique*, Paris, Hermes Science, 2003.
- [101] C. Caux, H. Pierreval et R. Brunaux, «Algorithmes évolutionnistes pour la technologie de groupe : application à la formation d'îlots de fabrication,» *Revue d'automatique et de productiques appliquées*, vol. 8, n° 12-3, pp. 485-490, 1995.
- [102] F. Chan, K. Lau, P. Chan et K. Choy, «Two-stage approach for machine-part grouping and cell layout problems,» *Robotics and Computer Integrate Manufacturing*, vol. 22, n° 13, pp. 217-238, 2006.
- [103] E. Falkenauer, «A new representation and operators for GAs applied to grouping problems,» *Evolutionary Computation*, vol. 2, n° 12, pp. 123-144, 1994.
- [104] H. Pierreval, C. Caux, J. Paris et F. Viguiet, «Evolutionary approaches to the design and organization of manufacturing systems,» *Computers and Industrial Engineering*, vol. 44, p. 339-364, 2003.
- [105] K. Mak, Y. Wong et X. Wang, «An Adaptive Genetic Algorithm for Manufacturing Cell Formation,» *Int. J. of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 16, n° 17, pp. 491-497, 2000.
- [106] E. Vin, P. De Lit et A. Delchambre, «UNE APPROCHE INTÉGRÉE POUR RÉSOUDRE LE PROBLÈME DE FORMATION DES CELLULES DE PRODUCTION AVEC DES ROUTAGES ALTERNATIFS,» chez *4e Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation - MOSIM'03*, Toulouse, France, 2003.
- [107] L. Nsakanda, «FORMATION DE CELLULES MANUFACTURIÈRES EN PRESENCE DE ROUTAGES MULTIPLES: MODÉLISATION MATHÉMATIQUE ET ALGORITHME DE RÉOLUTION,» Faculté des études supérieures de l'université Laval, Québec, 1999.
- [108] J. Ho et E. Loute, «An advanced implementation of the Dantzig-Wolfe decomposition algorithm for linear programs,» *mathematical programming*, vol. 20, pp. 303 - 326, 1981.
- [109] A. Stawowy, «Evolutionary strategy for manufacturing cell design,» *Omega*, vol. 34, pp. 1-18, 2006.
- [110] G. Carpenter, S. Grossberg et D. B. Rosen, «Fuzzy ART: Fast stable learning and categorization of analog patterns by an adaptive resonance system,» *Neural Network*, vol. 4, n° 16, pp. 759-771, 1991.

- [111] P. Venkumar et A. Noor ul Haq, «Manufacturing cell formation using modified ART1 networks,» *Int. J. of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 26, n° %17-8, pp. 909-916, 2005.
- [112] H. Xu et H. P. Wang, «Part-family formation for GT application based on fuzzy mathematics,» *International Journal of Production research*, vol. 27, n° %19, pp. 1637-1651, 1989.
- [113] S. Lozano, D. Dobado Larraneta et L. Onieva, «Modified fuzzy C-means algorithm for cellular manufacturing,» *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 126, p. 23–32, 2002.
- [114] M. Akturk et H. Balkose, «Part-machine grouping using a multi-objective cluster analysis,» *Int. J. of Production Research*, vol. 34, n° %18, pp. 2299-2315, 1996.
- [115] M. Kitaoka, R. Nakamura, S. Seriza et J. Usuki, «Multivariate analysis model for machine-part cell formation problem in group technology,» *International Journal Production Economics*, vol. 60, pp. 433-438, 1999.
- [116] C. Cheng, C. H. Goh et A. Lee, «Designing group technology manufacturing systems using heuristic branching rules,» *Computers and Industrial engineering*, vol. 40, n° %11-2, pp. 117-131, 2001.
- [117] A. Mukattash, M. Adil et K. Tahboub, «Heuristic approaches for part assignment in cell formation,» *Computers and Industrial Engineering*, vol. 42, n° %13, pp. 329-341, 2002.
- [118] A. Mungwattana, «Design of Cellular Manufacturing Systems for Dynamic and Uncertain Production Requirements with Presence of Routing Flexibility,» Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 2000.
- [119] R. Kia, A. Baboli, N. Javadian, R. Tavakkoli-Moghaddam, M. Kazemi et J. Khorrami, «Solving a group layout design model of a dynamic cellular manufacturing system with alternative process routings, lot splitting and flexible reconfiguration by simulated annealing,» *Computers and Operations Research*, vol. 39, n° %111, pp. 2642-2658, November 2012.
- [120] S. V. D. Niaki, E. Mehdizadeh et R. Tavakkoli-Moghaddam, «A mathematical model for dynamic cellular manufacturing systems with production planning and labor assignment,» chez *POMS 23rd Annual Conference*, Chicago, Illinois, U.S.A., 2011.
- [121] R. Kia, N. Javadian, M. M. Paydar et M. Saidi-Mehrabad, «a simulated annealing for intra-cell layout design of dynamic cellular manufacturing systems with route selection, purchasing machines and cell reconfiguration,» *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, vol. 30, p. 41, 2013.
- [122] R. Kia, F. Khaksar-Haghani, N. Javadian et R. Tavakkoli-Moghaddam, «Solving a multi-floor layout design model of a dynamic cellular manufacturing system by an efficient genetic algorithm,» *Journal of manufacturing systems*, vol. 33, n° %11, pp. 218-232, 2014.
- [123] D. Brun-Picard et H. A. Baboli, «Self-scheduling for Flexible Manufacturing Systems : a product oriented approach,» chez *Proceedings of the 13th International Conference on Production*

Research, London, 1995.

