

Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Industriel

Société d'Imprimerie et Papeterie Amel

Mémoire du projet de fin d'études En vue de l'obtention du diplôme d'

Ingénieur d'état en Génie industriel

Intitulé

**Elaboration d'un système de pilotage et aide à la décision et
l'amélioration de la performance des processus de production**

Présenté par

M. Abderrahim ATROUCHE (Management de l'innovation)

M. Mahmoud El Krim FERHAT (Management Industriel)

Sous la direction de

Mme. Fatima NIBOUCHE (ENP)

Mr. Nassim RABEHI (SIPA)

Présenté et soutenu publiquement le 20/06/2017

Composition du jury

Président :	M. Iskander ZOUAGHI	MCB à l'ENP
Promoteur :	Mme. Fatima NIBOUCHE	MCA à l'ENP
Promoteur :	M. Nassim RABEHI	Assistant directeur d'usine à SIPA
Examineur :	Mme. Sabiha NAIT KACI	MAA à l'ENP

Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Industriel

Société d'Imprimerie et Papeterie Amel

Mémoire du projet de fin d'études En vue de l'obtention du diplôme d'

Ingénieur d'état en Génie industriel

Intitulé

**Elaboration d'un système de pilotage et aide à la décision et
l'amélioration de la performance des processus de production**

Présenté par

M. Abderrahim ATROUCHE (Management de l'innovation)

M. Mahmoud El Krim FERHAT (Management Industriel)

Sous la direction de

Mme. Fatima NIBOUCHE (ENP)

Mr. Nassim RABEHI (SIPA)

Présenté et soutenu publiquement le 20/06/2017

Composition du jury

Président :	M. Iskander ZOUAGHI	MCB à l'ENP
Promoteur :	Mme. Fatima NIBOUCHE	MCA à l'ENP
Promoteur :	M. Nassim RABEHI	Assistant directeur d'usine à SIPA
Examineur :	Mme. Sabiha NAIT KACI	MAA à l'ENP

*À mes très chers parents
À ma mère pour son amour et ses encouragements,
À mon père pour son dévouement,
À mon petit frère Rayen,
À ma petite sœur Chahrazed,
À toute ma famille,
À mon binôme,
À tous mes amis ainsi que tous ceux qui ont fait de moi ce
qui je suis aujourd'hui.*

Abderrahim

*À ma mère, à ma mère, à ma mère qui a fait de moi ce que
je suis aujourd'hui,*

*À mon très cher père pour son soutien et ses
encouragements tout au long de ma vie, puisse dieu me les
garder tous les deux,*

À ma grande sœur Amel,

À mon grand frère Mehdi Amine,

À toute ma famille bien aimée,

À mon binôme, pour son esprit calme et sa gentillesse,

*À tous mes amis et proches, en particulier AMROUCHE
Idir, ROUBAH Merouane, DEBBOUZ Riadh, MAKOUR
Kaci, qui ont su me soutenir dans mes moments difficiles.*

Mahmoud El Krim

REMERCIEMENTS

Avant toute personne, nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir prêté vie, santé, volonté pour achever ce modeste travail.

Nous tenons à remercier nos chers parents pour leurs encouragements et soutiens.

Un grand merci à notre professeur Mme NIBOUCHE qui doit voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis, et nous tenons à la remercier chaleureusement pour ses conseils et son aide.

Nos remerciements s'adressent également à tout le personnel de SIPA, en particulier notre encadreur Mr RABEHI Mohamed Nassim qui a bien accepté de nous recevoir et de diriger notre travail, le responsable « Offset » Mr. MECHROUK Redouane pour son soutien et son sens de l'humour, le gestionnaire des formes découpe Abderrezak pour le temps qu'il nous a consacré, ainsi que toute l'équipe de la planification.

Nous tenons également à remercier tous les enseignants du Département Génie Industriel à l'Ecole Nationale Polytechnique auxquels nous devons notre formation d'ingénieur, particulièrement Monsieur EL HADJ KHALEF et Monsieur ZOUAGHI.

Nous remercions également Madame KASMI pour sa disponibilité et son aide précieuse dans l'accomplissement de ce travail.

Enfin, nous remercions les membres du jury qui nous font l'honneur d'évaluer notre travail.

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو تحسين عملية صنع القرار لمصلحة التخطيط لشركة وراقعة ومطبعة الامل من اجل تحسين ادارة سلاسل الانتاج, للقيام بذلك, تم انشاء نظامين لدعم القرار:

الاول يتجلى في لوحة التحكم موجهة للمخطط و مختلف مسؤولي المؤسسة, تطويرها من خلال تطبيق الكمبيوتر باستخدام قاعدة بيانات, هذا التطبيق يمكن من استغلال بيانات الإنتاج لضمان مراقبة فعالة و موثوق بها . كما أنها تمكن من تأكيد مقاييد الأداء المحددة من خلال تحليل البيانات.

و يعمل الثاني ضمن عملية الجدولة لورشنة العمل العنق. القائم على نموذج رياضي مبرمج من خلال البرنامج Matlab, تطويره من خلال خوارزميات القرار المبرمجة بحسب قيود الشركة يمكن من تحسين جدولة أوامر الإنتاج. وقد شمل هذا التحسين تخفيض الوقت لتغيير السلسلة, تقدير مواعيد التسليم, وخفض الوقت اللازم لوضع خطة الإنتاج

الكلمات المفتاحية: التخطيط,جدولة,تحليلالبيانات,قاعدةالبيانات,مطبعة.

Abstract:

The objective of this work is to improve the decision-making process of the planning department within the Société Imprimerie et Papeterie Amel in order to optimize the management of the production chain. To this end, two decision support systems have been established:

The first is a dashboard dedicated to the planner and the various managers. Its development through a computer application using a database makes it possible to exploit the production data in order to ensure a reliable and effective follow-up. It also makes it possible to validate the levers of performance identified through a data analysis.

The second one affects the scheduling process of the bottleneck workshop. Based on mathematical modeling under the Matlab software, its development through resolution algorithms developed according to the constraints of the company allows to optimize the ordering of the production orders. This optimization concerned the reduction of the change over's time, the estimation of delivery times and the reduction of the production plan time.

Keywords: Planning, Scheduling, Database, Data analysis, Printing.

Résumé :

L'objectif de ce travail est d'améliorer le processus de décision du service planification de l'entreprise Société Imprimerie et Papeterie Amel dans le but d'optimiser la gestion de sa chaîne de production. Pour ce faire, deux systèmes d'aide à la décision ont été développés :

Le premier se présente sous forme d'un tableau de bord dédié au planificateur et aux différents responsables de l'entreprise. Son développement à travers une application informatique a fait appel à une base de données qui permet d'exploiter les données de production afin d'assurer un suivi fiable et efficace. Elle permet aussi de valider les leviers de performance identifiés à travers une analyse des données.

Le deuxième système agit sur le processus d'ordonnement de l'atelier goulot. Basé sur une modélisation mathématique sous le logiciel Matlab, son développement à travers des algorithmes de résolution développés selon les contraintes de l'entreprise permet d'optimiser l'ordonnement des ordres de fabrication. Cette optimisation concerne la réduction du temps de changement de série, l'estimation des délais de livraison et la réduction du temps d'élaboration du plan de production.

Mots clés : Planification, Ordonnement, Base de données, Analyse de données, Imprimerie.

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale.....	14
I. Chapitre I : Etat de l'art.....	15
I.1 Introduction	17
I.2 Gestion de la production.....	17
I.2.1 Définition.....	17
I.2.2 La gestion de production et les flux.....	18
I.2.3 Objectifs de la gestion de production	19
I.2.4 Les différents types des systèmes de production.....	19
I.3 Ordonnancement	24
I.3.1 Définition.....	24
I.3.2 Domaines concernés.....	25
I.3.3 Formulation mathématique et contraintes	25
I.3.4 Caractéristiques générales des ordonnancements :.....	25
I.3.5 Approche de résolution.....	26
I.3.6 Méthodes de résolution des problèmes d'ordonnancement.....	27
I.3.7 Ordonnancement d'atelier	28
I.3.8 Complexité algorithmique	31
I.4 La mesure de la performance du système de production :	31
I.4.1 Les indicateurs de performance.....	32
I.4.2 Indicateurs de résultat et indicateurs de processus	32
I.4.3 Mise en place des indicateurs de performance	32
I.4.4 Mesurer la productivité :	33
I.4.5 Le taux de rendement synthétique	34
I.4.6 Les objectifs du TRS	35
I.4.7 Quelles données collecter ?	35
I.4.8 Améliorer la productivité des machines avec le TRS :.....	36
I.5 Tableau de bord	37
I.5.1 Définition.....	37
I.5.2 Type de tableaux de bord	37
I.5.3 Caractéristiques d'un tableau de bord	37
I.6 Analyse de données	38
I.6.1 L'analyse factorielle	38

I.7	Conception et développement d'une application informatique	41
I.7.1	Étapes de développement d'une application	41
I.8	Conclusion.....	43
II.	Chapitre II : Présentation de l'entreprise et Problématique.....	17
II.1	Introduction	45
II.2	Présentation de l'entreprise	45
II.2.1	Présentation de SIPA.....	45
II.2.2	Historique de SIPA.....	45
II.2.3	Système Organisationnel de SIPA.....	46
II.2.4	Vocation et stratégie de SIPA.....	46
II.3	Environnement Industriel de SIPA.....	47
II.3.1	Milieu Industriel	47
II.3.2	Produits de l'entreprise.....	47
II.4	Industrie du carton compact	48
II.4.1	Impression Offset	48
II.4.2	Éléments techniques du procédé Offset.....	48
II.4.3	Éléments essentiels de la production de SIPA.....	49
II.5	Chaîne de valeur de l'entreprise	51
II.5.1	Direction Commerciale et Marketing.....	51
II.5.2	Direction d'usine	52
II.5.3	Processus de production	52
II.5.4	Département Planification.....	55
II.6	Etat des lieux et diagnostic de l'entreprise	57
II.6.1	Environnement externe.....	57
II.6.2	Environnement interne	58
II.6.3	Dysfonctionnements majeurs de l'entreprise	65
II.7	Enoncé de la problématique	66
II.8	Délimitation du périmètre.....	66
II.9	Axes d'amélioration	66
II.10	Choix des axes d'amélioration	68
II.11	Conclusion.....	68
III.	Chapitre III : Amélioration du système de pilotage	45
III.1	Introduction	70
III.2	Démarche de réalisation du tableau de bord.....	70
III.2.1	Objectifs du tableau de bord.....	70
III.2.2	Identification du besoin	70
III.2.3	Solutions techniques retenues.....	74

III.2.4	Conception du tableau de bord	75
III.2.5	Réalisation et mise en place du tableau de bord	77
III.3	Analyse de données	80
III.3.1	Méthodologie utilisée	80
III.3.2	Analyse et interprétation.....	82
III.4	Conclusion.....	89
IV.	Chapitre IV : Amélioration du système d’ordonnancement.....	70
IV.1	Introduction	91
IV.2	Optimisation du temps de changement de série sur une machine d’impression	91
IV.2.1	Pourquoi traiter le temps de changement de série	91
IV.2.2	Démarche pour l’acquisition de données.....	91
IV.2.3	Décomposition du temps de changement de série.....	92
IV.2.4	Démarche de résolution.....	93
IV.3	Optimiser l’ordonnancement du panel produit.....	101
IV.3.1	Affectation des produits à l’atelier d’impression	101
IV.3.2	Affectation des produits à l’atelier découpe	102
IV.3.3	Estimation des délais de livraison	104
IV.3.4	Formalisation de la méthode d’ordonnancement mise en place.....	104
IV.4	Apport de la solution proposée.....	106
IV.5	Interface graphique du nouveau système.....	106
IV.6	Conclusion.....	109
	Conclusion générale	110
	Bibliographie	113
	Annexes.....	115

Liste des abréviations

SIPA	Société d'Imprimerie et Papeterie Amel
OF	Ordre de fabrication
OA	Ordre d'approvisionnement
BD	Base de données
SGBD	Système de gestion de base de données
B2C	Business to customer
B2B	Business to business
FD	Forme découpe
MP	Matière première
ACP	Analyse de composantes principales
AFC	Analyse factorielle des correspondances
AFCM	Analyse factorielle des correspondances multiples
DC	Dossier de commande
BC	Bon de commande
TRS	Taux de rendement synthétique

Liste des figures

FIGURE I-1 - Catégories des décisions dans la gestion de production [SITE 02]	18
FIGURE I-2- Les flux informationnels et physiques [COU et AL, 2003].....	19
FIGURE I-3- Classification Quantité/Fréquence [DEW, 2003]	20
FIGURE I-4 - Modèle à machine unique [WIKI]	21
FIGURE I-5 - Modèle à machines parallèles [WIKI]	21
FIGURE I-6 - Atelier à cheminement unique (Flow-Shop) [WIKI].....	21
FIGURE I-7 - Ateliers à cheminements multiples (Job-shop) [WIKI].....	22
FIGURE I-8 -La production sur stock [GRA et MED, 2009].....	23
FIGURE I-9 - La production à la commande [GRA et MED, 2009].....	23
FIGURE I-10 - La production par anticipation partielle [GRA et MED, 2009].....	24
FIGURE I-11 - Structure du problème d'affectation [FOR, 2012].....	29
FIGURE I-12 -La productivité d'une machine [HOH, 2009].....	34
FIGURE I-13 - Les trois composantes du TRS [AFNOR, 2006]	34
FIGURE I-14 -Détermination des causes de gaspillages. [HOH, 2009].....	36
FIGURE I-15 - Tableau de l'ACP [ESC et PAG, 2008]	38
FIGURE I-16 - Tableau de l'AFC [ESC et PAG, 2008]	39
FIGURE I-17 - Tableau de l'ACM [ESC et PAG, 2008]	39
FIGURE I-18 - Étapes de développement d'une base de données [PRI, 1997].....	42
FIGURE II-1 - Evolution de l'entreprise SIPA.....	46
FIGURE II-2 -Organigramme de l'entreprise SIPA	46
FIGURE II-3 - Catégories des produits de SIPA	47
FIGURE II-4 - Schéma du principe d'un groupe Offset.....	49
FIGURE II-5 -Couleur de sélection	50
FIGURE II-6 -étapes de création de dossiers de commande.....	52
FIGURE II-7 - Processus de la production	53
FIGURE II-8 -Temps de production/changement de série. Offset	61
FIGURE II-9 -Temps de production/calage. Découpe.....	62
FIGURE II-10 -Bilan mensuel des arrêts du mois d'Avril 2017	63
FIGURE II-11 -Bilan de 17 heures de production	64
FIGURE II-12 -Micro-arrêts de 17 heures de production.....	64
FIGURE III-1- Diagramme « bête à cornes » du tableau de bord	71
FIGURE III-2 -Diagramme de la pieuvre	72
FIGURE III-3 - Modèle conceptuel des données	75
FIGURE III-4 - Architecture physique du système	77
FIGURE III-5 - Interface finale du tableau de bord.....	77
FIGURE III-6 - Taux de rendement synthétique.	78
FIGURE III-7- Déroulement de la production (Shift statut).....	78
FIGURE III-8 - Les arrêts de la production	78
FIGURE III-9 - Graphe des historiques des TRS	79
FIGURE III-10 - Déroulement de la production sur une plage donnée	79
FIGURE III-11 - Les champs de saisie des filtres	80
FIGURE III-12 - Modalités du support-grammage.....	81
FIGURE III-13- Graphe d'interprétation suivant la dimension 1-2. Speed 5.....	83
FIGURE III-14- Graphe d'interprétation suivant la dimension 1-3. Speed 5.....	84
FIGURE III-15- Graphe d'interprétation suivant la dimension 1-2. Speed 1.....	86
FIGURE III-16- Graphe d'interprétation suivant la dimension 2-3. Speed 1.....	87

FIGURE IV-1- Temps des opérations sur le changement de série. Speed 5.....	92
FIGUREIV-2-Temps des opérations sur le changement de série. Speed 1	92
FIGURE IV-3 - Diagramme d'ISHIKAWA du temps de changement de série.....	93
FIGURE IV-4 - Famille de couleurs utilisées	94
FIGURE IV-5 - Modélisation mathématique du problème.....	95
FIGURE IV-6 - Exemple d'application de la fonction "bintprog"	97
FIGURE IV-7 - Déroulement de l'application optimisant par rapport à la couleur	97
FIGURE IV-8 -Optimisation par rapport au blanchet et à la couleur	99
FIGURE IV-9- Optimisation selon les trois paramètres	100
FIGURE IV-10-Affectation des produits aux deux machines avec TORSCHE.....	102
FIGURE IV-11 -Etapas d'optimisation des ateliers d'impression et de découpe.....	103
FIGURE IV-12- Déroulement logique de l'optimisation de l'ordonnancement.....	105
FIGURE IV-13- Le champ de saisie de l'application	107
FIGURE IV-14 - Ordonnancement des couleurs des produits sur les machines d'impression	107
FIGURE IV-15- Délais de livraison des produits	108
FIGURE IV-16 -Ordonnancement des produits surles machines de découpe	108
FIGURE IV-17 - L'interface finale de l'application.....	108

Liste des tableaux

TABLEAU I-1 - Complexité algorithmique $O(n^m)$ en fonction des paramètres (n, m).....	31
TABLEAU II-1 -Dysfonctionnements majeurs de l'entreprise.....	65
TABLEAU III-1- les Indicateurs de performances choisis.....	73
TABLEAU III-2- Classes de TRS et de taux de surface.....	82
TABLEAU III-3 -Résultats du graphe d'interprétation 1-2. Speed 5.....	84
TABLEAU III-4- Résultats du graphe d'interprétation 1-3. Speed 5.....	85
TABLEAU III-5- Recommandations pour la Speed 5.....	85
TABLEAU III-6 - Résultats du graphe d'interprétation 1-2. Speed 1.....	86
TABLEAU III-7 - Résultats du graphe d'interprétation 2-3. Speed 1.....	87
TABLEAU III-8 -Recommandations pour la Speed 1.....	88
TABLEAU III-9 - Résultats et recommandations issues de l'analyse du responsable.....	88
TABLEAU IV-1 Matrice de transition des couleurs.....	95
TABLEAU IV-2 - Les gains obtenus en utilisant les solutions proposées	106

Introduction générale

La crise économique que l'Algérie a connue en raison de la chute des prix du pétrole, a poussé le gouvernement à la quête de nouvelles stratégies et politiques afin de relancer le pays dans d'autres dimensions loin de sa dépendance du marché des hydrocarbures. Dans cette optique, la nouvelle stratégie d'importation que le ministère de l'industrie a mise en place et dont le but est principalement de limiter les importations et d'encourager le client algérien à consommer le produit local, a causé la création de plusieurs entreprises dans les différents secteurs d'activités qui ont connu auparavant de très grandes difficultés.

Ces nouvelles opportunités d'investissement ont généré une forte demande en matières premières, et particulièrement en emballages. Dans pratiquement toutes les industries du pays, la valeur moyenne de l'emballage d'un produit quelconque est estimée à 5% du prix du produit. Ce qui nous mène à parler de l'industrie papetière ou de l'industrie des emballages en carton, un secteur d'activité prospère et en expansion, non seulement en Algérie mais dans le monde entier.

La concurrence à laquelle sont confrontés les entreprises de ce secteur est l'enjeu majeur de nos jours. Les entreprises, voyant continuellement leurs marges bénéficiaires rétrécir, s'engagent dans une course interminable de réduction des coûts, de conquêtes et de fidélisation des clients. Dans ce contexte et pour rester compétitives, ces entreprises sont contraintes d'améliorer leur pilotage, tant au niveau stratégique, pour s'adapter aux progrès de la technologie ou suivre les évolutions du marché, qu'au niveau opérationnel, pour réagir face aux aléas et assurer un niveau de flexibilité qui permet d'atteindre des délais très réduits.

La fonction de production dans une industrie d'emballage représente un élément clé de sa réussite. Pour atteindre un niveau de production permettant de réaliser les objectifs tracés tout en répondant aux attentes d'un client de plus en plus exigeant, l'entreprise œuvre à améliorer le pilotage de son système de production, garantissant ainsi un produit de qualité, dans les meilleurs délais et à un coût minimum.

Toutefois, face à un environnement socio-économique de plus en plus incertain, la prise de décision devient un facteur primordial pour assurer un meilleur pilotage en entreprise. En raison de la multitude des facteurs à prendre en considération, l'expérience et la compétence du dirigeant ne suffisent plus à assurer la meilleure décision. Dans cette optique, l'outil informatique est devenu un outil puissant et incontournable, assurant à la fois l'intégrité et la structuration des données. Il permet également d'assister les dirigeants dans leurs processus de décision à travers des modèles mathématiques et empiriques.

L'entreprise SIPA qui opère dans le secteur des emballages en carton compact, des étiquettes et des notices en papier présente des dysfonctionnements notamment dans son système de production. Ces dysfonctionnements l'empêchent d'optimiser son processus de prise de décision et d'assurer un pilotage optimal.

Notre projet est effectué au sein de cette entreprise. Il est focalisé sur le processus de production d'emballage en carton compact. Suite à la l'identification et la priorisation des dysfonctionnements existants, nous avons pu identifier « le manque de flexibilité dans les activités clés de la planification » comme un dysfonctionnement majeur existant au sein de l'entreprise. Ainsi, le but de notre étude consiste à développer un système d'aide à la décision sous forme d'application informatique permettant au planificateur :

- D'avoir plus de visibilité sur l'usine et les éléments nécessaires pour une bonne prise de décision ;
- D'optimiser le planning de production afin de respecter les délais de livraison tout en optimisant la performance globale de l'usine.

Ainsi, notre travail se présentera comme suit :

- Le premier chapitre présente les différents concepts théoriques liés au travail effectué.
- Le deuxième chapitre comporte trois parties, la première a pour objectifs la présentation de l'entreprise SIPA, son historique, son organisation et ses produits. La deuxième partie, est consacrée à la présentation de la chaîne de valeur de l'entreprise SIPA. La troisième partie, quant à elle, a comme objectifs la présentation des résultats du diagnostic réalisé, l'identification et la validation de la problématique.
- Le troisième chapitre est consacré dans un premier temps, au développement d'un nouveau système de suivi à travers le déroulement de la méthodologie classique de développement d'une application informatique, puis dans un deuxième temps à l'analyse de données afin d'identifier les éléments nécessaires pour une meilleure prise de décision. Ce chapitre est organisé en quatre sous-chapitres :
 - La première partie consiste à exprimer les besoins du nouveau système à travers le déroulement d'une démarche d'analyse fonctionnelle qui passe par la capture des besoins et l'explication des fonctions.
 - La seconde partie est consacrée à la conception et au développement des trois architectures conceptuelle, logique et physique du nouveau système.
 - La troisième étape a pour objectif de présenter le système développé et d'illustrer les grandes et principales fonctionnalités réalisées.
 - La quatrième et dernière étape consiste à analyser les données en utilisant deux approches différentes, l'une statistique et l'autre empirique, afin d'identifier les leviers de performance.
- Le quatrième chapitre consiste à établir un nouveau système décisionnel agissant sur l'ordonnancement de l'atelier goulot afin de maximiser la performance de l'entreprise. Ce chapitre est organisé en trois sous-chapitres :
 - La première partie consiste à établir un ordonnancement sur une machine d'impression de façon à optimiser le temps de changement de série tout en respectant les contraintes de priorités. Une modélisation mathématique ainsi qu'une application informatique basée sur différents algorithmes d'optimisation verra son développement au cours de cette partie.
 - La deuxième partie est consacrée à l'optimisation de l'ordonnancement des ateliers en utilisant d'une part, les algorithmes de résolution existants et en développement des algorithmes adaptés à l'entreprise d'autre part.
 - La troisième et dernière partie consiste à présenter la valeur ajoutée de notre solution en comparant ses résultats avec les résultats obtenus à partir de méthode utilisée dans l'entreprise. À la fin de cette partie, une interface graphique permettant de faciliter la lecture et l'interprétation des résultats au planificateur verra sa conception.

Enfin, une conclusion viendra clôturer notre travail.

Chapitre I : Etat de l'art

I.1 Introduction

Ce chapitre est dédié à l'état de l'art, son objet est de passer en revue les concepts théoriques qui englobent les notions élémentaires du cadre théorique de la gestion de la production, de l'ordonnancement, de la mesure du système de production et de l'analyse de données.

Dans un premier temps, on étudiera les systèmes de production en abordant leurs définitions, leurs typologies et leurs dimensions. Dans un second temps, nous nous intéresserons aux concepts liés à l'ordonnancement de la production ainsi que différentes les approches de résolution. Nous passerons ensuite à la mesure du système de production où nous évoquerons les outils essentiels permettant de juger la performance du système de production.

Nous étudierons l'analyse de donnée, en présentant les outils d'analyse, leurs objectifs et leurs conditions d'application.

Nous terminerons par présenter notre cinquième axe qui concerne l'étude des outils/méthodologie de développement des logiciels/applications d'aide à la décision en entreprise.

Ces parties nous permettront de définir les bases méthodologiques que nous appliquerons pour apporter les éléments de réponse adéquats à la problématique traitée.

I.2 Gestion de la production

Cette partie est consacré à la définition des concepts de base liés à la gestion de production.

I.2.1 Définition

La **gestion de la production** consiste en la recherche d'une organisation efficace de la production des biens et services [DEW, 2003].

Elle vise donc à obtenir un produit donné dont les caractéristiques sont connues en mettant en œuvre un minimum de ressources.

En gestion de production, on considère, généralement, comme données les caractéristiques du produit que sont :

- La définition du produit,
- Le processus de fabrication,
- La demande à satisfaire.

Ces trois caractéristiques du produit relèvent des sciences de l'ingénieur et de la gestion commerciale. Nous verrons cependant par la suite quelques outils qui sont souvent utilisés pour optimiser le processus de fabrication.

Les **outils de la gestion de la production** sont un ensemble de techniques d'analyse et de résolution de problèmes permettant une production au moindre coût. Pour situer ces différents problèmes entre eux, les **décisions de gestion sont souvent** classées en trois catégories illustrées sur la figure I.1

Caractéristiques des décisions	Décisions stratégiques	Décisions administratives	Décisions opérationnelles
Horizon temporel	Long terme	Moyen terme	Court terme
Fréquence et degré de répétitivité	Décisions uniques	Fréquence faible, décisions peu répétitives	Décisions très nombreuses et répétitives
Degré d'incertitude de l'information	Très élevé	Elevé	Faible
Degré de réversibilité	Quasi nul	Faible	Elevé
Niveau de décision	Direction générale	Directions fonctionnelles et opérationnelles	Décisions décentralisées (fonction, service)

FIGUREI-1 - Catégories des décisions dans la gestion de production [SITE 02]

I.2.2 La gestion de production et les flux

Quand on parle de gestion de production dans les entreprises, on fait constamment référence à des notions de flux : implantation flux poussés, flux tirés, flux tendus et flux logistiques [COU et AL, 2003].

En gestion de production, on s'intéresse plus particulièrement aux :

Flux physiques : approvisionnement, entrée et circulation des matières premières, des composants, des pièces de rechange, des sous-ensembles, circulation, sortie et distribution des produits finis.

Flux d'information : suivi des commandes, des ordres de fabrication, suivi des données techniques, suivi des heures de main d'œuvre, des heures machines, des consommations de matières, des rebuts...

La préoccupation majeure de la gestion de production étant la satisfaction des clients, celle-ci se doit de chercher à maîtriser ses flux. Pour cela, elle doit :

- **Simplifier les flux physiques** en supprimant les opérations non génératrices de valeur vendable au sens valeur utile pour le client (par réimplantation des moyens de production).
- **Fluidifier et accélérer les flux physiques** en évitant les pannes machines, en diminuant les temps de changements de série, en améliorant la qualité des pièces, en développant tant la polyvalence des hommes que le partenariat avec les fournisseurs et les distributeurs et en maîtrisant les flux des transports externes des produits.
- **Créer un système d'information de gestion de production cohérent et pertinent** par un dialogue et une mise au point pour connaître et répondre aux besoins et aux attentes de chacun.

La figure I.2 illustre bien les différents flux présents dans la gestion de production.

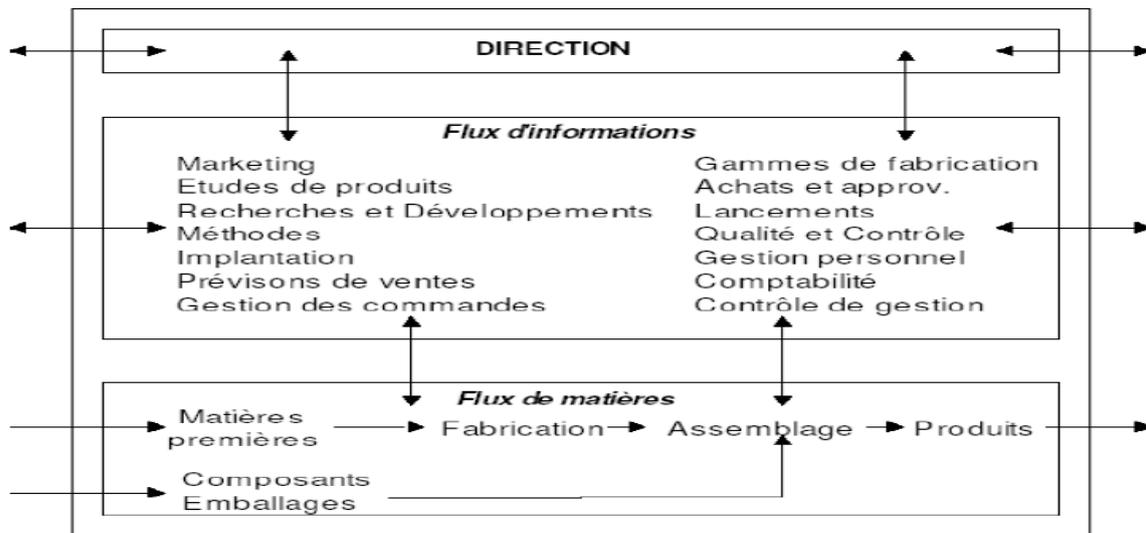


FIGURE I-2- Les flux informationnels et physiques [COU et AL, 2003]

I.2.3 Objectifs de la gestion de production

L'objectif principal de la gestion de production est de produire des biens et des services de **bonne qualité**, en **quantité requise**, en **temps voulu** et à **moindre coût** [ANI et SUR, 2009].

Bonne qualité : un produit est de qualité si seulement s'il satisfait les exigences des clients. La bonne qualité n'est donc pas forcément la meilleure qualité.

Quantité requise : L'unité de production devrait fabriquer des produits en quantités exactes. Si la quantité de produits fabriqués excède la demande du client, le capital se mobilisera sous forme de stock, et si la quantité fabriquée est en dessous de la demande du client, cette situation donnera lieu à une pénurie.

Temps voulu : respecter les délais de livraison est l'un des paramètres les plus importants afin de juger l'efficacité du système de production. Ainsi, l'unité de production est dans l'obligation d'utiliser ses inputs de manière optimale afin d'atteindre ses objectifs.

Moindre coût : les coûts de fabrication sont établis avant même que le bien ne soit effectivement produit. Par conséquent, toutes les activités devront être maîtrisées afin de produire au coût préétabli, ce qui devra réduire la variation entre le coût réel et le coût préétabli.

I.2.4 Les différents types des systèmes de production

I.2.4.1 Classification selon les séries produites

La première différence notable entre les entreprises a trait bien sûr à l'importance des productions. Les quantités lancées peuvent être :

- En production unitaire,
- En production par petites séries,
- En production par moyennes séries,

- En production par grandes séries.

Les nombres liés aux notions de petit, moyen et grand sont sensiblement différents selon le produit concerné. Pour quantifier cette classification, nous indiquons l'ordre de grandeur suivant [DEW, 2003] :

- 100 pour les petites séries,
- 1 000 pour les moyennes,
- 100 000 pour les grandes.

Pour chacune de ces quantités, les lancements peuvent être répétitifs ou non, ce qui agira également sur la typologie de l'entreprise.

La figure I.3 illustre les différents types de systèmes de production selon le croisement entre la quantité et la réactivité.

	Lancements répétitifs	Lancements non répétitifs
Production unitaire	Moteur de fusée Pompes destinées au nucléaire	Travaux publics Moules pour presses
Petites et moyennes séries	Outillage Machines outils	Sous-traitance (mécanique électronique) Préséries
Grandes séries	Électroménager Automobile	Journaux Articles de mode

FIGURE I-3- Classification Quantité/Fréquence [DEW, 2003]

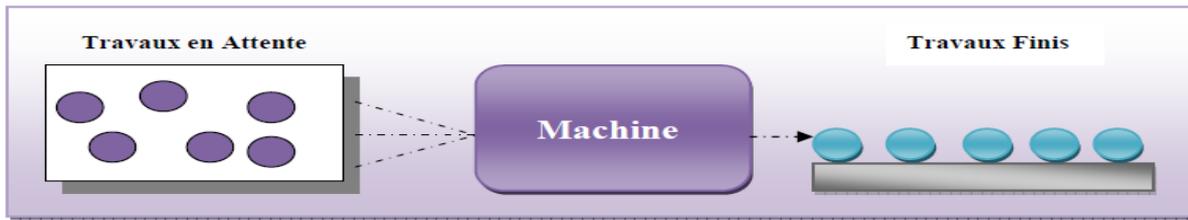
I.2.4.2 Classification selon l'organisation des flux de production

Une classification très répandue des ateliers, du point de vue ordonnancement, est basée sur les différentes configurations des machines. Les modèles les plus connus sont les suivants [WIKI] :

- Machines uniques,
- Machines parallèles,
- Ateliers à cheminement unique (Flow-shop),
- Ateliers à cheminement multiples (Job-shop),
- Autres configurations (Open-shop et autres).

A) Machine unique

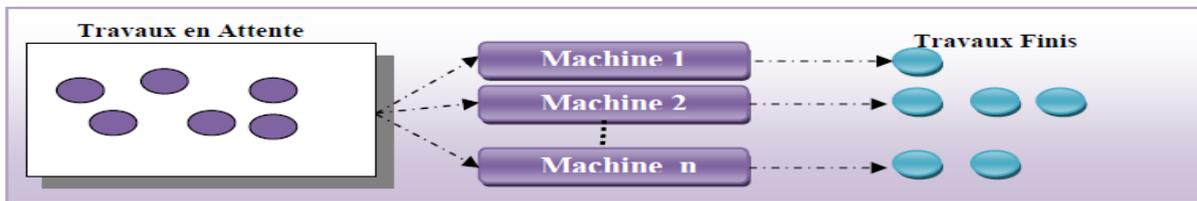
Dans cet exemple, toutes les tâches à réaliser sont assurées par une seule machine. Les tâches sont alors effectuées lors d'une opération. L'une des situations intéressantes où on peut se retrouver avec ce genre de configuration est le cas où on est devant un Système de Production comprenant une machine goulot qui influence l'ensemble du processus. L'étude peut alors être restreinte à l'étude de cette machine comme cela est montré sur la figure I.4.



FIGUREI-4 - Modèle à machine unique [WIKI]

B) Machines parallèles

Dans ce cas, on dispose d'un ensemble de machines identiques pour réaliser les travaux. Ces derniers se composent d'une seule opération exigeant une seule machine. L'ordonnancement s'effectue en deux phases. La première phase consiste à affecter les travaux sur les machines alors que la deuxième phase établit la séquence de réalisation de ces travaux sur chaque machine comme le montre la figure I.5



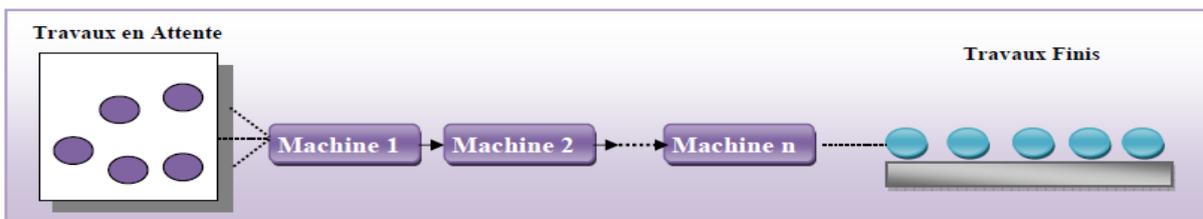
FIGUREI-5 - Modèle à machines parallèles [WIKI]

C) Ateliers à cheminement unique (Flow-Shop)

Un atelier à cheminement unique est un atelier où le processus d'élaboration de produits est dit « linéaire », c'est-à-dire lorsque les étapes de transformation sont identiques pour tous les produits fabriqués. La figure I.6 illustre cette configuration. Selon les types de produits élaborés, on distingue deux types de production :

- La production continue : est caractérisée par la fluidité de son processus et l'élimination du stockage
- La production discrète : s'applique principalement aux produits de grande consommation fabriqués à la chaîne. On trouve ce type de production dans la fabrication automobile, le domaine du textile, les machines-outils...etc.

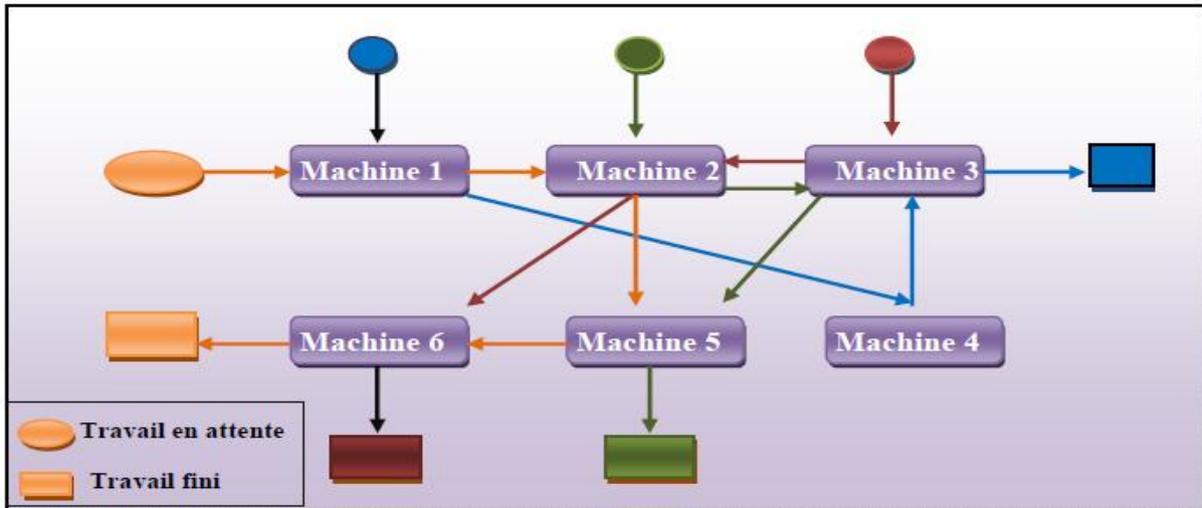
Dans les deux cas, les machines peuvent être dédiées à une opération précise, et sont implantées en fonction de leurs séquences d'intervention dans la gamme de production. L'un des principaux objectifs dans le cas d'atelier à cheminement unique est de trouver la meilleure séquence de tâches qui respecte l'ensemble des contraintes et qui minimise le temps total de production.



