

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN GÉNIE INDUSTRIEL

PAR
BERNARD CYR

EFFETS DE DIFFÉRENTS FACTEURS SUR LA FLEXIBILITÉ
D'UNE LIGNE DE MONTAGE EN SURFACE:
UNE ÉTUDE DE SIMULATION

AOÛT 1997

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

RÉSUMÉ

L'industrie de fabrication de composantes électroniques est confrontée à un environnement très dynamique et en constante évolution. La flexibilité de la ligne de production devient un critère essentiel pour la réussite et la survie d'une compagnie oeuvrant dans ce domaine. La technologie de fabrication de montage en surface représente le coeur de cette industrie de fabrication. Cette étude a pour objet de mesurer l'effet de différents facteurs influençant la formation des mises en course sur les équipements SMT, sur la flexibilité et la productivité de ce type de ligne de production. Les facteurs étudiés sont les suivants: les politiques de formation des familles (GSU* et SDS), le facteur de similarité RHO, le nombre d'espaces disponibles pour les cassettes et la réduction du nombre de pièces. Comme mesure de performance, le temps de mise en course et le WIP (Work In Process) ont été considérés. Il a été prouvé que ces facteurs, ainsi que leurs interactions, ont une influence sur la performance de la ligne de production étudiée. Pour effectuer cette recherche, la simulation sur ordinateur et les techniques de design expérimental ont été utilisées pour obtenir et analyser les résultats. Basé sur les résultats de cette recherche, des recommandations ont été apportées à la compagnie 'Les Systèmes Electroniques Matrox' à Dorval dans le but d'optimiser leur système de production.

Parmi les résultats obtenues, il a été prouvé que la technique de regroupement GSU (Group Set Up) est plus stable que la technique SDS (Sequence Dependent Scheduling) en rapport aux variations des autres facteurs dans l'environnement étudié de Matrox par contre la technique SDS permet de maintenir un niveau d'encours (WIP) plus faible en comparaison de la technique GSU. Le facteur de similarité RHO influence

peu le système compte tenu de la grande variété de gamme de produit que la compagnie offre à sa clientèle. Ce facteur s'est avéré peu performant dans cet environnement flexible. La réduction du nombre de pièces a une influence sur la réduction des temps de montage mais il est important de considérer les autres facteurs externes avant de mettre en place un tel projet. Le nombre de cassettes disponibles est un autre facteur qui influence les temps de mise en course mais il est important de faire une étude coût/bénéfice pour obtenir une solution optimale.

Les résultats de la recherche recommande d'adopter la technique GSU*. Cette technique permet de réduire significativement les temps de mise en course. Il s'agit d'un critère essentiel pour la compagnie Matrox. La recherche propose de poursuivre la recherche au niveau de la conception des produits afin de simplifier la complexité manufacturière à la source.

REMERCIEMENTS

Ceci est le résultat d'un long processus de travail et de remise en question au niveau de mon 'expertise' comme gestionnaire dans un environnement de haute technologie. La curiosité, au niveau du sujet, fut l'élément le plus important pour obtenir les résultats de ce mémoire de recherche. Je remercie beaucoup Dr Georges Abdul-Nour, mon directeur de thèse, pour son temps, sa disponibilité et son amitié.

Je tiens également à remercier mes confrères d'étude, Serge Lambert (200 heures de simulation) et Éric Pilon (22500 kilomètres de voiture), pour avoir vécu avec mes humeurs et paresse et mon co-directeur de recherche, Dr René Rochette, pour avoir révisé mes travaux imparfaits.