- [124] J. Bansee et B. V. Chowdary, «A New Concept of Cellular Manufacturing: A Case Study,» chez *Fifth LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, Tampico, México, 2007.
- [125] J. Drolet, C. Moodie et B. Montreuil, «Scheduling factories of the future,» *Journal of Mechanical Working Technology*, vol. 20, pp. 183-194, 1989.
- [126] A. Xambre et P. Vilarinho, «VIRTUAL MANUFACTURING CELL FORMATION PROBLEM (VMCFP) IN A DISTRIBUTED LAYOUT,» chez *19th International Conference on Production Research*, Valparaiso, Chile, 2007.
- [127] G. NOMDEN, «VIRTUAL CELLULAR MANUFACTURING : Relevance and development of heuristics for family-based dispatching,» Thesis in the University of Groningen, Groningen, The Netherlands, 2011.
- [128] G. Nomden et D.-J. van der Zee, «Virtual cellular manufacturing: Configuring routing flexibility,» *Int. J. Production Economics*, vol. 112 , p. 439–451, 2008.
- [129] B. V. Chowdary, J. Slomp et N. C. Suresh, «A New Concept of Virtual Cellular Manufacturing,» *West Indian Journal of Engineering*, vol. 28 , pp. 45-60, Juillet 2005.
- [130] G. Nomden et J. Slomp, «The Operation of Virtual Manufacturing Cells in Various Physical Layout Situations,» chez *Proc. GT/CM World Symposium*, Columbus, OH, 2003.
- [131] G. R. Esmailian et M. Hamedi, «A Survey on Development of Virtual Cellular Manufacturing Systems and Related Issues,» chez *Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Istanbul, Turkey, 2012.
- [132] W. Hachicha, F. Masmoudi et M. Haddar, «Choix entre les stratégies d'élimination des éléments exceptionnels en Technologie de Groupe par simulation,» chez *Premier Congrès Tunisien de Mécanique Tunisia*, 2008.
- [133] S. M. SHAFER, G. M. KERN et J. C. WEI, «A mathematical programming approach for dealing with exceptional elements in cellular manufacturing,» *International Journal of Production Research*, vol. 30, n° 15, pp. 1029-1036, 1992.
- [134] D. Anciaux, «étude de l'agencement spatial dans un atelier de production selon le concept de technologie de groupe,» Thèse de doctorat de l'université de Metz, 1990.
- [135] H. Seifoddini et A. Abdelhadi, «Group Technology Application in Preventive Maintenance,» chez *2nd International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*, 2011.
- [136] A. A. H. S. Y. X. Mohammed Almomani, «Preventive maintenance planning using group technology: A case study at Arab Potash Company, Jordan,» *Journal of Quality in Maintenance*

Engineering, vol. 18, pp. 472-480, 01 2012.

- [137] H. ElMaraghy, G. Schuh, W. ElMaraghy, F. Piller, P. Schoönsleben, M. Tseng et A. Bernard, «Product variety management,» *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 62, p. 629–652, 2013.
- [138] J. M. Swaminathan et S. R. Tayur, «Managing Broader Product Lines through Delayed Differentiation Using Vanilla Boxes,» *Management Science*, vol. 44, n° 112, pp. 161 - 172, 1998.
- [139] S. J. GARCIA-DASTUGUE et D. M. LAMBERT, «Différentiation retardée interorganisationnelle dans la supply chain,» *Logistique & Management*, vol. 16, n° 11, pp. 31 - 46, 2008.
- [140] P. Hawken, H. Lovins et A. Lovins, «Muda, Service and Flow,» chez *Natural Capitalism: Creating the Next Industrial Revolution*, Little Brown and Company, 1999, pp. 125-143.
- [141] A. Shahin et M. Alinavaz, «Integrative approaches and frameworks of lean Six Sigma: a literature perspective,» *International Journal of Process Management & Benchmarking*, vol. 2, pp. 323-337, 2008.
- [142] A. Shahin et N. Janatyan, «Group Technology (GT) and Lean Production: A Conceptual Model for Enhancing Productivity,» *International Business Research*, vol. 3, pp. 105-118, October 2010.
- [143] J.-B. Waldner, *Principles of Computer-Integrated Manufacturing*, John Wiley & Sons, 1992.
- [144] Y. Hu, F. Ye et Z. Fang, «A STUDY ON THE INTEGRATION OF LEAN PRODUCTION AND GROUP TECHNOLOGY,» chez *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology (ICMIT)*, November 2000.
- [145] M. AKBIB, A. GHACHAM AMRANI et A. Sedqui, «Généralisation de l'application de la TG à la chaîne logistique,» chez *5ème édition du colloque international Logistiqua*, Rabat, 2012.
- [146] J. B. Da Saliva et J. M. V. Junior, «Tecnologia de grupo aplicada a um sistema de compras com cadastro padronizado de materiais: um estudo de caso,» *Exacta, São Paulo*, vol. 9, pp. 41-51, 2011.
- [147] M. Ingham, *Management stratégique et compétitivité*, De Boeck Université, coll. Management, 1995.
- [148] C. Gini, «Measurement of inequality of income,» *Economic Journal*, vol. 31, pp. 22-43, 1921.
- [149] G. Savard, P.-D. Gagnon, S. Carrier et C. Decoste, *La Gestion de L'Approvisionnement*, Les Presses de l'Université Laval, 1998.
- [150] G. Lasnier, *Gestion des approvisionnements et des stocks dans la chaîne logistique*, Hermès -