FIGUREI-6 - Atelier à cheminement unique (Flow-Shop) [WIKI]

D) Ateliers à cheminements multiples (Job-shop)

Les ateliers à cheminements multiples (Job-shop) sont des unités manufacturières traitant une variété de produits individuels dont la production requiert divers types de machines selon des séquences différentes, comme le montre la figure I.7. Dans ce cadre, il est nécessaire d'assurer une certaine flexibilité¹ du système. L'objectif le plus important dans le cas d'un atelier à cheminements multiples est le même que celui considéré pour un atelier à cheminement unique, à savoir trouver une séquence de tâches sur les machines qui minimise le temps total de production [Esquirol et Lopez, 1999].



FIGUREI-7 - Ateliers à cheminements multiples (Job-shop) [WIKI]

I.2.4.3 Classification selon la relation avec le client

Les deux principales méthodes d'organisation des flux dans l'entreprise sont traditionnellement appelées flux poussés (ou production sur stock) et flux tirés (ou production à la demande). Cela dit, une entreprise peut avoir ces deux types d'organisation dans le même atelier ce qui ne facilite pas sa gestion [GRA et MED, 2009].

Le choix d'une modalité, ou le panachage des deux, dépend essentiellement de deux paramètres à savoir :

- Délai de livraison,
- Capacité de l'entreprise.

Si sa capacité ne peut pas satisfaire le client à temps, l'entreprise a intérêt à s'organiser selon une politique à flux poussés, et vice-versa.

On distingue généralement trois types d'organisation :

¹La flexibilité est la capacité d'un système à répondre aux variations dans l'environnement

A) Production sur stock

Le terme de flux poussés (push system) est fréquemment employé pour faire référence à cette modalité de gestion des flux. Le terme « poussé » signifie que les composants, les produits intermédiaires et les produits finis sont poussés vers le stock, suite à un ordre de fabrication, décidé sur la base de prévisions chiffrées, et non parce qu'il existe un besoin effectif identifié. Un ordre de fabrication interviendra indépendamment des quantités de marchandises en stock. Le risque d'une telle organisation réside dans le fait que les clients peuvent se détourner des produits alors que ceux-ci sont déjà fabriqués. Il appartient donc à l'entreprise d'être particulièrement vigilante quant aux retournements de tendance.

La figure I.8 illustre bien le fonctionnement de cette modalité.

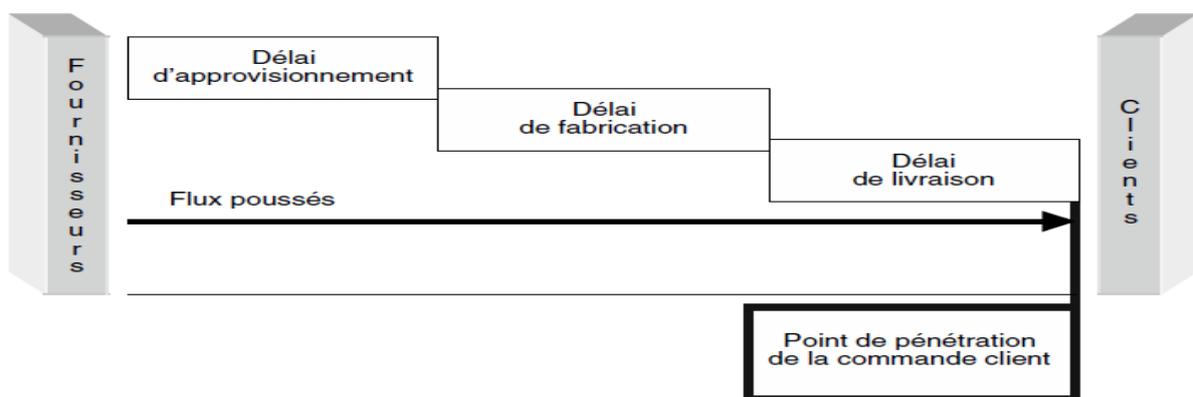


FIGURE I-8 -La production sur stock [GRA et MED, 2009]

B) Production à la commande

Le cas précédent, bien que très fréquent, n'est cependant pas l'unique modalité de gestion des flux. En effet, dans certaines situations et pour certains produits, le lancement de la fabrication intervient uniquement lorsque la commande est ferme, et pas avant. Cela suppose des délais parfois très longs, mais connus et acceptés par le client. Le producteur, tout en minimisant les risques, peut ainsi proposer des produits spécifiques, adaptés aux besoins des clients, et susceptibles d'évoluer. On parle alors de production à la commande (Make-To-Order(MTO)). La figure I.9 illustre cette modalité.

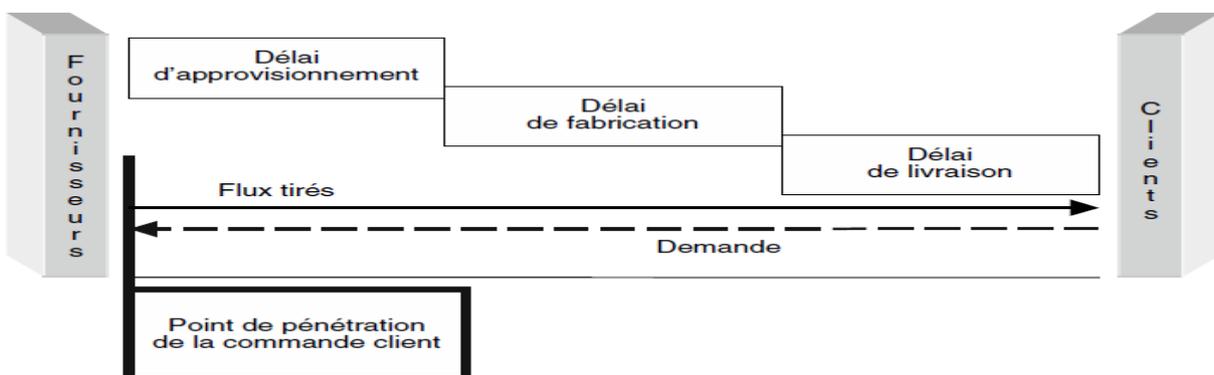


FIGURE I-9 - La production à la commande [GRA et MED, 2009]

C) Production par anticipation partielle

Les deux modalités précédentes correspondent en réalité aux deux extrémités d'un continuum sur lequel l'entreprise va se placer en fonction d'un certain nombre de critères tels que la technologie, la nature des produits, les attentes des clients, etc.

On parle dans ce cas de production par anticipation partielle. Cela consiste à associer les deux modes de gestion précédents :

- Les premières opérations du cycle productif sont par exemple réalisées sans attendre la commande du client, mais sur des bases statistiques (prévisions des ventes) ;
- Les dernières opérations du cycle productif, souvent l'assemblage, ne sont lancées qu'après le passage effectif de la commande.

La figure I.10 illustre cette modalité.

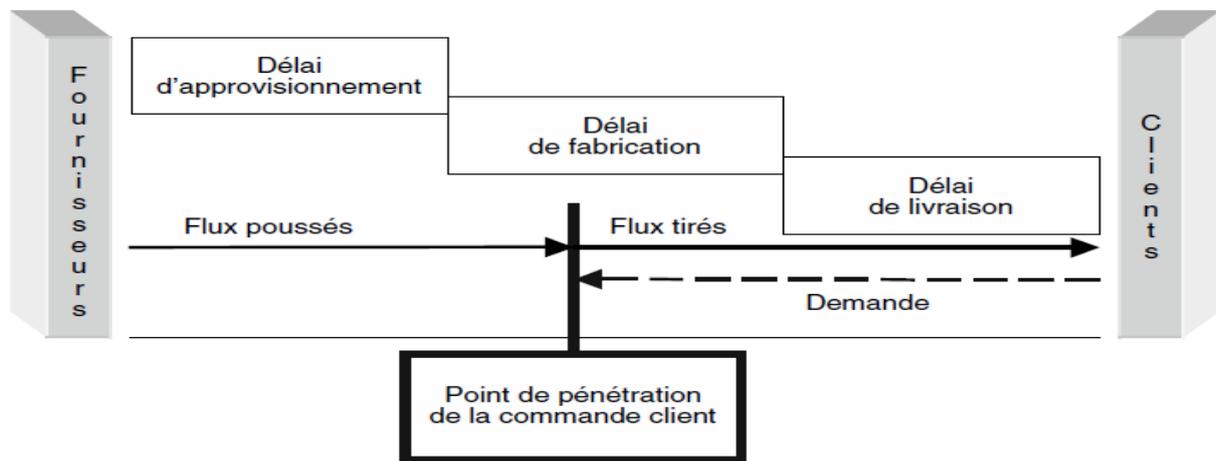


FIGURE I-10 - La production par anticipation partielle [GRA et MED, 2009]

I.3 Ordonnancement

Cette partie est consacré dans un premier temps à la définition des concepts de base liés à l'ordonnancement. Dans un second temps, nous définirons les problèmes ainsi que leurs méthodes de résolution qui ont fait objet de notre étude.

I.3.1 Définition

Le problème d'ordonnancement consiste à organiser dans le temps la réalisation d'un ensemble de tâches, compte tenu de contraintes temporelles (délais, contraintes d'enchaînement...) et de contraintes portant sur l'utilisation et la disponibilité des ressources requises [GIA, 2003].

Le but est de Déterminer l'enchaînement et les dates d'exécution des tâches étant donnés :

- Un ensemble de tâches.
- Un environnement de ressources pour effectuer les tâches.
- Des contraintes sur les tâches et les ressources.
- Un critère d'optimisation.

I.3.2 Domaines concernés

Le domaine de l'ordonnancement présente la particularité de se situer à la croisée de plusieurs disciplines scientifiques (mathématique, économie, productique, automatique, informatique, ...).

I.3.3 Formulation mathématique et contraintes

Les problèmes d'ordonnancement se traduisent en général par la formulation mathématique suivante :

N tâches à exécuter auxquelles on ajoute deux tâches fictives 0 et $n + 1$ de durées nulles qui correspondent aux début et fin d'exécution.

L'objectif est de déterminer $(t_0, t_1, \dots, t_n, t_{n+1})$ de façon minimiser $f(t_0, t_1, \dots, t_n, t_{n+1})$ où f est fonction des dates de début/fin des tâches.

Sous Différentes contraintes

- Technologiques : une tâche ne peut débuter que lorsque d'autres sont achevées,
- Commerciales : certaines dates doivent être achevées pour une date fixée,
- Matérielles : une machine ne peut traiter qu'une tâche à la fois,
- Main d'œuvre : effectif limité,
- Financières : budget limité.

I.3.4 Caractéristiques générales des ordonnancements :

Des sous-ensembles d'ordonnancement particuliers sont ici présentés. Certains présentent des priorités de dominance vis à vis de tous critères réguliers [TAG, 2001].

- **Ordonnancement admissible** : Un ordonnancement est dit admissible s'il respecte toutes les contraintes du problème (Dates limites, précédences, limitation des ressources...)
- **Ordonnancement semi actif** : Dans un ordonnancement semi actif, aucun glissement à gauche local n'est possible, en d'autres termes, on ne peut avancer une tâche sans modifier la séquence sur la ressource.
- **Ordonnancement actif** : Dans un ordonnancement actif aucun glissement à gauche local ou global n'est possible. Aucune tâche ne peut commencer plus tôt sans reporter le début d'une autre.
- **Ordonnancement global/local** : Une première distinction entre les politiques d'ordonnancement est basée sur l'identification de leurs champs d'action. Ainsi, un ordonnancement **local** est responsable de la gestion d'accès des tâches en attente d'exécution à la ressource. L'attribution d'une tâche à une ressource est du ressort d'un ordonnancement **global**.
- **Ordonnancement statique/dynamique** : Un problème d'ordonnancement est statique si l'ensemble des informations nécessaires à sa résolution est fixé a priori et n'est pas remis

en cause durant la résolution (ensemble des tâches, des ressources, et leurs caractéristiques). La solution est alors un plan prévisionnel dont l'exécution nécessite un contrôle d'exécution. Celui-ci peut inclure une fonction de décision en temps réel si le système est doté d'une certaine souplesse. D'une manière générale, la génération d'un plan et le contrôle de son exécution posent un problème d'ordonnancement dynamique.

- **Ordonnancement centralisé et ordonnancement distribué :** Selon la nature de la politique d'ordonnancement global appliquée, les décisions sont implantées de façon **centralisée** ou **distribuée**. Dans une politique **centralisée** les décisions de toutes les opérations d'ordonnancement sont réalisées par un serveur central. Dans une politique **distribuée** au contraire, les opérations d'ordonnancement sont réalisées par toutes les ressources à leur niveau.

I.3.5 Approche de résolution

Les problèmes d'ordonnancement peuvent être résolus par plusieurs approches et algorithmes. Avant de présenter les méthodes qui sont utilisées dans notre étude, nous avons jugé bon d'introduire les notions de base liées à la complexité des algorithmes et des problèmes.

I.3.5.1 Complexité des algorithmes

Un problème d'ordonnancement peut être résolu par plusieurs algorithmes, cependant, un algorithme peut être meilleur que d'autres selon ces deux critères [GIA, 2003] :

- Temps de calcul,
- Espace mémoire utilisé.

On appelle complexité en temps d'un algorithme dans le pire cas, la fonction $f(n)$ qui donne une borne supérieure du nombre d'opérations élémentaires effectuées par l'algorithme lorsque la taille de l'entrée est n .

Définition : On dit que $f(n) \in O(g(n))$, s'il existe une constante $c > 0$ et un entier n_0 tels que $\forall n \geq n_0, |f(n)| \leq c |g(n)|$.

Complexité polynomiale : Un algorithme est de complexité polynomiale lorsque :

$f(n) \in O(p(n))$ et p , un polynôme en n , c'est-à-dire, il existe une constante k telle que :

$f(n) \in O(n^k)$

I.3.5.2 Complexité des problèmes

Il faut faire la distinction entre un problème de décision et un problème d'optimisation.

- Un problème de décision est un problème pour lequel une solution est soit "oui" soit "non".
- Un problème d'optimisation est un problème pour lequel on doit chercher à déterminer une solution qui optimise un critère.

À chaque problème d'optimisation on peut associer un problème de décision [GIA, 2003].

Un **problème de décision** appartient à la classe « **P** », s'il peut être résolu par un algorithme polynomial en n

Un **problème de décision** appartient à la classe « **NP** » s'il peut être résolu par un algorithme non déterministe polynomial.

Un **problème NP-complet** est un problème de décision vérifiant les propriétés suivantes :

- Il est possible de vérifier une solution efficacement en temps polynomial.
- Tous les problèmes de la classe NP se ramènent à celui-ci via une réduction polynomiale. Cela signifie que le problème est au moins aussi difficile que tous les autres problèmes de la classe NP.

Un problème d'optimisation est dit **NP-difficile** si le problème de décision associé est **NP-complet** [GIA, 2003].

I.3.6 Méthodes de résolution des problèmes d'ordonnement

Parmi les méthodes utilisées en ordonnancement, on peut distinguer les méthodes anciennes comme la méthode PERT, la méthode Gantt notamment utilisée en gestion de projet, la méthode des potentiels, la simulation ainsi que les méthodes liées à l'intelligence artificielle ou l'emploi d'heuristiques. Cependant, nous allons dans ce suit présenter les méthodes de résolution qui ont fait objet de notre étude.

- **Les méthodes exactes**

Ces méthodes sont dites exactes du fait qu'elles convergent vers une solution optimale du problème considéré. Par ailleurs, leurs complexités les rendent très coûteuses en matière de temps et d'allocation de mémoire. Ces approches sont des fonctions exponentielles de la taille du problème, ce qui les réserve aux problèmes de petites ou moyennes tailles.

Parmi ces méthodes, nous distinguons principalement :

- **La programmation linéaire**

Cette méthode concerne la formulation du problème sous un problème de programmation linéaire. La fonction objective porte sur le(s) critère(s) à optimiser et les contraintes sur les contraintes temporelles de l'ordonnement. Les variables seront les temps de début de chaque tâche. Le problème doit ensuite être résolu par les méthodes de la programmation linéaire (Simplexe, les points intérieurs, etc.).

- **La programmation dynamique**

La méthode consiste à décomposer le problème en sous problèmes, de résoudre les sous problèmes sous une logique de Bottom-up. En partant à chaque fois de la solution optimale du problème précédent, on arrive à la solution optimale du problème en question.

- **Les méthodes approchées**

La plupart des problèmes d'ordonnement sont classés NP-complet, ce qui a conduit au recours à des méthodes présentant des solutions non-optimales, mais plus économes en termes

de temps et d'allocation de mémoire. Ces méthodes sont basées sur la déduction de la complexité ou sur l'équivalence entre les problèmes.

I.3.7 Ordonnancement d'atelier

L'ordonnancement d'atelier consiste à organiser dans le temps le fonctionnement d'un atelier pour utiliser au mieux les ressources humaines et matérielles disponibles dans le but de produire les quantités désirées dans le temps imparti [WIKI].

I.3.7.1 Les différents types d'ateliers manufacturiers

Une classification très répandue des ateliers, du point de vue ordonnancement, est basée sur les différentes configurations des machines [TAG, 2001]. Les modèles les plus connus ont été précédemment cités.

Contexte : On a un ensemble $\{J\}$ de tâches ou de travaux à exécuter, les ressources sont des machines et ne peuvent exécuter qu'une tâche à la fois, les critères font intervenir les dates de fin d'exécutions, les dates de livraison, les stocks d'en cours ... et les ordres de fabrication peuvent avoir des poids différents.

Nous suivons le schéma de classification proposé par [GRA et Al, 1979] qui a pour objectif de distinguer entre les problèmes d'ordonnancement existants ainsi que leurs méthodes de résolution.

A) Classification à trois champs $\alpha | \beta | \gamma$

α permet de spécifier l'environnement machine : $\alpha = \alpha_1, \alpha_2$.

- $\alpha_1 = O$ pour l'open-shop, F pour le flow-shop et P pour des machines en parallèle,
- α_2 correspond au nombre de machines, o si ce nombre n'est pas fixe.

β décrit les caractéristiques des tâches : $\beta = \beta_1; \beta_2; \beta_3; \beta_4; \beta_5; \beta_6$.

- $\beta_1 = pmtn$ dans le cas d'un problème préemptif², o sinon.
- $\beta_2 = prec$ si des contraintes de précédence existent entre les lots, *tree* si le graphe de précédences est une arborescence, o s'il n'existe pas de contraintes de précédence.
- $\beta_3 = rj$ si des dates de disponibilité sont associées aux tâches, o sinon.
- $\beta_4 = dj$ si des échéances sont associées aux tâches, o sinon.
- $\beta_5 = (pj = p)$ si les tâches ont des durées identiques, $(pj = 1)$ si les tâches ont des durées unitaires, o sinon.
- $\beta_6 = no-wait$ pour les problèmes d'atelier sans attente, o sinon.

γ est le critère d'optimalité du problème. On ne décrit que les critères utilisés dans le cadre de notre étude.

- La durée totale de l'ordonnancement $C_{max} = \max_j \{C_j\}$, C_j est la date de fin de la tâche j .
- Le retard algébrique maximum $L_{max} = \max_j \{L_j\}$, $L_j = C_j - d_j / d_j$: délais de livraison de j .

² Préemptif : peut interrompre à tout moment une tâche en cours d'exécution pour permettre à une autre tâche de s'exécuter [WIKI].

- Le retard maximum $T_{\max} = \max_j \{T_j\}$, $T_j = \max(0, C_j - d_j)$.

Afin de mieux comprendre ces notions, nous avons jugé utile de les illustrer par l'exemple suivant :

P3| rj | Cmax : Problème d'ordonnancement de 3 machines identiques parallèles. Chaque tâche possède une disponibilité et peut ne pas être disponible à l'instant $t=0$. On cherche à minimiser le temps global de production (C_{\max}) de l'ensemble des tâches.

I.3.7.2 Problèmes rencontrés

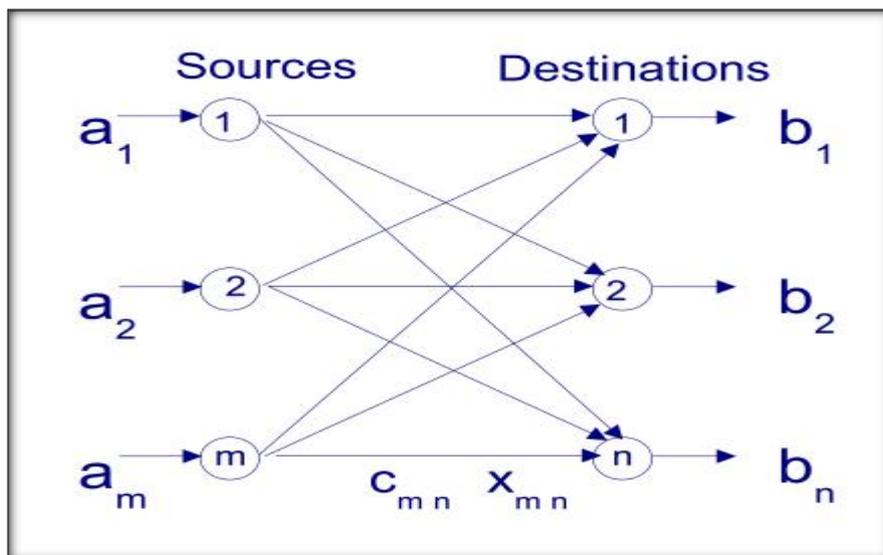
Il existe plusieurs approches afin de résoudre les problèmes d'ordonnancement. Dans cette partie, on va préciser les problèmes et les méthodes utilisant la programmation linéaire qui conviennent le mieux aux caractéristiques et aux paramètres de notre étude.

I.3.7.2.1 Problème d'affectation :

Les problèmes d'affectation sont présents dans de nombreux problèmes d'optimisation. En général, une affectation se produit chaque fois qu'un membre d'une entité doit être attribué à un membre d'une autre entité. Le cas le plus simple est le 2-indices bien connu comme le problème d'affectation planaire [FOR, 2012].

Les problèmes d'affectation sont une extension des problèmes combinatoires de la programmation linéaire en nombres entiers pour lesquels il existe plusieurs algorithmes de résolution efficaces.

La figure I.11 illustre la structure du problème d'affectation :



FIGUREI-11 - Structure du problème d'affectation [FOR, 2012]

- Formulation du problème d'affectation

La résolution du problème revient à déterminer les variables x_{ij} modélisés comme suit :

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij}$$

S/C:

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, n \\ \\ \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad j = 1, \dots, m \\ \\ x_{ij} \in \{1,0\}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \end{array}$$

Où le c_{ij} représente le poids de transition de l'entité i vers l'entité j et le x_{ij} le chemin de l'entité i vers l'entité j .

I.3.7.2.2 Problème d'affectation multi-indices :

La généralisation du problème d'affectation est le problème d'affectation multi-indices (MAP). Ce problème qui est plus complexe que le problème d'affectation classique, est fréquemment rencontré dans plusieurs domaines tel que l'aérospatial, la logistique, la fabrication, l'économie et la communication [GIM, 2005].

Une des modélisations du problème d'affectation multi-indices peut être représentée comme suit :

$$\text{Min } Z \sum_{i_1=1}^n \sum_{i_2=1}^n \dots \sum_{i_m=1}^n c_{i_1 i_2 \dots i_m} x_{i_1 i_2 \dots i_m} \quad x_{i_1 i_2 \dots i_m} \in \{1,0\}$$

S/C :

$$\sum_{i_{k1}=1}^n \sum_{i_{k2}=1}^n \dots \sum_{i_{kr}=1}^n x_{i_1 i_2 \dots i_m} = 1, i_s = \overline{1, n}, s = \overline{1, n}, \quad s \neq k1, \dots, kr.$$

Où :

- $c_{i_1 i_2 \dots i_m}$: le poids relatif du chemin $x_{i_1 i_2 \dots i_m}$
- n : nombre d'entités (variables)
- m : nombre d'axes de transition, $r = m - 1$

Pour $r=1$ on revient au problème d'affectation planaire.

Résolution du problème

Pour la résolution des problèmes d'affectation il existe deux approches :

- A) La méthode exacte de Branch and Bound :** En dépit de sa complexité, le problème d'affectation multi-indices demeure un problème linéaire, par conséquent, la méthode de Branch and Bound peut être envisagée. Cette méthode (procédure par évaluation et séparation progressive) consiste à énumérer des solutions (Branch) dans un sens qu'en en prenant en compte les propriétés du problème, elle arrive à éliminer des solutions partielles qui ne mènent pas à la solution que l'optimale(Bound). De ce fait, on arrive souvent à obtenir la solution recherchée en des temps raisonnables.
- B) Les méthodes approchées :** Ces outils utilisent généralement des heuristiques ou méta-heuristiques, dans le but d'approcher la solution optimale de façon intelligente en un temps de calcul réduit. Cependant, la convergence vers une solution optimale n'est pas assurée

I.3.8 Complexité algorithmique

Contrairement au problème d'affectation classique, il est peu probable que le problème d'affectation multi-indices soit efficacement résoluble. Dès que le nombre d'indices excède deux, le problème est classé NP-difficile. Le cas de $m = 2$ correspond au problème d'affectation planaire classique (à deux indices), la complexité de sa résolution par algorithme exact est de l'ordre de $O(n^3)$.

Le problème d'affectation multi-indices est classé parmi les problèmes difficiles, en raison de sa complexité algorithmique $O(n^m)$. En conséquence, au bout d'un certain nombre de variables (n^m), on parle d'explosion combinatoire.

TABLEAU-1 - Complexité algorithmique $O(n^m)$ en fonction des paramètres (n, m)

n\m	2	3	4	5	6	7	8
2	4	8	16	32	64	128	256
3	9	27	81	243	729	2187	6561
4	16	64	256	1024	4096	16384	65536
5	25	125	625	3125	15625	78125	390625
6	36	216	1296	7776	46656	279936	1679616
7	49	343	2401	16807	117649	823543	5764801
8	64	512	4096	32768	262144	2097152	16777216

Il est à remarquer que si le nombre de variables excède un certain seuil, l'approche de résolution par des méthodes exactes existantes ne peut être envisagée en raison de l'absence de méthodes d'optimisation efficaces pour ce type de problème.

I.4 La mesure de la performance du système de production :

La production et la gestion de production ne peuvent se passer de mesures. On produit pour des raisons économiques et on gère également pour des raisons économiques.

La manière de produire ainsi que la manière de gérer la production ont considérablement évolué au cours de ces dernières années. Toutefois, les outils de mesure et de pilotage de la production, quant à eux, n'ont pas toujours suivi cette évolution [COU et AL, 2003].

Aujourd'hui, la plupart des entreprises ne sont plus dans ce contexte-là. L'entreprise se doit de faire évoluer les instruments de mesure de son système productif. Le système de mesure doit désormais être un outil de pilotage de la production au service de la performance de l'entreprise. Nous nous proposons de présenter ici l'une des solutions possibles à cet égard : les indicateurs de performance.

I.4.1 Les indicateurs de performance

Un indicateur de performance est une donnée quantifiée qui mesure l'efficacité de tout ou partie d'un processus ou d'un système, par rapport à une norme, un plan ou un objectif qui aura été déterminé et accepté, dans le cadre d'une stratégie d'ensemble.

I.4.2 Indicateurs de résultat et indicateurs de processus

Les indicateurs de performance tels que nous venons de les définir tentent de recouvrir deux aspects du système de production : un aspect lié aux résultats et un autre aux processus. À cet effet, deux catégories d'indicateurs peuvent être définies selon [COU et AL, 2003] :

- **Les indicateurs de résultat** indiquent le résultat auquel on peut parvenir.
- **Les indicateurs de processus** permettent d'exprimer la manière d'obtenir un résultat.

Caractéristiques essentielles des indicateurs de performance

Un système d'indicateurs doit être un outil qu'on utilise comme support d'actions d'amélioration. Cet outil doit permettre de savoir où on en est et qui donne la volonté d'aller plus loin.

Selon [COU et AL, 2003], les indicateurs doivent :

- Être faciles à comprendre, mesurer et représenter.
- Couvrir toute l'activité de l'entreprise pour aller dans le sens de la stratégie globale de l'entreprise.
- Être en nombre limité.
- Être mis en place et généralisés rapidement.
- Avoir une fréquence de mesure liée aux possibilités d'amélioration.

I.4.3 Mise en place des indicateurs de performance

Comme toute démarche de mise en place de projet, celle relative aux indicateurs de performance impose :

- Une décision de la direction car tout projet important doit être soutenu, voire relancé en cas de problème, par la direction.
- Une action de sensibilisation et de formation pour tous et adaptée à chaque groupe constituant l'entreprise.

- Un diagnostic de l'existant.
- Une détermination d'objectifs parfaitement définis dans le temps.

I.4.4 Mesurer la productivité :

La mesure est indispensable à l'amélioration et au progrès, toutefois, elle doit être accompagnée par des processus d'analyse afin de déterminer les causes des bonnes et des mauvaises performances et ainsi maîtriser les leviers de la performance [HOH, 2009].

En entreprise, il existe généralement deux types de productivité à mesurer :

I.4.4.1 La Productivité de la main-d'œuvre

L'approche traditionnelle de mesure de la productivité de la main d'œuvre est la comparaison du temps alloué pour réaliser une tâche avec le temps réellement passé à son exécution.

Le temps est une grandeur qui s'impose naturellement, car les employés sont généralement payés à l'heure, à la semaine, au mois, etc. Par ailleurs, un des héritages de l'organisation scientifique du travail est le mode opératoire assorti d'un temps standard pour son exécution. Pour des raisons pratiques, le temps peut être laissé de côté et traduit en nombre de pièces à réaliser, ce qui rend la perception et/ou la gestion plus simple :

$$\text{Productivité} = \frac{\text{Quantité effectivement réalisée}}{\text{Quantité à réaliser}}$$

I.4.4.2 La productivité des machines

La productivité d'une machine se définit comme le rapport entre la production réalisée dans des conditions données et la production théoriquement réalisable dans les mêmes conditions.

La quantité théoriquement réalisable est généralement définie dans un cas idéalisé comme suit

- Ni aléas ni pannes,
- Réglages parfaits et pas de dérives,
- Machine fonctionnant à la cadence nominale,
- Personnels compétents, présents et motivés,
- Matières et énergies approvisionnées sans retards ni anicroches.

Par ailleurs, lorsqu'une machine produit, elle peut produire aussi bien des pièces bonnes que des pièces mauvaises. Or, les pièces mauvaises doivent être retouchées ou rebutées et remplacées, ce qui entraîne des coûts supplémentaires que les clients ne sont pas disposés à payer. Pour piloter son activité au plus juste, le fabricant doit tenir compte de la part de la non-qualité produite, chercher à la réduire, voire, idéalement, à l'éradiquer.

Il faut donc corriger l'équation précédente en remplaçant la quantité effectivement réalisée par la quantité de pièces bonnes.

$$\text{Productivité} = \frac{\text{Quantité pièces bonnes}}{\text{Quantité théoriquement réalisable}}$$

Ce faisant, pour la mesure de la productivité, on se place dans les conditions les plus sévères et l'on met en évidence la part de capacité de production gaspillée. Cette opération est illustrée par la figure I.12.

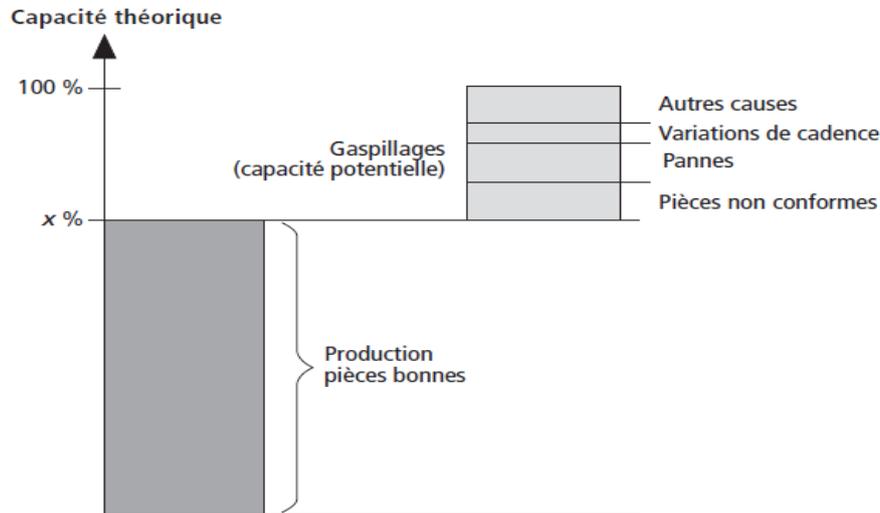


FIGURE I-12 -La productivité d'une machine [HOH, 2009]

Cet indicateur de productivité des machines, le plus pertinent et probablement le plus répandu, est appelé taux de rendement synthétique (TRS).

I.4.5 Le taux de rendement synthétique

Le Taux de Rendement Synthétique (en anglais Overall Equipment Effectiveness (OEE)) selon [AFR, 2006], est un indicateur de productivité qui rend compte de l'utilisation effective d'un moyen de production. Il mesure la performance d'un système de production par analyse d'un poste limitant la productivité, identifie les pertes et assure le suivi des démarches de progrès. Il représente un excellent outil d'investigation et un moyen de mesure de l'efficacité des processus. Mathématiquement, il se définit par le produit du taux de qualité (**Tq**), du taux de performance (**Tp**) et de la disponibilité opérationnelle (**Do**) comme le montre la figure I.13.

A-TEMPS D'OUVERTURE		
B-TEMPS BRUT DE FONCTIONNEMENT		Pannes, réglages > 5min
C-TEMPS BRUT DE PRODUCTION	Ralentissements, micro-arrêts	Pertes de disponibilité
D-TEMPS UTILE	Reprises, rebuts, démarrages	
Non -Performance		
Non -Qualité		

FIGURE I-13 - Les trois composantes du TRS [AFNOR, 2006]

La formule devient alors :

$$\text{TRS} = \text{Tq} * \text{Tp} * \text{Do}$$

En remplacement les taux par les indices définis sur la figure I.13, on obtient :

$$\text{TRS} = \frac{D}{A} = \frac{D}{C} \times \frac{C}{B} \times \frac{B}{A}$$

C'est dans la prise en compte simultanée des trois principaux paramètres d'efficacité manufacturière que réside la force du TRS. Ces trois paramètres se définissent comme suit :

- **La disponibilité** : Le nombre d'heures de production par rapport au nombre d'heures planifiées (les mises en course sont considérées comme faisant partie des heures planifiées, même si elles ne sont pas productives).
- **La performance** : Le nombre d'unités produites pendant les heures productives par rapport à la capacité maximale (autrement dit, la performance de l'équipement par rapport aux spécifications du fabricant).
- **La qualité** : Le nombre d'unités respectant les critères de qualité par rapport au nombre total d'unités produites pendant les heures productives.

I.4.6 Les objectifs du TRS

L'objectif de la mise en place d'un système de suivi de la production est d'améliorer les performances de cette dernière. Le TRS permet de vérifier directement si les solutions mises en place permettent d'améliorer la productivité. En effet, c'est un indicateur qui mesure l'écart entre la situation idéale et la situation réelle de fonctionnement en décomposant les phases de production et de non production d'un équipement. Ainsi, il met en évidence :

- L'écart qui existe entre le temps normé nécessaire pour réaliser la production demandée et le temps d'ouverture maximum de l'équipement,
- La durée et la nature des temps qui composent cet écart.

I.4.7 Quelles données collecter ?

A) Calcul du taux de disponibilité

Pour calculer le taux de disponibilité on aura besoin de collecter les données suivantes :

- Les heures de marche du processus, jour par jour sur la période donnée,
- La durée des non fonctionnements pour causes externes, jour par jour sur la période donnée,
- La durée de non fonctionnement pour causes internes, jour par jour et sur la période donnée.

B) Calcul du taux de performance

Pour calculer le taux de performance on aura besoin de collecter les données suivantes :

- Les volumes fabriqués par le processus, jour par jour sur la période donnée,
- La capacité optimale journalière du processus ou la meilleure pratique démontrée,
- La durée de fonctionnement à cadence dégradée, jour par jour sur la période donnée.

C) Calcul du taux de qualité

Les données à récolter pour calculer le taux de qualité sont les volumes fabriqués dont les caractéristiques ne correspondent pas aux normes de qualité exigées sur la période donnée. Toutefois, les produits non-conformes qui ont été réintroduits dans le processus de production et qui sont finalement sortis conformes ne sont pas pris en compte.

I.4.8 Améliorer la productivité des machines avec le TRS :

Pour améliorer la productivité d'une machine, il est nécessaire d'améliorer le résultat du ratio suivant :

$$\text{Productivité} = \frac{\text{Quantité pièces bonnes}}{\text{Quantité théoriquement réalisable}}$$

Pour cela, il faudra visualiser la capacité gaspillée en analysant les données récoltées, puis en travaillant à éradiquer les causes principales de ces gaspillages [HOH, 2009]. La figure I.14 illustre cette procédure.

Cette dernière utilise les méthodes et les outils de résolution de problèmes et a tout intérêt à rassembler autour d'un animateur expérimenté des participants issus de différents services, comme :

- Les opérateurs,
- La maintenance,
- La qualité,
- Les agents des méthodes,
- La planification,
- Les approvisionnements.

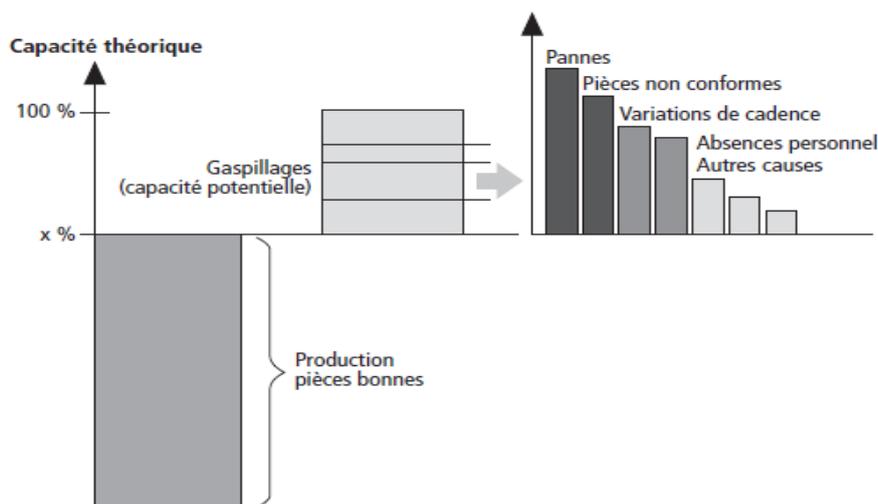


FIGURE I-14 -Détermination des causes de gaspillages. [HOH, 2009]

Il est important de remarquer que la fiabilité des données doit être assurée, afin d'éviter les erreurs de raisonnement et la détermination des priorités.

La mesure obtenue grâce à des indicateurs est indispensable à la connaissance et au progrès. Toutefois, se limiter uniquement à la mise en place des indicateurs n'est pas suffisant. En effet, la multiplicité des indicateurs et leur éparpillement dans les sections et les services ne favorisent pas leur analyse.

Afin que les indicateurs soient utiles, il faut qu'ils soient mis en perspective dans une synthèse qui autorise une analyse globale. Cette synthèse est appelée **tableau de bord**.