Et finalement, je remercie pour la motivation ma famille et Nadya Tremblay, ma fiancée.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	iii
REMERCIEMENTS	v
TABLE DES MATIÈRES	vi
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	x
CHAPITRE I	11
Introduction et présentation de la problématique	11
Introduction	11
Problématique: Conceptualisation du problème de recherche	11
Les principes de technologie de groupe et les effets sur la flexibilité	13
CHAPITRE II	16
Recension des écrits et du cadre théorique	16
Introduction	16
Flexibilité manufacturière	16
Le modèle de flexibilité	18
Les applications de technologie de groupe dans l'assemblage SMT	18
Politiques générales de gestion	19
Algorithmes pour regrouper les produits en familles	20
Les politiques d'ordonnancement	22
Stratégie de la recherche	24
CHAPITRE III	26

Planification opérationnelle de l'expérience	26
Description du modèle	26
Observations en regard du système	29
Les machines:	30
Les techniques de gestion:	30
Les produits:	30
Approche de la recherche	31
Description des facteurs et des différents niveaux	32
Évaluation du système de production	34
Les machines:	35
Les techniques de gestion:	35
Les produits:	35
CHAPITRE IV	36
L'expérience et ses résultats	36
L'expérience	36
Les résultats	40
L'analyse de DUNCAN	42
Les interactions	46
Analyse des résultats	48
La politique de formation des familles	48
Le facteur de similarité (ρ)	49
La capacité des cassettes	50
La réduction du nombre de pièces	51
Interaction entre la méthode de regroupement et le nombre d'espaces cassettes	51

Interaction entre la méthode de regroupement et le facteur de similarité	
RHO	52
CHAPITRE V	53
Conclusions et recommandations	53
Les conclusions de l'expérience dans son ensemble	53
Recherches futures sur le sujet	54
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	56
ANNEXE A: Le modèle de simulation	60
ANNEXE B: Les résultats de la simulation	98

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Revue de littérature sur les modèles de flexibilité	17
Tableau 2: Effets de combiner les kits	19
Tableau 3: Scénarios de l'expérience	36
Tableau 4: Table ANOVA partielle pour la variable dépendante WIP	40
Tableau 5: Table ANOVA partielle pour la variable dépendante temps de setup	41
Tableau 6: Résultats du traitement statistique DUNCAN (WIP)	42
Tableau 7: Résultats du traitement statistique DUNCAN (temps de montage)	43
Tableau 8: Solution optimale	54

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Méthode GSU	21
Figure 2: Formation des familles	21
Figure 3: Méthode SDS	22
Figure 4: Ligne de montage en surface	26
Figure 5: Niveau de la politique de formation des familles	43
Figure 6: Niveau du nombre d'espaces cassettes	44
Figure 7: Niveau du facteur RHO	45
Figure 8: Niveau du la réduction du nombre de pièces	46
Figure 9: Interactions entre les politiques de GT et les cassettes	47
Figure 10: Interactions entre les politiques de GT et le facteur RHO ..	47

CHAPITRE I

INTRODUCTION ET PRESENTATION DE LA PROBLEMATIQUE

Introduction

Cette section est divisée en deux parties. La première partie présente la problématique de l'industrie manufacturière électronique et permet de bien conceptualiser l'importance de cette recherche. La deuxième partie introduit l'application des principes de technologie de groupe et ses effets sur la flexibilité d'une ligne de production de montage en surface (SMT).

Problématique: Conceptualisation du problème de recherche

L'électronique est un domaine en pleine croissance. Cette croissance rapide entraîne une multitude de contraintes en gestion manufacturière. La ligne de montage en surface forme la principale composante de fabrication dans cette industrie. Parmi ces contraintes, la principale est le manque d'efficacité des équipements automatisés de montage en treillis (surface). La productivité d'une chaîne d'assemblage devient un critère essentiel pour la survie d'une compagnie dans le domaine de l'intégration électronique. Selon une étude de la compagnie NEC, la productivité de leurs machines SMT (surface mount technology) était de 25% seulement pour l'ensemble des lignes de production [11].

Une autre caractéristique importante de cette industrie est l'évolution rapide des technologies de production et des produits. La

création rapide de nouveaux produits entraîne une multitude de contraintes de fabrication, tel que: support technologique (maîtrise de nouvelles technologies), petit volume de production, qualité des produits, coût de production élevé, etc. Les marchés multiples entraînent des volumes de production très variables selon le type de produit.