- Lavoisier, 2004, p. 296.
- [151] G. R. NGOOH, «Les techniques informatiques de regroupement des articles , Guide pratique de la gestion des stocks et des articles,» Publication du groupe Logistique conseil, 2007.
- [152] F. Durie, «A survey of group technology and its potential for user application in the U.K,» *Production Engineer*, vol. 49, p. 51 – 61, 1970.
- [153] P. K. Arora, A. Haleem et M. K. Singh, «Cell Formation Techniques – A Study,» *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, vol. 3, 2011.
- [154] T. Ghosh, S. Sengupta, M. Chattopadhyay et P. K. Dana, «Meta-heuristics in cellular manufacturing: A state-of-the-art review,» *International Journal of Industrial Engineering Computations*, pp. 87-122, 2011.
- [155] R. Sivaprakasam et V. Selladurai, «A memetic algorithm approach for minimizing exceptional elements in cell formation,» *Asian Journal for Scientific Research*, p. 138 – 145, 2008.
- [156] W. S. Chow, «Use of cluster size constraints in solving cellular manufacturing problems,» *Hong Kong Engineer*, p. 25 – 29, 1991.
- [157] I. Mahdavi, M. M. Paydar, M. Solimanpur et M. Saidi-Mehrabad, «A Mathematical Model for Integrating Cell Formation Problem with Machine Layout,» *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, vol. 21, pp. 61-70, 2010.
- [158] M. M. Hassan, «Layout design in group technology manufacturing,» *International Journal of Production Economics*, vol. 38, p. 173–188, 1995.
- [159] M. Aryanezhad, J. Aliabadi et R. Tavakkoli-Moghaddam, «M.B. Aryanezhad, J. Aliabadi & , A new approach for cell formation and scheduling with assembly operations and product structure,» *International Journal of Industrial Engineering Computations*, pp. 533-546, 2011.
- [160] S. M. Ng, «On the characterization and measure of machine cells in group technology,» *Operations Research*, vol. 44, p. 735 – 744, 1996.
- [161] H. H. Sharif, K. S. El-Kilany et M. A. Helaly, «A genetic Algorithm Approach to the Group Technology Problem,» chez *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, 2008.
- [162] P. K. Arora, A. Haleem, M. K. Singh et A. Sharma, «Comparative Study of Heuristic approaches for cell formation,» *Int. J. of Engineering Science and Technology*, vol. 3, p. 1182–1188, 2011.
- [163] B. Bidanda, P. Ariyawongrat, K. L. Needy, B. A. Norman et W. Tharmmaphornphilas, «Human related issues in manufacturing cell design, implementation, and operation: a review and survey,» *Computers & Industrial Engineering*, vol. 48, pp. 507-523, 2005.

- [164] J. Costa, N. Armaghan, J. Renaud et M. Martinez, «Mémoire de connaissances industrielles et analyse multicritère,» chez *14ème atelier de Raisonnement à Partir de Cas*, 30-31 Mars 2006.
- [165] L. GU, «Modèles Déterministe, Stochastique et Multicritère pour l'Équilibrage de Lignes d'Assemblage,» Thèse de doctorat , l'Université Paul Verlaine de Metz , 2008.
- [166] B. Rekiek, A. Dolgui, A. Delchambre et A. Bratcu, «State of art of optimization methods for assembly line design,» *Annual Reviews in Control*, vol. 26, n° 12, pp. 163-174 , 2002.
- [167] B. Finel, «Structuration de lignes d'usinage : méthodes exactes et heuristiques,» Thèse d'université de metz, 2004 .
- [168] A. S. Christian Becker, «A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing,» *European Journal of Operational Research* , vol. 168, pp. 694-715 , 2006.
- [169] A. Scholl et C. Becker, «State of the art exact and heristic solution procedures for simple assembly line balancing,» *European Journal of Operational Research*, pp. 666 - 693, 2003.
- [170] S.-A. O. M. Piette, «L'évaluation des compétences en milieu de travail : Leçons de quelques expériences de terrain,» chez *Actes du colloque ADMEE, ULg.*, 2003.
- [171] Y. CHATER, B. DAKKAK et A. TALBI, «Le rôle de la fonction logistique dans l'amélioration de la performance du service maintenance,» chez *Colloque Internationale Logistique'12*, Rabat, 2012.
- [172] A. Talbi, «Apport d'une méthode de classification de données et d'un outil d'aide a la décision dans l'estimation du prix de revient,» chez *MOSIM'01*, 2001.
- [173] I. Prim-Allaz et W. Sabadie, «L'orientation relationnelle des clients : un nouvel outil de segmentation ?,» chez *8ème journées de Recherche en Marketing de Bourgogne*, 2003.
- [174] A. Jose et M. Tollenaere, «Modular and Platform Methods For Product Family Design: Literature Analysis,» *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 16, n° 13, p. 371–390, 2005.
- [175] P. Rzepakowski et S. Jaroszewicz, «Uplift Modeling in Direct Marketing,» *Journal of Telecommunications and Information Technology*, pp. 43-50, 2012.
- [176] G. Aydin et S. Ziya, «Pricing Promotional Products under Upselling,» *Manufacturing & Service Operations Management*, vol. 10 , n° 13, pp. 360-376, 2008.
- [177] M. D. Grundhoefer, «Raising the bar in cross-sell marketing with uplift modeling,» chez *Predictive Analytics World Conference*, Washington, D.C., 2009.
- [178] E. Shaaban, Y. Helmy, A. Khedr et M. Nasr, «A Proposed Churn Prediction Model,» *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, vol. 2, n° 14, pp. 693-697, June-July 2012.