I.5 Tableau de bord

I.5.1 Définition

Un tableau de bord est un ensemble d'indicateurs peu nombreux conçus pour permettre aux gestionnaires de prendre connaissance de l'état et de l'évolution des systèmes qu'ils pilotent et d'identifier les tendances qui les influenceront sur un horizon cohérent avec la nature de leurs fonctions [HOH, 2009]. Il souligne l'état d'avancement dans lequel se trouve le processus afin de permettre au responsable de mettre en place des actions correctives.

I.5.2 Type de tableaux de bord

Il existe deux types de tableaux de bord :

- **Destiné au reporting** : servant à rendre des comptes sur les résultats obtenus et à dialoguer entre les niveaux hiérarchiques (et souvent aussi entre les fonctions).
- **Destiné au pilotage** : permettant de suivre l'avancement des plans d'action et les résultats obtenus par ceux-ci.

I.5.3 Caractéristiques d'un tableau de bord

Un tableau de bord utile contient généralement quatre éléments essentiels :

- Un tableau rassemblant les indicateurs pertinents.
- Un graphique pour présenter l'information la plus représentative des données du tableau.
- Un commentaire clair, précis et concis donnant des indications sur les actions achevées, en cours et à venir.

Les informations à intégrer au tableau de bord : Le tableau de bord doit regrouper les informations nécessaires à une bonne compréhension des forces et faiblesses de l'entreprise mais aussi de sa faculté à progresser. Le tableau de bord peut ainsi consigner :

- L'intitulé (explicite) des indicateurs.
- Les fréquences de suivi des indicateurs.
- Les objectifs/cibles.
- Les seuils d'alerte, les seuils intermédiaires (permettant de déclencher des actions d'amélioration pour pallier à la non-atteinte d'un objectif).

- Les résultats précédents.
- L'évolution des résultats.

I.6 Analyse de données

Les grandes quantités de données, par exemple les indicateurs de performance présents dans un tableau de bord calculés sur un horizon de temps déterminé, peuvent être expliqués par plusieurs variables exogènes. Extraire des connaissances d'une telle source d'information ne peut se faire manuellement. C'est pour cette raison que des méthodes d'analyse de données permettant de faire sortir des modèles ont émergé [ESC et PAG, 2008].

Ce sont des méthodes dites multidimensionnelles en opposition aux méthodes de la statistique descriptive qui ne traitent qu'une ou deux variables à la fois. Parmi les méthodes de l'analyse des données, l'analyse factorielle tient une place de choix.

I.6.1 L'analyse factorielle

Cette analyse se base essentiellement sur des représentations graphiques en deux ou trois dimensions afin de cerner des regroupements, des oppositions, des tendances, impossibles à discerner directement sur un grand tableau de nombres.

Il existe plusieurs méthodes adaptées à différents types de données : ainsi, pour citer les plus connues [ESC et PAG, 2008] :

- L'analyse en composantes principales (ACP),
- L'analyse factorielle des correspondances (AFC),
- L'analyse des correspondances multiples (ACM).

I.6.1.1 Analyse en Composantes Principales

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) s'applique à des tableaux croisant des individus et des variables quantitatives comme le montre la figure I.15

Objectif

Appliquée à un tel tableau, l'objectif général de l'ACP est une étude exploratoire. Les deux voies principales de cette exploration sont :

Un bilan des ressemblances entre individus : On cherche alors à décrire la variabilité des individus.

Un bilan des liaisons entre variables : On cherche à mettre en évidence une typologie des variables.

Un autre aspect de l'étude des liaisons entre variables consiste à résumer l'ensemble des variables par un petit nombre de **variables synthétiques** appelées **composantes principales**.

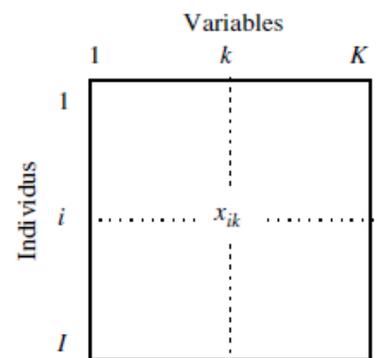


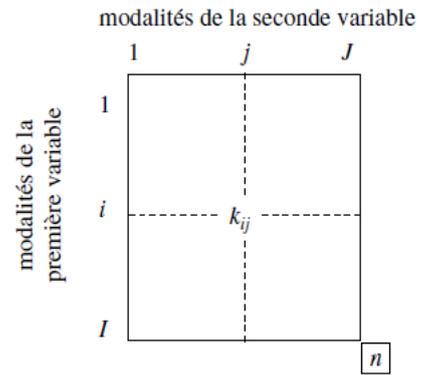
FIGURE I-15 - Tableau de l'ACP [ESC et PAG, 2008]

I.6.1.2 Analyse Factorielle des Correspondances

Elle s'applique à des tableaux d'effectifs obtenus en croisant les modalités de deux variables qualitatives définies sur une même population de n individus comme le montre la figure I.16.

Objectif

Bien que le tableau étudié soit de nature très différente de celui étudié en ACP, les objectifs de l'AFC peuvent s'exprimer de manière analogue à ceux de l'ACP : on cherche à obtenir une typologie des lignes, une typologie des colonnes et à relier ces deux typologies entre elles, mais la notion de ressemblance entre deux lignes, ou entre deux colonnes, est différente de celle de l'ACP.



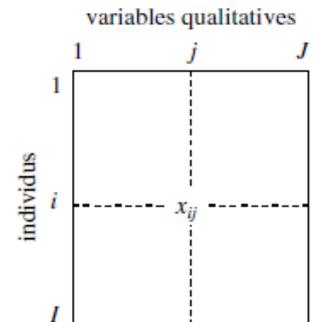
FIGUREI-16 - Tableau de l'AFC [ESC et PAG, 2008]

I.6.1.3 Analyse des Correspondances Multiples

Le principe de l'ACM est presque le même que celui de l'ACP à la différence que les variables sont qualitatives et possédant plusieurs modalités. L'application la plus courante de l'ACM est le traitement de l'ensemble des réponses à une enquête. Chaque question constitue une variable dont les modalités sont les réponses proposées (parmi lesquelles chaque enquêté doit faire un choix unique).

Ces données peuvent être rassemblées dans un tableau de type *Individus x Variables* tout à fait analogue à celui étudié en ACP.

Les lignes représentent les individus, les colonnes représentent les variables comme le montre la figure I.17.



FIGUREI-17 - Tableau de l'ACM [ESC et PAG, 2008]

Objectifs

L'objectif de l'ACM est similaire à celui de l'ACP mais peut être considéré aussi comme une généralisation de celui de l'AFC. Ces deux aspects sont toujours plus ou moins explicitement présents dans les objectifs de l'ACM.

Etapes de la méthode

Assurance de l'homogénéité des données

Dans certains cas, on peut avoir des données quantitatives présentes dans l'analyse (rendement machine). Il est important ainsi de regrouper ces variables en des classes pour assurer l'homogénéité des données. Afin de les classer, deux choix importants devront être faits :

Choix du nombre de classe

Ce choix doit être le plus fiable possible, car en diminuant de manière excessive le nombre de classes, on regroupe des individus de plus en plus différents et de ce fait on perd beaucoup

d'informations. En augmentant le nombre de classes, on risque d'obtenir des classes d'effectif faible avec tous les inconvénients que cela comporte.

Choix des classes

Le principe à respecter dans cette opération est d'obtenir des **classes de même effectif** plutôt que des intervalles de même amplitude. Cette procédure de découpage est toujours prévue dans les programmathèques complètes d'analyse des données.

Tableau de Burt

Le tableau de Burt comporte une ligne et une colonne pour chaque modalité des variables étudiées. Chaque cellule du tableau indique le nombre d'individus statistiques qui possèdent en même temps la modalité ligne et la modalité colonne correspondantes.

Le tableau de Burt possède de nombreuses propriétés remarquables :

- Le tableau est symétrique : $n_{ij} = n_{ji}$;
- Les encadrés situés le long de la diagonale principale (du haut à gauche vers le bas à droite) donnent les effectifs correspondant à chaque modalité ;
- Les autres encadrés sont les tableaux de contingence correspondant aux variables prises deux à deux ;
- La somme des nombres situés sur une même ligne est égale au terme diagonal de la ligne multiplié par le nombre de variables ; propriété identique pour les colonnes ;
- La somme des nombres situés dans un encadré est égale à l'effectif total ;
- La somme de tous les nombres du tableau est égale à l'effectif total multiplié par le carré du nombre de variables.

Après un traitement statistique qui a pour objectif d'étudier la corrélation entre les individus, les variables et individus-variables, les résultats sont représentés en des graphiques de 2 dimensions. Il est impératif de choisir la meilleure représentation c'est-à-dire les deux meilleurs axes afin d'extraire le maximum d'information.

Règle d'interprétation

Interpréter un axe consiste à trouver ce qui est similaire d'une part entre tous les éléments figurant à la droite de l'origine et d'autre part, entre tout ce qui se trouve à la gauche de l'origine, puis d'exprimer avec concision et précision le contraste entre les deux extrêmes.

L'interprétation des proximités entre les modalités devra aussi tenir compte de la remarque suivante :

- Si deux modalités d'une même variable sont proches, cela signifie que les individus qui possèdent l'une des modalités et ceux qui possèdent l'autre sont globalement similaires du point de vue des autres variables.
- Si deux modalités de deux variables différentes sont proches, cela peut signifier que ce sont globalement les mêmes individus qui possèdent l'une et l'autre.

I.7 Conception et développement d'une application informatique

Parmi les solutions envisageables pour la création d'une « Gestion De Production Assistée par Ordinateur » (GPAO), on trouve le développement d'une application informatique en interne dédiée aux spécificités de l'entreprise.

I.7.1 Étapes de développement d'une application

Cette partie a pour objectif de présenter la méthodologie et les étapes de développement d'une application selon [PRI, 1997].

- **Phase I : objectifs du logiciel**

Cette phase initiale du développement de tout projet logiciel donne une description et une évaluation globale des besoins que le logiciel est censé satisfaire.

- **Phase II : expression des besoins**

C'est la phase où l'on décrit les fonctions que le logiciel doit effectuer, les conditions d'exploitation, en faisant abstraction, le plus possible, de la façon dont ces différentes fonctions seront effectivement réalisées.

On distingue deux types de besoins :

- 1) **Besoins fonctionnels**

- Que doit faire le système ?
- Le système du point de vue de son utilisateur.

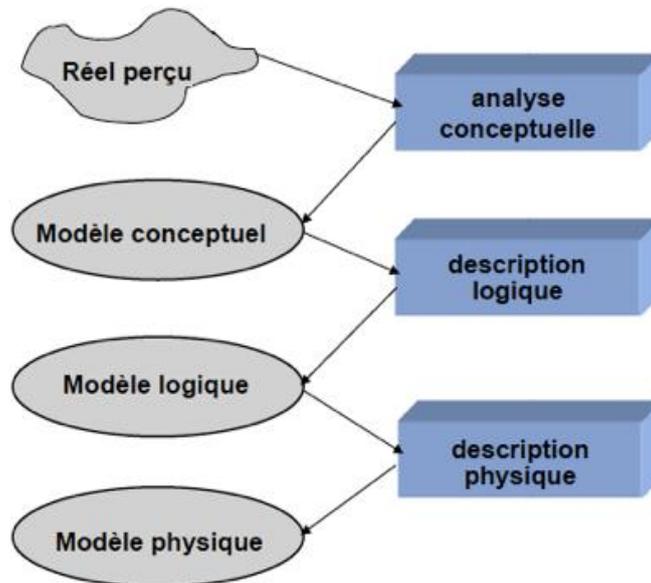
- 2) **Besoins non fonctionnels**

- Les différentes contraintes,
- Les exigences et les choix techniques.

- **Phase III : conception**

Cette phase a comme objectif de définir de façon très précise, les fonctions et l'architecture de l'application, à partir des besoins exprimés et des contraintes générales définies en I et II [PRI, 1997].

Un système basé sur une base de données (BD) voit son développement initialisé par la conception et la réalisation de cette base, les étapes de développement sont présentées sur la figure I.17



FIGUREI-18 - Étapes de développement d'une base de données [PRI, 1997].

A) Modèle conceptuel :

Cette étape commence par l'identification des attributs qui doivent être enregistrés dans la base de données (dictionnaire des données), et la réalisation des graphes de dépendance fonctionnelle pour déterminer les différentes entités et classes d'entités du système.

Le modèle conceptuel qui est un diagramme qui contient des classes d'entités et des associations suivant des cardinalités sera systématiquement établi à la fin de cette phase.

B) Modèle logique

Un modèle logique est une description de données utilisant un des modèles existants. Parmi ces modèles on trouve le modèle relationnel qui est obtenu à partir du modèle conceptuel suivant des règles bien définies.

C) Modèle Physique

Le modèle physique représente la dernière étape du travail. Il consiste à la mise en œuvre sur le SGBD de la base de données.

- **Phase IV : programmation et tests unitaires**

Cette phase correspond à la programmation proprement dite des fonctions sur la base des informations précises venant de la phase de conception. Les fonctions sont traduites dans le ou les langages de programmation qui ont été adoptés. À ce stade du développement, ce qui

n'était que spéculations intellectuelles devient exécutable et donc vérifiables expérimentalement.

I.8 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté dans un premier temps, les concepts liés à la gestion de production, les problèmes d'ordonnements ainsi que les approches de résolution de ces derniers. Dans un second temps, nous avons défini les différents outils permettant de mesurer la performance du système de production, en particulier les indicateurs de performances ainsi que le tableau de bord, pour finir avec l'analyse des données jugée utile dans le déroulement de notre travail.

La dernière partie a été consacré à la présentation de la démarche de développement logiciel, où nous avons présenté les différentes étapes de réalisation d'une application informatique. Ces différentes notions représentent un tremplin pour le développement de notre solution.

Le prochain chapitre concernera la présentation de l'entreprise ainsi que l'identification de la problématique où nous avons appliqué les concepts théoriques précédemment présenté.

Chapitre II : Présentation de l'entreprise et Problématique

II.1 Introduction

Le but de ce chapitre est de mener une étude de l'existant au sein de l'entreprise pour identifier les différents dysfonctionnements et par suite les axes d'amélioration pouvant être explorés. Ce chapitre sera consacré dans sa première partie à la présentation de l'entreprise « Société Imprimerie et Papeterie Amel » (SIPA) ainsi qu'à son environnement industriel. Dans La deuxième partie nous allons commencer par présenter la chaîne de valeur de l'entreprise pour ensuite décrire le diagnostic mené qui vise à identifier les dysfonctionnements existants et enfin faire ressortir les axes d'amélioration potentiels.

II.2 Présentation de l'entreprise

II.2.1 Présentation de SIPA

La Société d'Imprimerie et Papeterie Amel (SIPA), est une société à responsabilité limitée, créée en 1996. Son siège social est situé à Bab El Oued, Alger et l'unité de production dont l'activité de base est la production d'emballages en carton compact, d'étiquettes et de notices en papier à travers les opérations d'impression et de finition, est située à la cité Benadjel à Boudouaou Wilaya de Boumerdes. SIPA est une entreprise qui dessert trois principaux marchés : l'agroalimentaire, le pharmaceutique et les détergents. Cette entreprise qui compte plus 280 employés, répartis entre responsables, contrôleurs, conducteurs et ouvriers est de nos jours en croissance continue. Cette croissance lui a permis de créer la filiale « Princoflex », localisée à Reghaia, Alger, spécialisée dans la production des étiquettes sur un support plastique enroulé en bobine.

II.2.2 Historique de SIPA

L'entreprise a été créée en 1996 dans le but de satisfaire les besoins spécifiques des consommateurs algériens selon une orientation **B2C**³ dans le domaine des emballages en carton et des étiquettes avec une infrastructure peu développée. Ce n'est qu'en 2008 que ses dirigeants ont pris des décisions d'envergure, et se sont concentrés sur l'organisation interne. Depuis, l'entreprise a pénétré le marché du **B2B**⁴.

Aujourd'hui SIPA est parmi les leaders de l'industrie graphique. Elle possède un parc machines assez important et compte quatre filiales qui proposent d'autres types de produits (supports flexibles ...) destinés à plusieurs secteurs (Agroalimentaire, pharmaceutique et détergents). La figure II.1 présente l'évolution de SIPA.

³ B2C : Business To Customer

⁴ B2B : Business To Business

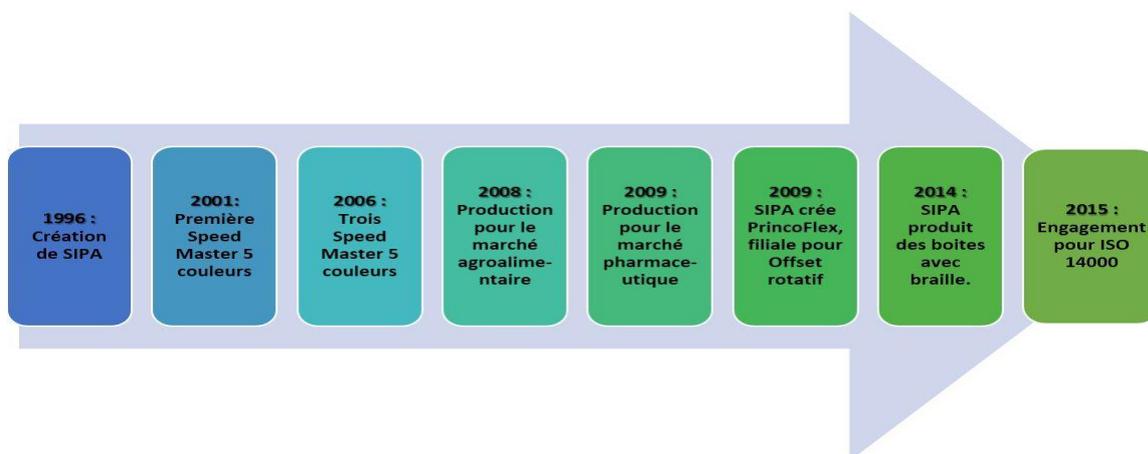


FIGURE II-1 - Evolution de l'entreprise SIPA

II.2.3 Système Organisationnel de SIPA

L'organisation de SIPA se présente sous forme d'une structure fonctionnelle répartie en différentes directions et services. Elle s'articule autour de quatre directions fonctionnelles : Direction Administration et finance, Direction Usine, Direction Commercial et Direction Approvisionnement, placées sous l'autorité du directeur général. La figure II.2 présente le l'organigramme de SIPA.

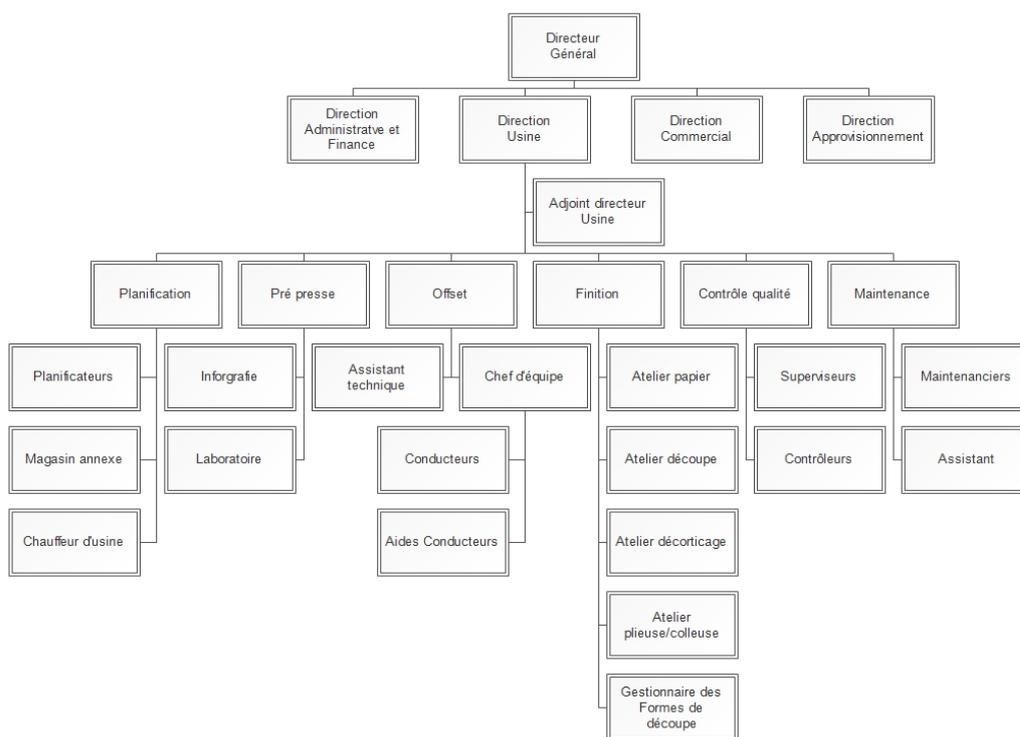


FIGURE II-2 -Organigramme de l'entreprise SIPA

II.2.4 Vocation et stratégie de SIPA

La mission principale de SIPA est de desservir ses clients avec un produit de qualité qui répond à leurs exigences et spécifications, dans les quantités demandées, dans les

meilleurs délais. Elle fonctionne 24h/24h avec trois équipes, pour assurer la continuité de la production et le respect des délais de livraison.

SIPA se situe parmi les 4 meilleurs imprimeurs locaux selon son directeur général⁵. Elle ambitionne d'augmenter ses parts de marché en se spécialisant dans le secteur pharmaceutique. Cette spécialisation est justifiée par deux raisons. La première est que le secteur pharmaceutique est caractérisé par une rentabilité importante. La deuxième est qu'en 2017, des projets d'installation de nouvelles unités de production des produits pharmaceutiques ont été lancés, ce qui représente pour SIPA de nouvelles parts de marché potentielles.

II.3 Environnement Industriel de SIPA

II.3.1 Milieu Industriel

Active sur le marché algérien du carton compact, **SIPA** compte parmi les quatre entreprises qui monopolisent le secteur de l'impression (Le bouquet et El Wouroud : spécialisées dans les produits pharmaceutiques et Nakhla spécialisée dans la fabrication d'étiquettes).

En ce qui concerne SIPA, elle est plus orientée vers la fabrication des étiquettes en papier, des autocollants et des étuis en carton. En 2009, SIPA cible un nouveau segment de clientèle en pénétrant le marché pharmaceutique ce qui a permis l'élargissement de sa gamme de produits aux étuis dédiés au domaine pharmaceutique et aux notices. Elle s'engage dès lors dans une démarche d'amélioration continue afin de répondre aux exigences de ses clients pharmaceutiques, de fidéliser ses clients actuels et d'obtenir de nouveaux clients.

Malgré une croissance exponentielle du marché national du carton compact et un développement sans précédent, l'entreprise fait face à une concurrence importante de la part des imprimeries étrangères. Plusieurs entreprises notamment les multinationales préfèrent s'approvisionner auprès d'imprimeries étrangères. L'absence d'une production locale de papier et carton et le recours des clients à l'importation de ces matières premières rend l'industrie de l'imprimerie encore plus complexe. Pour faire face à cette situation, SIPA se trouve dans l'obligation de satisfaire au mieux les exigences de ses clients en termes de qualité et délais.

II.3.2 Produits de l'entreprise

L'entreprise SIPA satisfait la demande de ses clients en emballages second degré⁶ provenant principalement de trois types d'industries : Agroalimentaire, Pharmaceutique et des détergents, avec des produits diversifiés fabriqués à partir de carton et de papier.



FIGURE II-3 - Catégories des produits de SIPA

⁵Entretien qui a eu lieu le 01/03/2017 de 15h30 à 16h00.

⁶ Second degré : Emballage qui n'est pas en contact direct avec le consommable

Les Produits se présentent comme suit :

- Grandes boites,
- Petites boites,
- Boites de fromage,
- Etiquettes,
- Essais à blanc.

II.4 Industrie du carton compact

Dans cette partie, nous allons expliciter le procédé d'impression Offset utilisé par l'entreprise SIPA et présenter les différents éléments indispensables pour la production.

II.4.1 Impression Offset

L'offset est une amélioration du procédé connu sous le nom de « Lithographie » mis en place en 1976. Le principe de cette impression est basé sur la répulsion de l'encre sur les zones humidifiées et son étalement sur les zones sèches.

L'offset est différent de son ancêtre, la lithographie, de par l'ajout d'un blanchet entre le cylindre porte-plaque et le support.

Le procédé offset est un procédé flexible et souple car il s'adapte à une gamme importante de produits par exemple : presse écrite, publicité et emballage etc... L'impression peut se faire sur différents types de supports (papier et carton ...), le format maximum admis étant de 72*102cm.

Le produit issu du procédé offset se distingue par sa qualité et son coût de production relativement faible. Ainsi, il s'avère rentable pour des tirages avoisinant des centaines de milliers d'exemplaires.

L'offset offre aussi la possibilité de réaliser des amalgames. En d'autres termes, sur une même plaque, il est possible d'imprimer des produits différents à condition que ces produits soient à tirer sur des supports présentant les mêmes caractéristiques (même poids, même type de papier, etc...).

II.4.2 Éléments techniques du procédé Offset

Nous allons expliquer les différents éléments présents dans le procédé Offset.

Rouleaux d'encrage : ensemble de cylindres assurant le transfert de l'encre de l'encrier jusqu'à la plaque d'impression. Ils permettent d'uniformiser l'épaisseur de l'encre à transmettre.

Cylindre porte-plaque : c'est le cylindre qui porte la plaque d'impression qui est en contact avec le blanchet et la solution de mouillage

Le blanchet : C'est un cylindre en caoutchouc qui permet le transfert de l'image de la plaque d'impression vers la feuille.

La solution de mouillage : Elle a pour principales fonctions de protéger les zones non-imprimantes de la plaque et de s'émulsionner dans l'encre. Elle est composée en grande partie

d'eau, d'alcool isopropylique et d'un additif. Les composants de la solution assurent les fonctions suivantes :

Le papier ou carton : C'est un support d'impression. Il doit évidemment recevoir l'encre sur sa surface, l'absorber sans excès pour maintenir un aspect visuel intense et brillant. Sa composition joue un rôle important dans les interactions encre-papier, ce qui va déterminer non seulement la qualité du rendu final de l'impression mais également l'aptitude au désencrage du support.

La figure II.4 illustre le principe de fonctionnement d'un groupe Offset.

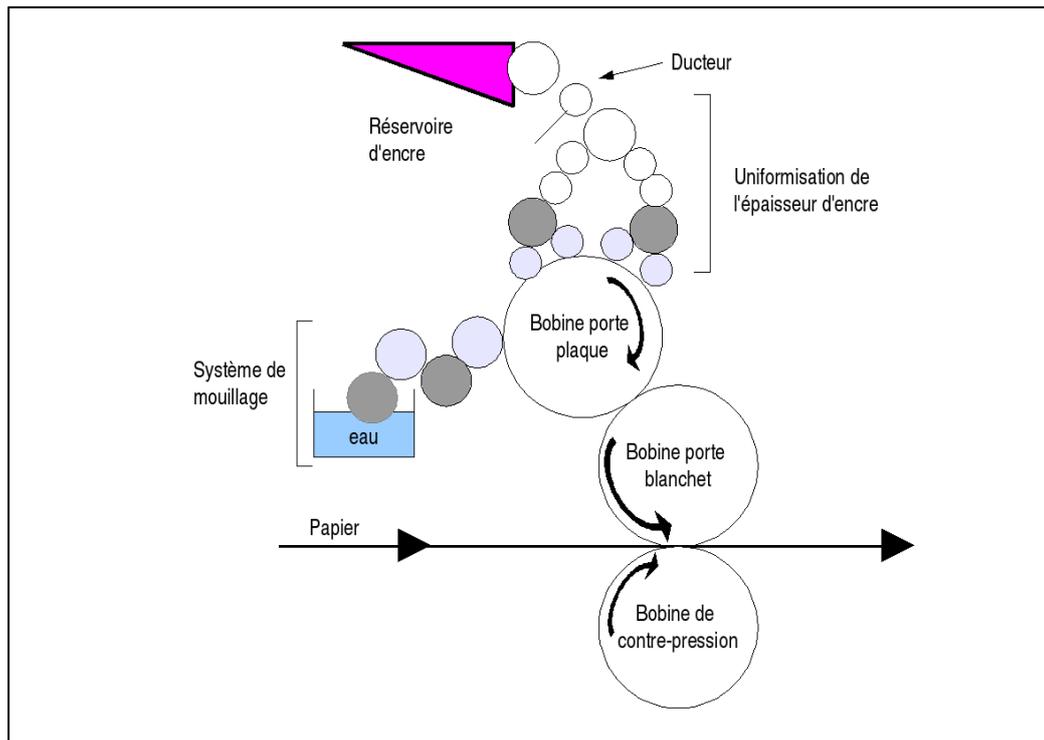


FIGURE II-4 - Schéma du principe d'un groupe Offset

II.4.3 Éléments essentiels de la production de SIPA

L'entreprise produit en utilisant deux matières premières principales ou supports, qui sont le carton et le papier et deux consommables pour l'impression : l'encre et le vernis.

II.4.3.1 Support carton

On distingue plusieurs types de ce support :

- **Blanc bois tout blanc (BBTB) :** c'est du carton d'origine bois, sans fibres recyclées et utilisé généralement pour les produits pharmaceutiques. On trouve plusieurs catégories de ce carton. Chaque catégorie possède ses caractéristiques techniques.
- **Blanc gris (BG) :** c'est du carton recyclé, qu'on utilise pour le produit ou l'aliment sans qu'il soit directement en contact avec ces derniers. Il existe plusieurs catégories de ce carton en fonction de son niveau de recyclage.
- **Polyéthylène (PE) :** c'est un carton blanc gris traité avec du polyéthylène, utilisé généralement pour les détergents.

- **Multicolor belvedere (MCB)** : est un support résistant à la chaleur, utilisé pour les boîtes de fromage rondes.

II.4.3.2 Support papier

Pour ce qui est du papier, on le trouve sous différentes formes :

- **REH** : c'est un papier résistant à l'eau et à l'humidité (REH), utilisé pour produire des étiquettes (pour les bouteilles en verre).
- **Extra Blanc** : est utilisé pour produire des notices.
- **Le couché** : Il est destiné à la production de tous types d'étiquettes.

Afin de distinguer et de choisir le support le plus approprié au produit, l'entreprise se base essentiellement sur quatre caractéristiques :

A) Le grammage :

C'est le poids par unité de surface de la feuille de tirage. L'entreprise utilise les grammages de papier et de carton suivants :

- 58 g/m² à 90 g/m² pour le papier,
- 250 g/m² à 450 g/m² pour le carton.

B) L'épaisseur : Jugée utile surtout pour le carton. Elle varie de 0.4 mm jusqu'à 0.7 mm.

C) La rigidité : Appelée aussi résilience, elle caractérise la résistance du carton aux pliages.

D) Le sens des fibres : Il doit être à l'opposé du sens de la pose de la boîte sur la plaque d'impression, pour assurer l'équilibre de la boîte et empêcher l'écrasement de cette dernière chez le fabriquant.

II.4.3.3 Encre et vernis

Des milliers de couleurs existent et SIPA utilise actuellement plus de 1300 couleurs. Elles peuvent être obtenues à partir de quatre couleurs principales appelées couleurs de sélection à savoir : le Cyan, le Magenta, le Jaune et le Noir, présentés sur la figure II.5.

Pour des raisons de rendement, SIPA utilise les Pantone qui sont produits au préalable par son fournisseur « BRANCHER ».

Le vernis est également approvisionné par le même fournisseur et généralement utilisé pour éviter un maculage et donner une bonne impression, on trouve deux types :

- **Le vernis acrylique** : Il nécessite un groupe d'impression spécifique dans la machine. Il existe deux types : le normal et le résistant à la chaleur, utilisés pour les disques qui

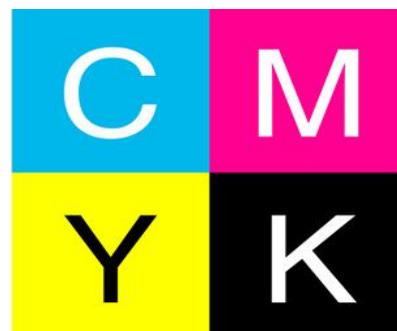


FIGURE II-5 -Couleur de sélection

nécessitent un processus d'emboutissage chez le client pour avoir la forme d'une boîte.

- **Le vernis surimpression** : utilisé dans n'importe quel groupe d'impression d'une machine comme toute autre couleur mais le résultat obtenu est moins brillant.

II.5 Chaîne de valeur de l'entreprise

Dans ce qui suit nous allons décrire les processus faisant partie du périmètre de notre étude, à savoir **la direction commerciale et marketing** et **la direction d'usine**.

II.5.1 Direction Commerciale et Marketing

Ce département représente l'interface permettant l'interaction entre les clients et l'entreprise. Il est constitué de deux services :

- **Back Office** : Ce service est constitué de deux commerciaux dont un chargé des clients clés. L'objectif du Back Office est de proposer les meilleurs services aux clients préalablement acquis afin de les fidéliser davantage.
- **Front Office** : Constitué de deux commerciaux dont un est chargé du « papier, carton » et l'autre exclusivement du secteur pharmaceutique. L'objectif principal de ce service est la prospection de nouveaux clients dans le but de diversifier la gamme de produits de l'entreprise.

Le département commercial, « Back/Front » office, reçoit les commandes des clients qui doivent fournir un bon de commande (BC). Le système d'information existant permet de créer les dossiers de commande (DC). Ses derniers peuvent être approuvés ou rejetés par le **département Finance**.

Le dossier de commande contient les informations sur le client concerné, la quantité, le délai et les caractéristiques techniques du produit à fournir (la matière première (papier, carton.), le type, le grammage, la forme et les dimensions). Ces caractéristiques sont saisies dans le « **Customer Relationship Management(CRM)** » qui est un système d'information dédié exclusivement aux commerciaux.

Dans le cas où le client n'a pas de modèle ou de maquette, le service infographie rattaché à la direction commerciale lui propose un modèle. Si ce dernier est validé, le client sera redirigé vers le département commercial pour poursuivre sa commande.

Dans le cas où le DC est validé, le département finance effectuera les actions suivantes :

- Transfert du DC du CRM au système d'information de l'entreprise « PC-FACTURE »,
- Signature du DC ainsi que la détermination de l'échéancier de paiement,
- Transmission du DC au département planification avec un ordre de priorité.

Les principaux objectifs de ce département consistent à réaliser les objectifs de vente selon les supports et à assurer des prix compétitifs et confortables pour l'entreprise et une stabilité sur toute l'année du plan de charge, qui est le temps nécessaire pour la réalisation de toutes les commandes fermes.

Afin d'assurer un plan de charge confortable pour l'entreprise, le commercial se base essentiellement sur les prévisions, qui sont obtenues à partir :

- Des prévisions de ses clients si elles sont disponibles,
- De l'historique des ventes avec quelques modifications.

Lorsque la commande est réalisée, le département commercial élabore le programme de transport des marchandises aux clients. En cas de réclamation client, l'entreprise reçoit la marchandise non conforme et l'inspecte dans sa totalité. Une fois l'inspection terminée, la marchandise est soit traitée, soit remplacée par un autre tirage.

La figure II.6 récapitule le processus de la direction commerciale et marketing.

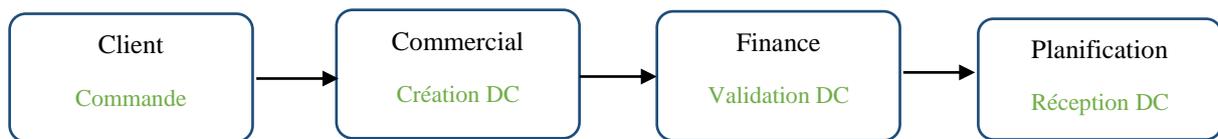


FIGURE II-6 -étapes de création de dossiers de commande

II.5.2 Direction d'usine

La direction d'usine est la partie la plus importante de l'entreprise. Cette direction se compose des services suivants :

- Réalisation : Pré presse, Offset et Finition,
- Pilotage : Planification,
- Support : Contrôle qualité et Maintenance.

Elle est responsable de la réalisation des commandes clients dans les délais exigés tout en optimisant le processus de production que l'on va détailler ci-dessous.

II.5.3 Processus de production

Le processus de production est déclenché dès la réception d'un dossier de commande par le département Planification. Ce dossier est envoyé par le département Commercial et Marketing.

Afin de réaliser les commandes des clients dans les délais et d'assurer un niveau de fonctionnement optimal, la commande client passe par plusieurs étapes. Le processus commence d'abord par la préparation des ordres de fabrication (OF) au niveau du service planification. Il s'agit ensuite de réaliser les plaques qui assurent l'impression Offset pour enfin terminer par le processus de finition où les tirages sont transformés en produits finis conformément aux besoins des clients. La cartographie générale de l'usine présentée dans l'annexe 1 permet la visualisation des flux physiques et informationnels entre les différentes phases de production. Ces dernières peuvent être regroupées et schématisées comme le montre la figure II.7.



FIGURE II-7 - Processus de la production

II.5.3.1 Prépresse

Le prépresse ou pré-impression regroupe l'ensemble des opérations qui précèdent l'impression. Ces diverses opérations consistent à mettre en page et à assembler des documents graphiques afin de produire des plaques d'impression ou autres formes imprimantes qui seront montées sur une presse à imprimer.

Le processus prépresse de l'entreprise, présenté dans l'annexe 2 se présente comme suit : A la réception du dossier de montage et de la maquette, les infographes du service prépresse procèdent à la réalisation du dossier de montage. Cette opération consiste à assembler les différents documents graphiques à l'aide du logiciel Illustrator⁷.

Une fois la vérification et le contrôle de la conformité du dossier de montage avec la maquette réalisés, en utilisant une check-list, le montage obtenu est envoyé par internet ou par support de stockage amovible un sous-traitant qui dispose d'une imageuse à film, afin de réaliser les films, élément crucial dans le développement des plaques d'impression.

Pour réaliser les plaques d'impression, en respectant les normes, le film est superposé sur une plaque métallique revêtue d'une substance chimique sensible aux rayonnements. Par la suite, le film et la plaque sont introduits dans la machine d'insolation appelée « Insoleuse », où ils sont exposés aux rayonnements qui permettent de fixer les surfaces concernées par l'impression sur la plaque.

Pour neutraliser les surfaces non concernées par l'impression, la plaque est introduite dans un développeur, où elle est mouillée à l'aide d'une solution de mouillage (eau, alcool et additifs). Les parties imagées qui ont subi au préalable un traitement, leur conférant la caractéristique d'hydrophobie, repoussent l'eau alors que les surfaces non imagées, traitées pour devenir hydrophiles, restent humidifiées ce qui les rend plus résistantes aux encres à base d'huile utilisées dans ce procédé.

Il est important de signaler qu'il y a autant de plaques que de couleurs présentes sur la maquette.

Une fois les plaques préparées, elles sont transférées à l'atelier Offset. Ces plaques ont une durée de vie qui dépend des caractéristiques du tirage (taille, trame, couleur), ce qui nécessite parfois la réalisation d'autres plaques pour un même tirage.

Pour une éventuelle réutilisation ultérieure, les films sont archivés dans l'armoire du service prépresse selon leurs codes.