Dans les industries d'intégration de circuits imprimés, les lignes de montage en surface sont des chaînes d'assemblage hautement spécialisées qui se caractérisent principalement par leurs coûts d'opération élevés. La productivité, de ce type d'équipement, est un facteur essentiel pour la survie d'une usine d'assemblage de ce type de technologie [14]. Avec les changements rapides des solutions techniques des produits, les fluctuations de la demande sont importantes pour la majorité des produits dans le domaine. De plus, les compagnies ont tendance à créer des distinctions (variations), pour le même produit, afin de le démarquer pour chacun des marchés visés, face à ses concurrents (niche technologique). Pour vulgariser l'effet sur le système de production, il y a une forte variation des volumes de production selon le type de produit.

Ceci implique que la ligne de montage en surface est soumise à une nouvelle contrainte soit: d'être flexible. Une compagnie de fabrication doit maintenant chercher à posséder des équipements plus productifs et plus flexibles afin d'être capable de répondre à cette demande spécialisée et variée.

Les contraintes principales, attachées à une demande mixte à volume variable, sont principalement:

- un grand nombre de produits et pièces à assembler;
- temps de mise en course importants;

- gestion complexe;
- diverses technologies à maîtriser.

Le prochain défi pour une compagnie de montage en surface est de pouvoir composer avec les différentes contraintes afin de conserver une bonne productivité manufacturière tout en maintenant la qualité de son service à la clientèle.

Les principes de technologie de groupe et les effets sur la flexibilité

Dans le passé, le rendement était le facteur principal pour mesurer la performance au niveau de la productivité d'un système de production. Avec la venue du juste à temps [21] [16] et de la théorie des contraintes [9], la flexibilité devient un facteur très important pour mesurer la performance.

À l'aide des principaux facteurs caractérisant la flexibilité manufacturière d'une ligne de montage en surface, il est intéressant de définir les principaux critères de flexibilité pour le système de production de la présente étude. Une fois la flexibilité manufacturière définie, il sera possible de vérifier les effets de l'application des principes de technologie de groupe et d'autres facteurs sur la performance d'un département de montage en surface.

Définition du problème de recherche

Sensibilisé à cette nouvelle réalité manufacturière, la compagnie Matrox effectue présentement des recherches, à l'intérieur de son département d'ingénierie de qualité et productivité, dans le but d'apporter des solutions à cette problématique, soit le manque de flexibilité et de productivité [6].

L'application des principes de technologie de groupe à partir de l'étape de design des produits, semble une avenue intéressante pour cette compagnie, qui est responsable de la conception et de la fabrication en partie de ses produits. Il s'agit d'une démarche qui s'inspire des principes de la standardisation, de l'interchangeabilité des pièces et de l'ingénierie simultanée.

En diminuant la variété des composantes utilisées dans la fabrication des produits, des gains potentiellement importants peuvent être faits pour résoudre le manque de productivité vécu. Chez Les Systèmes Electroniques Matrox, une étude préliminaire a démontré que l'on pourrait diminuer de 20% le nombre de composantes nécessaires à la fabrication des produits en intégrant un système de pièces préférentielles. Ce système serait une application informatique proposant des composantes préférées dans la fabrication pour diminuer la variété des pièces lors de la conception des produits.

Présentement, la compagnie utilise la GT (technologie de groupe) dans la gestion et la formation des montages de sa ligne de production [6]. À ce niveau, les écrits proposent différentes méthodes d'application des principes de technologie de groupe. Selon les différents critères de flexibilité requis, il est impératif d'adopter une politique optimale pour la gestion de la ligne de fabrication SMT en fonction des caractéristiques des produits de la compagnie.

Avant de se lancer dans un tel projet, la direction était consciente qu'il est important de bien comprendre les gains potentiels dans l'application des principes de technologie de groupe à l'étape de la conception et de la production des produits.