- [179] N. J. Radcliffe et P. D. Surry, «Real-World Uplift Modelling with Significance-Based Uplift Trees,» chez *Stochastic Solutions White Paper, Portrait Technical Report*, 2011.
- [180] G. Laporte, «The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms,» *European Journal of Operational Research*, vol. 59, p. 345 – 358, 1992.
- [181] T. Vidal, T. Crainic, M. Gendreau et C. Prins, «Heuristiques pour les problèmes de tournées de véhicules multi-attributs,» chez *Cirrelt-2011-12*, 2011.
- [182] S. Lin et B. W. Kernighan, «An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling-Salesman Problem,» *Operations Research*, vol. 21, pp. 498-516, 1973.
- [183] Z. JEMAI, R. KALAI et Y. REKIK, «Analyse d'un problème de tournée de véhicules avec gestion de stock dans un contexte de stock de consignment,» chez *MOSIM'10*, 2010.
- [184] M. G. Lagoudakis, «The 0-1 Knapsack Problem - An Introductory Survey,» 1996.
- [185] U. Pferschy, «Dynamic programming revisited: improving knapsack algorithms,» *Computing. Archives for Scientific Computing*, vol. 63, n° %14, pp. 419--430, 1999.
- [186] M. E. Gérard Plateau, « A hybrid method for the 0-1 knapsack problem,» *Methods Oper. Res.*, vol. 49, pp. 277-293, 1985.
- [187] G. & S. J. Dósa, «First Fit bin packing: A tight analysis,» *LIPICs*, vol. 20, pp. 538-549, 2013.
- [188] R. Babu, S. A. Devi et K. Srinivas, «A new approach for cluster based collaborative filters,» *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 2, n° %111, pp. 6585-6592, 2010.
- [189] S. Gong, «A personalized recommendation algorithm on integration of item semantic similarity and item rating similarity,» *Journal of Computers*, vol. 6, n° %15, pp. 1047-1054, 2011.
- [190] M. Ilgin et S. Gupta, «Environmentally conscious manufacturing and product recovery : A review of the state of the art,» *Journal of Environmental Management*, vol. 91, p. 563–591, 2010.
- [191] E. Westkämper, T. Schmidt et H.-H. Wiendahl, «Production planning and control with learning technologies: Simulation and optimization of complex production processes,» *Knowledge-based Systems*, vol. 3, 2000.
- [192] J. Jiao, L. Zhang, S. Pokharel et Z. He, «Identifying generic routings for product families based on text mining and tree matching,» *Decision Support Systems*, vol. 43, p. 866–883, 2007.
- [193] S. Sanderson et M. Uzumeri, *Managing Product Families*, Singapore: McGraw-Hill Management and Organization Series, 1997.

- [194] A. Nadif, M. Constantini et B. Mutel, «Mesures de ressemblance de gammes de fabrication,» *RAIRO APII*, vol. 19, pp. 455-470, 1985.
- [195] J. Louati, «Similitudes et formes fortes en Technologie de Groupe: Application aux méthodes industrielles dans les P.M.E.,» Thèse de Docteur-Ingénieur, ENSAM, 1986.
- [196] G. Shiko, «Application de la Technologie de Groupe au Bureau des Méthodes,» Thèse de Docteur-Ingénieur, ENSAM, Paris, 1983.
- [197] A. Talbi, «Contribution à l'étude de la reconnaissance de familles de pièces en fabrication mécanique,» Thèse de Docteur, Université de Metz, Decembre 1989.
- [198] B. Mutel et A. Bryand, «Une nouvelle approche pour la reconnaissance de familles de produits,» chez *CIM Bordeaux*, 1990.
- [199] M. AKBIB, A. AMRANI GHACHAM et A. Sedqui, «La classification des gammes basée sur la Technologie de Groupe en vue de conception de cellules flexibles de production,» chez *6ème édition du colloque international Logistiqua*, 2013.
- [200] M. AKBIB, A. GHACHAM AMRANI et A. SEDQUI, «Sequences classification based on Group Technology for flexible manufacturing cell design,» *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 2, n° %112, 2013.
- [201] A. Nadif, «Contribution à la classification automatique des données de production en Technologie de Groupe,» Thèse de Docteur, Université de Metz, Septembre 1987.
- [202] J. Wei et G. Kern, «Commonality Analysis: A linear cell clustering algorithm for Group Technology,» *Int. J. Prod. Res.*, vol. 27, n° %112, pp. 2053-2062, 1989.
- [203] C. Mosier, «An experiment investigating the application of clustering procedures similarity coefficients to the G.T. machine cell formation problem,» *Int.J.Prod.Res.*, vol. 27, n° %110, pp. 1811-1835, 1989.
- [204] J. Minot, B. Mutel et Y. Lemoine, «Implantation assistée par ordinateur de la technologie de groupe,» chez *Congrès AFCET Productique et Robotique*, Besançon, 1983.
- [205] R. Wagner et M. Fisher, «The string to string correction problem,» *JACM*, vol. 21, n° %11, pp. 168-173, January 1974.
- [206] L. Miclet, *Méthodes structurelles pour la reconnaissance de formes*, Paris: Edition Eyrolles, 1984.
- [207] P. ROBERT et Y. ESCOUFIER, «A Unifying Tool for Linear Multivariate Statistical Methods: the RV-coefficient,» *Applied Statistics*, vol. 25, pp. 257-265, 1976.
- [208] G. YOUNESS, «Contributions à une méthodologie de comparaison de partitions,» Thèse de

doctorat de l'université Paris 6, 2004.