⁷ Illustrator : Adobe Illustrator est un logiciel de création graphique vectorielle

II.5.3.2 Offset

Le service Offset représente le premier processus de réalisation des ordres de fabrication conformément au programme journalier élaboré par le service de planification. Les différentes étapes du processus offset, présentées dans l'annexe 3 suivent l'enchaînement suivant :

- **Phase 1** : Avant le lancement de l'impression

Après la récupération du dossier de fabrication et la plaque d'impression, l'opérateur procède à la préparation de la machine. Cette tâche consiste à vérifier la disponibilité de toutes les entrées nécessaires pour l'impression (matière première, BAT⁸, encre, vernis), ainsi que l'état des différents groupes par rapport au dossier de fabrication. Les groupes qui nécessitent un changement de couleur, seront nettoyés et alimentés avec de l'encre. Après le chargement de la machine avec la matière première, le conducteur lance des tests préliminaires pour régler le niveau des couleurs en utilisant un ordinateur. Cette procédure de comparaison avec le BAT continue jusqu'à la conformité du tirage soit assurée.

- **Phase 2** : Après le lancement de l'impression

Une fois la préparation de la machine terminée, l'opérateur spécifie la vitesse et la quantité à tirer et démarre la machine. Un contrôle de la machine (encre, poudre, taquet ...) est périodiquement réalisé tout au long de son fonctionnement jusqu'à l'impression du dernier tirage afin de détecter les anomalies et l'arrêter en cas d'apparition de non-conformités. Lors de la réalisation du DF, l'opérateur remplit la fiche de suivi de la production. Le produit semi fini est acheminé à l'atelier de finition. Les fiches de suivi sont présentées dans l'annexe 4.

II.5.3.3 Finition

Le service chargé de la finition, a pour but essentiel de transformer les produits semi-finis en produits finis selon leurs caractéristiques, le type de support et le dossier de fabrication. Initialement, lorsque le produit sort de l'offset, plusieurs unités ou types de produits se trouvent dans le même tirage. Cette opération consiste à séparer les différentes unités et à donner au produit sa forme finale. Trois opérations principales sont réalisées selon la gamme du produit : la découpe, le décorticage et le pliage/collage. La cartographie du processus finition est détaillée dans l'Annexe 5.

II.5.3.3.1 Découpe

La découpe est une opération réalisée sur une machine, appelée Auto platine. L'entreprise dispose de quatre machines de découpe dont une est appelée cylindre. Pour assurer la continuité de la production, vue l'importance de ce poste, l'entreprise a désigné trois équipes pour chaque machine, qui travaillent selon un programme de 3*8h. Tous les produits en carton fabriqués par SIPA doivent passer par la découpe qui permet de découper la feuille de tirage et de créer le rainage, élément indispensable pour le pliage.

⁸ BAT : bon à tiré

- **Forme Découpe**

Afin de fonctionner, l'Auto-platine ou le Cylindre ont besoin de leur pièce vitale qui est la forme de découpe (FD). Vu la variété des formes des produits, plusieurs FDs doivent être préparées. Pour gagner en efficacité, SIPA a mis en place un service dédié à cette activité, composé de deux ouvriers. Sous la responsabilité du gestionnaire des formes de découpe et en collaboration avec le service planification.

II.5.3.3.2 Décorticage

Etant donné que les machines de découpe ne possèdent pas un mécanisme automatique pour la séparation entre le produit et les chutes, les produits sortent toujours sur une même feuille, après la découpe. Pour effectuer cette opération, SIPA dispose d'un atelier de décorticage. Il est sous la direction du responsable de l'atelier finition. Cette opération est manuelle, ce qui demande un nombre important d'ouvriers pour assurer la fluidité du flux de production et une alimentation continue de l'atelier de collage. Cela dit, certains produits qui ne nécessitent pas de collage sont emballés et expédiés après cette étape, c'est le cas des disques des boîtes de fromage.

II.5.3.3.3 Collage

L'atelier de collage dispose de quatre machines plieuses-colleuses. Une des machines dispose d'un point de colle et les trois autres peuvent assurer d'un à trois points de colle. Cet atelier a un responsable et trois équipes d'opérateurs (dont une ne travaille pas la nuit). A la réception des palettes de produits de l'atelier de décorticage, l'opérateur procède au réglage de la machine selon le format du produit. Ensuite il lance des tests : si les boîtes sont bien pliées et bien collées, il démarre la machine. Cette dernière dispose d'un compteur à laser, qui permet de savoir d'une façon précise le nombre de boîtes réalisées. A la réception, deux opérateurs sont responsables du contrôle et de la palettisation des produits.

L'opérateur veille au remplissage des caisses avec un même nombre de produits afin d'éviter la déformation des boîtes. Une fois la palette chargée, elle est envoyée et stockée manuellement dans le magasin qui est géré par le service Expédition. Ce dernier établit un bon de livraison une fois, qu'il a reçu le feu vert du département finance.

II.5.4 Département Planification

Le processus de planification est l'interface qui se tient entre le commercial et l'usine. C'est un processus clé pour l'entreprise en raison du nombre important des flux « entrants-sortants ». La satisfaction des clients est fortement corrélée avec le bon pilotage de ce processus. Ce service a pour objectif d'assurer un plan de production optimal, maximisant l'exploitation des ressources de production et garantissant la livraison dans les délais exigés par le client. Ainsi, les entrées de ce service sont les commandes des clients qui viennent du service commercial et ses sorties sont les ordres de fabrication et leurs ordonnancements.

La réception et l'annulation des dossiers de commande sont très fréquentes, voir quotidiennes. De ce fait, la planification ne pourrait pas être élaborée sur une longue période. L'ordre de priorité de ces commandes mis à jour quotidiennement, présente une contrainte majeure pour le planificateur. Pour être valides, les dossiers de commande doivent porter les signatures du responsable commercial et du responsable finance et accompagnés des sorties de l'imprimante.

Chapitre II : Présentation de l'entreprise et Problématique

La première étape du processus de planification est l'optimisation des chutes. Elle consiste à déterminer les produits et les nombres de poses à inclure dans la feuille d'impression. Dans le cas de produits différents on parle d'amalgame.

Il est important de préciser que l'amalgame est très utilisé pour le support papier contrairement au carton. Pour le support carton, chaque nouvel amalgame requiert une nouvelle forme de découpe qui est assez chère pour l'entreprise.

Le planificateur vérifie le stock de matières premières disponible en collaborant avec le **Département Approvisionnement** et cherche pour différents formats de support, la disposition et le nombre de produits qui permettent de minimiser les chutes. Cette opération est effectuée sous deux logiciels selon le type de support :

- **Support papier** : À l'aide du logiciel informatique Illustrator
- **Support carton** : Application informatique sous MATLAB⁹ développée en interne.

Lorsque le schéma optimal est réalisé pour les deux types de support, il sera envoyé en tant que « Fiche Montage » au service prépresse pour réaliser le montage. Si le schéma concerne un **support carton**, il sera également envoyé au gestionnaire des formes de découpe du service finition pour réaliser la forme de découpe pour le nouveau montage. S'il s'agit d'un montage précédemment établi, le service ne doit que confirmer la disponibilité de la forme de découpe.

Une fois que :

- La forme de découpe est réalisée ou est disponible et validée par le Contrôle Qualité,
- La disponibilité du support et des consommables est confirmée par le Département Approvisionnement,
- La conformité de la plaque d'impression réalisée par le service prépresse est validée par le Contrôle Qualité.

Le planificateur élabore le dossier de fabrication selon l'ordre de priorité communiqué par le commercial, en incluant les différentes informations sur le support et les couleurs d'encre utilisés. Sur la base de ces dossiers de fabrication, le planificateur réalise des ordres d'approvisionnement appelés « Demande matière » (DM) destinés au service approvisionnement de l'usine pour alimenter l'usine en matières premières.

Selon les caractéristiques des produits précisées dans les dossiers de fabrication et celles des machines, le planificateur réalise un ordonnancement, qui permet une exploitation optimale des machines.

Les différentes données issues du terrain constituent une source indispensable d'informations pour le planificateur. Ces informations sont indispensables pour connaître l'état des ateliers, le niveau de productivité, la progression de la réalisation des commandes et la disponibilité des machines. Ces données sont saisies dans un fichier Excel partagé sur le réseau de l'entreprise. Chaque responsable d'atelier veille à la saisie des données sur l'ordinateur, à partir des fiches de suivi remplies par les opérateurs du terrain.

⁹ Matlab : C'est un langage de programmation de quatrième génération émulé par un environnement de développement du même nom. Il est utilisé à des fins de calcul numérique.

II.6 Etat des lieux et diagnostic de l'entreprise

Dans cette partie de ce chapitre, nous allons présenter les résultats de notre analyse menée au sein de l'usine de production de SIPA. Elle nous a permis de repérer les différents dysfonctionnements, les complexités liées à l'industrie graphique ainsi que les différentes contraintes que le responsable de production doit prendre en compte lors de sa prise de décision. L'analyse effectuée concerne les deux environnements de l'entreprise à savoir : l'environnement externe et l'environnement interne.

II.6.1 Environnement externe

L'entreprise compte plusieurs partenaires : les clients et les fournisseurs.

A) Les Clients : généralement des entreprises locales et multinationales. Ces partenaires sont à la base des contraintes suivantes :

- **Nombre important de clients :** établis sur tout le territoire national et appartenant à plusieurs secteurs d'activité ces clients induisent une forte demande sur le marché du carton compact. La satisfaction de chaque client dans les délais imposés constitue une contrainte pour l'entreprise.
- **Faible maîtrise des prévisions de vente :** les clients de SIPA ne possèdent pas un programme de prévision fiable pour les produits commandés. En effet, parfois le client change sa commande plusieurs fois dans une période réduite ce qui perturbe le plan de charge de l'entreprise et l'oblige à le changer plusieurs fois par jour. L'anticipation des commandes est impossible, par conséquent la mise en place d'un MRP II¹⁰ n'est pas envisageable.
- **Pouvoir de négociation important des clients :** les clients du secteur pharmaceutique essentiellement des multinationales, ont un poids important sur le marché par rapport à leurs fournisseurs locaux. Afin de ne pas perdre ces clients qui représentent un chiffre d'affaire important, l'entreprise ne possède pas de marges de négociation en termes de délais.
- **Fort impact des promotions clients :** Pour certains clients qui lancent des promotions pour leurs produits, ils commandent de grandes quantités dans un délai très court. L'entreprise est contrainte de satisfaire la commande dans les meilleurs délais. Cette situation perturbe et sature le plan de charge de l'atelier de production.
- **Exigence élevée du secteur pharmaceutique :** Le secteur pharmaceutique est un marché très important pour l'entreprise. SIPA se doit de satisfaire les exigences strictes concernant les boîtes médicales en termes de qualité, afin de fidéliser ses clients.
- **Contrainte du secteur pharmaceutique :** Il est caractérisé par une faible taille de tirages (15000 tirages en moyenne). Les commandes de ce secteur sont très variées en termes de gammes de produits, mais la taille des tirages est faible. Ceci induit une augmentation du nombre de changements de séries et réduit le rendement de la machine.

¹⁰ MRP II (Manufacturing Resource Planning) : établit le plan de production sur la base de prévisions

B) Les fournisseurs : les contraintes majeures de l'approvisionnement de l'entreprise sont :

- **Absence de producteurs locaux :** le marché algérien du carton compact ne compte aucun producteur de supports. Les entreprises procèdent alors à l'importation du papier de l'étranger.
- **Délais de livraison importants :** la localisation des fournisseurs à l'étranger et l'intégration des prestataires logistiques augmente considérablement la durée de transport (en moyenne 3 mois).
- **Faible pouvoir de négociation par rapport à son fournisseur :** SIPA n'est pas un client important par rapport à ses fournisseurs vu qu'elle ne représente qu'une faible part de marché pour ces derniers.
- **Multitude de fournisseurs et grande variété de MP :** le grand nombre de fournisseurs sur le marché mondial du papier et la grande variété de supports en termes de types et de qualité rendent la tâche du choix du fournisseur difficile.

C) Concurrents et environnement économique : l'entreprise est face à une concurrence rude de la part des entreprises locales et étrangères et son environnement économique est caractérisé par :

- L'entreprise fait face à une concurrence étrangère en termes de qualité. Toutefois, SIPA propose des prix compétitifs et beaucoup plus bas que ceux des concurrents.
- L'entreprise doit maîtriser à long terme ses coûts d'un point de vue temps de production et optimisation des déchets (les macules¹¹ représentent 30% de ses pertes) afin d'être toujours leader sur le marché.
- Le point fort de l'entreprise par rapport à ses concurrents est que ses délais de livraison sont assez courts.
- SIPA a adopté une bonne démarche par rapport à son environnement externe, cela se traduit par les procédures d'acquisition de nouveaux clients ou de fidélisation des clients actuels (création d'un CRM). Cette démarche a engendré une amélioration du taux de croissance de 25% en 2016 à 35% en 2017.
En dépit de cet accroissement, les deux ateliers en aval ne travaillent toujours pas à plein temps.

II.6.2 Environnement interne

Dans cette partie nous allons nous concentrer sur les trois services essentiels de SIPA à savoir : le service commercial, la planification et l'atelier de production.

A) Service commercial : le service commercial est chargé de la prospection et la validation des clients. Les dysfonctionnements constatés dans ce service sont :

¹¹Macules : Premières feuilles non-conformes au début d'un tirage

Chapitre II : Présentation de l'entreprise et Problématique

- **Grande variété de produits** : la flexibilité de SIPA due à la diversification de ses produits lui donne un avantage concurrentiel. Cependant, la gestion d'une gamme importante de produits entraîne souvent des coûts importants pour l'entreprise et l'oblige à travailler sous pression et à mal gérer ses ressources.
 - **Faible fiabilité des prévisions** : La mauvaise qualité des prévisions de SIPA est due à son environnement industriel très incertain. En effet, les prévisions de vente que reçoit l'entreprise de la part de ses clients clés changent fréquemment. Cette contrainte l'oblige à s'orienter vers une production à la commande due à son faible pouvoir par rapport à ses clients.
 - **Ordre de priorité non-normalisé** : comme nous l'avons mentionné précédemment, SIPA compte un effectif de quatre commerciaux qui travaillent de manière peu-coordonnée. En effet, chaque commercial établit un ordre de priorité des commandes qu'il a reçues. Il est important de préciser qu'aucun ordre de priorité en commun n'est établi avant l'envoi des commandes à la planification.
 - **Faible connaissance des détails techniques et des contraintes de l'usine** : Au moment de la négociation d'une nouvelle commande entre le commercial et le client, ce dernier peut exprimer un besoin que l'entreprise ne peut réaliser. Mais c'est seulement au moment où la commande arrive à la direction de l'usine que sa non-faisabilité est signalée.
 - **Délais de livraison non-maitrisés** : Le service n'a pas connaissance du planning de production de l'usine. Lorsqu'il reçoit une nouvelle commande, il ne peut pas estimer son délai de livraison optimal et ne tiendra donc pas compte du planning de production déjà établi, ce qui laisse au client la liberté d'imposer son délai.
- B) Planification** : la planification est chargée de la réalisation, du suivi des dossiers de fabrication et de l'établissement de l'ordonnancement des produits. Les dysfonctionnements constatés dans la planification sont :
- **Complexité et multitude de paramètres techniques définissant un produit** : la fabrication d'un produit nécessite plusieurs inputs : flashage, FD et plaques d'impression. Ces entrées sont spécifiques pour chaque produit. Le planificateur doit alors fournir les OFs en vérifiant que chaque information relative au produit est correcte.
 - **Faible ergonomie du système d'information** : Le système d'information opérant au sein de l'entreprise est peu flexible (utilisation d'un système standard basé sur Excel) et donne lieu à plusieurs défaillances lors de la saisie et du traitement des données.
 - **Existence de deux systèmes d'information** : L'entreprise travaille avec deux systèmes d'information décentralisés : un dédié à la saisie et aux transactions des données (système transactionnel) et l'autre concerne la prise de décisions (système

décisionnel). L'absence d'une base de données centralisée et normalisée est aussi constatée.

Ce problème engendre plusieurs défaillances lors de la saisie ou du traitement des données. On relève aussi une hétérogénéité des nomenclatures utilisées pour les données. Dans ces circonstances, le traitement des données d'une manière scientifique est très difficile.

- **Faible connaissance des en-cours usine et manque de visibilité :** Le système ne permet pas une visibilité concernant l'état de l'atelier en temps réel. Il ne peut pas donc aider à définir les capacités de l'entreprise à un moment donné.
- **Absence de délais de livraison fiables :** la planification ne peut pas fournir des dates précises concernant les délais de livraison de ses produits. C'est pourquoi, elle ne peut pas prétendre à l'optimisation de la performance globale de l'usine. Les délais sont estimés d'une manière intuitive selon l'expérience du planificateur.
- **Temps de préparation de l'OF¹² et de l'OA¹³ importants :** À cause des différentes procédures telles que la vérification de la disponibilité de la matière première et des éléments entrant dans le processus de l'impression, le temps nécessaire pour préparer un OF est important (environ une heure). Ces délais impactent sur la réactivité et l'efficacité de l'entreprise.
- **Absence de critères fiables lors de la prise de décision :** Le système décisionnel de la planification est basé sur l'analyse du responsable et sa concertation avec les différents responsables d'ateliers. Les critères lors de la prise de décisions sont essentiellement basés sur l'expérience et l'intuition du manager, aucune méthode scientifique n'est suivie (Management intuitif).
- **OF urgents très fréquents :** certains dossiers de fabrication sont caractérisés par leur urgence, ce qui contraint le planificateur à changer le planning de production afin de faire passer l'OF urgent.

C) Production : Elle est responsable de la réalisation des ordres de fabrication établis par la planification. Les dysfonctionnements constatés dans ce service sont :

- **Typologie du système de production :** SIPA a démarré son activité avec une seule machine en 1996. Cependant, à chaque acquisition d'un nouvel outil de production, il n'y a pas eu d'étude concernant une implantation optimale. Aujourd'hui, elle compte un parc de 25 machines implantées en Flow-Shop Hybride générant des flux complexes.
- **Faible durée de vie des plaques d'impression :** Au cours des longs tirages, la plaque d'impression peut se détériorer avant que le tirage ne soit terminé. L'opérateur doit alors alerter le service prépresse afin de lui préparer une autre plaque. Cette opération

¹² OF : Ordre de fabrication

¹³ OA : Ordre d'approvisionnement

engendre un temps d'arrêt assez important (environ 15 % des micro arrêts) présenté sur la figure II.12.

- **Personnel peu qualifié** : L'industrie graphique exige une qualification préalable. A SIPA, le taux de personnel diplômé ne dépasse pas les 20%.
- **Temps de changement de série important** : contrainte majeure de l'usine, elle affecte sa flexibilité et sa performance. La figure II.8 illustre un exemple de l'impact du temps de changement de série sur le temps de production d'une commande de 5000 tirages sur l'offset. De cette figure, on remarque que le temps de changement de série représente 200% du temps de production.

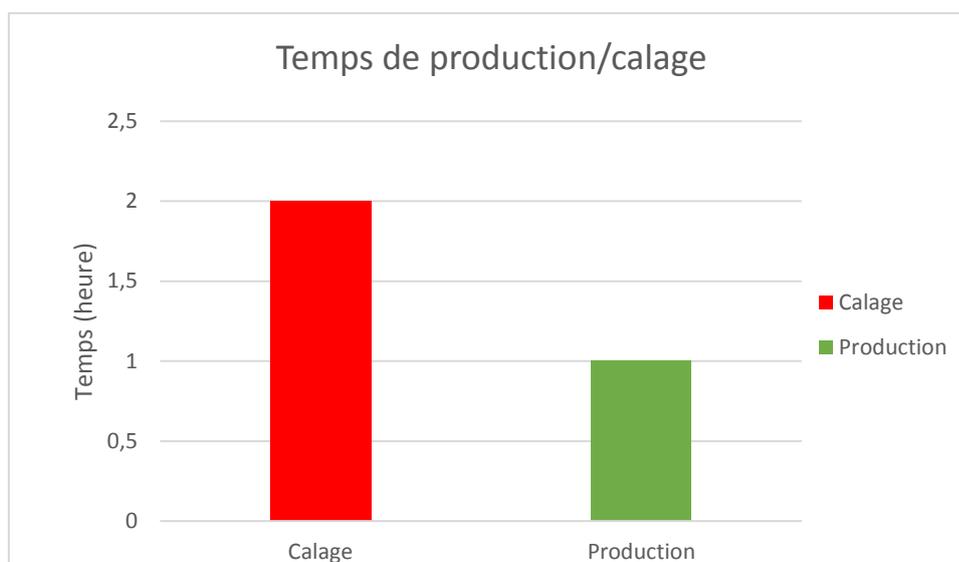


FIGURE II-8 -Temps de production/changement de série. Offset

En vu de sa complexité, le changement de série au niveau de l'atelier d'impression engendre une consommation excessive des consommables (encres, vernis, essence,...) et des matières premières. Par ailleurs, en raison de sa durée importante, des recours à des heures supplémentaires sont constamment demandées.

La figure II.9 illustre un autre exemple sur le temps de changement de série d'un tirage d'une boîte pharmaceutique de 5000T à 20 poses¹⁴ dans l'atelier découpe.

¹⁴Pose : Un ou plusieurs exemplaires imprimés simultanément sur la même feuille.

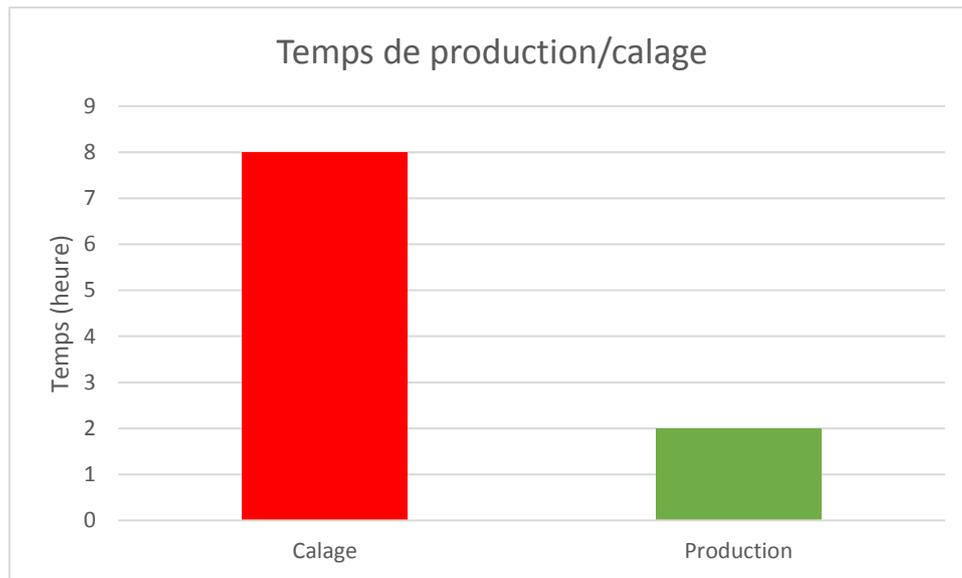


FIGURE II-9 -Temps de production/calage. Découpe

Ce type d'OF est assez fréquent et on constate clairement que le temps de changement de série représente 400% du temps de production.

- **Dépendance du processus de plusieurs sous-traitants externes** : le processus de production compte des activités techniques qui ne sont pas assurées par l'entreprise (flashage, FD, gaufrage, braille). En effet, ces dernières sont externalisées et sont alors assurées par des sous-traitants qui, suite aux aléas externes, peuvent affecter la performance de l'entreprise.
- **La prime de rendement ne reflète pas la performance des opérateurs** : Le rendement par opérateur est obtenu par le rapport entre la quantité produite et l'objectif fixé au préalable. Cependant, dans cette entreprise, dans la plupart des cas, ce calcul ne reflète pas vraiment le rendement des ouvriers pour des considérations qui échappent à ces derniers (exemple : couleur difficile à réaliser et qui nécessite parfois tout le temps du shift pour être obtenue).
- **Impact des nouveaux produits** : La stratégie de SIPA s'est orientée vers une diversification de ses produits dans le secteur pharmaceutique. Cette diversification a engendré un nombre important de nouveaux produits. Avant de lancer la production d'un nouveau produit, un essai à blanc¹⁵ est nécessaire à sa validation. Cette procédure prend un temps important (environ 4 heures).
- **Work in process très élevé** : La fluctuation de la taille des encours est très importante. Elle varie entre 0 et 20 jours de production pour l'atelier goulot¹⁶. Cette situation génère des temps de livraison importants.
- **Vieillesse des machines** : Avec une moyenne d'âge dépassant les 10 ans pour plusieurs machines, des imprévus et des pannes perturbent considérablement le planning de la production.

¹⁵ Essai à blanc : réalisation des boîtes sans impression

¹⁶ Atelier goulot : C'est l'atelier qui détermine les flux de sortie

- **Objectifs de l'usine non identifiés :** L'usine n'a pas connaissance de ses vrais leviers de performance, et se concentre uniquement sur la réalisation d'un volume de production sans prise en considération des moyens et ressources nécessaires.
- **Absence de plans d'action pour la réduction des temps d'arrêt :** Les temps d'arrêt sont classés en deux catégories : les arrêts déclarés et les arrêts non déclarés.
- **Les arrêts déclarés :** Ce sont les arrêts qui sont saisis sur les fiches de suivi. Ils représentent mensuellement une durée moyenne de 10 jours de production ce qui représente 38% du temps global. La figure 2.10 illustre les arrêts déclarés du mois d'Avril 2017.

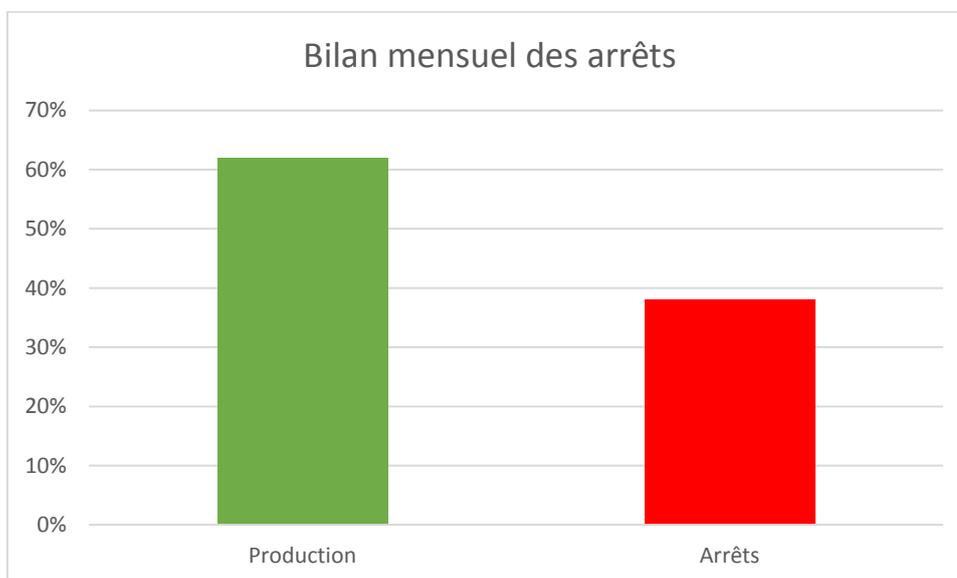


FIGURE II-10 -Bilan mensuel des arrêts du mois d'Avril 2017

- **Les arrêts non-déclarés :** Ce sont les arrêts qui ne sont pas saisis sur les fiches de suivi. Ces arrêts sont de courtes durées, de l'ordre de 10 minutes, mais de fréquence très importante. Afin d'identifier l'impact des micro-arrêts sur la performance, nous avons procédé à la visualisation des vidéos de surveillance. Ces dernier nous ont permis de suivre 17 heures de production et d'enregistrer la durée de chaque micro-arrêt et de son motif. Les résultats obtenus sont décrits sur la figure II.11 et II.12.

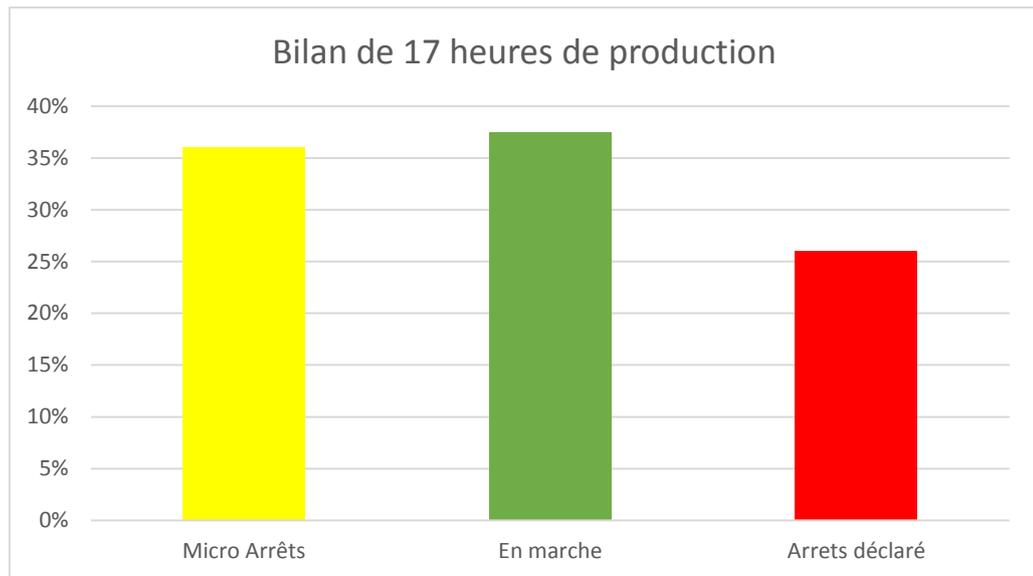


FIGURE II-11 -Bilan de 17 heures de production

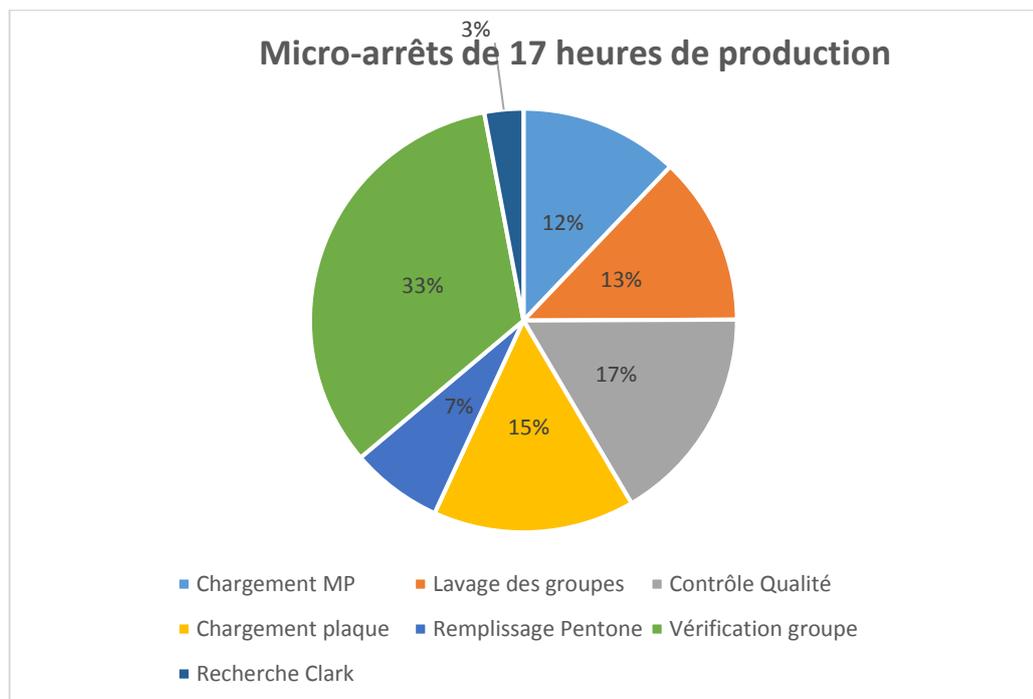


FIGURE II-12 -Micro-arrêts de 17 heures de production

Nous pouvons constater que les micros-arrêts ont un impact significatif sur la performance de l'usine. En effet, 35% du temps de production est perdu et non reporté sur les fiches.

A l'issue de ce que nous avons présenté, on constate que les arrêts ont un impact important sur le temps de production et donc sur la performance de l'entreprise. Cependant, il est à constater qu'aucune démarche de réduction des temps des arrêts n'est prévue.

II.6.3 Dysfonctionnements majeurs de l'entreprise

Bien que les anomalies précédemment énoncées soient différents et localisés dans plusieurs départements, une corrélation entre ces dysfonctionnements peut exister. Agir sur un dysfonctionnement majeur peut mettre un terme à des dysfonctionnements mineurs dans le même service ou dans des services différents. Ainsi, en concertation avec les responsables¹⁷, nous avons jugé utile de traiter en priorité les défaillances majeures. Le tableau II.1 synthétise ces dysfonctionnements en mettant en avant les départements concernés et les impacts sur les systèmes de l'entreprise.

TABLEAU II-1 -Dysfonctionnements majeurs de l'entreprise

Anomalies	Départements concernés	Conséquences
Système d'information défaillant (Saisie, traitement...)	Planification Production	Système de pilotage défaillant
Absence d'indicateurs de performance fiables	Planification	
Manque de visibilité (Production, Arrêts, etc....)	Planification Production	
Méconnaissance des leviers de performance	Planification Direction générale	
Prime de rendement ne traduit pas la performance des opérateurs	Planification	
Temps de changement de série important	Planification Production	Système d'ordonnancement non-maitrisé
Temps de préparation des OFs important	Planification	
Faible maîtrise des prévisions de vente	Commercial	
Ordre de priorité non-normalisé	Commercial	
Délais de livraison non-maîtrisés	Commercial Planification	
Situations urgentes très fréquentes et management intuitif	Planification	
Non-déclaration des arrêts machine	Production Planification	Système Organisationnel défaillant
Résistance aux changements	Production Planification	
Personnel peu qualifié	Production Planification	
Tâches répétitives	Production Planification	
Faible engagement du personnel dans l'entreprise	Production Planification	
Faible connaissance des détails techniques	Commercial	

¹⁷ Responsables : Planificateur, responsable Commercial, responsable production.

II.7 Enoncé de la problématique

Compte tenu de sa stratégie précédemment évoquée dans la première partie de ce chapitre, la réflexion de SIPA porte de plus en plus sur l'optimisation de ses capacités de production qui peut être obtenue par la réduction et la maîtrise des anomalies présentes dans ses processus clés. À partir des dysfonctionnements précédemment énoncés dans le tableau II.1, et suite à des entretiens avec les responsables de l'usine, nous pouvons constater que :

- Ces dysfonctionnements représentent le frein majeur pour l'entreprise, l'empêchant d'améliorer sa performance et de se démarquer par rapport à ses concurrents.
- Ces dysfonctionnements sont souvent reliés au service planification.

À l'issue de ce qui a été présenté, nous pouvons conclure que la planification est le processus influençant le plus sur le rendement de l'entreprise lui empêchant d'aller vers de meilleures performances. Les dysfonctionnements localisés au niveau de ce service génèrent un manque de flexibilité et d'efficacité lui empêchant d'optimiser sa prise de décision, ce qui impacte considérablement sur le rendement de l'entreprise.

Par conséquent, afin d'optimiser les ressources de production, l'établissement d'un système d'aide à la décision assurant un degré de flexibilité dans les activités clés de la planification s'avère primordial. Cette flexibilité permettra d'optimiser la prise de décision du planificateur qui va systématiquement améliorer la performance globale de l'entreprise, et par conséquent, assurer la pérennité de l'entreprise.

II.8 Délimitation du périmètre

L'entreprise fabrique ses produits avec deux types de supports : Support carton et support papier. La problématique énoncée précédemment est essentiellement rencontrée dans le processus de production qui fait appel au support carton. De plus, les ressources utilisées pour la production des emballages en carton sont indépendantes de celles utilisées pour les produits en papier. De ce fait, notre étude va porter sur les emballages en carton.

De plus, à partir d'une analyse des capacités, nous avons constaté que l'atelier offset constitue un goulot d'étranglement pour la production. Par conséquent, nous allons orienter notre étude vers cet atelier qui conditionne les flux de sortie du système.

II.9 Axes d'amélioration

À partir de la problématique énoncée et des dysfonctionnements majeurs présentés dans le tableau II.1, nous avons pu détecter trois axes d'amélioration principaux. Suivre ces pistes d'amélioration permettra à l'entreprise d'atteindre des niveaux de performance, lui assurant une meilleure position par rapport à ses concurrents. Les axes d'amélioration sont présentés ci-dessous :

- **Axe 1 : Amélioration du système de pilotage**

Le système d'information actuellement utilisé ne permet pas à l'entreprise d'assurer une bonne gestion de sa production. En effet, il présente de nombreuses défaillances présentées dans le tableau II.1. Agir sur ces dernières permettra aux différents responsables d'avoir une meilleure visibilité de l'état des lieux, et de cerner les différentes variables exogènes qui expliquent la performance et de guider leur prise de décision aussi bien à court terme qu'à long terme afin d'éviter des pertes inutiles (exemple : ne pas s'orienter vers un fournisseur de matière première ayant un support qui n'est pas rentable pour l'entreprise).

- **Axe 2 : Amélioration du système d'ordonnancement**

Le manque de coordination entre le planificateur et le commercial est généré principalement par le manque de flexibilité du planificateur d'une part, et la non-maîtrise des clients par le commercial d'autre part. Etant donné que SIPA a un faible pouvoir vis-à-vis de ses clients, elle ne peut refuser ou négocier une commande client surtout si ce dernier est important. Cette situation engendre une pression considérable sur le planificateur qui doit changer son planning de production en fonction du nouveau panel de produits afin d'assurer un équilibre entre la performance de l'usine et le respect des délais de livraison.

Cette procédure exige un temps important. Elle se complique davantage avec l'augmentation du panel de produits qui engendre un impact négatif sur la motivation du personnel et notamment les opérateurs. Dans cette situation, un outil d'optimisation de l'ordonnancement **en temps réel** s'avère primordial. Il permettra au planificateur de gagner en flexibilité, d'améliorer la gestion du poste goulot, de faire gagner un temps précieux à la planification et de faciliter la tâche aux opérateurs. Cet outil permettra systématiquement l'amélioration de la coordination entre le planificateur et le commercial.

- **Axe 3 : Amélioration du système organisationnel**

Plusieurs dysfonctionnements constatés relèvent du système organisationnel. La non maîtrise de ce dernier peut impacter considérablement la performance de l'entreprise. Intervenir sur les méthodes de travail, l'ergonomie des postes, la formation du personnel et son engagement envers la société constitue un axe d'amélioration très important. Pour traiter ces dysfonctionnements, l'entreprise peut s'orienter d'abord vers la formation et la sensibilisation du personnel, ensuite vers l'adoption de l'approche processus, et finir par la mise en place des pratiques du Lean¹⁸(5S¹⁹, Poka-Yoke²⁰, etc....).

¹⁸ Lean : théorie de la gestion de production qui se concentre sur la « gestion sans gaspillages ».

¹⁹5S : pratique visant l'amélioration continue des tâches effectuées dans les entreprises

²⁰Poka-Yoke : dispositif permettant d'éviter les erreurs d'assemblage, de montage ou de branchement.