Dans cette perspective, une étude en parallèle fut menée par le laboratoire de productique de l'Université du Québec à Trois-Rivières et Serge Lambert [12] afin de mesurer les effets des politiques d'ordonnancement sur une ligne de production opérant dans ce type d'environnement. Ainsi un plan d'expérience intégrant plusieurs variables de décision au niveau de la flexibilité (GT, formation de familles, standardisation des produits, diminution du nombre de composantes et nombre de cassettes utilisées) et au niveau de la gestion de la ligne de production (règles d'ordonnancement inter et intra famille) a été développé. Les effets de ces variables ainsi que leurs interactions sur la performance du système de production seront mesurés. Les techniques de la simulation par ordinateur, de design expérimental et d'analyse de la variance seront utilisées afin de chercher à optimiser le procédé.

CHAPITRE II

RECENSION DES ÉCRITS ET DU CADRE THÉORIQUE

Introduction

Cette recherche est divisée en trois volets principaux: la flexibilité manufacturière, le modèle de flexibilité et les applications de technologie de groupe pour l'assemblage des PCB (Printed Circuit Board) sur une ligne de montage en surface. Finalement, la dernière partie présente la problématique et les objectifs de cette étude.

Flexibilité manufacturière

Le point principal, dans cette partie de la recherche, était de trouver une façon de mesurer la flexibilité manufacturière telle qu'adoptée à Matrox. Cette recherche s'est orientée vers les différentes définitions que nous proposent les écrits. Gupta et Goyal [10] présentent les différents modèles proposés par la littérature pour définir la flexibilité manufacturière, les modèles sont classés dans le tableau 1. La classification proposée par Browne [3] fut retenue pour évaluer les différents modèles proposés dans les différents articles sur le sujet. Cette classification nous permet de facilement visualiser les différents points couverts par les résultats des recherches des différents auteurs.

Le tableau 1 présente un sommaire des principaux modèles de flexibilité définis dans la littérature.

Tableau 1: Revue de littérature sur les modèles de flexibilité

Modèles	Machine	Procédé et séquence	Produit	Routage	Volume	Expansion	Production
Mandelbaum (1978)		Action					Constante
Buzacott (1982)	Machine	Travail					
Son and Park(1987)	Procédé		Equipement		Demande		Produit
Zelenovic (1982)		Adaptation					Application
Gerwin (1982)		Conception	Composante	Routage	Volume		Mixte
Frazelle (1982)		Conception	Composante	Routage	Volume		Mixte
Carter (1982)	Machine	Mixte	Changement mixte	Routage		Expansion	Production
Azzone et Berte(1987)		Procédé	Nombre de produits	Routage	Volume		Production
Barrad et Sippe(1988)	Machine Setup	Procédé et opération		Routage	Volume		
Chatterjee et al. (1984)		Composante spécifique	Mixte de composantes	Routage			
Gustavsson (1984)			Produit		Demande	Machine	
Slack (1983)		Qualité	Nouveau produit		Volume		Production mixte

Dans la présente recherche, la flexibilité interne [1] est le type de flexibilité que nous allons chercher à mesurer. Les facteurs mesurés seront de type "dur" donc facilement mesurables.(ex:temps de mise en

course). Les facteurs mous ne seront pas retenus (ex: flexibilité organisationnelle) malgré qu'il est clair pour nous qu'il y aura un gain au niveau de l'augmentation de la flexibilité externe.

Le modèle de flexibilité

Parmi les modèles de flexibilité manufacturière recensés dans la littérature, le modèle de Gerwin [8] fut retenu pour la présente étude car il s'adresse à une production mixte de produits tel que présenté dans la problématique. Le modèle propose principalement que la flexibilité est la capacité d'avoir:

- une production de différents produits sans aucune relation entre eux;
- l'addition et le retrait de composantes sans affecter la productivité;
- des routages dynamiques pour assigner les produits;
- une réaction rapide au changement de conception;
- une production rapide de différents volumes ou lots de production.