- [209] J. J. O'Connor et E. F. Robertson, «The history of voting, The MacTutor History of Mathematics Archive,» 2002.
- [210] J. Borda, «Mémoire sur les élections au scrutin. Histoire de l'Académie Royale des Sciences,» Paris, 1791.
- [211] M. Marquis de Condorcet, *Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix*, Paris, 1785.
- [212] G. Hägele et F. Pukelsheim, «Lull's writings on electoral systems,» *Studia Lulliana*, vol. 3, pp. 3-38, 2001.
- [213] T. C. Ratliff, «A comparison of Dodgson's method and the Borda count,» *Econom. Theory*, vol. 20, n° 12, p. 357–372, 2002.
- [214] M. Schulze, «A New Monotonic and Clone-Independent Single-Winner Election Method,» *Voting matters*, vol. 17, pp. 9-19.
- [215] M. AKBIB, O. BAIDA, A. LYHYAOUI, A. GHACHAM AMRANI et A. SEDQUI, «Workshop layout by the method of vote and Comparison to the average ranks method,» chez *Hamburg International Conference for Logistics*, Hamburg, 2014.
- [216] P. Brazdil et C. Soares, «A comparison of ranking methods for classification algorithm selection,» London, 2000.
- [217] H. R. Neave et P. Worthington, *Distribution-free Tests*, Routledge, 1992.
- [218] P. Capéraà et B. van Cutsem, *Méthodes et modèles en statistique non paramétrique: exposé fondamental*, Presses Université Laval, 1988, p. 358 .
- [219] W. Hill, L. Stead, M. Rosenstein et G. Furnas, «Recommending and Evaluating Choices in a Virtual Community of Use,» chez *Proc. Conf. Human factors in Computing Systems*, 1995.
- [220] P. Resnick, N. Iakovou, M. Sushak, P. Bergstrom et J. Riedl, «Grouplens: An Open Architecture for collaborative filtering of Netnews,» chez *Proc. of CSCW '94*, 1994.
- [221] U. Shardanand et P. Maes, «Social Information Filtering: Algorithms for Automating World of Mouth,» chez *proc. Conf. Human Factors in Computing Systems*, 1995.
- [222] M. Balabanovic et T. Shoham, «Fab:content-based,» *Collaborative Recommendation, Comm. ACM*, vol. 40, n° 13, pp. 66-72, 1997.
- [223] J. Breese, D. Heckerman et C. Kadie, «Empirical Analysis of Predictive Algorithms for Collaborative Filtering,» chez *Proc. 14 th Conf. Uncertainty in Artificial Intelligence*, July 1998.

- [224] L. Getoor et M. Sahami, «Using Probabilistic Relational Models for Collaborative Filtering,» chez *Proc. Workshop Web Usage Analysis and User Profiling (WEBKDD'99)*, Aug.1999.
- [225] B. Marlin, «Modeling User Rating Profiles for Collaborative Filtering,» chez *Proc.17th Ann. Conf. Neural Information Processing systems (NIPS' 03)*, 2003.
- [226] L. Hungar et D. Foster, «Clustering Methods for Collaborative Filtering,» chez *Proc. Recommender Systems, Paper from 1998 Workshop, Technical Report WS-98-08*, 1998.
- [227] D. Billsus et M. Pazzani, «learning collaborative information fillters,» chez *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Machine Learning*, 1998..
- [228] R. Salakhutdinov et A. Mnih, «Probabilistic matrix factorization,» chez *Advances in neural information processing Systems (NIPS)*, 2008.
- [229] N. D. Lawrence et R. Urtasun, «Non-linear matrix factorization with gaussian processes,» chez *Proceedings of the 26th Annual International Conference on Machine Learning*, 2009.
- [230] R. Salakhutdinov et A. Mnih, «Bayesian probabilistic matrix factorization using markov chain monte carlo,» chez *Proc. of the International Conference on Machine Learning*, 2008.
- [231] K. Yu, S. Zhu, J. Lafferty et Y. Gong, «Fast nonparametric matrix factorization for Large Scale Collaborative filtering,» chez *Proc. of the international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*, 2009.
- [232] D. D. LEE et H. S. SEUNG, «Learning the parts of objects by non-negative matrix factorization,» *Nature*, vol. 401, pp. 788-791, 1999.
- [233] B. Sarwar, G. Karypis, J. Konstan et J. Riedl, «Item-Based Collaborative Filtering Recommendation Algorithms,» chez *Proc. 10th Int. Conf. on WWW*, 2001.
- [234] J. Zhang et P. Pu, «A recursive prediction algorithm for collaborative filtering recommender systems,» chez *Proceedings of the 2007 ACM conference on Recommender Systems (RecSys '07)*, New York, USA, 2007.
- [235] S. H. S. Chee, J. Han et K. Wang, «RecTree: an efficient collaborative filtering method,» chez *Proceedings of the 3rd International Conference on Data Warehousing and Knowledge Discovery*, 2001.
- [236] M. O'Connor et J. Herlocker, «Clustering items for collaborative filtering,» chez *Proceedings of the ACM SIGIR Workshop on Recommender Systems (SIGIR '99)*, 1999.
- [237] W. S. Lee, «Online clustering for collaborative filtering,» *School of Computing Technical Report TRA8/00*, 2000.
- [238] B. M. Sarwar, G. Karypis, J. A. Konstan et J. Riedl, «Recommender systems for large-scale E-commerce: scalable neighborhood formation using clustering,» chez *Proceedings of the 5th*

International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT '02), , December 2002.