II.10 Choix des axes d'amélioration

Ces trois axes ne peuvent être traités simultanément. Par conséquent, nous avons jugé bon de retenir les deux premiers axes pour les raisons suivantes :

- L'absence d'un tableau de bord qui permet de mesurer la performance de l'usine (axe 1), ainsi de juger l'impact des projets d'amélioration sur l'usine (axe 2).
- Le développement d'un tableau de bord ergonomique permettant de synthétiser le déroulement de la production est un besoin majeur pour l'entreprise (axe 1)
- La connaissance et la validation des leviers de performance ne peut se faire qu'à travers un outil de confirmation préalablement établis (axe 1)
- La maîtrise des états urgences est l'une des préoccupations majeures de l'entreprise, le développement du système (axe 1 & axe 2) lui permettra d'améliorer sa flexibilité et sa réactivité vis-à-vis de ces états.
- Le temps de changement de série précédemment expliqué représente un handicap majeur pour l'entreprise. La mise en œuvre d'algorithmes de réduction de ce temps contraignant lui permettra de diminuer l'impact de cette contrainte (axe 2)
- Gain de temps : Optimiser sa prise de décision exige un temps dont le planificateur n'en dispose pas en vue des dysfonctionnements précédemment énoncés. Automatiser une de ses principales fonctions par le biais d'une application informatique lui permettra de gérer au mieux ses ressources (axe 2).
- Contrainte de temps : l'amélioration du système organisationnel est une démarche qui requiert un temps plus grand que le temps qui est alloué au projet de fin d'études.

II.11 Conclusion

À travers ce chapitre, nous avons présenté dans un premier temps l'entreprise SIPA ainsi que ses activités et le contexte dans lequel elle évolue. Ensuite, nous avons décrit sa chaîne de valeur allant du département commercial jusqu'à la direction d'usine en expliquant brièvement le processus de production. La prise en compte de la stratégie de l'entreprise et des résultats du diagnostic réalisé nous ont permis enfin de bien cerner notre problématique et d'identifier les axes d'amélioration potentiels.

Le prochain chapitre sera consacré à l'amélioration de la performance de l'entreprise relatif à l'axe 1.

Chapitre III : Amélioration du système de pilotage

III.1 Introduction

Après avoir mené notre étude sur le système de production de l'entreprise dans le but de déterminer des éventuelles sources de dysfonctionnement et de proposer des solutions d'amélioration, nous abordons ici l'étape suivante qui consiste à concevoir, développer et mettre en œuvre les solutions proposées. Dans ce chapitre, nous allons présenter la solution relative au premier axe d'amélioration déjà énoncé. Elle consiste à concevoir et à mettre en œuvre un nouveau système de suivi et d'aide à la décision dans l'atelier goulot.

La mise en place de notre solution est réalisée en deux étapes. La première étape consiste à mettre en œuvre un tableau de bord de pilotage pour l'atelier goulot assurant un suivi rapide et efficace. Une base de données est développée afin d'assurer l'intégrité et la fiabilité des données. La deuxième étape consiste à analyser les données afin d'identifier les leviers de performance permettant d'améliorer les futures prises de décision.

Dans ce chapitre, nous allons dans un premier temps décrire les étapes permettant le développement d'un tableau de bord. Dans un second temps, nous allons procéder à une analyse des données pour l'identification des leviers de performance.

III.2 Démarche de réalisation du tableau de bord

Le tableau de bord est réalisé et mis en place à travers une application informatique. Pour cela, nous avons suivi les étapes de développement d'une application, décrites dans le chapitre I, à savoir :

- Définition de l'objectif du système,
- Expression du besoin,
- Conception,
- Programmation unitaire.

III.2.1 Objectifs du tableau de bord

Cette phase initiale donne une description et une évaluation globale des besoins que le tableau de bord est censé satisfaire.

Après plusieurs concertations avec le responsable de la planification, le besoin d'un système de suivi de l'atelier a été explicité. Les objectifs du système proposé ont été arrêtés et sont présentés ci-dessous :

- La qualité du système proposé doit être satisfaisante en termes de fonctionnalité et d'ergonomie,
- Le système doit être flexible, permettant l'extraction de données du système d'information utilisé dans l'entreprise.
- Le système doit intégrer plusieurs fonctionnalités.
- Le système doit être fiable en termes de disponibilité et d'intégrité des données.

III.2.2 Identification du besoin

Cette étape consiste à identifier les différents acteurs susceptibles d'utiliser le système, les fonctionnalités de ce dernier ainsi que les indicateurs de performance nécessaires. La méthode la plus adaptée à notre étude est l'analyse fonctionnelle. Elle consiste à décrire le rôle et le

fonctionnement du système ainsi que les différentes spécifications auxquelles il va devoir répondre. Ceci se traduit par la réponse aux trois questions suivantes :

- Pourquoi et pour qui le produit va-t-il être conçu ?
- Quels sont les liens existant entre le produit et son environnement ?
- Quelles solutions techniques ont été retenues pour réaliser le produit ?

La réponse à la première question consiste à identifier l'ensemble des acteurs concernés par le système et à identifier leurs besoins. La réponse à la deuxième question consiste à identifier les fonctions du système, qui découlent de ses liens avec son environnement. La réponse à la troisième question consiste à décrire les techniques utilisées pour la réalisation du système.

III.2.2.1 Capture du besoin

Cette étape consiste à identifier les différents utilisateurs, leurs besoins fonctionnels et leurs liens avec le système.

A) Identification des acteurs du système petite phrase

Les acteurs susceptibles de faire appel au système sont les suivants :

- Directeur de l'usine,
- Planificateur,
- Agent de saisie,
- Chef d'équipe.

B) Identification du besoin

Le diagramme des prestations (aussi appelé bête à cornes) est un outil d'identification des besoins utilisé dans l'analyse fonctionnelle. Cet outil repose sur la réponse aux trois questions fondamentales suivantes dont leurs réponses sont présentées sur la figure III.1.

- A qui le produit rend-il service ?
- Sur quoi le produit agit-il ?
- Dans quel but le produit a-t-il été inventé ?

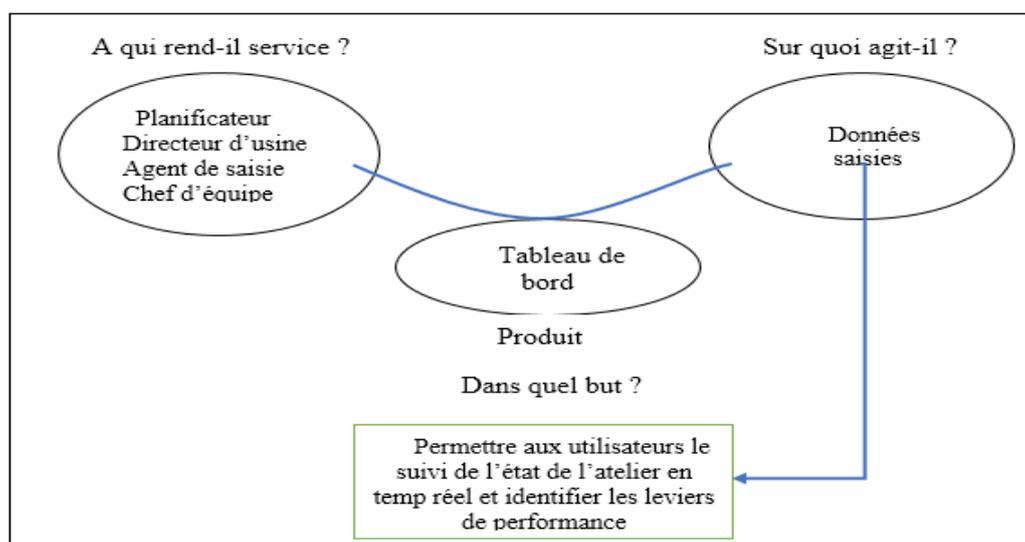


FIGURE III-1- Diagramme « bête à cornes » du tableau de bord

Après concertation avec les responsables de l'usine, nous avons pu recenser les différentes spécifications auxquelles le système à développer doit répondre. Ces spécifications se présentent comme suit :

Spécifications fonctionnelles

- Le système doit permettre la lecture et la transformation des données du système d'information de l'entreprise en temps réel,
- Le système doit présenter l'état de l'atelier,
- Le système doit mesurer la performance de l'atelier,
- Le système doit permettre de stocker les données pour mener d'éventuelles analyses,
- Le système doit être flexible en intégrant les différents paramètres caractérisant un tirage,
- Le système doit être ergonomique pour faciliter son utilisation par les différents acteurs concernés,
- Le système doit visualiser l'impact des décisions prises par les responsables sur la performance.

Spécifications non fonctionnelles

- Le système doit faire appel à une technologie disponible et maîtrisée dans l'entreprise,
- Le système doit être fiable en termes de transaction de données.

C) Inventaire des fonctions

Après avoir analysé les différents besoins du système proposé, nous allons maintenant identifier les fonctions assurées par le système en tenant compte des liens existant entre ce dernier et son environnement.

Le diagramme de la pieuvre est un outil qui va nous permettre de représenter les fonctions assurées par le système et leurs relations avec les éléments de l'environnement extérieur. Les fonctions représentées sur la figure III.2 sont de deux types :

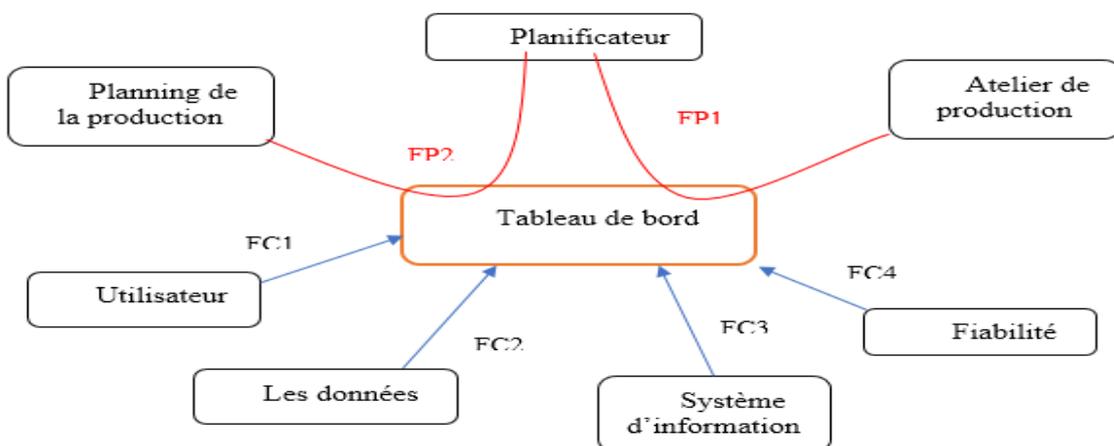


FIGURE III-2 -Diagramme de la pieuvre

Fonctions principales : Qui justifient la création du système et qui mettent en relation deux composantes du milieu extérieur par l'intermédiaire du produit. On les note FP.

Fonctions Complémentaires : Qui permettent de faciliter ou de compléter le service rendu. Cela revient à identifier les relations entre l'objet et un élément du milieu extérieur. On les note FC.

Les fonctions principales du système s'énoncent comme suit :

- FP1 : Permettre aux planificateur (dirigeant) de suivre l'état de l'atelier.
- FP2 : Aider le planificateur dans la prise de décision lors de la réalisation des plannings de production.

Les fonctions complémentaires sont :

- FC1 : Faciliter l'interprétation des résultats.
- FC2 : Permettre la sélection de plusieurs paramètres d'analyse.
- FC3 : Permettre la transaction des données du SI de l'entreprise.
- FC5 : Assurer la fiabilité des résultats fournis.

III.2.2.2 Les Indicateurs de performance choisis

Après avoir identifié les fonctions principales ainsi que les fonctions complémentaires de notre tableau de bord, nous arrivons maintenant à l'étape du choix des indicateurs de performance. Ces derniers ont été judicieusement choisis en fonction des besoins et des objectifs des personnes concernées par l'utilisation de cet outil.

Les indicateurs choisis sont présentés dans le tableau III.1.

TABLEAU III-1- les Indicateurs de performances choisis

Indicateurs	Définition	Donnée requise
Taux de performance (Tp)	La performance de l'équipement par rapport à la performance nominale donnée par le fabricant	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre d'unités produites - Temps de production - Vitesse nominale de la machine
Taux de qualité (Tq)	Le nombre d'unités conformes par rapport au nombre total d'unités	Fixé à 97%
Taux de disponibilité (Td)	Le temps de production net par rapport au temps planifié de la production	Fixé à 90 %
TRS	Taux de rendement synthétique : $Tp \times Tq \times Td$	<ul style="list-style-type: none"> - Tp - Tq - Td
Statut du Shift	Le déroulement de la production d'une équipe à une date donnée.	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre d'unités produites - Temps de production - Equipe / Shift

		- Dates
Nombre d'arrêts	Le nombre d'arrêts par équipe, machine, date ainsi que leurs durées à une date donnée	- Arrêts saisis - Dates - Equipes

La mesure de la productivité qui est l'une des principales fonctions de notre tableau de bord doit fournir des résultats fiables et précis. Pour cela, nous avons choisi le taux de rendement synthétique vu qu'il est l'indicateur le plus utilisé, le plus pertinent et certainement le plus répandu pour ce type de besoin.

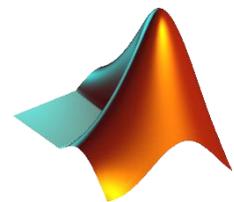
Faute de données en temps réel, nous ne pouvons pas calculer les taux de disponibilité et de qualité. Selon les responsables, ces taux ne posent pas de problèmes et dépassent les 90%, contrairement à la performance qui ne dépasse pas les 50% et qui a par conséquent un impact important sur le TRS de l'entreprise. Pour le calcul du TRS, nous avons fixé le taux de qualité à 97% et le taux de disponibilité à 90%.

III.2.3 Solutions techniques retenues

Après avoir identifié l'ensemble des indicateurs de performance de notre tableau de bord, et après concertation avec le sous-directeur de l'usine, nous sommes arrivés à retenir la solution technique suivante qui est logiciel de programmation et de calcul **Matlab**.

Le choix de MATLAB comme support technique pour le développement de notre application est justifié par ce qui suit :

- La planification travaille avec une application développée sous Matlab. Les données importantes de ce service sont enregistrées sous un fichier «.mat». Cela facilitera la lecture des données et réduira le nombre d'interfaces de saisie de notre système.
- Les fonctionnalités de notre système sont réalisées à travers des algorithmes de calcul qu'un SGBD classique ne peut satisfaire cette contrainte.
- La puissance du logiciel réside dans sa grande flexibilité. L'ajout de fonctionnalités supplémentaires au cours de notre projet a été possible.
- L'ergonomie est l'une des objectifs de notre application, les interfaces graphiques développées sous Matlab ont permis de satisfaire à cette exigence.
- Matlab dispose d'une structure de données appelée « Struct ». Cette structure nous a permis d'implémenter notre base de données relationnelle. L'inconvénient majeur est que la programmation des requêtes s'est effectuée manuellement.
- Comme le responsable de la planification utilise Matlab dans sa gestion, l'implémentation de notre application dans le système de pilotage a été instantanée.



A partir de la schématisation des interactions existant entre ce système et les acteurs concernés, nous avons pu atteindre un degré de visibilité conséquent qui permet de décrire

d'une manière rigoureuse l'ensemble des fonctionnalités que le nouveau système doit assurer. Dans la partie qui va suivre, nous allons élaborer les modèles conceptuel et logique qui vont nous permettre de concrétiser la réalisation de notre solution.

III.2.4 Conception du tableau de bord

Après avoir choisi le support technique pour réaliser notre tableau de bord, il est question ici de décrire la démarche de développement du système en question.

La conception a pour objectif dépasser l'abstraction qui a caractérisé l'analyse.

Pour ce faire nous avons décliné cette partie en trois principales phases :

- Développement de l'architecture conceptuelle du système.
- Développement de l'architecture logique du système.
- Développement de l'architecture physique du système.

1. Architecture conceptuelle du système

Nous allons commencer cette partie par identifier les attributs devant être enregistrés dans la base de données « dictionnaire de données », nous allons ensuite aborder la partie amont de la conception qui consiste à réaliser le modèle entités associations (E/A), qui est une représentation graphique du modèle de données.

A) Dictionnaire de données

Cette partie consiste en l'identification des différents attributs liés à notre étude qui vont être enregistrés dans la base de données. Le Tableau présenté dans l'annexe 6 présente l'ensemble des attributs.

B) Modèle conceptuel

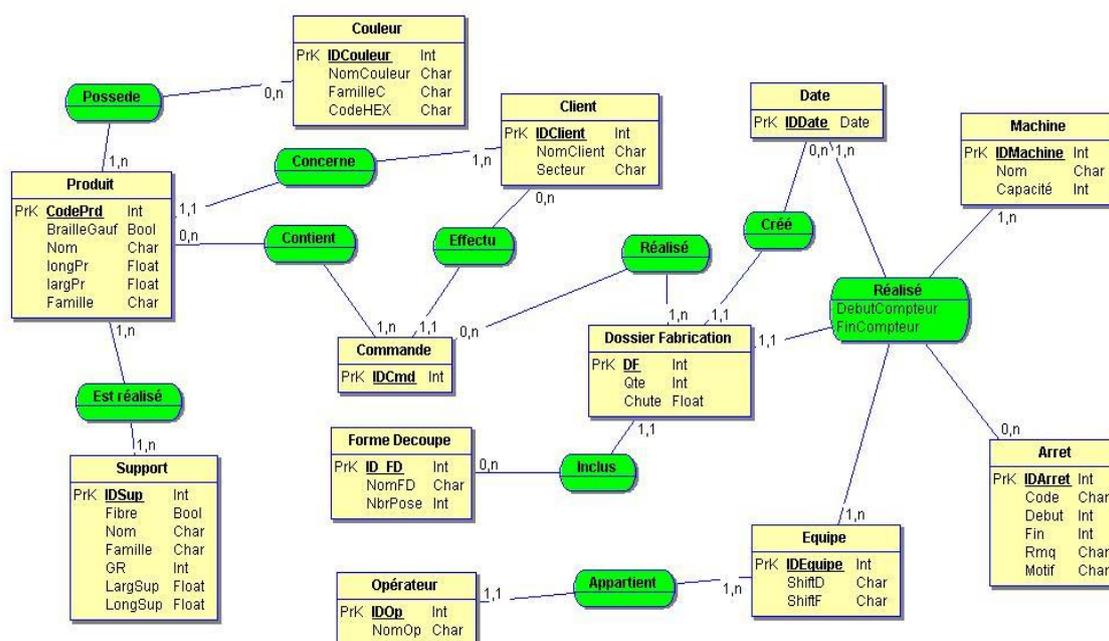


FIGURE III-3 - Modèle conceptuel des données

Après l'identification des attributs et l'analyse des spécifications, nous avons élaboré le modèle conceptuel présenté sur la figure III.3.

2. Architecture logique du système

A partir de l'architecture conceptuelle élaborée auparavant, nous sommes arrivés à élaborer le modèle logique qui va nous permettre par la suite d'implémenter notre système de pilotage. Ce modèle logique s'obtient par la simplification du modèle conceptuel suivant les 2 règles suivantes :

- L'identifiant de la classe qui est associée à la cardinalité (1, n) devient la clé étrangère de l'autre classe et l'association sera supprimée.
- Dans le cas où deux classes reliées sont de cardinalité (1, n), l'association devient une nouvelle table contenant les clés primaires des deux classes.

En suivant ces deux règles, nous obtenons le modèle logique présenté dans l'annexe 7.

3. Architecture physique du système

Le tableau de bord à développer fait appel à la base de données élaborée. Cette dernière est répartie en deux fichiers dépendants « DataDF.mat » et « Offset.mat ». Ces fichiers sont remplis via une interface de saisie, l'un par le planificateur et l'autre par l'agent de saisie de l'Offset.

A) Interface de saisie du planificateur « DataDF »

Afin de gérer les supports carton et minimiser le taux de chute des tirages, lors de la création d'un nouveau dossier de fabrication, le planificateur utilise une application « Montage Carton » développée en interne. Les données relatives aux « clients, produits, supports, commandes » sont fournis par la base de données de cette application. Par conséquent, afin de minimiser la saisie des données, nous avons intégré le module « Créer dossier » à cette application.

Lorsque l'utilisateur fait appel à ce module, l'interface de saisie que nous avons développée présentée dans l'annexe 8 apparait en assurant les fonctions suivantes :

- L'extraction automatique des données de l'application « Montage Carton » qui sont liées au dossier de fabrication et leur enregistrement dans la base de données élaborée,
- Saisie manuelle des données restantes (Quantité de tirages, Machine, etc....)

B) Interface de saisie de l'agent de l'Offset « DataOffset »

Cette interface présentée en annexe 9 est utilisée par l'agent de saisie de l'Offset. Elle permet d'enregistrer les données relatives au tirage « Date, DF, quantité tirée, opérateurs, Machines, Arrêts, etc.... »

Il est important de signaler que l'agent de saisie ne peut saisir un dossier de fabrication dans « Offset.mat » que s'il a été créé dans le service planification « DataDF.mat », telle est le principe de l'intégrité référentielle dans la base de données présenté dans l'annexe 10.

La figure III.4 illustre l'architecture physique de notre système.

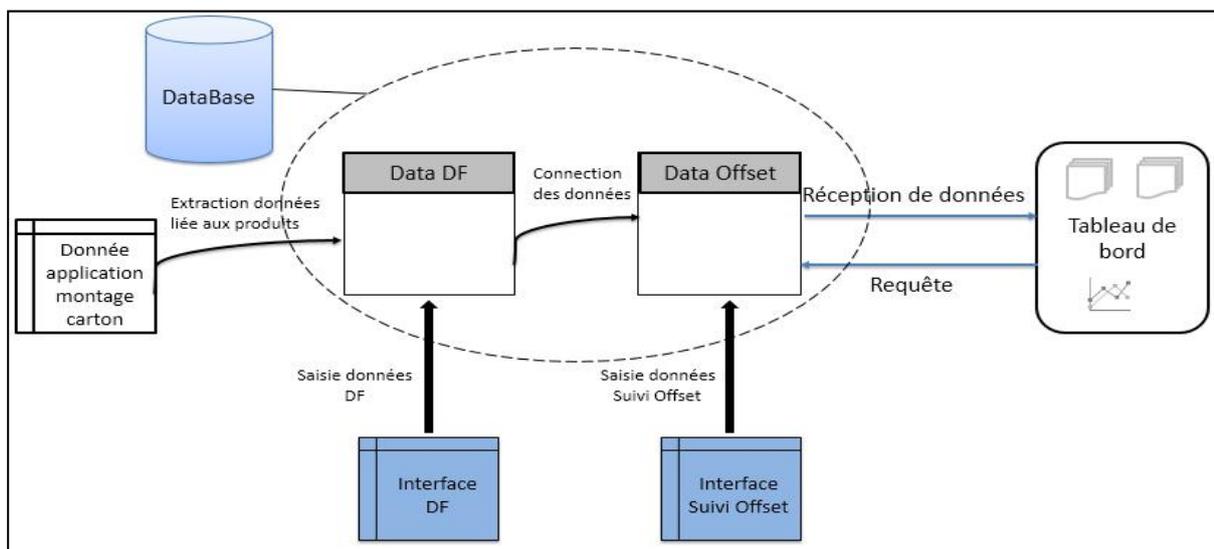


FIGURE III-4 - Architecture physique du système

III.2.5 Réalisation et mise en place du tableau de bord

La dernière étape du processus de développement de notre application est son implémentation. Cette étape a pour objectif d'implémenter les principales fonctionnalités du tableau de bord. Elle a également pour objectif de visualiser et d'apprécier les résultats de la solution proposée et de rendre la conception tangible.

Nous allons dans cette partie présenter l'application développée à travers des prises d'écrans, afin d'illustrer les grandes et principales fonctionnalités réalisées.

L'interface de démarrage du tableau de bord incluant toutes les fonctionnalités réalisées est présentée sur la figure III.5.

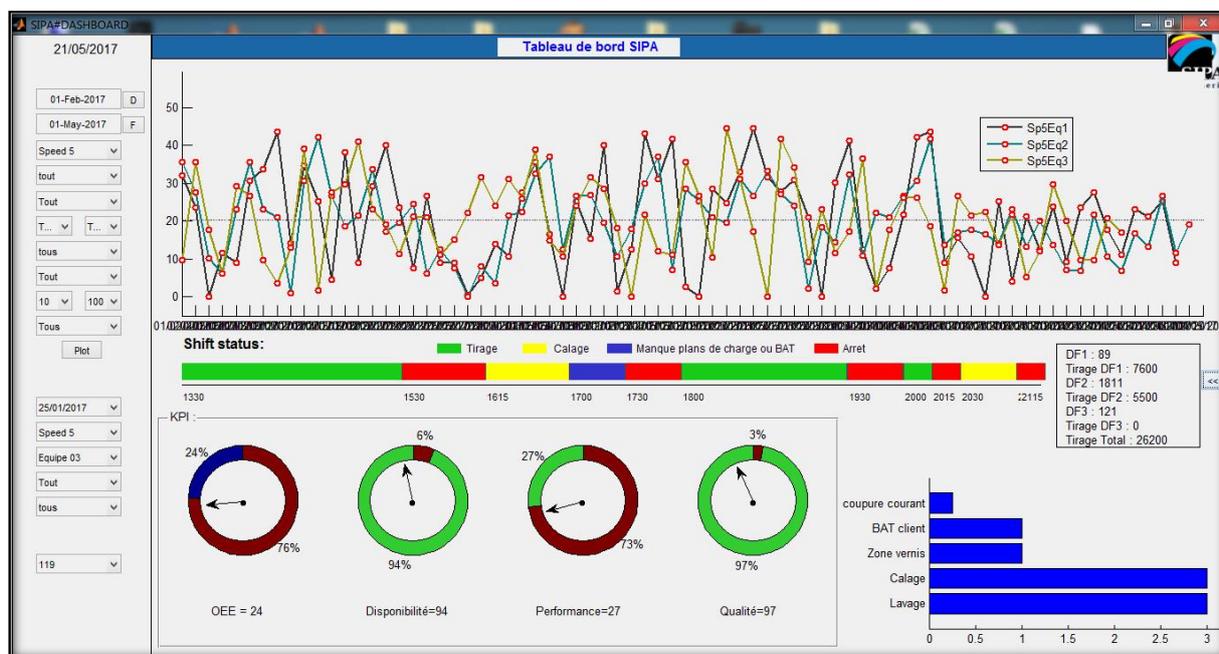


FIGURE III-5 - Interface finale du tableau de bord

Chapitre III : Amélioration du système de pilotage

Cette interface intègre l'ensemble des modules et des indicateurs conçus, à savoir :

- Le calcul du TRS par rapport à plusieurs filtres croisés (machines, équipes, dates, support de tirage, opérateurs, Dossier de fabrication). Cette fonctionnalité est illustrée sur la figure III.7.

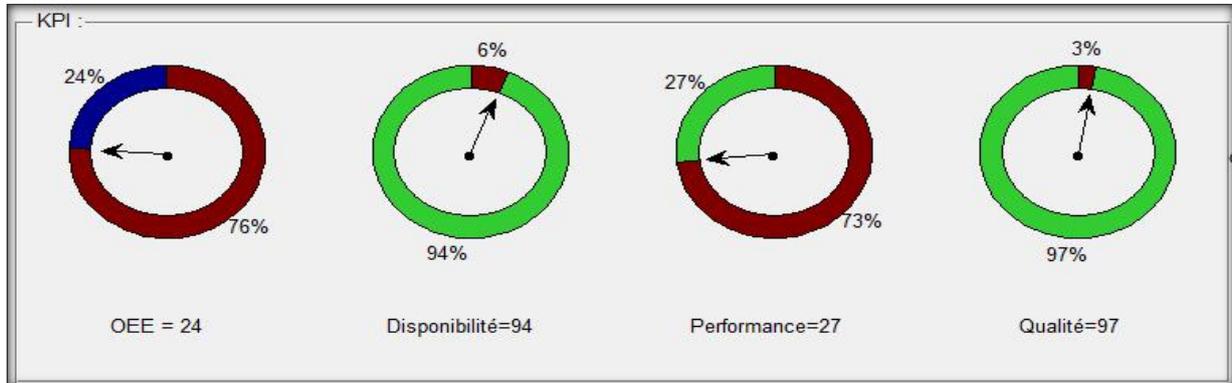


FIGURE III-6 - Taux de rendement synthétique.

- Le déroulement de la production par rapport à chaque équipe et à chaque machine à une date donnée. Ce module illustre les différents états de la production en présentant les quantités produites ainsi que les arrêts, leurs natures et leurs durées. Cette fonctionnalité est illustrée sur la figure III.7.

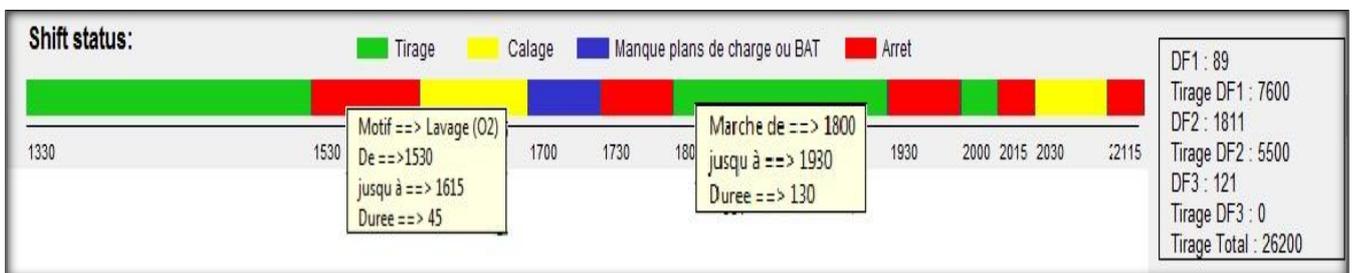


FIGURE III-7- Déroulement de la production (Shift statut)

- Les arrêts de la production pour chaque machine à une date donnée ainsi que leurs durées (en heures) ordonnées d'une manière décroissante pour assurer une meilleure représentation. La figure III.8 illustre cette fonctionnalité :

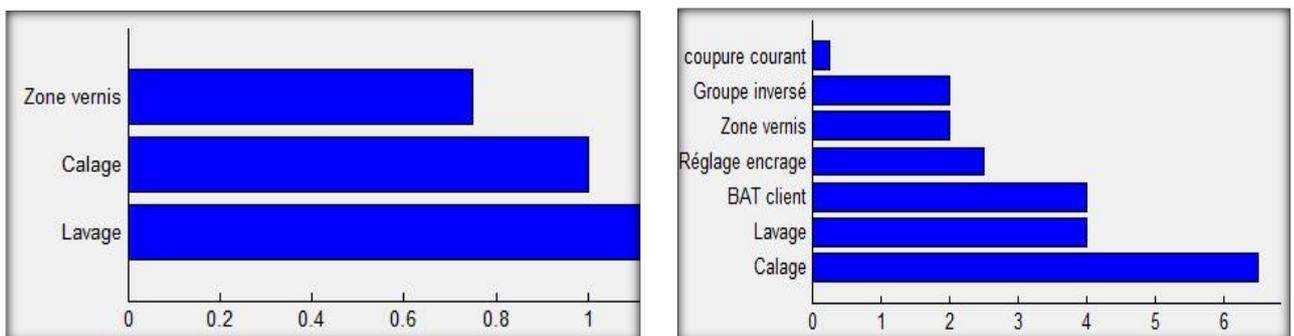


FIGURE III-8 - Les arrêts de la production

Chapitre III : Amélioration du système de pilotage

- L'historique des TRS pour un croisement d'un ensemble de filtres sélectionnés représenté sous forme d'un graphe. Cette fonctionnalité est illustrée sur la figure III.9 :

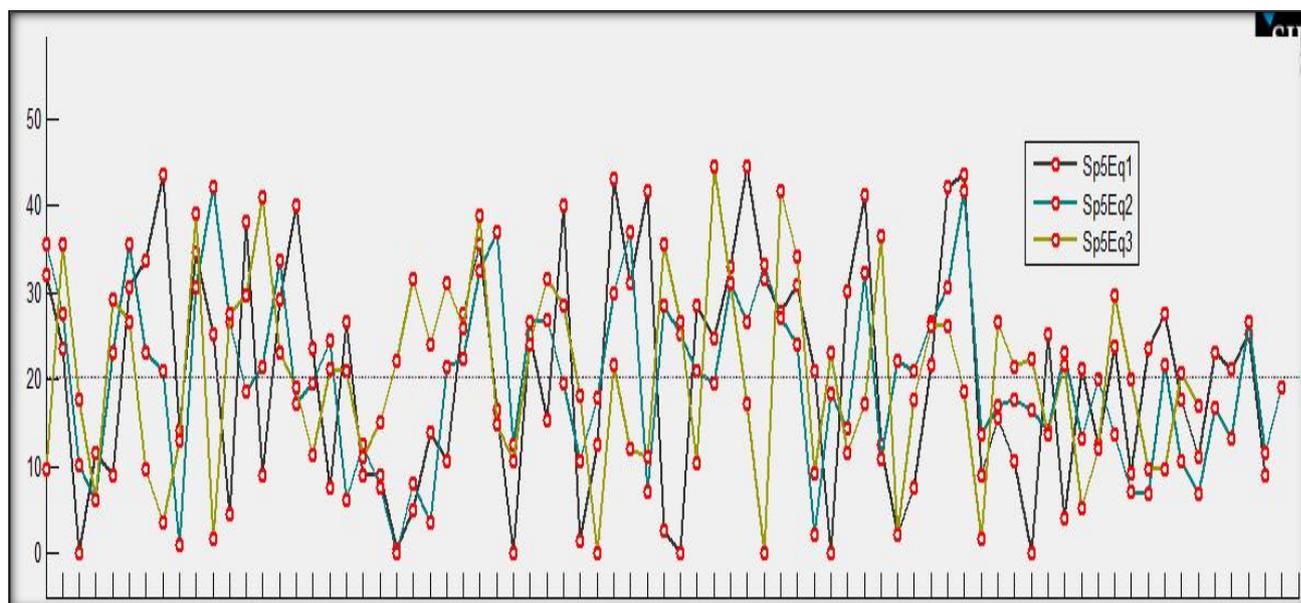


FIGURE III-9 - Graphe des historiques des TRS

- Le déroulement de la production d'une machine pour une plage de dates donnée (jours, semaines), ainsi que le bilan de production. Cette fonctionnalité est illustrée sur la figure III.10 :

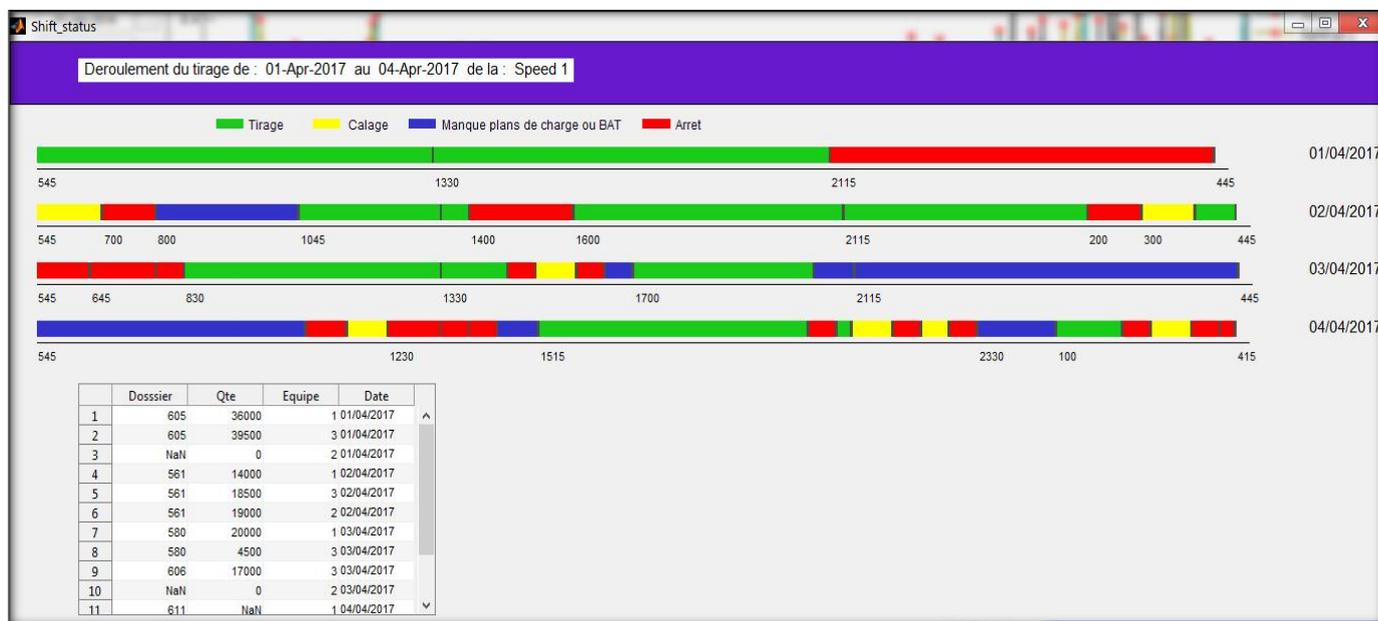


FIGURE III-10 - Déroulement de la production sur une plage donnée

- Afin de faciliter la manipulation à l'utilisateur, la sélection des filtres se fera à l'aide des listes déroulantes et des boutons illustrés sur la figure III.11.

The image shows a control panel interface with three main sections. The left section contains a vertical stack of input fields: two date pickers (01-Jan-2017 with 'D' and 01-May-2017 with 'F'), a 'Speed 5' dropdown, an 'Equipe 02' dropdown, a 'BLANC GRIS' dropdown, two numeric dropdowns (300 and 425), a 'tous' dropdown, a '5' dropdown, two more numeric dropdowns (70 and 100), and a '2' dropdown. A 'Plot' button is at the bottom. The middle section has a '01/05/2017' dropdown, 'Speed 1' dropdown, 'Equipe 01' dropdown, 'BBTB' dropdown, 'tous' dropdown, and a '119' dropdown. The right section is a smaller panel with 'DEBUT' and 'FIN' buttons, a '<<' button, and a 'Shift_checking' button.

FIGURE III-11 - Les champs de saisie des filtres

III.3 Analyse de données

Dans la partie précédente, nous avons pu à travers les étapes logiques de développement d'une application réaliser un tableau de bord de pilotage permettant d'assurer un suivi rapide et efficace du poste goulot.

Dans cette dernière étape du processus de développement de notre projet par rapport au premier axe, nous allons effectuer une analyse de donnée qui a pour objectif de cerner les différentes variables exogènes qui expliquent la performance.

Dans cette partie, nous allons dans un premier temps, décrire la méthodologie utilisée afin de procéder à l'analyse des données. Dans un second temps, nous allons générer des informations issues de l'analyse afin qu'elles servent de support pour le planificateur pour une meilleure prise de décisions.

III.3.1 Méthodologie utilisée

Dans cette partie, nous allons présenter de façon synthétique la méthodologie utilisée qui s'articule autour des actions suivantes : préparation des données, choix de l'outil d'analyse, analyse et interprétation.