Il s'agit d'une caractérisation qui décrit très bien la fabrication dans un environnement d'intégration de circuits imprimés.

Les applications de technologie de groupe dans l'assemblage SMT

En 1991, on évaluait la valeur du marché servie par l'industrie électronique à environ 200 milliards de dollars U.S./ année [15] et on prévoit une croissance importante pour les prochaines années. Selon le 'Industrial Engineering Handbook' [19], la tendance, dans l'industrie manufacturière de l'électronique, est de plus en plus orientée vers l'adoption de la technologie de production de lignes d'assemblage dites SMT (Surface Mount Technology).

La recherche, dans le domaine de la gestion de lignes de montage en surface, est très importante et plusieurs travaux furent recensés sur les applications de GT dans l'assemblage des PCB sur une ligne SMT. La littérature propose différents algorithmes basé sur la technologie de groupe et traite principalement de trois domaines soient: les politiques générales de gestion, les algorithmes pour regrouper les produits en familles et les politiques d'ordonnancement.

Politiques générales de gestion

Carlson [4] propose un modèle pour optimiser la préparation des pièces assignées aux différents départements d'une usine d'assemblage électronique. La méthode propose d'optimiser la préparation des pièces en regroupant les composantes communes pour diminuer la manutention et les manipulations de celles-ci. En utilisant cette méthode, les effets sur la productivité, en comparaison avec les assemblages dédiés, sont présentés au tableau 2.

Tableau 2: Effets de combiner les kits

Effets	Dédié	Combiné
Préparation et compte des pièces	Dispendieuse	Minime
Erreurs de préparation	Intermittente	Minime
Chargement des machines	Dispendieuse	n/a
Déchargement des machines	Dispendieuse	n/a
Retour en magasin	Dispendieuse	n/a
Approvisionnement des casiers	n/a	Minime
Approvisionnement des boites	n/a	Minime
Inventaire en magasin	Moyenne	Moindre

Inventaire sur le plancher	Elevé	Elevé
Inventaire sur les roulettes	Minime	Elevé
Inventaire des produits finis	Elevé	Minime

Il existe, dans un autre ordre d'idée, un algorithme pour la formation de cellules manufacturières proposé par Luzzatto et Perona [13] qui offre un modèle pour assigner la production de PCB à différentes machines selon des familles de produits. Le but de cette méthode est de former des cellules manufacturières dédiées à la production d'une famille de produits à chaque centre de travail. Srinivasan [22] s'est également attardé à la problématique, et offre une solution mathématique à celle-ci.

Sadiq [20] et al. ont développé un algorithme pour réduire le temps de déplacement des cassettes contenant les pièces. Le modèle propose une position pour les cassettes afin de diminuer le déplacement de celles-ci ce qui entraîne une réduction du temps de fabrication. Une variation de cette stratégie, de Peters et Subramanian, propose d'assigner les pièces (cassettes) à des machines qui fonctionnent en parallèle [17].

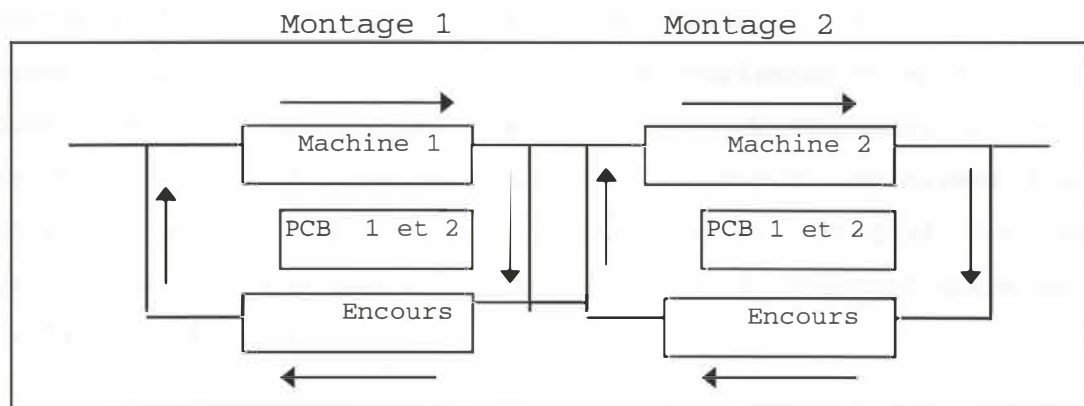
Algorithmes pour regrouper les produits en familles