- [239] Kohrs et B. Merialdo, «Clustering for Collaborative Filtering Applications,» chez *Proceedings of CIMCA'99*, 1999.
- [240] K. Honda, N. Sugiura, H. Ichihashi et S. Araki, «Collaborative Filtering Using Principal Component Analysis and Fuzzy Clustering,» *Lecture Notes in Computer Science*, 2001.
- [241] T. George et S. Merugu, «A scalable collaborative filtering framework based on co-clustering,» chez *Proceedings of the IEEE ICDM conference*, 2005.
- [242] J. Kelleher et D. Bridge, «Rectree centroid: An accurate, scalable collaborative recommender,» chez *Procs. of the Fourteenth Irish conference on artificial Intelligence and Cognitive Science*, 2003.
- [243] A. Rashid, S. Lam, G. Karypis et J. Riedl, «ClustKNN: A Highly Scalable Hybrid Model- & Memory-Based CF Algorithm,» chez *WEBKDD*, 2006.
- [244] A. M. Rashid, S. K. Lam, A. LaPitz, G. Karypis et J. Riedl, «Towards a Scalable kNN CF Algorithm: Exploring Effective Applications of Clustering,» *LNCS. Advances in Web Mining and Web Usage Analysis*, vol. 48, pp. 147-166, 2007.
- [245] R. L. Zhu et S. J. Gong, «Analyzing of Collaborative Filtering Using Clustering Technology,» chez *Procs of ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management*, 2009.
- [246] N. Benchettara, R. Kanawati et C. Rouveirol, «Supervised Machine Learning applied to Link Prediction in Bipartite Social Networks».
- [247] F. Wang, S. Ma, L. Yang et T. Li, «Recommendation on Item Graphs».
- [248] S. Maunendra, D. Sudeshna et S. P. Mitra, «Aggregating Preference Graphs for Collaborative Rating Prediction».
- [249] W. MCCORMICK, S. B. DEUTSCH, J. J. MARTIN et P. J. SCHWEITZER, «Identification of Data Structures and Relationships by Matrix reordering Techniques,» Research Paper P-512, Institute for Defense Analyses, Arlington, December 1969.
- [250] P. Symeonidis, A. Nanopoulos, A. N. Papadopoulos et Y. Manolopoulos, «Nearest- biclusters collaborative filtering based on constant and coherent values,» *Inf Retrieval DOI 10.1007/s10791-007-9038-4*, 2007.
- [251] O. Fanny, «L'approche lean : méthodes et outils appliqués aux ateliers de production pharmaceutique,» Thèse de docteur, Université Joseph Fourier, 2009.

- [252] R. Chapeaucou, «Techniques d'amélioration continue en production,» chez *33 méthodes et outils pour développer les savoir-faire*, Dunod, 2003, pp. 57-60.
- [253] G. Houben, K. Lenie et K. Vanhoof, «A knowledge-based SWOT-analysis system as an instrument for strategic planning in small and medium sized enterprises,» *Decision Support Systems*, vol. 26, pp. 125-135, 1999.
- [254] A. Gorener, K. Toker et K. Uluçay, «Application of Combined SWOT and AHP: A Case Study for a Manufacturing Firm,» *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 58, pp. 1525 - 1534, 2012.
- [255] H. Chang et W. Huang, «Application of a quantification SWOT analytical method,» *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 43, p. 158–169, 2006.
- [256] S. Seker et M. Ozgurler, «Analysis of the Turkish Consumer Electronics Firm using SWOT-AHP method.,» *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 58, pp. 1544 - 1554, 2012.
- [257] M. AKBIB, A. GHACHAM AMRANI et A. SEDQUI, «Méthode visuelle générique pour l'aide à la décision : application à l'évaluation, satisfaction, maturité et sélection,» chez *6ème édition du colloque international Logistiqua,,* 2013.
- [258] M. AKBIB, A. GHACHAM AMRANI et A. SEDQUI, «visual management method for decision-making support,» *International Journal of Application or Innovation in Engineering Management*, vol. 2, n° %17, 2013.
- [259] E. Bayraktar, E. Tatoglu, A. Turkyilmaz, D. Delen et S. Zaim, «Measuring the efficiency of customer satisfaction and loyalty for mobile phone brands with DEA,» *Expert Systems with Applications*, vol. 39, p. 99–106, 2012.
- [260] C. Fornell, «A national satisfaction barometer: The Swedish experience,» *Journal of Marketing*, vol. 56, p. 6–21, 1992.
- [261] F. Reichheld et W. E. Sasser, «Zero defections: Quality comes to services,» *Harvard Business Review*, vol. 68, p. 105–111, 1990.
- [262] R. Medjoudj, D. Aissani et K. D. Haim, «Power customer satisfaction and profitability analysis using multi-criteria decision making methods,» *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 45, p. 331–339, 2013.
- [263] D. J. Flint, C. P. Blocker et P. J. Boutin Jr., «Customer value anticipation, customer satisfaction and loyalty:An empirical examination,» *Industrial Marketing Management*, vol. 40, p. 219–230, 2011 : s.n..
- [264] C. Dondeyne, «Professionnaliser le client : le travail du marché dans une entreprise de restauration collective,» *Sociologie du travail*, vol. 44, p. 21–36, 2002.
- [265] S. M. Wagner et R. Sutter, «A qualitative investigation of innovation between third-party