III.3.1.1 Préparation des données

Les données nécessaires à notre étude sont fournies principalement par notre application. En vue de l'échec de la mise en place des interfaces de saisie, l'acquisition des données est effectuée par l'extraction et la transformation des données présentes dans les fichiers Excel. L'application permet de calculer le TRS²¹ journalier sur une plage de temps en intégrant les différents éléments importants qui le caractérisent. Ces éléments sont : la Date, l'Equipe, la Machine, le Support, le Grammage, le Nombre de couleurs, le Nombre d'opérateurs présents

²¹ TRS : Taux de rendement synthétique.

dans la machine, le taux de surface exploité²², TRS. Un exemple de représentation de données pour la machine « Speed 5 » est présenté dans l'annexe 11.

III.3.1.2 Choix de l'outil d'analyse

Cette étape revêt une grande importance pour notre étude. En effet, la qualité des informations obtenues est fortement conditionnée par l'outil d'analyses utilisé. Le choix de ce dernier dépend du type de données (quantitative et/ou qualitative) dont on dispose.

En observant les données présentées dans l'annexe 11, nous remarquons bien que seules celles représentant le TRS et le taux de surface sont des variables quantitatives, le reste des données sont qualitatives. Afin d'étudier la corrélation existant entre ces variables quantitatives et qualitatives, nous avons fait appel à **l'Analyse Factorielle Des Correspondances Multiples**, outil jugé approprié à notre cas d'étude.

III.3.1.3 Transformation de données

Après une concertation avec le planificateur, nous avons jugé bon, pour une meilleure représentation, de regrouper les modalités²³ du support et son grammage en une seule modalité qualitative. Nous avons opté pour les six modalités présentées sur la figure III.12.

BBTB 275-300	BBTB 310-350	BG 300-350	BG 400-425	BG 450	MCB
---------------------	---------------------	-------------------	-------------------	---------------	------------

FIGURE III-12 - Modalités du support-grammage

Etant donné que le TRS et le taux de surface sont des variables quantitatives, le regroupement de leurs valeurs en des classes est indispensable afin d'assurer l'homogénéité des données²⁴. Ce regroupement suit les deux étapes suivantes :

- **Choix du nombre de classes :** Ce nombre doit être cohérent avec le nombre de modalités moyen des variables qualitatives. De ce fait, nous avons choisi 3 nombres de classes vu que la plupart des variables qualitatives comptent 3 à 4 modalités.
- **Choix des classes :** Pour affecter une variable quantitative à la classe appropriée, nous avons utilisé la méthode **k-means** disponible sous Matlab. Cette dernière donne la moyenne du centre de chaque classe ainsi que les variables quantitatives qui lui ont été affectées.

Nous obtenons les classes de TRS et de taux de surfaces représentées dans le tableau III.2.

²² Taux de surface exploité : C'est le rapport de la surface du support utilisé sur la surface maximale tolérée par la machine

²³ Modalité : Valeur que peut prendre la variable qualitative

²⁴ Données homogènes : toutes les données sont soit qualitatives soit quantitatives (Qualitatives dans notre cas).

TABLEAU III-2- Classes de TRS et de taux de surface

Classe	Moyenne du TRS		Moyenne du taux de surface	
	Speed 1	Speed 5	Speed 1	Speed 5
1	6%	8%	66%	71%
2	14%	22%	76%	86%
3	22%	35%	83%	96%

III.3.1.4 Tableau de Burt

C'est une étape importante lors de l'analyse factorielle des correspondances multiples. Elle consiste à croiser les modalités de toutes les variables dans une matrice carrée symétrique appelée Tableau de Burt. Le croisement d'une modalité ligne avec une modalité colonne dans le tableau de Burt représente l'effectif correspondant à la conjonction « modalité ligne/colonne » dans la matrice de données du TRS présentée en annexe 12 qui est obtenue par l'application informatique. Afin de mieux comprendre la logique du tableau de Burt, nous avons jugé utile d'illustrer par l'exemple suivant :

L'effectif correspondant au croisement de la modalité ligne « Equipe-3 » avec la modalité colonne « TRS-3 » est égal à 5. Cela veut dire que durant toutes les journées de production, la classe « TRS-3 » a été observée 5 fois avec la classe du support « Equipe-3 » indépendamment des autres variables.

Les figures présentes dans l'annexes 13 et 14 illustrent les tableaux de Burt des deux machines (Speed1, Speed 5) respectivement.

À l'issue de cette première partie, nous avons pu établir le tableau de Burt en assurant l'homogénéité des données. Dans ce qui va suivre, nous allons analyser et interpréter les données qui vont nous permettre de générer des informations susceptibles d'améliorer la prise de décision.

III.3.2 Analyse et interprétation

Cette partie comporte deux analyses. La première consiste à analyser et à interpréter les résultats en appliquant l'analyse factorielle des correspondances multiples sur les données préparées dans la partie précédente. La deuxième consiste à appliquer une méthode d'analyse empirique proposée par le planificateur et basée sur son expérience dans le but d'extraire des informations supplémentaires.

Dans ce qui va suivre, nous allons présenter les résultats de l'analyse factorielle des correspondances multiples.

III.3.2.1 Analyse factorielle des correspondances multiples

Une fois la construction des tableaux de Burt terminée dans la partie précédente, la visualisation des résultats peut être réalisée par Matlab en utilisant la fonction « mcorran2.m » développée par Trujillo-Ortiz et al (2008). Cette fonction prend comme valeur d'entrée le tableau de Burt²⁵, et retourne en sortie l'inertie de l'analyse²⁶ et le graphe correspondant aux

²⁵Tableau de Burt : Dans notre cas, compte tenu du nombre de modalités qui est égal à 17, la dimension de ce tableau est de 17 x 17.

deux dimensions choisies. Dans ce qui va suivre, nous allons présenter pour chaque machine les graphiques d'interprétation suivant les dimensions assurant une extraction maximale d'informations.

1. Speed 5

A) Dimension 1-2

L'inertie totale dans le cas de cette machine est de 70%. Elle est jugée acceptable et il n'y a pas de grandes pertes d'informations.

Pour une extraction maximale d'informations, nous avons choisi de représenter les résultats suivant les dimensions « 1-2 » et « 1-3 ».

La figure III.13 présente le graphe d'interprétation suivant les dimensions « 1-2 ».

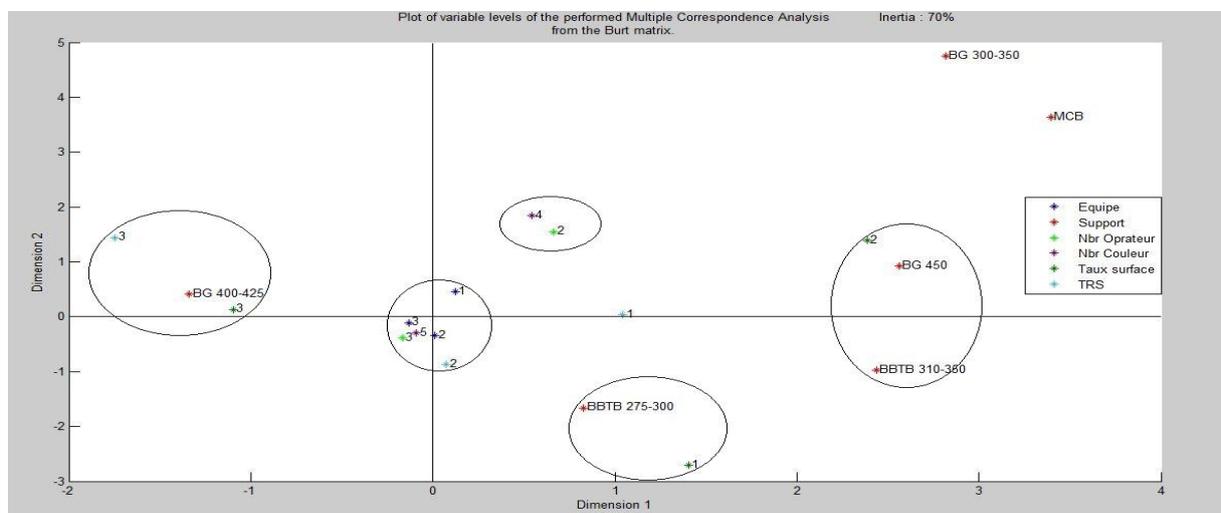


FIGURE III-13- Graphe d'interprétation suivant la dimension 1-2. Speed 5

À partir de la figure III.13, nous remarquons bien que la répartition du TRS sur le premier axe est bien représentée. Nous pouvons bien voir que la classe 3 du TRS (35%) est située à gauche du graphe, que la classe 2 (22%) est au milieu, et que la classe 1 (8%) est à droite. La règle d'interprétation de ce graphe est la suivante :

- Les modalités des variables situées à l'extrémité gauche du graphe sont caractérisées par un TRS important,
- Celles situées à l'extrémité droite ont un faible TRS,
- Celles du milieu par contre ont un TRS moyen ne permettant de tirer aucune conclusion.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau III.3.

²⁶ Inertie : qualité de l'analyse

TABLEAU III-3 -Résultats du graphe d'interprétation 1-2. Speed 5

Numéro	Cluster	Interprétation
1	BG 400-425 Taux de surface 96%	Le BG de grammage 400 à 425 avec un taux de surface de 96% engendre un TRS important indépendamment des autres paramètres.
2	Equipe 1-2-3 Tirage de 5 couleurs 3 Opérateurs	Ces paramètres regroupés engendrent un TRS moyen. Cependant, suite aux fluctuations très fréquentes du TRS de cette classe allant de 8% à 35% dans la matrice de données, aucune information ne peut être extraite.
3	Tirage de 4 couleurs 2 Opérateurs	Située à droite du graphe, cette classe est caractérisée par un faible TRS.
4	BBTB 275-300 Taux de surface 76%	Située à droite du graphe, nous pouvons conclure que le BBTB 275 à 300g tiré avec un taux de surface de 76% engendre un faible TRS.
5	BG 450 BBTB 310-350 Taux de surface 86%	Située à l'extrême droite du graphe, les supports BG 450 et BBTB 310 à 350 tirés avec un taux de surface de 86% engendrent un faible TRS indépendamment des autres paramètres.

B) Dimension 1-3

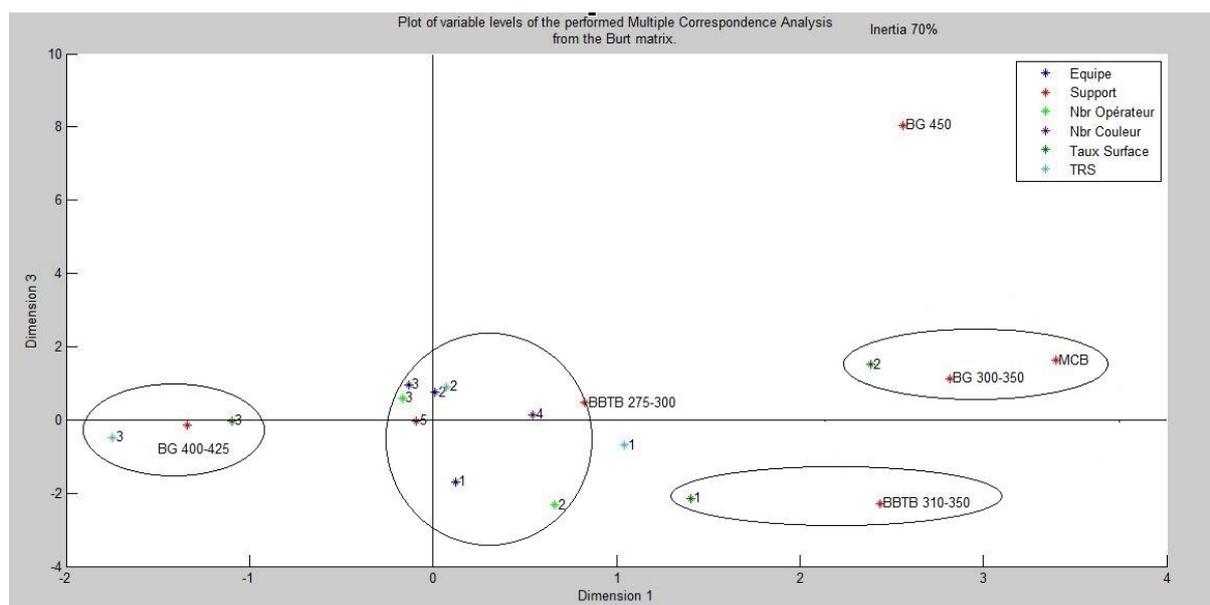


FIGURE III-14- Graphe d'interprétation suivant la dimension 1-3. Speed 5

La répartition du TRS est la même que sur la figure III.13, par conséquent, la règle d'interprétation demeure inchangée.

À partir de la figure III.14, deux résultats supplémentaires sont déduits et présentés dans le tableau III.4

TABLEAU III-4- Résultats du graphe d'interprétation 1-3. Speed 5

Numéro	Cluster	Interprétation
6	BBTB 310-350 Taux de surface 76%	Situé à l'extrême droite du graphe, le support BBTB 310g à 350g avec un taux de surface de 76% engendre un faible TRS indépendamment des autres paramètres.
7	BG 300-350 MCB Taux de surface 86%	Situé à l'extrême droite du graphe, le support BG 300g à 350g, et le MCB avec un taux de surface de 86% engendrent un faible TRS indépendamment des autres paramètres.

C) Recommandations

À partir des tableaux des résultats précédents, nous avons pu faire des recommandations pour la machine « Speed 5 » présentées dans le tableau III.5.

TABLEAU III-5- Recommandations pour la Speed 5

Numéro	Source	Recommandations
1	1	Exploiter les support BG et MCB avec un taux de surface de 96%.
	5	
	7	
2	3	Affecter 3 opérateurs pour les tirages de produits de 4 couleurs.
3	4	Exploiter le support BBTB de 275g à 300g avec un taux de surface supérieur à 85%.
4	5	Exploiter le support BBTB de 310g à 350g avec un taux de surface supérieur à 95%.
	6	

2. Speed 1

L'inertie totale de cette analyse est de 64%. Elle est jugée acceptable et il n'y a pas de grandes pertes d'informations. Pour une extraction maximale de ces dernières, nous avons choisi de représenter les résultats suivant les dimensions « 1-2 » et « 2-3 ».

A) Dimension 1-2

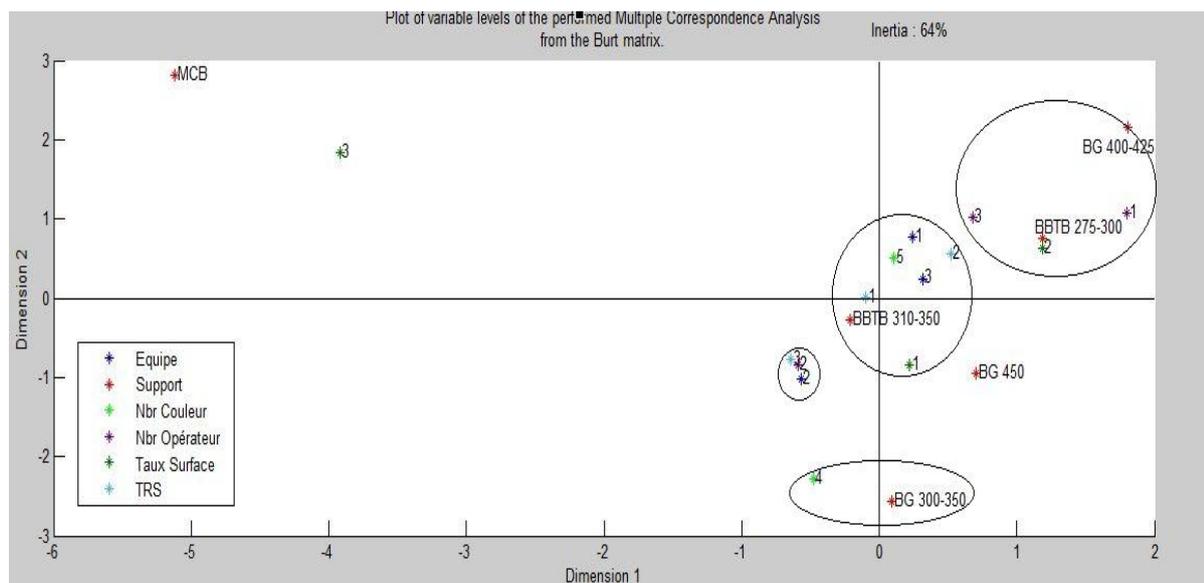


FIGURE III-15- Graphe d'interprétation suivant la dimension 1-2. Speed 1

Nous constatons à partir de la figure III.15 que la classe du TRS 3 (22%) est située en bas à gauche, que la classe du TRS 1 (6%) est au centre, et que la classe du TRS 2 (14%) est en haut à droite. Nous pouvons alors conclure ce qui suit :

- Les modalités situées en bas du graphe sont caractérisées par un TRS important,
- Celles qui sont en haut à droite sont caractérisées par un TRS moyen
- Celles qui sont au centre ont un TRS faible ne permettant pas de tirer des conclusions.

Les résultats sont présentés dans le tableau III.6.

TABLEAU III-6- Résultats du graphe d'interprétation 1-2. Speed 1

Numéro	Cluster	Interprétation
1	Equipe 2 2 Opérateurs	Quand l'équipe 2 compte deux opérateurs au moment du tirage, le TRS est élevé.
2	BG 300-350 Tirage 4 couleurs	Quand le support d'un tirage de 4 couleurs est le BG 300g à 350g, le TRS est élevé.
3	BBTB 310-350 Taux de surface 66% Equipe 2-3 Tirage de 5 couleurs	Ces paramètres regroupés engendrent un TRS faible sur la plage des données. Cependant, des fluctuations du TRS allant de 6% à 22% sont très présentes, par conséquent, aucune conclusion ne peut être tirée.
4	BBTB 275-300 Taux de surface 76% 1-3 Opérateurs BG 400-425	Situé en haut à droite du graphe, le BBTB 275-300 avec 3 opérateurs et le BG 400-450 avec 1 Opérateur, le tout avec un taux de surface de 76%, engendrent un TRS moyen.

B) Dimension 2-3

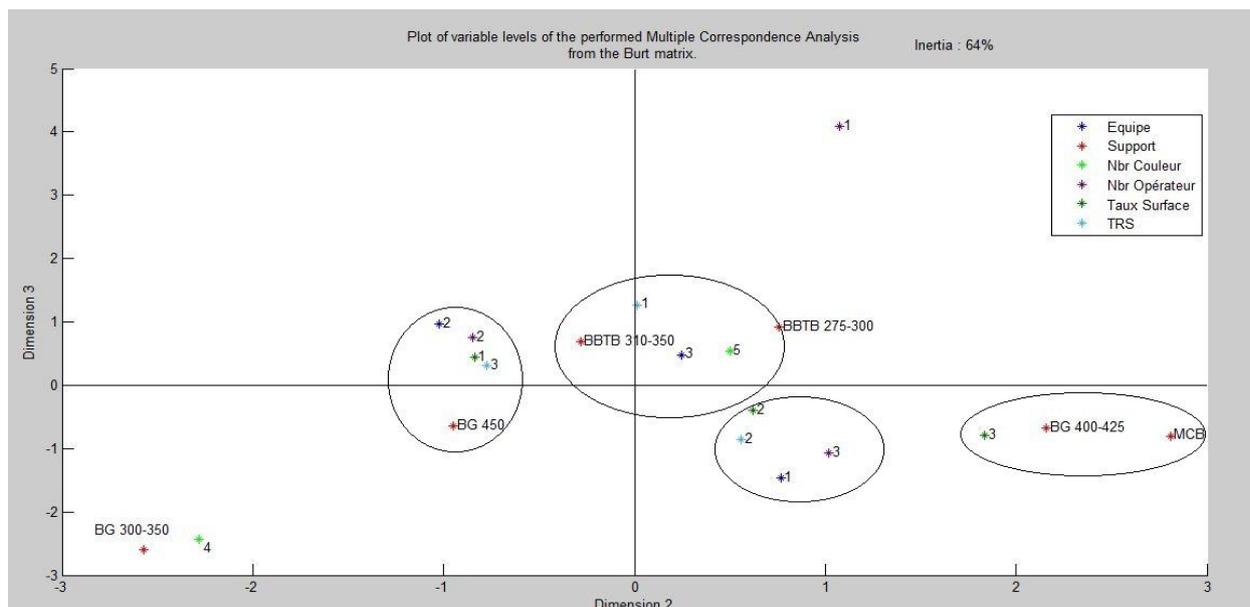


FIGURE III-16- Graphe d'interprétation suivant la dimension 2-3. Speed 1

Nous pouvons constater de la figure III.16 que la classe du TRS 3 (22%) est en haut à gauche, que la classe du TRS 1 (6%) est au centre, et que la classe du TRS 2 (14%) est en bas à droite. Nous pouvons alors conclure ce qui suit :

- Les modalités situées à gauche du graphe sont caractérisées par un TRS élevé,
- Celles qui sont en bas à droite sont caractérisées par un TRS moyen,
- Celles qui sont au centre ont un TRS moyen faible ne permettant pas de tirer une conclusion.

Les résultats sont présentés dans le tableau III.7.

TABLEAU III-7 - Résultats du graphe d'interprétation 2-3. Speed 1

Numéro	Cluster	Interprétation
6	BG 450 Equipe 2 2 Opérateurs Taux de surface 66%	Quand l'équipe 2 est constituée de deux opérateurs et que le support de tirage est le BG 450g avec un taux de surface de 66%, le TRS est élevé.
7	BBTB Equipe 3 5 Couleurs	Située au centre, le TRS moyen de cette classe est faible avec la présence de fluctuations de cette classe allant de 6% à 22%. Par conséquent, aucune information ne peut être déduite.
8	Equipe 1 Taux de surface 76% 3 Opérateurs	Quand l'équipe 1 est constituée de 3 opérateurs et effectue un tirage avec un support de surface 76%, elle engendre un TRS moyen.
9	BG 400-425 MCB Taux de surface 83%	Située à l'extrémité droite du graphe, le BG 400g à 425g et le MCB tiré avec un taux de surface de 83% engendrent un TRS moyen.

C) Recommandations

Les recommandations concernant la machine « Speed 1 » sont présentés dans le tableau III.8.

TABLEAU III-8 -Recommandations pour la Speed 1

Numéro	Source	Recommandations
1	1	Exploiter le support BG 450 avec un taux de surface de 66% et affecter 2 opérateurs à l'équipe 2 pour le tirage.
	6	
2	2	Affecter un support BG de 300g à 350g pour un tirage de 4 couleurs.
3	4	Exploiter le BG 400g à 425g avec un taux de surface supérieur à 90% et affecter au moins 2 opérateurs.
	9	
4	4	Exploiter le support BBTB de 275g à 300g avec un taux de surface supérieur à 80%.
5	8	Pour l'équipe 1 avec 3 opérateurs, le taux de surface de n'importe quel support doit être supérieur à 76%.

III.3.2.2 Analyse de données selon l'expérience du planificateur

L'identification de tous les leviers de performance ne peut pas se faire qu'avec une seule méthode statistique. En effet, l'inertie de l'analyse « AFCM » dans notre exemple varie de 60 à 70%. Il en découle que 30 à 40% des informations sont perdues et non-exploitées. De ce fait, pour renforcer l'analyse, nous avons fait appel à une méthode empirique basée sur l'expérience et proposée le planificateur. Cette analyse consiste à comparer les TRS correspondant à deux filtres différents choisis judicieusement par le responsable à l'aide du tableau de bord. Ainsi, nous sommes parvenus à extraire des informations supplémentaires jugées utiles que nous présentons dans le tableau III.9.

TABLEAU III-9 - Résultats et recommandations issues de l'analyse du responsable

Numéro	Machine	TRS	Recommandations
1	Speed 1	$TRS (MCB) \leq TRS (BBTB)$	Prioriser le BBTB par rapport au MCB pour un tirage pouvant être tiré par les deux supports.
2	Speed 5	$TRS (2 \text{ Opérateurs}) < TRS (3 \text{ Opérateurs}), \text{ Equipe } 01$	Affecter 2 opérateurs à l'équipe 1 dans la Speed 5.
3	Speed 5	$TRS (BBTB) \leq TRS (BG)$	Favoriser le tirage des boîtes de lait (BG) dans la Speed 5 et le médical (BBTB) dans la Speed 1

III.4 Conclusion

Arrivés au terme de ce chapitre, nous avons pu dans un premier temps, concevoir et mettre en œuvre un tableau de bord de pilotage de l'atelier goulot sous forme d'une application informatique qui permet de mesurer la performance de l'atelier ainsi que son suivi. Puis à l'aide des données transformées à partir du nouveau système, nous avons pu identifier les leviers de performance de l'entreprise issues d'une analyse de données qui vont servir de support fiable lors de la prise de décision du planificateur.

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter notre solution relative au deuxième axe qui consiste à améliorer le système d'ordonnancement de l'entreprise.

Chapitre IV : Amélioration du système d'ordonnement

IV.1 Introduction

Après avoir mené notre étude sur le premier axe qui consistait à améliorer le système de pilotage de l'entreprise et qui s'est soldée par une meilleure visibilité pour le planificateur et une meilleure connaissance des leviers de performance, nous abordons maintenant cette étape qui consiste à établir un système décisionnel agissant sur l'ordonnancement de l'atelier goulot et permettant d'assurer un équilibre entre le rendement machine et les délais de livraison.

La concrétisation de notre solution est réalisée en deux étapes séquentielles. La première consiste à optimiser le temps de changement de série sous différentes contraintes sur une machine d'impression. La deuxième consiste à optimiser l'ordonnancement d'un panel de produits sur tout l'atelier goulot.

Dans ce qui suit, nous allons décrire de façon synthétique les étapes logiques qui nous ont permis de concrétiser notre système proposé ainsi que les outils scientifiques développés et utilisés pour mener à bien notre travail.

IV.2 Optimisation du temps de changement de série sur une machine d'impression

Le temps de changement de série est le temps de transition qui sépare la dernière bonne pièce produite du dernier lot avec la première bonne unité produite de la nouvelle série. Dans cette partie, nous allons présenter les étapes qui nous ont permis de concrétiser notre solution qui optimise le temps de changement de série sur une machine d'impression.

IV.2.1 Pourquoi traiter le temps de changement de série

En plus d'être un paramètre important pour détecter les éventuels failles et gaspillages lors du passage d'une série à une autre, il reflète la flexibilité et la performance de l'entreprise par rapport à la demande de ses clients en leur fournissant un produit de qualité dans les délais fixés et quantités attendues.

En minimisant le temps de changement de série sur l'offset entre deux tirages, nous visons les objectifs suivants :

- Une meilleure maîtrise du temps de changement de série qui entraîne une meilleure impression et des économies dans la consommation du consommable.
- Éviter les arrêts de la chaîne de production située en aval.
- Amélioration de la motivation des opérateurs
- Ne plus recourir aux heures supplémentaires.

IV.2.2 Démarche pour l'acquisition de données

Différentes tâches de durées variables sont exécutées durant deux séries successives.

La démarche que nous avons entreprise afin d'agir sur ces tâches et de réaliser une réduction dans le temps de changement de série s'articule sur les points suivants :

- Recenser les tâches à effectuer lors de chaque changement de série.
- Mesurer le temps d'exécution de chaque tâche.
- Classer les tâches chronologiquement.
- Imputer à chaque tâche son importance à travers son impact sur le tirage à venir.

IV.2.3 Décomposition du temps de changement de série

En interviewant les opérateurs, en relevant différentes observations et en se référant aux données des activités passées, nous avons pu partitionner le temps de changement de série en quatre phases distinctes :

- Temps de décalage ;
- Temps de lavage ;
- Temps de calage ;
- Temps de réglage.

Nous nous sommes intéressés dans un deuxième temps aux tâches élémentaires pour pouvoir estimer le temps de chaque phase.

Ainsi, nous avons établi le tableau présenté dans l'annexe 15 qui fait ressortir les tâches et leurs durées d'exécution respectives durant un changement de série. Les résultats de ce tableau sont illustrés sur les figures IV.1 et IV.2. Ces dernières permettent d'observer que les temps de lavage et de mise en place prennent la majeure partie du temps de changement de série et ce pour les deux speeds confondus.

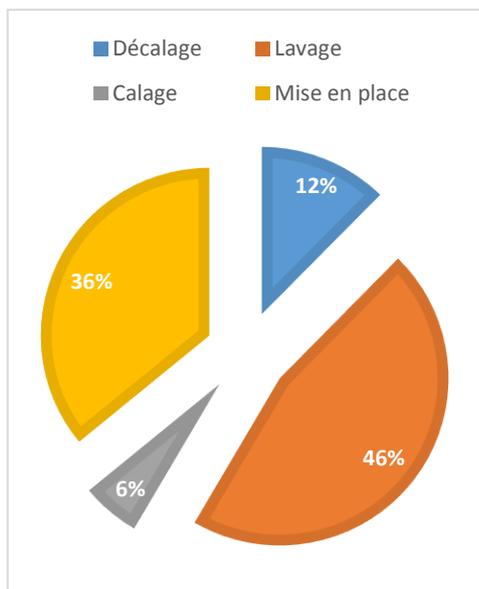


FIGURE IV-1- Temps des opérations sur le changement de série. Speed 5

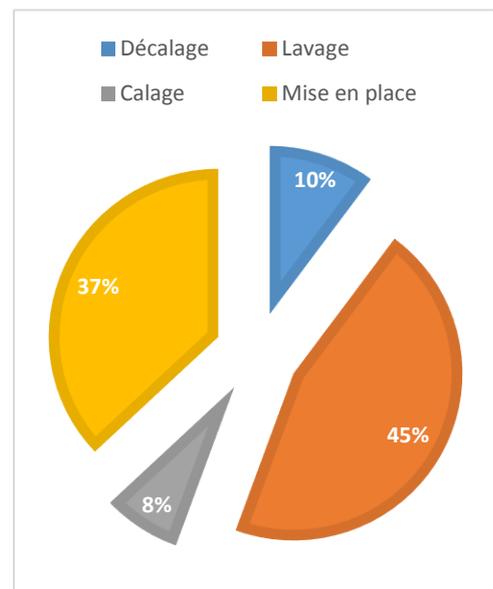


FIGURE IV-2- Temps des opérations sur le changement de série. Speed 1

Le réglage consiste à régler la concentration des couleurs sur les blocs afin d'assurer un bon tirage. Il dépend fortement de la qualité de lavage des blocs. De ce fait, nous pouvons conclure que le lavage des blocs est l'action qui influe le plus sur le temps de changement de série.

Pour sa part, le temps de lavage dépend de deux facteurs qui sont :

- Le nombre de couleurs à changer : détermine le nombre de blocs à préparer (retrait de l'encre et changement de blanchet).
- Le type de lavage : le type de lavage est étroitement lié aux couleurs à changer.

Le diagramme d'ISHIKAWA présenté sur la figure IV.3 vient conforter notre analyse. Il met en évidence les causes qui augmentent le temps de lavage et par conséquent le temps de changement de série.

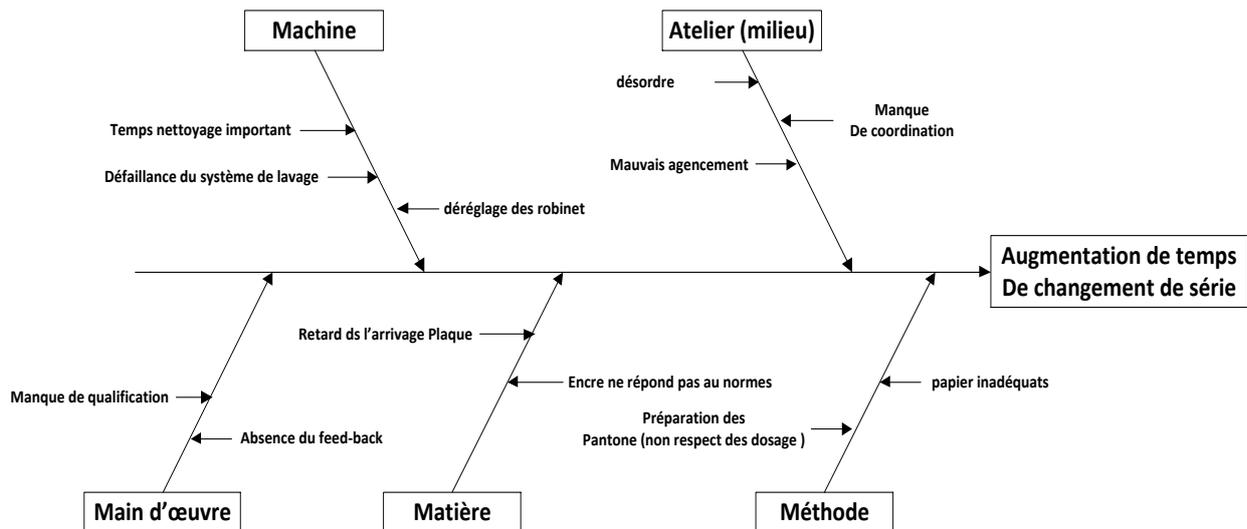


FIGURE IV-3 - Diagramme d'ISHIKAWA du temps de changement de série

L'analyse étant effectuée, nous avons déduit que pour réduire le temps de changement de série, il faut optimiser le temps de lavage. Dans ce qui suit, nous allons présenter notre démarche de résolution qui se terminera par une application informatique.

IV.2.4 Démarche de résolution

L'optimisation du temps de lavage sur une machine d'impression prend en compte trois paramètres liés au produit, à savoir :

- Couleur,
- Blanchet,
- Priorité.

Afin de minimiser le temps de lavage, nous avons développé une application informatique en prenant en compte chaque paramètre. En d'autres termes, notre application permettra d'optimiser le temps de lavage par rapport :

- 1) Aux couleurs des produits,
- 2) Les blanchets des produits,
- 3) Les priorités des produits.

Dans ce qui suit, on va présenter la démarche de résolution qui optimise le temps de lavage par rapport au premier paramètre « Couleurs de produits ».

IV.2.4.1 Optimisation par rapport à la couleur

En nous référant aux données antérieures de l'entreprise, nous avons remarqué que chaque machine d'impression fabrique en moyenne 5 produits de 3 à 5 couleurs par semaine. Afin de réduire le temps de changement de série hebdomadaire par rapport à la couleur, nous avons fait appel à une modélisation mathématique.

Afin de bien définir les variables entrant dans notre modèle, nous avons d'abord regroupé les couleurs utilisées en familles de couleurs. Par la suite, nous avons défini en concertation des responsables²⁷ un coefficient de transition qui exprime le temps de lavage lors du passage d'une couleur à une autre.

IV.2.4.1.1 Famille de couleur

Bien que SIPA utilise 1300 Pantone nous nous sommes limités au 200 pantone les plus utilisés ces six derniers mois. Une fois les couleurs les plus utilisées déterminées, nous passons maintenant à l'étape de classification. Cette dernière se fera en répertoriant des couleurs selon leurs nuances dans les familles. Les familles obtenues regroupent les couleurs compatibles entre elles, jugées proches en termes de nuance. Les dix familles identifiées sont représentées par la figure IV.4.



FIGURE IV-4 - Famille de couleurs utilisées

IV.2.4.1.2 Matrice de transition

Une fois les familles des couleurs établies, nous les avons croisées deux à deux par ordre de nuance décroissant dans une matrice. Par la suite, nous avons déterminé un coefficient de transition entre les familles des couleurs suivant les règles suivantes :

- Quand nous passons d'une couleur à une autre appartenant à la même famille, le temps de lavage est minimal. C'est également le cas si on passe d'une famille à une autre de nuance supérieure (plus foncée).
- Les temps de changements de séries les plus longs sont constatés lorsqu'on transite d'une famille vers une autre de nuance inférieure (moins foncée).

Comme cité plus haut, chaque produit possède 3 à 5 couleurs. Lors de la modélisation, nous avons jugé bon de fixer le nombre de couleurs par produit à 5. Pour être en adéquation avec le nombre arrêté par produit, nous avons dû ajouter la famille « Vide ». Cette famille est utile dans le cas où un produit possède moins de 5 couleurs. Cette situation peut être exprimée mathématiquement comme suit :

$x \leq 4$, x : nombre de couleurs par produit

Le produit en question sera considéré comme un produit ayant d'une part 5 couleurs et $(5-x)$ couleurs « vide » d'autre part.

La matrice de transition des couleurs ainsi obtenue est illustrée par le tableau IV.1.

²⁷ Responsables : Assistant du directeur d'usine et responsable offset.

TABLEAU IV-1 Matrice de transition des couleurs

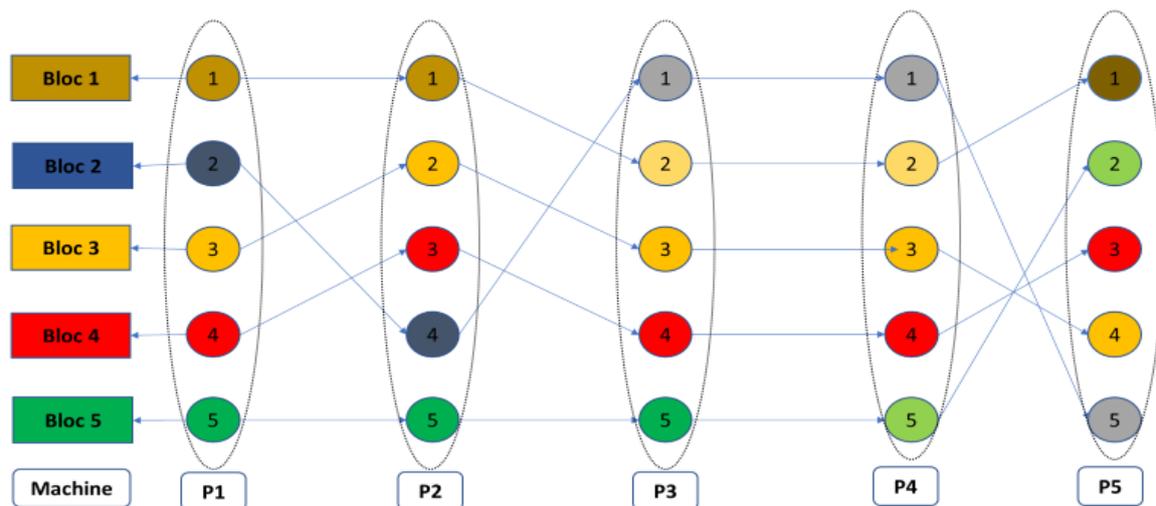
	Noir	Rouge	Orange	Bleu	Marron	Violet	Rose	Vert	Gris	Jaune	Vide
Noir	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rouge	4,5	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Orange	4	4,5	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Bleu	3,5	4	4,5	0	1	2	3	4	5	6	7
Marron	3	3,5	4	4,5	0	1	2	3	4	5	6
Violet	2,5	3	3,5	4	4,5	0	1	2	3	4	5
Rose	2	2,5	3	3,5	4	4,5	0	1	2	3	4
Vert	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	0	1	2	3
Gris	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	0	1	2
Jaune	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	0	1
Vide	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Temps de lavage minimal
 Temps de lavage moyen
 Temps de lavage maximal

La matrice de transition élaborée, nous présentons le modèle mathématique dans l'étape suivante.

IV.2.4.1.3 Modélisation du problème

Cette étape suppose qu'un ordonnancement de produits est déjà établi au préalable. Elle vise pour chaque produit à trouver l'ordonnancement optimal des couleurs dans les blocs de l'offset de façon à minimiser le temps de lavage hebdomadaire. Rappelons que chaque machine d'impression tire en moyenne 5 produits de 3 à 5 couleurs par semaine. Ainsi, le modèle mathématique correspondant à cette situation est présenté sur la figure IV.5.