Les machines SMT sont des équipements possédant un nombre limité d'espaces pour contenir les cassettes des pièces à être assemblées. Lors de l'ordonnancement de la production, le planificateur cherche à diminuer le nombre des montages pour minimiser les temps de mise en course. Dans la littérature, plusieurs algorithmes sont proposés pour résoudre ce problème.

Carmon [5] propose une méthode (GSU) utilisant deux machines. Un montage dédié est formé sur la première machine. Le montage est formé

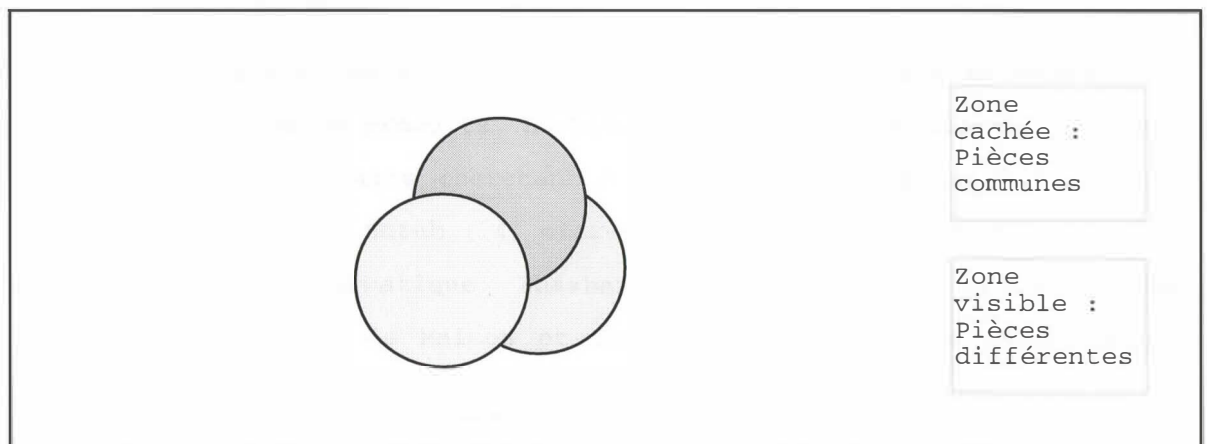
des pièces les plus fréquemment utilisées par les produits. La deuxième machine est utilisée pour la pose des composantes résiduelles (figure 1). La méthode GSU (Group Set-Up) possède l'avantage de diminuer les temps de mise en course et d'optimiser le rendement des machines mais possède l'inconvénient d'augmenter les encours.

Figure 1: Méthode GSU



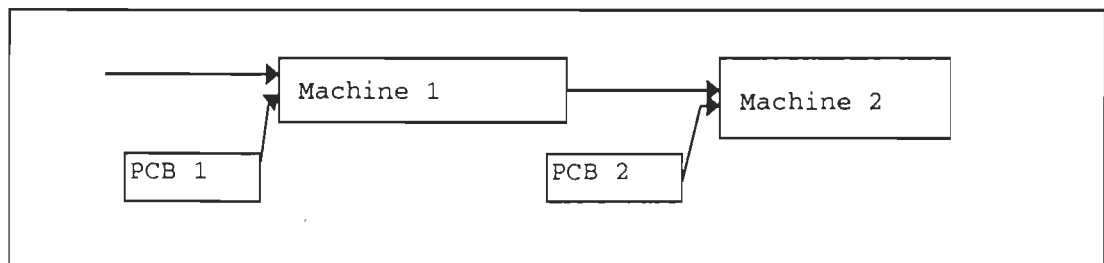
Hashiba et Chang [11] ont divisé la méthode d'ordonnancement sur une seule machine en trois parties: formation des familles de produits (figure 2), ordonnancement des groupes et assignation des pièces. Cette méthode est présentement utilisée chez Matrox pour l'ordonnancement de la production.