- logistics providers and customers,» *Int. J. Production Economics*, vol. 140, p. 944–958, 2012.
- [266] J. E. Lewin, «Business customers' satisfaction: What happens when suppliers downsize?,» *Industrial Marketing Management*, vol. 38, p. 283–299, 2009.
- [267] A. Barve, «Impact of Supply Chains Agility on Customer Satisfaction,» *IPEDR*, vol. 3 , pp. 325–329, 2011.
- [268] Q. Zhang, M. A. Vonderembse et M. Cao, «Product concept and prototype flexibility in manufacturing: Implications for customer satisfaction,» *European Journal of Operational Research*, vol. 194, p. 143–154, 2009.
- [269] Q. Zhang, M. A. Vonderembse et J. Lim, «Manufacturing flexibility: defining and analyzing relationships among competence, capability, and customer satisfaction,» *Journal of Operations Management*, vol. 21, p. 173–191, 2003.
- [270] G. Dikson, «An analysis of vendor selection system and decisions,» *Journal of purchasing*, vol. 2, pp. 28-41, 1966.
- [271] C. A. Weber, J. R. Current et W. C. Benton, «Vendor selection criteria and methods,» *European Journal of Operational Research*, vol. 50, p. 2–18, 1991.
- [272] 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, p. 16–24, 2010.
- [273] S. H. Amin, J. Razmi et G. Zhang, «Supplier selection and order allocation based on fuzzy SWOT analysis and fuzzy linear programming,» *Expert Systems with Applications*, vol. 38 , p. 334–342, 2011.
- [274] G. Pépiot, N. Cheikhrouhou, J. Furbringer et R. Glardon, «A fuzzy approach for the evaluation of competences,» *Int. J. Production Economics*, vol. 112 , p. 336–353, 2008.
- [275] G. Berio et M. Harzallah, «Towards an integrating architecture for competence management,» *Computers in Industry*, vol. 58 , p. 199–209, 2007.
- [276] L. Borgognia, S. Dello Russo, M. Miraglia et M. Vecchione, «The role of self-efficacy and job satisfaction on absences from work,» *Revue européenne de psychologie appliquée*, vol. 63, p. 129–136, May 2013.
- [277] M.-H. Gilberta, V. Dagenais-Desmarais et A. Savoie, «Validation d'une mesure de santé psychologique au travail,» *Revue européenne de psychologie appliquée* , vol. 61, p. 195–203, 2011.
- [278] M. Joulain, «La satisfaction au travail des femmes,» *Psychologie française*, vol. 50, p. 181–194, 2005.

- [279] E. Barbillon, A. Moch et L. Rioux, «Appropriation de l'espace et satisfaction au travail. Étude auprès du personnel travaillant en institut universitaire de technologie,» *Pratiques psychologiques*, vol. 12 , p. 379–393, 2006.
- [280] P. Migneault, V. Rousseau et J.-S. Boudrias, «L'influence des composantes du climat de travail sur l'habilitation des individus,» *Revue européenne de psychologie appliquée*, vol. 59 , p. 239–252, 2009.
- [281] M. P. Valadares de Oliveira, K. McCormack et P. Trkman, «Business analytics in supply chains – The contingent effect of business process maturity,» *Expert Systems with Applications*, vol. 39, p. 5488–5498, 2012.
- [282] H. Schiele, «Supply-management maturity, cost savings and purchasing absorptive capacity: Testing the procurement–performance link,» *Journal of Purchasing & Supply Management*, vol. 13 , p. 274–293, 2007.
- [283] D. Estampe, S. Lamouri, J. Paris et S. Brahim-Djelloul, «A framework for analysing supply chain performance evaluation models.,» *Int. J. Production Economics*, vol. 142, p. 247–258, 2013.
- [284] P. Trkman, K. McCormack, M. P. Valadares de Oliveira et M. B. Ladeira, «The impact of business analytics on supply chain performance,» *Decision Support Systems*, vol. 49 , p. 318–327, 2010.
- [285] G. Paché et A. Spalanzani, *La Gestion des chaînes logistiques multi-acteurs : perspectives stratégiques*, s.l. : Ed. PUG., 2007.
- [286] N. HAMZAOU, M. AKBIB, W. BAIDA, A. SEDQUI et A. LYHYAOUI, «Logical Actions of trees for the comparison of Classification Methods,» *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 2, n° %11 , Avril 2013.
- [287] M. Karonski et Z. Palka, «On MarZeweski-Steinhaus Distance between Hypergraphs,» *Expositiones Mathematicae*, vol. XVI, n° %11, 1977.
- [288] M. KENDALL et A. STUART, *The Advanced Theory of Statistics*, vol. 2, Londre: Griffin, 1961.
- [289] F. MARCOTORCHINO, «Utilisation des Comparaisons par Paires en Statistique des Contingences (Partie II),» *Etude du Centre Scientifique IBM France*, No F069, 1984.
- [290] L. HUBERT et P. ARABIE, «Comparing Partitions,» *Journal of Classification*, vol. 2, pp. 193-198, 1985.
- [291] M. Chavent, C. Lacomblez et B. Patouille, «Critère de Rand Asymétrique : Application en chimie organique,» chez *8èmes rencontres de la Société Francophone de Classification (SFC 2001)*, Pointe à Pitre, 2001.
- [292] S. JANSON et J. VEGELIUS, «The J-index as a Measure of Association for Nominal Scale Response Agreement,» *Applied psychological measurement*, vol. 16, pp. 243-250, 1982.