$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z &= \sum_{i1=1}^5 \sum_{i2=1}^5 \dots \sum_{i5=1}^5 c_{i1i2\dots i5} x_{i1i2\dots i5} & x_{i1i2\dots i5} &\in \{1,0\} \\
 \text{s/c} & \sum_{ik1=1}^5 \sum_{ik2=1}^5 \dots \sum_{ik5=1}^5 x_{i1i2\dots i5} = 1, & i_s &= \overline{1,5}, s = \overline{1,5}, s \neq k1, \dots, k5.
 \end{aligned}$$

FIGURE IV-5 - Modélisation mathématique du problème

Avec :

Z : fonction objective traduisant le temps de lavage

$X_{i_1 i_2 i_3 i_4 i_5}$: désigne si le chemin $(i_1..i_5)$ s'il est emprunté ou pas.

$C_{i_1 i_2 i_3 i_4 i_5}$: temps de lavage hebdomadaire du chemin emprunté.

Le modèle explicité ci-dessus a les propriétés suivantes :

- **Nombre de variables** : 3125
- **Nombre de contraintes** : 25
- **Complexité** : NP-Difficile
- **Type** : Linéaire

IV.2.4.1.4 Méthode de résolution

Le modèle élaboré est un problème d'affectation multi-indices, ne présentant aucune méthode de résolution efficace. Toutefois, vu le nombre restreint d'indices qui est inférieur à 6, la méthode de Branch & Bound peut fournir des résultats significatifs en un laps de temps raisonnable.

IV.2.4.1.5 Outil de résolution

Pour résoudre le problème, on a fait appel à la modélisation sous Matlab. Le choix de Matlab est justifié par ce qui suit :

- Le développement des interfaces graphiques est possible sous Matlab contrairement à la plupart des logiciels d'optimisation. Vu le nombre important de variables binaires, l'interprétation des résultats est impossible à moins de faire recours à une interface graphique qui facilite l'interprétation à l'utilisateur.
- Vu la fréquence importante du changement de planning de production, l'application devra être flexible en termes de changement de produits et de couleurs. L'utilisateur final ne devra entrer que les produits et leurs couleurs sans reprendre la modélisation.
- Le planificateur a une bonne maîtrise du logiciel Matlab, toute éventuelle amélioration de notre application après notre projet est tout à fait possible.
- Le traitement du premier axe d'amélioration nous a permis de se familiariser avec le logiciel.

IV.2.4.1.6 Modélisation sous Matlab

Matlab est basé sur une logique de matrice. De ce fait, la modélisation des fonctions objectives ainsi que les contraintes est réalisée sous forme matricielle. L'inconvénient majeur de cette modélisation est que l'analogie entre le modèle mathématique et la logique matricielle est souvent difficile à déterminer quand le nombre de variables et de contraintes augmente. Cependant, une fois l'analogie maîtrisée, le programme devient flexible et rapide en changeant les conditions initiales. La reformulation du problème avec les nouveaux paramètres devient automatique.

- La fonction principale :

Afin de résoudre le problème avec la méthode de **Branch & Bound**, nous avons utilisé la fonction « Binary Integer Programming, **bintprog** » disponible sous Matlab.

Cette fonction prend comme arguments les matrices suivantes qui sont obtenues par les algorithmes de notre application :

- Vecteur de la fonction objective ;
- Matrice des coefficients des contraintes ;
- Vecteur du domaine des variables.

Elle permet d'obtenir en sortie le vecteur des variables binaires optimisant la solution ainsi que la valeur de la fonction objective qui est le temps de lavage (par rapport aux couleurs) dans notre cas.

Un exemple de fonctionnement de cette fonction est illustré sur la figure IV.6.

Minimiser la fonction

$$f(x) = 9x_1 - 5x_2 - 6x_3 - 4x_4$$

S/C

$$\begin{aligned} 6x_1 + 3x_2 + 5x_3 + 2x_4 &\leq 9 \\ x_3 + x_4 &\leq 1 \\ -x_1 + x_3 &\leq 0 \\ -x_2 + x_4 &\leq 0 \end{aligned}$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \in \{0,1\}$$



Matlab :

`f = [-9; -5; -6; -4]; // vecteur fonction objective`

`A = [6 3 5 2; 0 0 1 1; -1 0 1 0; 0 -1 0 1]; // matrice des coefficients des contraintes`

`b = [9; 1; 0; 0]; // vecteur du domaine des variables`

`x = bintprog (f,A,b);`

Optimization terminated.

`x = 1 1 0 0 // vecteur de la solution (x1, x2, x3, x4)`

FIGURE IV-6 - Exemple d'application de la fonction "bintprog"

Arrivés à la fin de cette étape, nous avons pu modéliser le problème et choisi l'outil de résolution approprié. Le déroulement de l'application qui optimise le temps de lavage par rapport à la couleur des produits est illustré sur la figure IV.7.

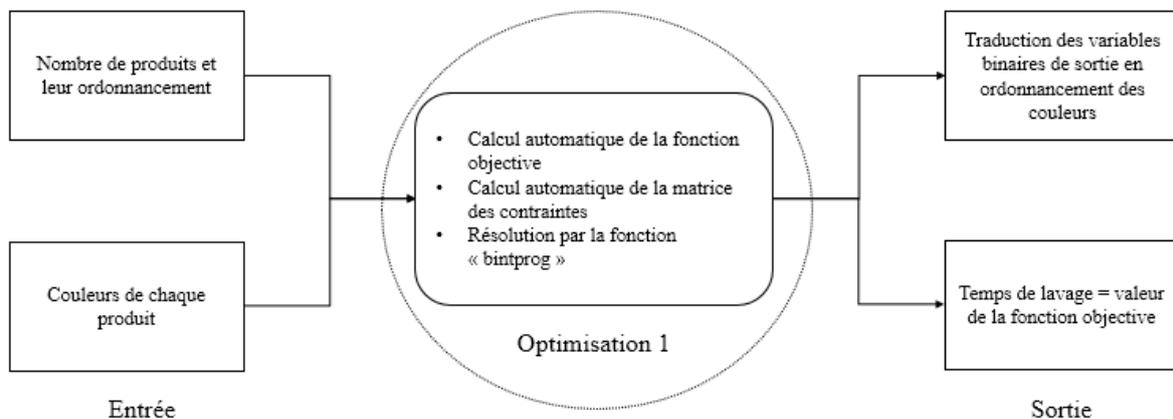


FIGURE IV-7 - Déroulement de l'application optimisant par rapport à la couleur

IV.2.4.2 Optimisation par rapport à la couleur et au blanchet

La solution obtenue précédemment est réalisée à partir d'un ordonnancement de produits préalablement établis. Toutefois, un autre ordonnancement des produits peut donner une meilleure répartition des couleurs sur les blocs de façon à minimiser davantage le temps de lavage. De ce fait, toutes les combinaisons possibles ($n!$) devront être testées pour trouver la solution optimale.

Il est important de remarquer la robustesse de notre application. En effet, en changeant l'ordonnancement des produits, la modélisation et le calcul de la solution optimale sont automatiques.

- Temps de changement de blanchet

En changeant l'ordonnancement des produits, le paramètre blanchet devient un paramètre important à prendre en compte. Chaque produit possède un blanchet et il se peut que dans un cas où deux produits possédant le même blanchet ne passent pas séquentiellement. Cette situation impacte considérablement le temps de changement de série car le temps de lavage entre deux produits par rapport au blanchet est estimé à :

- 20 minutes s'ils possèdent des blanchets différents ;
- 0 minutes s'ils ont le même blanchet.

Par conséquent, nous avons développé et intégré dans notre application un algorithme qui calcule le temps de changement de blanchet hebdomadaire, défini comme suit :

Algorithme : OptimBlanchet

Début :

TempsBlanchet = 0 ;

Stocker le code blanchet de chaque produit dans un tableau B suivant l'ordonnancement produit ;

Pour i = 1 : taille(B)-1

Si (strcmp²⁸(B(i), B(i+1)))

TempsBlanchet = TempsBlanchet + 0 ;

Sinon

TempsBlanchet = TempsBlanchet + 20 ;

Fin Si

Fin Pour

Fin

Ainsi, le déroulement de notre application qui prend en compte le nouveau paramètre blanchet est illustré sur la figure IV.8.

²⁸ strcmp : fonction qui compare deux chaînes de caractères, retourne 1 si identique, 0 sinon.

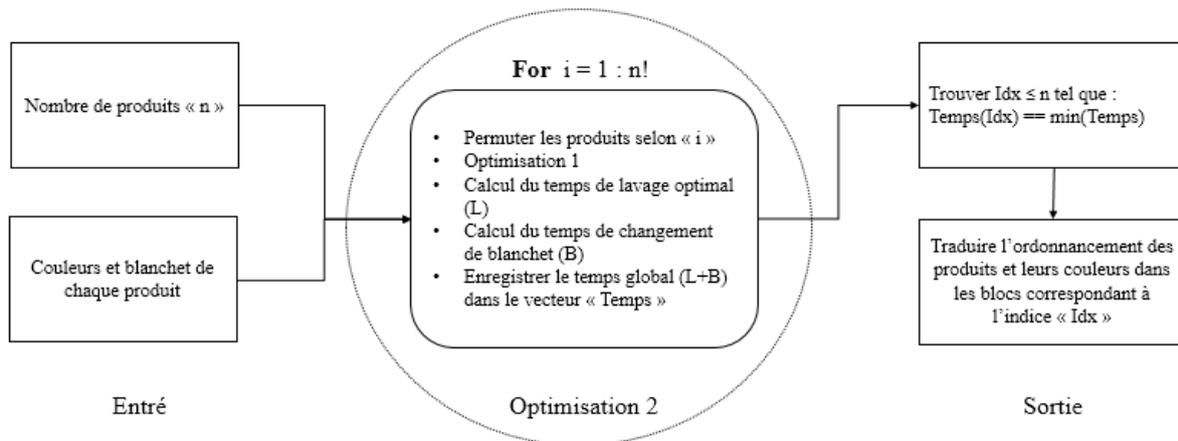


FIGURE IV-8 -Optimisation par rapport au blanchet et à la couleur

IV.2.4.3 Optimisation par rapport à la couleur, blanchet, priorité

La priorité est le dernier élément à prendre en considération afin d'optimiser le temps de changement de série sur une machine d'impression. En prenant en compte la priorité des produits, les $n!$ combinaisons n'engendreront pas forcément un ordonnancement admissible, car le retard peut ne pas être toléré. De ce fait, il est primordial de ne considérer que les combinaisons qui n'engendrent pas de retard.

Afin de pallier à cette contrainte, nous avons développé un algorithme qui prend en entrée les produits, leurs quantités, leurs priorités, ainsi que le retard toléré par l'entreprise et retourne en sortie toutes les combinaisons possibles qui respectent le retard toléré.

La priorité dans l'atelier d'impression peut être traduite en jours de production selon le responsable planification. En d'autres termes, si la priorité d'un produit est égale à 1, cela veut dire que l'impression du produit en question doit se faire en moins d'une journée de production à compter de la date actuelle.

Les éléments étant définis, l'algorithme permettant de satisfaire la contrainte de priorité se déroule comme suit :

Algorithme : OptimPriorité

Début :

Saisir le nombre des produits n ;

Saisir la priorité de chaque produit p_j ;

Saisir la quantité de chaque produit q_j ;

Saisir le retard toléré R ;

Pour $i = 1 : n !$

Permuter les produits selon i ;

TempsProd (i), Retard(i) = 0 ;

// TempsProd : temps de production requis

Pour $j = 1 : n$

TempsProd(i) = TempsProd(i) + $q_j / 96000$; //96000 capacité journalière de la machine

Si (TempsProd(i) \leq p_j)

Retard(i) = Retard(i) + 0 ; //Le produit j peut être produit à temps

Sinon

Retard(i) = Retard(i) + (TempsProd – p_j) ; //Le produit j engendre un retard

Fin Si

Fin Pour

Si (Retard(i) \leq R)

Prendre cette permutation ; //retard admissible

Sinon

Ne pas prendre cette permutation ; //retard inadmissible

Fin Si

Fin Pour

Comb = nombre de combinaisons admissibles ;

Fin

À la fin de cet algorithme, nous possédons toutes les combinaisons de produits n'engendrant pas de retard. Le déroulement de notre application informatique optimisant le temps de changement de série en minimisant le temps de lavage tout en respectant les priorités est illustré sur la figure IV.9.

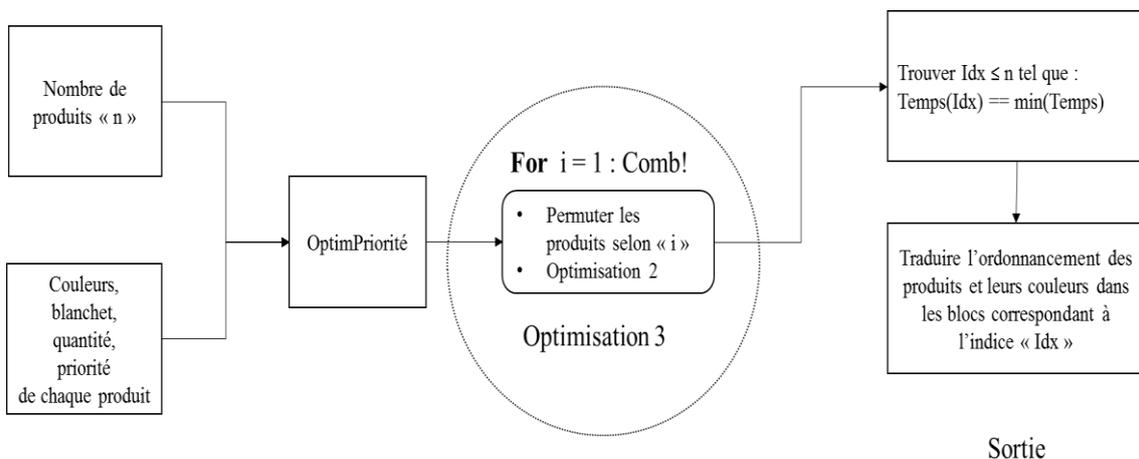


FIGURE IV-9- Optimisation selon les trois paramètres

IV.3 Optimiser l'ordonnancement du panel produit

Après avoir optimisé le temps de changement de série pour un ensemble de produits sur une machine d'impression, nous aborderons cette dernière étape qui consiste à optimiser l'ordonnancement des ordres de fabrication dans tout l'atelier goulot. Pour ce faire, nous allons d'abord procéder à l'affectation optimale des produits à l'atelier d'impression puis à l'atelier de découpe. Nous allons ensuite estimer les délais de livraison des ordres de fabrication à partir de l'ordonnancement établi. Nous finirons par présenter l'apport de notre solution ainsi qu'une interface graphique permettant une meilleure visualisation des résultats.

IV.3.1 Affectation des produits à l'atelier d'impression

Etant donné que l'atelier possède deux machines d'impression identiques, une affectation optimale d'un ensemble de produits aux machines concernées devra être effectuée. Vu que le planning hebdomadaire pour chaque machine traite 5 produits en moyenne, nous prendrons en considération dans notre étude 10 produits au maximum sur les deux machines. Si le nombre de produits dépasse 10, nous choisirons parmi ceux-là les 10 produits les plus prioritaires et une file d'attente est créée pour les produits restants.

- Critères d'affectation

Le critère d'affectation des produits aux machines dépend essentiellement des blanchets et des temps de tirage de chaque produit. Ils se présentent comme suit :

- A) **Changement du blanchet** : Comme mentionné dans la partie 1, plusieurs produits peuvent avoir le même blanchet. De ce fait, les produits ayant le même blanchet et qui passent séquentiellement sur la machine minimisent considérablement le temps de changement de série. Par conséquent, le changement du blanchet est le premier critère à prendre en considération pour l'affectation des produits aux machines, afin de réduire le temps du changement de série. Le système élaboré va favoriser l'enchaînement successif des produits ayant le même blanchet. Ces produits vont être affectés à la même machine.

Dans le cas où aucun des 10 produits ne possède un blanchet similaire à un autre, alors on opte pour le deuxième critère.

- B) **Temps de tirage** : Pour une affectation optimale nous avons utilisé le module « **TORSCHÉ** » disponible sous Matlab basé sur la programmation dynamique. Ce module regroupe différents algorithmes de résolution des problèmes d'ordonnancement. Dans notre cas, les produits doivent être affectés à deux machines parallèles identiques sans conditions de succession. Ce problème fait appel à la formulation suivante : $(P2 | C_{max})$, avec :

- P2 : deux machines Offset parallèles,
- || : pas de conditions prédéfinies,
- Cmax : le critère d'optimisation, qui est le temps de production dans notre cas.

Pour appliquer cet algorithme, il faut indiquer les temps de production de chaque produit. Ce dernier dépend de la taille du tirage et de la vitesse moyenne de la machine estimé à 4000 feuilles par heure et est fonction du :

$$\text{Temps du tirage}(i) = \frac{\text{Taille du tirage}(i)}{4000}$$

Où i désigne le produit « i ».

La figure IV.10 illustre l'affectation des produits aux machines offset parallèles.

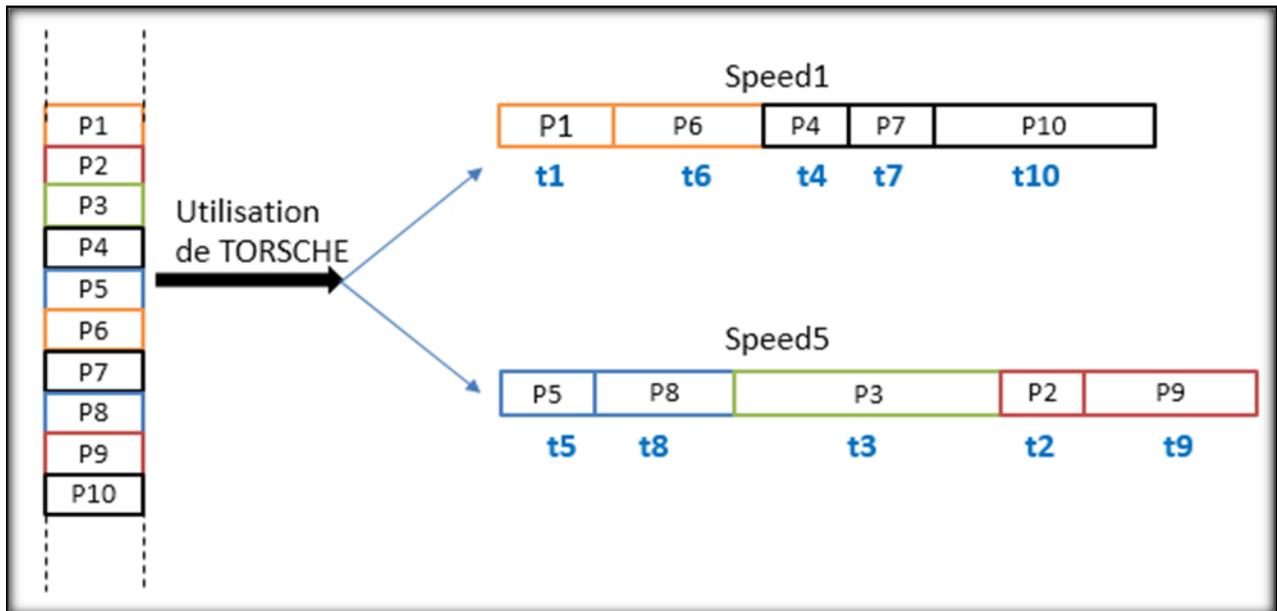


FIGURE IV-10-Affectation des produits aux deux machines avec TORSCHÉ

À cette étape, l'ordonnement obtenu n'est pas final pour chaque machine. Le but est d'affecter les produits aux machines appropriées est non d'effectuer un ordonnancement optimal. L'ordonnement optimal des produits sur chaque machine minimisant le temps de changement de série tout en respectant la priorité des produits sera obtenu en faisant appel à l'application développée dans la partie précédente.

IV.3.2 Affectation des produits à l'atelier découpe

La présente étape consiste à déterminer l'ordonnement optimal de l'atelier découpe qui est situé en aval de l'atelier d'impression. Les encours intermédiaires entre l'atelier Offset et l'atelier découpe sont regroupés dans une file d'attente utilisant la politique FIFO (first in first out). Ces derniers seront affectés aux deux machines Auto-platine selon l'un des critères suivants : la forme de découpe ou le temps de découpe. Cette démarche est explicitée ci-dessous.

- A) La forme de découpe :** La forme de découpe est le support permettant la découpe de la feuille pour obtenir la forme voulue. Il est important de signaler que les produits ayant la même forme découpe ont aussi le même blanchet. Il en découle que pour les machines Auto-platine, les produits imprimés dans une machine Offset seront découpés sur la même machine Auto-platine avec le même ordonnancement.

B) Le temps de découpe : Dans le cas où les produits existants n'ont pas une forme découpe similaire, nous prenons en compte les temps de découpe, et les temps de sortie de l'atelier d'impression de chaque produit. La Résolution de ce problème fait appel à l'algorithme de résolution du problème (P2 |rj|Cmax) disponible sous TORSCHE avec :

- P2 : Deux machines Auto-platine parallèles,
- |rj| : les temps de disponibilité des produits,
- Cmax : le critère d'optimisation, qui est le temps de découpe

Les temps de disponibilité des produits sont calculés par rapport au déroulement du tirage de l'atelier d'impression.

- $Temps\ de\ sortie(j) = Temps\ de\ début(j) + \frac{Taille\ du\ tirage(j)}{4000}$

Où 4000 désigne la vitesse de la machine d'impression.

Les temps de découpe de chaque produit exprimé ci-dessous sont établis en fonction de la taille des tirages et de la vitesse moyenne de la machine estimée à 2500 feuilles par heure.

- $Temps\ de\ découpe(j) = \frac{Taille\ du\ tirage(j)}{2500}$

Où j désigne le produit « j »

La figure IV.11 explique les différentes étapes d'optimisation des ateliers d'impression et de découpe

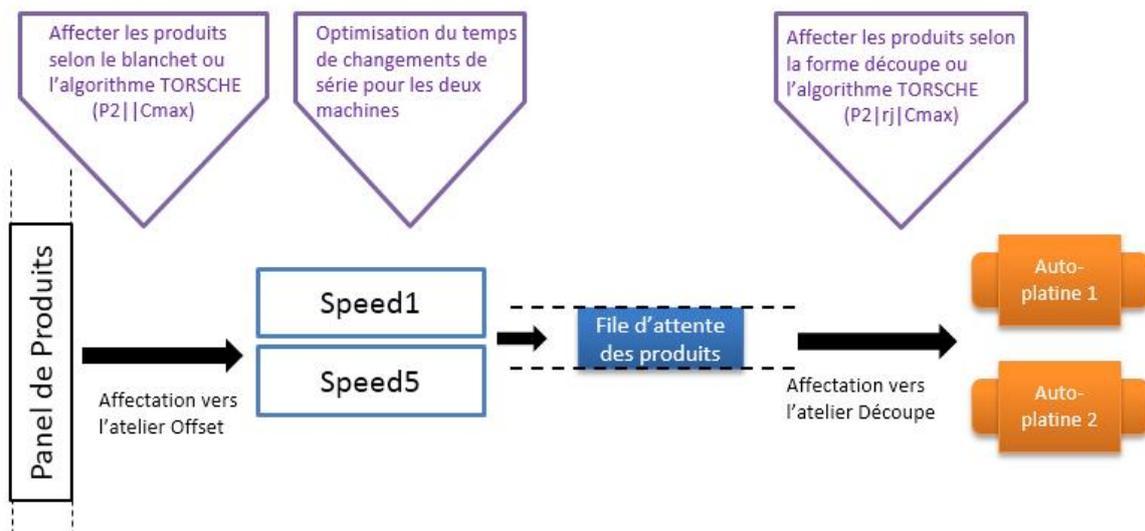


FIGURE IV-11 -Etapes d'optimisation des ateliers d'impression et de découpe

IV.3.3 Estimation des délais de livraison

Après avoir développé le programme qui réalise l'ordonnancement optimal d'un panel de 10 produits dans les ateliers d'impression et de découpe, la dernière étape consiste à estimer les délais de livraison de ces produits aux deux derniers ateliers de la production, qui sont l'atelier décortilage et l'atelier comportant la plieuse-colleuse. Ce dernier possède 3 machines avec des cadences nettement supérieures aux cadences des machines des deux ateliers en amont (Offset et Auto-platines). Dans ce cas l'optimisation de l'ordonnancement des produits dans l'atelier finition n'est envisagée vu sa capacité supplémentaire importante.

Le temps écoulé entre la sortie du produit de l'atelier découpe et son arrivé au poste d'expédition est estimé à 48 heures (2 jours). Par conséquent, l'estimation des délais de livraison de chaque produit depuis le lancement des ordres de fabrication jusqu'à leurs réceptions se fait en ajoutant 48 heures au temps de sortie de chaque produit de l'atelier découpe. Ainsi les délais de livraison de chaque produit sont estimés comme suit :

- $DL(i) = \text{Temps début}(i) + \text{Temps tirage}(i) + \text{Temps encours}(i) + \text{Temps Découpe}(i) + 48$

Où $DL(i)$ désigne le délai de livraison du produit i .

IV.3.4 Formalisation de la méthode d'ordonnancement mise en place

La mise en place de notre solution qui propose un ordonnancement hebdomadaire de produits optimisant le rendement machine tout en respectant les priorités des produits afin d'éviter les retards de livraison a été menée en deux étapes. La première vise à optimiser le temps de changement de série sur une machine d'impression. La deuxième quant à elle, permet d'effectuer un ordonnancement optimal à partir de l'estimation des délais de livraison de chaque produit.

Afin de faciliter le travail au planificateur, nous avons jugé utile de lui fournir une application globale qui intègre l'application développée dans la première partie et tous les développements de la deuxième partie. Les étapes de déroulement de l'application globale sont les suivantes :

- 1) Affectation des produits aux machines d'impression,
- 2) Optimisation de l'ordonnancement des produits sur chaque machine en prenant en compte les paramètres suivant : « Couleurs, Blanchet, Priorité »,
- 3) Affectation des produits aux machines de découpe,
- 4) Estimation des délais de livraisons.

Le schéma présenté sur la figure IV.12 reprend le déroulement et la logique de solution la proposée :

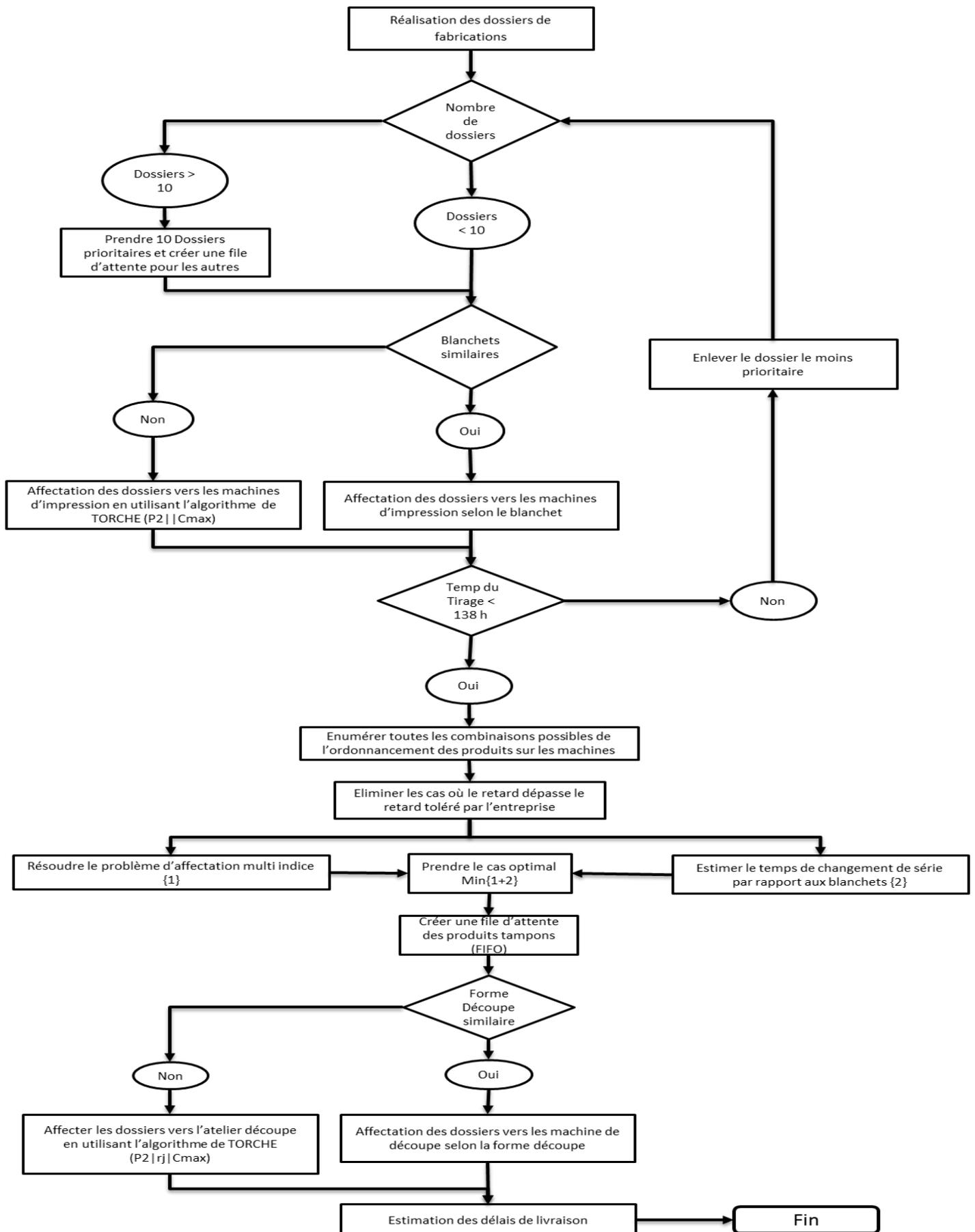


FIGURE IV-12– Déroulement logique de l'optimisation de l'ordonnement

IV.4 Apport de la solution proposée

La méthode adoptée par le planificateur au sein de l'entreprise permet de réaliser un bon ordonnancement de 3 produits sur une machine d'impression en un temps moyen de 2 heures. Cet ordonnancement génère un temps de changement de série important qui engendre une consommation excessive de consommables et de MP. Des recours aux heures supplémentaires sont aussi très demandés.

La solution développée permet d'établir le planning hebdomadaire optimal de 10 produits en quelques seconde en respectant les contraintes du système de production de SIPA. Elle agit essentiellement sur l'atelier goulot de l'entreprise en optimisant le temps de changement de série des machines. Notre solution permet aussi d'estimer le délai de livraisons de chaque produit.

Le tableau IV.2 précise les gains obtenus en utilisant les solutions proposées.

TABLEAU IV-2 -Les gains obtenus en utilisant les solutions proposées

Actions	Ancienne pratique	Nouvelle pratique	Résultat
Etablissement du plan de production	4 heures pour 3 produits	Quelques secondes pour 10 produits	+ 10-15% du Chiffre d'affaire
Consommation des consommables	Importante	Minimale	
Temps de changement de série	Important	Réduit	
Recours aux heures supplémentaires	Important	Réduit	
Consommation des MP supplémentaires	Importante	Minimale	
Délais de livraison	Non-maitrisés	Maitrisés	

Arrivé à la fin de la solution, il est important de préciser à ce stade que l'utilisateur de l'application informatique développée doit avoir des connaissances avancées du Langage de programmation de Matlab pour pouvoir manipuler les données d'entrée et interpréter les résultats. Pour lui faciliter l'utilisation du système proposé, nous avons jugé bon de concevoir une interface graphique sous Matlab.

IV.5 Interface graphique du nouveau système

Dans cette dernière partie de notre travail, nous avons réalisé une interface graphique sous Matlab dédiée à la planification de la production. Elle permet aux utilisateurs d'introduire les dossiers de fabrication par produit ainsi que les différents paramètres techniques nécessaires suivants :

- Les couleurs d'impression classées selon les 10 familles
- Le numéro du dossier de fabrication
- Le code du blanchet
- La quantité

Chapitre IV : Amélioration du système d'ordonnement

- La priorité
- Le retard toléré par l'entreprise

Une fois les données introduites, elle affichera les résultats suivants :

- L'ordonnement optimal des couleurs des produits dans les blocs des machines de l'atelier d'impression « Speed1, Speed5 » présenté sur la figure IV.14,
- L'ordonnement optimal de l'atelier de découpe « Auto-platine1, Auto-platine2 » présenté sur la figure IV.16
- Les délais de livraison de chaque dossier introduit présenté sur la figure IV.15.

Le champ de saisie présenté sur la figure IV.13 permet à l'utilisateur de créer un panel de 10 produits au plus.

The screenshot shows a software interface titled 'Inputs DF'. On the left is a list of products from P1 to P10. The main area contains several input fields: 'Couleurs' with five dropdown menus (Gris, Vert, Jaune, Marron, Noir) and corresponding color swatches; 'DF' (153) and 'Retard' (0) fields; 'Code Blanchet' (M452), 'Qte' (25000), and 'Priorité' (2) fields. At the bottom right are buttons for 'Ajouter', 'Supprimer', 'Valider', and 'Actualiser'.

FIGURE IV-13- Le champ de saisie de l'application

The screenshot shows a table titled 'OFFSET' with two sections. Each section has columns for 'Block1' through 'Block5' and 'Blch'. The first section lists products P2, P5, P4, P3, and P1 with their assigned colors. The second section lists products P6, P10, P8, P9, and P7 with their assigned colors.

	Block1	Block2	Block3	Block4	Block5	Blch
P2: (12)	Marron	Noir	Vide	Jaune	Vert	M341
P5: (13)	Bleu	Orange	Gris	Jaune	Vert	M342
P4: (13)	Vide	Orange	Gris	Jaune	Rose	M342
P3: (123)	Vert	Rouge	Vert	Vide	Violet	M342
P1: (12)	Rose	Rouge	Vert	Noir	Orange	M341
	Block1	Block2	Block3	Block4	Block5	Blch
P6: (134)	Vert	Noir	Vide	Vide	Violet	M351
P10: (153)	Vert	Noir	Gris	Jaune	Marron	M452
P8: (15)	Vide	Noir	Gris	Jaune	Orange	M451
P9: (15)	Bleu	Noir	Bleu	Vide	Rouge	M451
P7: (135)	Orange	Rouge	Bleu	Vert	Rouge	M351

FIGURE IV-14 - Ordonnement des couleurs des produits sur les machines d'impression

Chapitre IV : Amélioration du système d'ordonnancement



FIGURE IV-15- Délais de livraison des produits

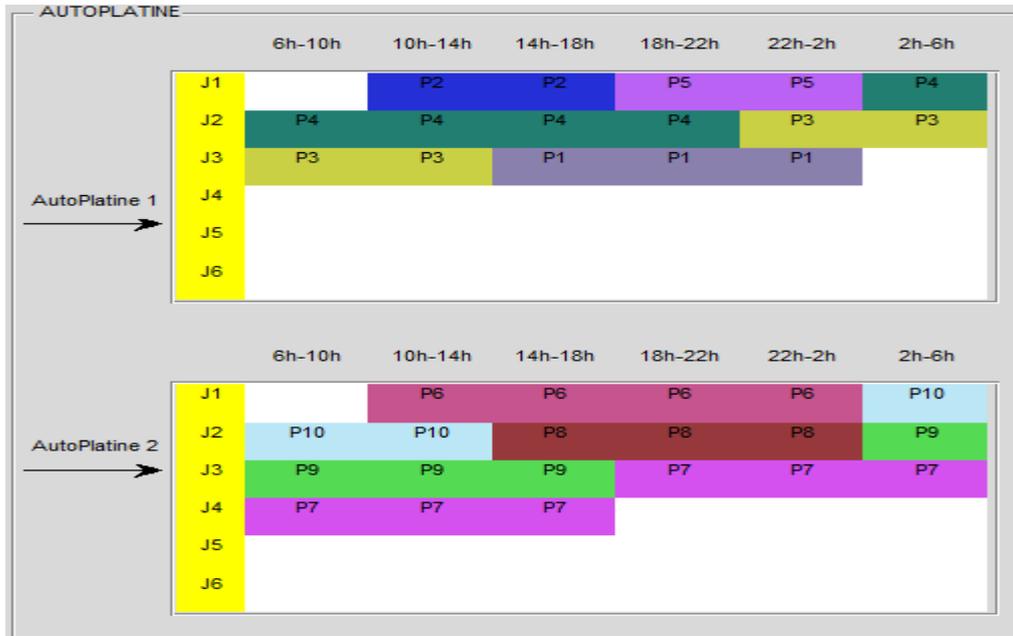


FIGURE IV-16 -Ordonnement des produits sur les machines de découpe

L'interface finale de l'application développée est présentée sur la figure IV.17.

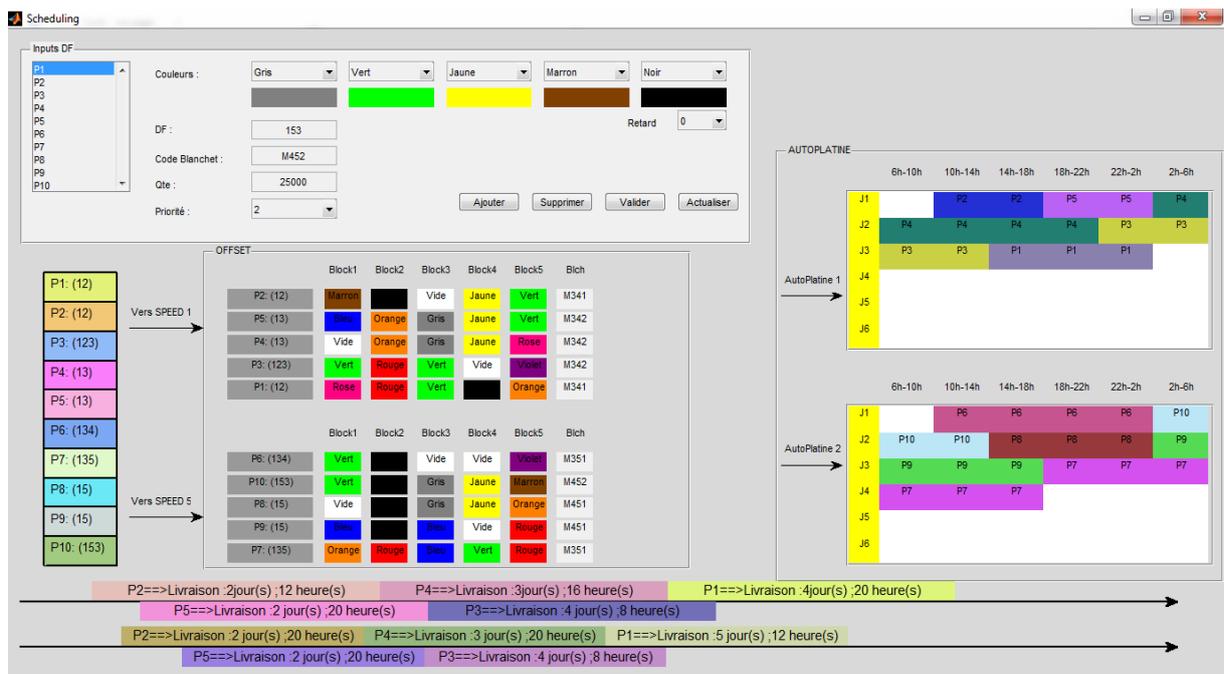


FIGURE IV-17 - L'interface finale de l'application

IV.6 Conclusion

Arrivés au terme de ce chapitre, nous avons pu développer un système décisionnel dédié à la planification. Ce dernier permet dans un premier temps, d'établir en temps réel l'ordonnancement des couleurs des produits sur les machines goulots tout en respectant les priorités. Dans un second temps, il permet de réaliser l'ordonnancement des produits dans l'atelier de découpe et d'estimer les délais de livraison de chaque produit à partir de l'ordonnancement déjà établi. La programmation sous Matlab et la modélisation mathématique nous ont été très utile dans la concrétisation de notre solution.