Figure 2: Formation des familles



La méthode traditionnelle d'ordonnancement est nommée SDS (Sequence Dependent Scheduling). Cette méthode consiste à former des familles indépendantes, il s'agit de la méthode présentement utilisée par la compagnie étudiée. Le rapport de recherche écrit par Cyr [6] présente une description d'une application pratique de cette méthode et la figure 3 présente une description graphique de celle-ci. Maimon et Carmon [15] ont présenté un modèle comparatif entre la méthode SDS et GSU. Les deux méthodes furent comparées selon les trois critères suivants: la productivité, les encours moyens et la complexité d'implantation. Les conclusions de l'étude établirent que la méthode GSU offre une meilleure productivité. La SDS permet par contre d'obtenir un niveau d'encours plus bas et est plus simple d'implantation. De plus, le type de production (mixte vs dédié) est un facteur très important quant au choix de la méthode à utiliser.

Figure 3: Méthode SDS



Les politiques d'ordonnancement

Par la suite, plusieurs auteurs proposent d'autres méthodes pour former les groupes de produits. Hashiba et Chang [11] utilisent un modèle de programmation linéaire cherchant à minimiser le temps global de mise en course. Maimon et Shtub (14) offrent un modèle sensiblement semblable avec un modèle informatique. Bhashar et Narendran [2] proposent une adaptation du modèle de Maimon et Shtub par une approche de recherche

opérationnelle utilisant la technique d'arborescence (maximum spanning tree).

Dans le même ordre d'idée de Maimon et Shtub [18], Randhawa et associés [18] présentent une solution appliquée à des machines d'insertion automatique THT (Trough Hole Technology).

La tendance dans la recherche, au cours des cinq dernières années, est clairement orientée vers l'utilisation des familles de produits afin de réduire les temps de mise en course. Avec l'ensemble de la recherche effectuée dans le domaine de technologie de groupe, il est clair que l'industrie s'oriente de plus en plus vers l'utilisation des nouvelles techniques d'ordonnancement. Les modèles mathématiques ont prouvé qu'ils pouvaient augmenter la productivité mais il existe une limite imposée par les produits et le grand nombre de composantes qui les constituent. Afin de réduire cette limite, il est clair que la réduction de pièces utilisées semble une solution logique.

La recherche est orientée vers deux types d'application pour la composition des temps de mise en course au niveau de l'ordonnancement des lignes SMT:

- la méthode SDS,
- la méthode GSU.

Pour la présente recherche, il sera intéressant de voir les effets d'interaction entre l'application de technologie de groupe dans la conception des produits et les deux politiques d'ordonnancement sur la flexibilité du système de production. La littérature a démontré que les meilleurs résultats des techniques de regroupement sont obtenus dans un environnement avec une demande mixte à volume variable.

Stratégie de la recherche

Le but de cette recherche est de développer un modèle théorique, adapté au type de production SMT utilisé chez Matrox, afin de démontrer les impacts de l'application des principes de technologie de groupe, au niveau du design et de la fabrication des produits et du choix de la politique d'ordonnancement, sur la productivité de ce système de fabrication. Par cette recherche, le choix des composantes dans la fabrication d'un produit pourrait devenir un facteur essentiel pour la compétitivité de la compagnie. Le contrôle de l'évolution rapide de la conception des nouveaux produits pourrait influencer la compétitivité d'une compagnie au niveau de la fabrication de ses produits. Le choix d'une politique d'ordonnancement optimale pourrait augmenter de façon significative la productivité des équipements de production.