- [293] J. COHEN, «A Coefficient of Agreement for Nominal Scales,» *educational and psychological measurement*, vol. 20, pp. 27-46, 1960.
- [294] D. STEWART et W. LOVE, «A General Canonical Correlation index,» *Psychological Bulletin*, vol. 70, pp. 160- 163, 1968.
- [295] R. POPPING, «Traces of agreement. On the Dot- Product As a Coefficient of Agreement,» *Quality and Quantity*, vol. 17, pp. 1-18, 1983.
- [296] G. Youness et G. Saporta, «Sur des indices de comparaison de deux classifications.,» chez *10èmes rencontres de la Société francophone de classification*, 2003.
- [297] M. Boubou, «Contribution aux méthodes de classification non supervisée via des approches prétopologiques et d'agrégation d'opinions,» Thèse de doctorat de l'université Claude Bernard, 2007.
- [298] W. M. Rand, «Objective Criteria for the Evaluation of Clustering Methods.,» *Journal of the American Statistical Association*, vol. 66, pp. 846-850, 1971.
- [299] Y. Yin et K. Yasuda, «Similarity coefficient methods applied to the cell formation problem: a comparative investigation,» *Computers & Industrial Engineering*, vol. 48, p. 471-489, 2005.
- [300] C. Dimopoulos et N. Mort, «Evolving Similarity Coefficients for the Solution of Cellular Manufacturing Problems,» chez *Proceedings of the 2000 Congress on Evolutionary Computation*, 2000.
- [301] A. Boujault, J. Favrel et P. Baptiste, «Ingenierie des systemes flexibles d'assemblage,» Compte-rendu de fin de recherche MRT sur l'ingenierie des systemes flexibles d'assemblage, institut Productique Besancon, Fevrier 1991.
- [302] M. AGARWAL, A. K. KAMRANI et H. R. PARSAEI, «An automated coding and classification system with supporting database for effective design of manufacturing systems,» *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 5, pp. 235-249, 1994.
- [303] P. Dépincé, D. Chablat et P.-O. Woelk, «Virtual Manufacturing : Tools for improving Design and Production,» chez *14th CIRP Design Seminar*, Cairo, Egypt, May 2004.
- [304] A. Sedqui, «Nouvelle approche pour la classification des gammes de production,» Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 1995.
- [305] W. Hachicha, F. Masmoudi et M. Haddar, «Choix entre les stratégies d'élimination des éléments exceptionnels en Technologie de Groupe par simulation,» chez *Premier Congrès Tunisien de Mécanique*, Tunisia, 2008.
- [306] J. Ah-Pine, J. Lemoine et H. Benhadda, «UN NOUVEL OUTIL DE CLASSIFICATION NON SUPERVISEE DE DOCUMENTS POUR LA DECOUVERTE DE CONNAISSANCES ET LA DETECTION DE SIGNAUX FAIBLES : RARES TEXT™,» chez *Journée sur les systèmes d'information élaborée*, île

Rousse, 2005.

Production scientifique

Communications :

- Maha AKBIB, Abdellatif GHACHAM AMRANI et Abdelfettah SEDQUI ; « **Généralisation de l'application de la TG à la chaîne logistique** », 5ème édition du colloque international Logistiqua, Mai 2012, Ecole Mohammadia des Ingénieurs (EMI), Rabat.
- Maha AKBIB, Abdellatif GHACHAM AMRANI et Abdelfettah SEDQUI ; « **La classification des gammes basée sur la Technologie de Groupe en vue de conception de cellules flexibles de production** », 6ème édition du colloque international Logistiqua, Mai 2013.
- Maha AKBIB, Abdellatif GHACHAM AMRANI et Abdelfettah SEDQUI ; « **Méthode visuelle générique pour l'aide à la décision : application à l'évaluation, satisfaction, maturité et sélection** », la 6ème édition du colloque international Logistiqua, Mai 2013.
- Maha AKBIB, Ouafae BAIDA, Abdelouahid LYHYAOUI, Abdellatif GHACHAM AMRANI et Abdelfettah SEDQUI; « **Workshop layout by the method of vote and Comparison to the average ranks method** », Hamburg International Conference for Logistics, Septembre 2014.

Publications :

- Maha AKBIB, Abdellatif GHACHAM AMRANI et Abdelfettah SEDQUI ; « **visual management method for decision-making support** », International Journal of Application or Innovation in Engineering Management (IF : 2.37), vol.2, Is.7, Juillet 2013.
- Maha AKBIB, Abdellatif GHACHAM AMRANI et Abdelfettah SEDQUI ; « **Sequences classification based on Group Technology for flexible manufacturing cell design** », International Journal of Research in Engineering and Technology (IF : 1,962), vol.2, Is.12, Decembre 2013.
- Najma HAMZAOU, Maha AKBIB, Wafae BAIDA, Abdelfettah SEDQUI, Abdelouahid LYHYAOUI, « **Logical Actions of trees for the comparison of Classification Methods** », International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering (IF: 1.77), vol.2, Is.1, Avril 2013.