Conclusion générale

Afin d'assurer le développement et la pérennité d'une entreprise, celle-ci doit comprendre d'où vient son pouvoir sur le marché et comment elle peut le renforcer. Une entreprise peut augmenter sa part de marché par l'amélioration de sa chaîne de valeur et la maîtrise de ses processus. Dans une entreprise de fabrication d'emballages, qui se trouve au centre de différents secteurs d'activité, la maîtrise des flux est une condition primordiale pour atteindre les hauts niveaux de performance et proposer des services avec un délai et un coût minimum.

L'analyse menée au sein de l'entreprise SIPA, nous a conduit à déceler différents points de dysfonctionnement, et notamment dans le système de pilotage de la production. C'est dans ce cadre que notre étude s'inscrit avec la proposition de nouveaux systèmes pour améliorer le pilotage du système de production de l'entreprise.

Tout d'abord, nous avons présenté un état de l'art, afin de cerner et de maîtriser les concepts et les principes nécessaires liés directement à notre problématique.

Le diagnostic que nous avons mené au sein de l'usine de production de SIPA, nous a permis d'identifier les dysfonctionnements existants. Suite à la catégorisation et la priorisation de ces derniers, nous avons pu identifier « le manque de flexibilité dans les activités clés de la planification » comme un dysfonctionnement majeur existant au sein de l'entreprise. Pour prendre en charge ce problème, nous avons identifié trois axes d'amélioration : amélioration du système de pilotage, amélioration du système d'ordonnancement et amélioration organisationnel. Nous avons jugé bon de traiter les deux premiers axes considérés prioritaires en raison de leurs impacts sur le processus décisionnel de l'entreprise.

Le premier axe d'amélioration nous a conduit dans un premier temps à élaborer un tableau de bord de suivi de l'atelier goulot. Cet outil s'est concrétisé par le biais d'une application informatique développée en suivant la démarche classique de développement d'un logiciel. En déroulant la démarche, nous avons capturé les besoins fonctionnels du nouveau système à l'aide de l'analyse fonctionnelle. De plus, cette démarche nous a permis de décrire la conception du nouveau système en élaborant ses trois architectures conceptuelle, logique et physique. Enfin, nous sommes arrivés à l'étape de la réalisation et de la mise en œuvre, qui a comme objectif d'implémenter les principales fonctionnalités auxquelles le nouveau système devrait répondre. Dans un second temps, nous avons effectué une analyse de données afin d'identifier les leviers de performance qui sont validés par le tableau de bord et qui vont servir de support fiable lors de la prise de décision du planificateur.

Le deuxième axe d'amélioration nous a conduit à développer un système d'aide à la décision agissant sur le processus d'ordonnancement des ordres de fabrication. La concrétisation du nouveau système s'est réalisée en deux étapes. La première a consisté à optimiser l'ordonnancement des produits dans une machine d'impression en réduisant le temps de changement de série tout en respectant les contraintes de priorité et en faisant appel à une modélisation mathématique ainsi qu'à différents algorithmes d'optimisation basés sur la programmation dynamique. Quant à la deuxième étape, elle a consisté à optimiser l'ordonnancement des ordres de fabrication dans tout l'atelier goulot en utilisant la solution développée dans la première étape ainsi que différents algorithmes développés et adaptés aux contraintes de l'entreprise. Le délai de livraison de chaque produit est également estimé par le nouveau système. Enfin, une interface graphique ergonomique a été développée sous Matlab permettant une visualisation claire des résultats. Ces derniers sont obtenus en moins de 2 minutes contrairement à l'ancienne méthode qui exigeait 3 heures.

La mise en œuvre des deux nouveaux systèmes va permettre au responsable planification d'optimiser le processus de production de l'entreprise en ayant à sa disposition des outils fiables, efficaces et performants pour une bonne prise de décision. Néanmoins, les systèmes restent sujets à d'éventuels enrichissements. Ainsi, en perspective de ce travail nous proposons :

- Elargir le système de suivi en intégrant les données de l'atelier finition.
- Pousser l'analyse avec des outils plus performants, basés sur le data mining et l'intelligence artificielle.
- Prendre en compte les leviers de performance dans les algorithmes du nouveau système d'ordonnancement.
- Développer un système intelligent assurant la coordination entre le commercial et le planificateur à partir des algorithmes du nouveau système d'ordonnancement.
- Améliorer la flexibilité du système d'ordonnancement en intégrant la logique des coûts. Dans le cas où le client présentant une commande urgente perturbe le planning optimal obtenu par le nouveau système, il devra payer un coût supplémentaire.
- Intégrer des logiciels d'optimisation comme « CPLEX » dans Matlab afin d'augmenter la flexibilité et la performance de notre application d'ordonnancement selon les besoins de l'entreprise.

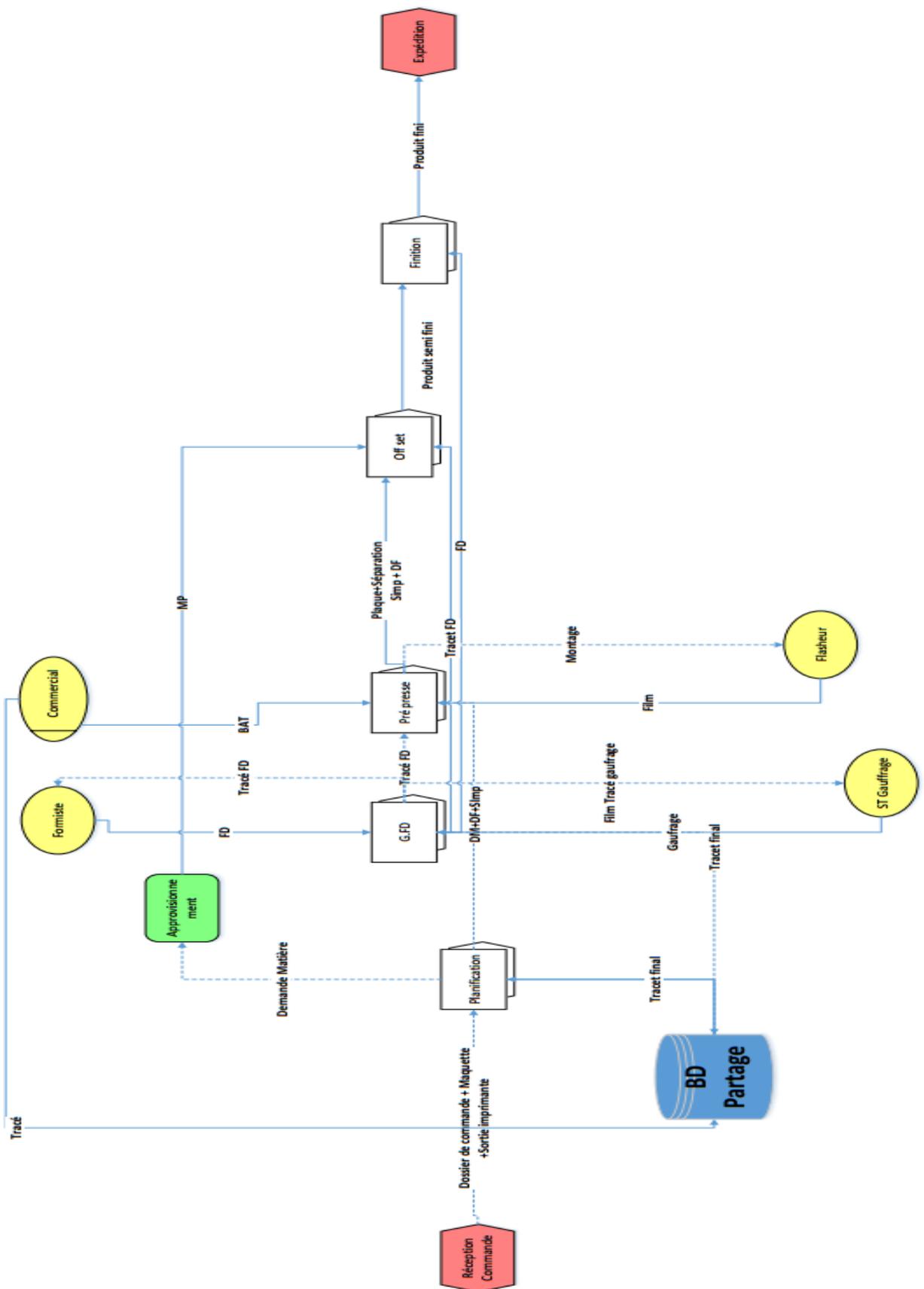
Ce projet de fin d'études représente pour nous le fruit de nos trois années de spécialité et achève notre présent parcours universitaire de la meilleure des manières. Il nous a permis décapitaliser nos connaissances et de les mettre en pratique dans le milieu professionnel.

Bibliographie

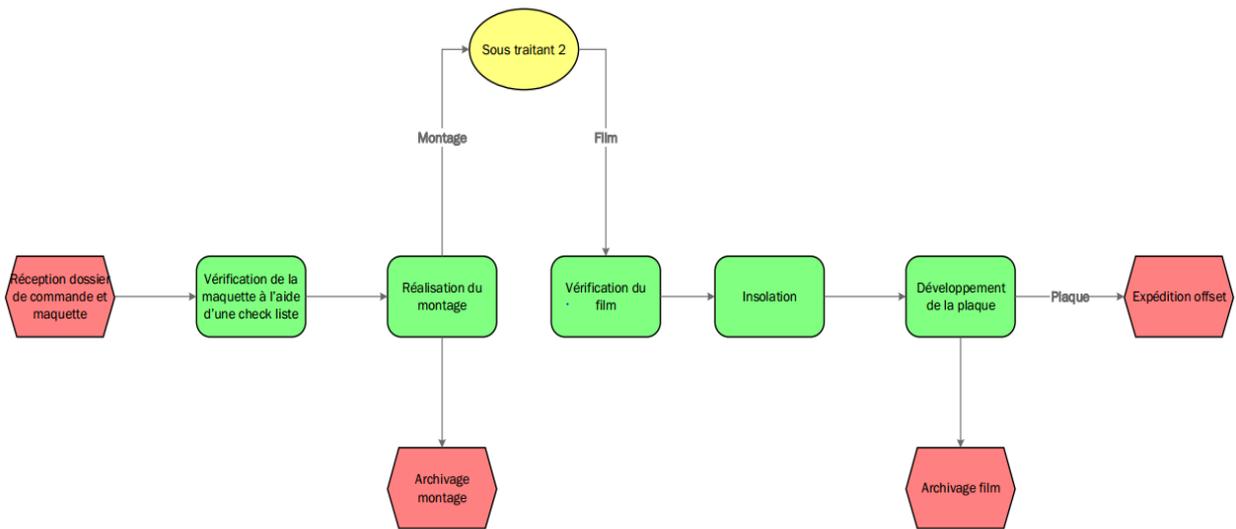
- [ANI et SUR, 2009]S. Anil Kumar, N. Suresh. Operations Management. New Age International Publishers, 2009
- [BUF et SAR, 1987]Elwood Spencer Buffa, Rakesh K. Sarin. Modern Production/Operations Management. Business and Economics, 1987.
- [JAV, 2010]Georges Javel, Organisation Et Gestion De La Production. 4^e Edition, 2010
- [DEW, 2003]Daniel DEWOLF, Gestion De La Production. Villeneuve d'Ascq, 2003
- [COU et AL, 2003]A. COURTOIS C. MARTIN-BONNEFOUS M. PILLET, Gestion de la Production. 4^e Edition, 2003
- [GRA et MED, 2009]Anne GRATACAP, Pierre MEDAN, Management De La Production. 3^e Edition, 2009
- [HOH, 2009]Christian HOHMANN. Techniques De Productivité. Groupe Eyrolles, 2009
- [ESC et PAG, 2008]Brigitte ESCOFIER, Jérôme PAGÈS, Analyses factorielles simples et multiples. Objectifs, méthodes et interprétation. Dunod (2008)
- [GIA, 2003] Vincent GIARD. Gestion de production et des flux. 3^{ème} Edition, 2003.
- [TAG, 2001] Noria TAGHEZOUT, Thèse Doctorat Conception et Développement d'un système multi-agent d'Aide à la gestion de production dynamique, Université de Toulouse, 2011
- [GRA et Al, 1979] Graham et al, Optimization and Approximation in Deterministic Sequencing and Scheduling 1979
- [KUT et Al, 2010] Michal Kutil, Premysl Sucha, Michal Sojka, and Zdenek Hanzalek,TORSCHÉ Scheduling Toolbox for Matlab, 2010
- [SIO, 2001]Aymen SIOUAD, These Doctorat Approches hybrides pour la résolution d'un problème d'ordonnancement industriel, université du Québec, 2001
- [FOR, 2012]Bernard FORTZ, Recherche Opérationnelle et Applications, 2012
- [GIM, 2005] Eduard Kh. GIMADI, On some Hard-To-Solve versions of the Assignment Prolem
- [PRI, 1997]Jacques PRINTZ, Génie logiciel, Techniques de l'ingénieur, 1997
- [SITE 01]http://www.memo.fr/article.asp?ID=CON_IND_002
- [SITE 02]http://www.surfeco21.com/?p=1521#.WRr9hes1_IU
- [SITE 03] <http://www.mathworks.com>
- [AFR 06] : Afrique SCIENCE 02(2) (2006) 198 – 211 : Efficience d'un système bâti sur le TRS global par poursuite du diagramme de fiabilité par : Timothée KOMBE1, Eugène Désiré EFAGA1, Benoît NDZANA2 et Eric NIEL.

Annexes

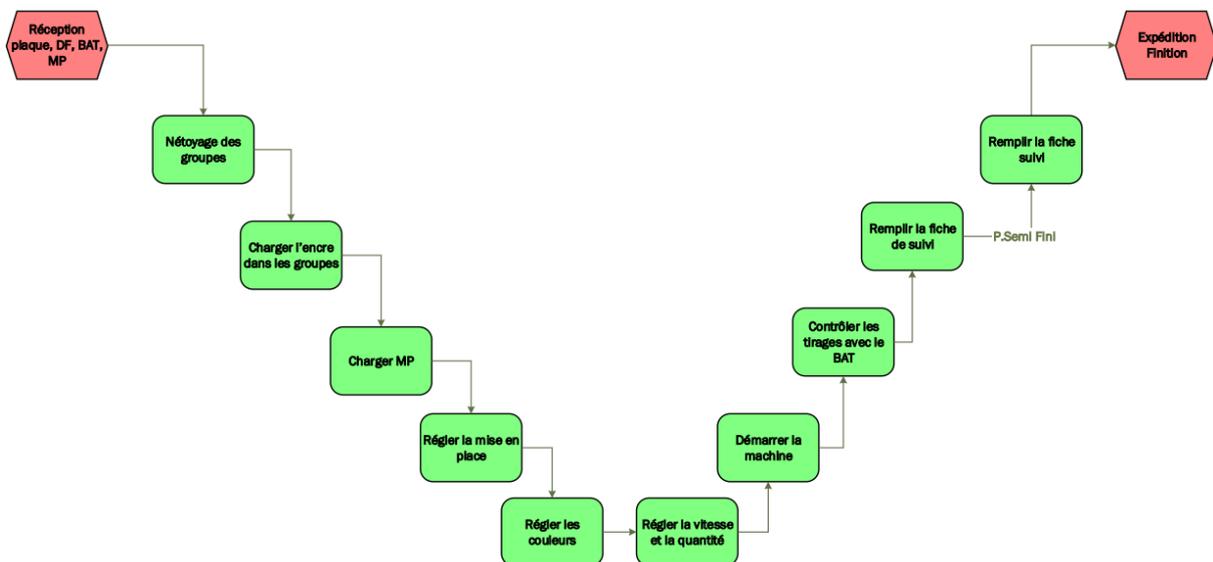
Annexe 1 : Chaîne de valeur de l'entreprise



Annexe 2 : Processus Prépresse



Annexe 3 : Processus Offset



Annexe 4 : Les Fiches de suivi

Fiche Suivi Offset

Le responsable

Machine :

Date: / / 2016

1 Chef d'équipe

Passation
 Oui Non

3 Chef d'équipe

Passation
 Oui Non

2 Chef d'équipe

Passation
 Oui Non

Offset

O1: Calage
 O2: Lavage
 O3: Problème repérage
 O4: Problème reflet
 O5: Réglage mouillage
 O6: Réglage essorage
 O7: Réglage machine
 O8: Nettoyage machine
 O9: Manque conducteur
 O10: Manque chef d'équipe
 O11: Test stagiaire
 O12: Inverse groupe
 O13: Zone vernis
 O14: Divers
 D1: Manque tirage
 D2: BAT client
 D3: Coupure courant
 D4: Reunion

Pré-press

Plaques
 P1: Problème plaques
 P2: Pince NC
 P3: Mal développé
 P4: Correction des points
 P5: Mauvaise qualité
 P6: Mal insolé
 P7: Manque plaques
 P8: Retard plaques
 P9: Manque modèle
 P10: Film
 F1: Ancien film
 F2: Film NC
 F3: Erreur de montage
 F4: Nouvelle maquette
 F5: Erreur maquette
 F6: _____

Planification

L1: Erreur format
 L2: Erreur dossier fabrication
 L3: Erreur programmation
 L4: Manque dossier fabrication
 L5: Manque d'informations
 L6: Décalage machine
 L7: _____

Appro

A1: Manque papier
 A2: Attente magasinier
 A3: Manque fournisseur
 A4: Papier humide
 A5: Papier collé
 A6: Support non conforme
 A7: _____

Maintenance

M1: Mécanique
 M2: Électrique
 M3: Électronique
 M4: Hydraulique
 M5: Hydraulique Baldwin
 M6: Hydraulique graissage huile
 M7: Hydraulique graissage graisse
 M8: Pneumatique
 M9: Pneumatique Comp.prim
 M10: Pneumatique turbine
 M11: Maintenance préventive
 M12: Manque technicien
 M13: _____

Maintenance : _____

Remarque : _____

Fiche Suivi Offset

Le responsable

Machine :

Date: / / 2016

Equipe - 1

	N° D	Dc	Fc	Qte
1.	5h45 - 13h30			
2.	5h45 - 13h30			
3.	5h45 - 13h30			

5

4

3

2

1

Equipe - 3

	N° D	Dc	Fc	Qte
1.	13h30 - 21h15			
2.	13h30 - 21h15			
3.	13h30 - 21h15			

5

4

3

2

1

Equipe - 2

	N° D	Dc	Fc	Qte
1.	21h15 - 04h45			
2.	21h15 - 04h45			
3.	21h15 - 04h45			

5

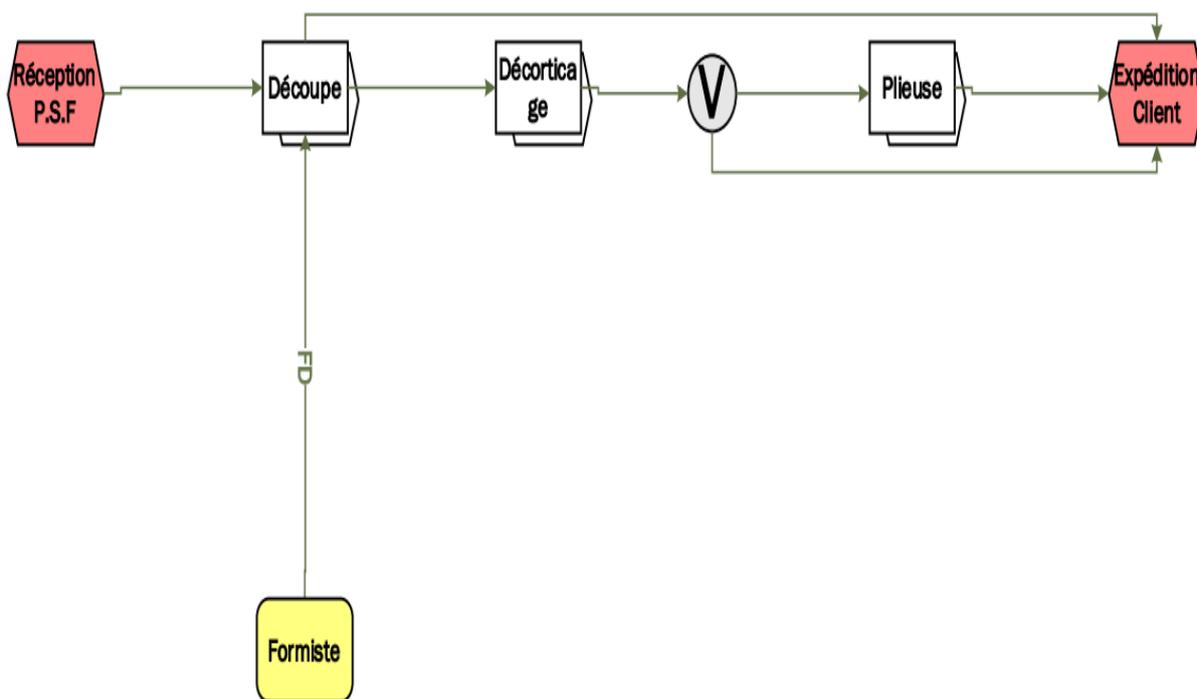
4

3

2

1

Annexe 5 : Processus Finition



Annexe 6 : Dictionnaire de données

Attribut	Signification	Domaine
IDMachine	Identifiant de la machine	Numérique
Nom	Nom de la machine	Caractère
Capacité	Capacité de la machine	Numérique
IDCouleur	Identifiant de la couleur	Numérique
NomCouleur	Nom de la couleur	Caractère
FamilleC	Famille de la couleur	Caractère
CodeHEX	Code Hexadécimale de la couleur	Caractère
IDClient	Identifiant du client	Numérique
NomClient	Nom du client	Caractère
Secteur	Secteur d'activité du client	Caractère
DF	Identifiant du dossier de fabrication	Numérique
Qte	Quantité à tirer du dossier de fabrication	Numérique
Chute	Taux de chute du dossier de fabrication	Flottant
CodePrd	Identifiant du produit (boite)	Numérique
BrailleGauf	Si le produit contient un code braille (médical) ou gaufrage (Agroalimentaire)	Booléen
longPr	Longueur de la boite	Flottant
largPr	Largeur de la boite	Flottant
Famille	Famille du produit (Sirop, etc....)	Caractère
IDDate	Identifiant de la date	Date
ID_FD	Identifiant de la forme découpe	Numérique
NomFD	Nom de la forme découpe	Caractère
NbrPose	Nombre de poses présents dans la forme découpe	Numérique
IDSUP	Identifiant du support	Numérique
Fibre	Sens des fibres respecté ou pas	Booléen
GR	Grammage du support	Numérique
LargSup	Largeur du support	Flottant
LongSup	Longueur du support	Flottant
IDEquipe	Identifiant de l'équipe	Numérique
ShiftD	Date de début du shift	Caractère
ShiftF	Date de fin du shift	Caractère
IDOp	Identifiant de l'opérateur	Numérique
NomOp	Nom de l'opérateur	Caractère
IDArret	Identifiant de l'arrêt	Numérique
Code	Code de l'arrêt	Caractère
Debut	Date de début de l'arrêt	Numérique
Fin	Date de fin de l'arrêt	Numérique
Rmq	Remarque concernant l'arrêt	Caractère

Motif	Motif de l'arrêt	Caractère
IDCmd	Identifiant de la commande	Numérique
DCompteur	Quantité du produit tirée au moment du début du tirage	Numérique
FinCompteur	Quantité du produit tirée à la fin du tirage	Numérique

Annexe 7 : Modèle logique de données

Arret (IDArret, Code, Debut, Fin, Rmq, Motif)

Machine (IDMachine, Nom, Capacité)

Date (IDDate)

Dossier Fabrication (DF, Qte, Chute, ID_FD, IDDate)

Forme Decoupe (ID_FD, NomFD, NbrPose)

Equipe (IDEquipe, ShiftD, ShiftF)

Opérateur (IDOp, NomOp, IDoEquipe)

Commande (IDCmd, IDClient)

Client (IDClient, NomClient, Secteur)

Produit (CodePrd, BrailleGauf, Nom, longPr, largPr, Famille, IDClient)

Couleur (IDCouleur, NomCouleur, FamilleC, CodeHEX)

Support (IDSup, Fibre, Nom, Famille, GR, LargSup, LongSup)

ProduitSupport (CodePrd, IDSup)

CouleurProduit (IDCouleur, CodePrd)

Tirage (DF, IDDate, IDMachine, IDEquipe, IDArret, DebutCompteur, FinCompteur)

ProduitCommande (IDCmd, CodePrd)

CommandeFabrication (IDCmd, DF)

Annexe 8 : Interface de saisie dossier de fabrication

Dossier de fabrication

DF/FM
 2 DF FM DM Ok

FD
 432 A M MI Ok

DF	Date	NFM	FD	Machine	Vernis	Pelliculage	Tirage	DM	QteDM	Support	L	H	S	nbrC	Fibre	GR	chute
10	01/06/2017	7	M432	Speed 5	Acrylique	Oui	40000		2 41000	Carta Solida	74.5	59.5	4.4328e+03	5	1	285	21 %

CodeProduit	BG	Cmd	fibre	PtCole	Ligne	Colone	NbrPose	Name	C1	C2	C3	C4	C5	NbrC	l	h	pate
1.4032e+10	Non	34	1	1	2	3	6	bronchocal...	Rouge 032	C 355 C	137 C	Noir	NaN	4	20.7300	24.1100	7.0750

Valider Enregistrer

Annexe 9 : Interface de saisie Offset

Offset

Option 01/06/2017 Machine : Speed 1 Donnée Offset

Equipe 1

0 0 0 0 R1

0 0 0 0 R1

0 0 0 0 R1

0545-1330

Code	Arrêt	Debut	Fin	Durée	Rmq

Ok Save

Equipe 2

0 0 0 0 R1

0 0 0 0 R1

0 0 0 0 R1

1330-2115

Code	Arrêt	Debut	Fin	Durée	Rmq

Ok Save

Equipe 3

0 0 0 0 R1

0 0 0 0 R1

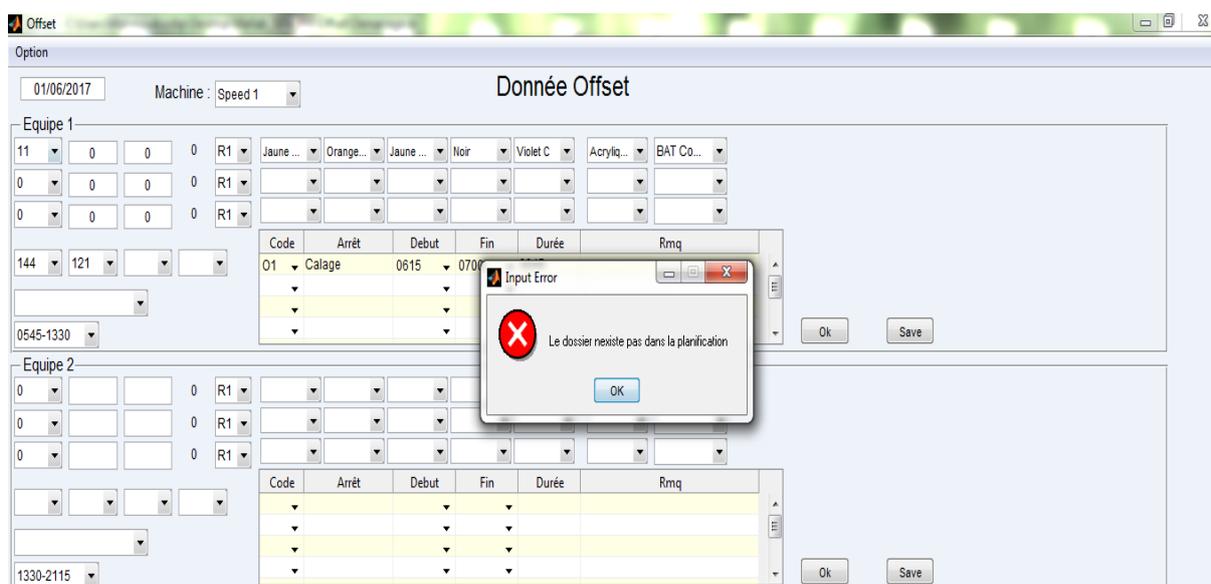
0 0 0 0 R1

2115-0445

Code	Arrêt	Debut	Fin	Durée	Rmq

Ok Save

Annexe 10 : Exemple de l'intégration référentielle



Annexe 11 : Données d'analyse Speed 5

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	DATE	Machin	Equipe	Quantit	Manque tirage	Manque BAT	TRS	Suppor	Gr	Couleu	Surface	Nbr Opérateur
2	02/01/2017	Speed 5	2	12500	60	0	0,128205	BBTB	285	5	3417	3
3	02/01/2017	Speed 5	3	30500	0	0	0,271111	BBTB	285	5	3417	3
4	03/01/2017	Speed 5	1	6500	30	180	0,108333	BBTB	285	5	3417	3
5	03/01/2017	Speed 5	2	4000	60	0	0,041026	BG	285	1	2929,5	3
6	03/01/2017	Speed 5	2	7000	60	0	0,071795	BG	285	1	2929,5	3
7	03/01/2017	Speed 5	3	1800	0	0	0,016	BG	285	1	2929,5	3
8	12/01/2017	Speed 5	2	400	0	0	0,003556	BG	325	5	3706	2
9	12/01/2017	Speed 5	3	800	0	0	0,007111	BG	325	5	3706	2
10	14/01/2017	Speed 5	1	6800	0	0	0,060444	BG	325	5	3706	2
11	14/01/2017	Speed 5	2	8500	0	0	0,075556	BG	325	5	3706	2
12	14/01/2017	Speed 5	3	24500	0	0	0,217778	BG	400	5	4321	2
13	15/01/2017	Speed 5	1	27000	0	0	0,24	BG	400	5	4321	3
14	15/01/2017	Speed 5	2	9500	0	0	0,084444	BG	400	5	4321	3
15	15/01/2017	Speed 5	3	32000	0	0	0,284444	BG	400	5	4321	2
16	16/01/2017	Speed 5	1	41500	0	0	0,368889	BG	400	5	4321	3
17	16/01/2017	Speed 5	2	43000	0	0	0,382222	BG	400	5	4321	3
18	16/01/2017	Speed 5	3	36000	0	0	0,32	BG	400	5	4321	2
19	17/01/2017	Speed 5	1	32000	0	0	0,284444	BG	400	5	4321	3
20	17/01/2017	Speed 5	2	20100	105	0	0,233043	BBTB	285	5	3710	3

Annexe 12 : Données homogènes

	A	B	C	D	E	F	G
1		Equipe	Support	Couleur	Opérateur	Surface	TRS
2	Speed 5	2	BBTB 275-300	5	3	71,37266	8,3002648
3	Speed 5	3	BBTB 275-300	5	3	71,37266	22,29576
4	Speed 5	1	BBTB 275-300	5	3	71,37266	8,3002648
5	Speed 5	2	BG450	1	3	71,37266	8,3002648
6	Speed 5	2	BG450	1	3	71,37266	8,3002648
7	Speed 5	3	BG450	1	3	71,37266	8,3002648
8	Speed 5	2	BG 300-350	5	2	86,04157	8,3002648
9	Speed 5	3	BG 300-350	5	2	86,04157	8,3002648
10	Speed 5	1	BG 300-350	5	2	86,04157	8,3002648
11	Speed 5	2	BG 300-350	5	2	86,04157	8,3002648
12	Speed 5	3	BG 400-425	5	2	96,63014	22,29576
13	Speed 5	1	BG 400-425	5	3	96,63014	22,29576
14	Speed 5	2	BG 400-425	5	3	96,63014	8,3002648
15	Speed 5	3	BG 400-425	5	2	96,63014	22,29576
16	Speed 5	1	BG 400-425	5	3	96,63014	35,091046
17	Speed 5	2	BG 400-425	5	3	96,63014	35,091046
18	Speed 5	3	BG 400-425	5	2	96,63014	35,091046
19	Speed 5	1	BG 400-425	5	3	96,63014	22,29576
20	Speed 5	2	BBTB 275-300	5	3	86,04157	22,29576

Annexe 13 : Tableau de Burt Speed 1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1		Equipe-1	Equipe-2	Equipe-3	rt-BBTB 27	rt-BBTB 31	ort-BG 30	Cort-BG 40	oport-BG4	upport-MC	Couleur-4	Couleur-5	opérateur-1	opérateur-2	opérateur-3	Surface-66	Surface-76	Surface-83	TRS-6	TRS-14	TRS-22
2	Equipe-1	88	0	0	21	37	16	5	2	7	16	72	0	28	60	45	30	13	18	45	25
3	Equipe-2	0	88	0	23	34	16	5	3	7	16	72	1	70	17	48	28	12	22	33	33
4	Equipe-3	0	0	91	30	37	11	6	1	6	16	75	3	48	40	50	31	10	19	42	30
5	Support-BBTB 275-300	21	23	30	74	0	0	0	0	0	4	70	2	37	35	35	39	0	20	36	18
6	Support-BBTB 310-350	37	34	37	0	108	0	0	0	0	15	93	2	60	46	75	19	14	25	43	40
7	Support-BG 300-350	16	16	11	0	0	43	0	0	0	25	18	0	25	18	28	14	1	6	20	17
8	Support-BG 400-425	5	5	6	0	0	0	16	0	0	0	16	0	7	9	3	13	0	2	11	3
9	Support-BG450	2	3	1	0	0	0	0	6	0	2	4	0	4	2	2	4	0	2	3	1
10	Support-MCB	7	7	6	0	0	0	0	0	20	2	18	0	13	7	0	0	20	4	7	9
11	Couleur-4	16	16	16	4	15	25	0	2	2	48	0	0	31	17	24	16	8	8	23	17
12	Couleur-5	72	72	75	70	93	18	16	4	18	0	219	4	115	100	119	73	27	51	97	71
13	Opérateur-1	0	1	3	2	2	0	0	0	0	0	4	4	0	0	2	2	0	1	2	1
14	Opérateur-2	28	70	48	37	60	25	7	4	13	31	115	0	146	0	83	41	22	37	52	57
15	Opérateur-3	60	17	40	35	46	18	9	2	7	17	100	0	0	117	58	46	13	21	66	30
16	Surface-66	45	48	50	35	75	28	3	2	0	24	119	2	83	58	143	0	0	32	61	50
17	Surface-76	30	28	31	39	19	14	13	4	0	16	73	2	41	46	0	89	0	19	44	26
18	Surface-83	13	12	10	0	14	1	0	0	20	8	27	0	22	13	0	0	35	8	15	12
19	TRS-6	18	22	19	20	25	6	2	2	4	8	51	1	37	21	32	19	8	59	0	0
20	TRS-14	45	33	42	36	43	20	11	3	7	23	97	2	52	66	61	44	15	0	120	0
21	TRS-22	25	33	30	18	40	17	3	1	9	17	71	1	57	30	50	26	12	0	0	88

Annexe 14 : Tableau de Burt Speed 5

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1		Equipe-1	Equipe-2	Equipe-3	rt-BBTB 27	rt-BBTB 31	ort-BG 30	Cort-BG 40	oport-BG4	upport-MC	opérateur-1	opérateur-2	Couleur-4	Couleur-5	Surface-71	Surface-86	Surface-97	TRS-8	TRS-22	TRS-35
2	Equipe-1	83	0	0	24	9	6	42	1	1	23	60	14	69	14	16	53	33	27	23
3	Equipe-2	0	83	0	24	9	5	43	0	2	13	70	11	72	11	18	54	26	40	17
4	Equipe-3	0	0	82	21	7	4	48	2	0	14	68	10	72	10	19	53	31	33	18
5	Support-BBTB 275-300	24	24	21	69	0	0	0	0	0	7	62	8	61	19	18	32	34	33	2
6	Support-BBTB 310-350	9	9	7	0	25	0	0	0	0	9	16	3	22	11	14	0	13	12	0
7	Support-BG 300-350	6	5	4	0	0	15	0	0	0	7	8	6	9	0	15	0	9	3	3
8	Support-BG 400-425	42	43	48	0	0	0	133	0	0	26	107	17	116	5	0	128	29	51	53
9	Support-BG450	1	0	2	0	0	0	0	3	0	0	3	0	3	0	3	0	2	1	0
10	Support-MCB	1	2	0	0	0	0	0	0	3	1	2	1	2	0	3	0	3	0	0
11	Opérateur-2	23	13	14	7	9	7	26	0	1	50	0	8	42	6	14	30	25	15	10
12	Opérateur-3	60	70	68	62	16	8	107	3	2	0	198	27	171	29	39	130	65	85	48
13	Couleur-4	14	11	10	8	3	6	17	0	1	8	27	35	0	5	12	18	10	14	11
14	Couleur-5	69	72	72	61	22	9	116	3	2	42	171	0	213	30	41	142	80	86	47
15	Surface-71	14	11	10	19	11	0	5	0	0	6	29	5	30	35	0	0	18	16	1
16	Surface-86	16	18	19	18	14	15	0	3	3	14	39	12	41	0	53	0	26	24	3
17	Surface-97	53	54	53	32	0	0	128	0	0	30	130	18	142	0	0	160	46	60	54
18	TRS-8	33	26	31	34	13	9	29	2	3	25	65	10	80	18	26	46	90	0	0
19	TRS-22	27	40	33	33	12	3	51	1	0	15	85	14	86	16	24	60	0	100	0
20	TRS-35	23	17	18	2	0	3	53	0	0	10	48	11	47	1	3	54	0	0	58

Annexe 15 : durées des tâches durant le changement de série

Offsets		Speed 4	Speed 5
Nombre de blocs		5	5
tâches			

Décalage	Temps d'exécution de la tâche (TET) (mn)	Speed 4	Speed 5
	Retirer les plaques	11	11
	Ranger les plaques	10	10
		1	1

Lavage	TET	49	64	41
	Retirer l'encre des encriers		18	
Changer le support				
nombre de couleurs	3			
temps par bloc	6			
Laver les blocs		15	30	7
type du lavage		Lavage type 1	Lavage type 2	
temps de lavage par bloc		5	10	
Préparer les encres (Panton)		10		
temps de préparation d'une couleur	2	6		
Nombre de couleurs à préparer	3	4		
Acheminement de l'encre		4		
Verser les encres		6		
temps par bloc		2		

Calage	TET	8	5
	Mettre en place les plaques	8	5

Réglages	TET	40	32
	Assurer la superposition des pauses	10	2
	Réglages de l'encre	30	30

Total du temps de changement de série (TCS)	SPEED 4	SPEED 5	
		Lavage type 1	Lavage type 2
	108	123	89