L'industrie des équipements de placement de pièces SMT est clairement orientée vers la production de machines ultra-performantes. Selon le dernier sondage effectué par la revue 'Circuit Assembly' [7], l'ensemble des équipements devient de plus en plus performant. Dans cette dernière étude, parmi les facteurs qui furent considérés dans l'évaluation des machines, il y avait: la facilité de mise en course, la vitesse de placement et le nombre de possibilités de composantes pouvant être posées.

L'objectif de cette étude est de déterminer les effets des variables indépendantes suivantes : la politique de formation de familles de produits, l'influence du nombre d'espaces cassettes disponibles, l'application d'un facteur de similarité RHO et la réduction du nombre de pièces sur l'ensemble des produits. Par la suite, mesurer l'effet de leurs interactions, dans un contexte de flexibilité, sur la performance d'une ligne de montage en surface produisant des cartes électroniques de

haute technologie. La demande pour ces produits est caractérisée par une grande variété et de petits volumes d'où l'importance du contexte de flexibilité.

Les mesures de performance utilisées dans la présente étude sont le WIP (Work In Process) et les temps de mise en course. Le temps de passage fut également mesuré mais il s'agit d'une mesure principalement orienté pour valider les effets des politiques d'ordonnancement.

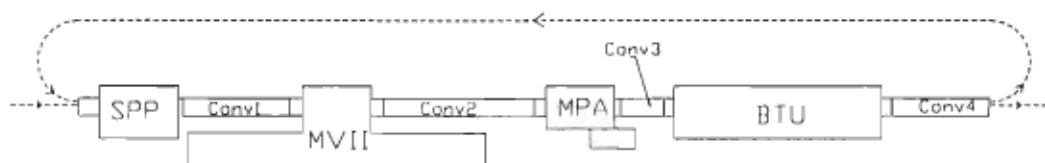
CHAPITRE III

PLANIFICATION OPÉRATIONNELLE DE L'EXPÉRIENCE

Description du modèle

Le modèle consiste en une cellule d'assemblage dite de montage en surface standard de l'industrie de fabrication électronique. La cellule est composée d'une machine rapide et d'une machine de placement. Il s'agit de machines qui fonctionnent en série. Il n'y a aucun encours entre les deux machines: lorsqu'une machine tombe en panne la ligne, par conséquent, doit être arrêtée. La machine la plus lente impose le débit de la ligne de production (figure 4).

Figure 4 : Ligne de montage en surface



La machine de placement possède la possibilité de poser l'ensemble des composants SMT sur la carte. La machine rapide est limitée par la précision requise pour la pose de la pièce. Par conséquent, la machine de placement est utilisée pour l'assemblage des pièces à haute précision.

Voici une description détaillée, des équipements employés par la compagnie étudiée avec les autres équipements qui composent la ligne de montage en surface:

La SPP (Imprimante de pâte)

Cette machine a pour fonction d'étendre la pâte à souder pour les pièces de montage en surface. Le motif de la pâte est défini par un décalque correspondant à la carte fabriquée.

Le niveau de qualité de cette machine est très difficile à contrôler car il est dépendant des conditions climatiques de l'environnement manufacturier. La qualité est déterminée par un bon contrôle de l'épaisseur de la pâte appliquée sur le PCB.

L'opérateur de la machine est responsable de la sérialisation des cartes mises en production. Cette sérialisation est le moyen utilisé pour assurer une traçabilité efficace des lots mis en production.

La MVII (machine de placement)

La majorité des pièces sont posées par cette machine. Elle est responsable de la pose de l'ensemble des pièces discrètes et de tous les circuits intégrés sur les cartes. Possédant une multitude de têtes pour la pose des pièces, cette machine est la plus rapide de la ligne de montage.

La capacité de charge est de 75 cassettes pour chacun de ses chariots (elle en possède deux). Elle est donc capable de contenir des montages possédant près de 150 pièces différentes. La machine choisit la position de ses pièces sur les chariots afin d'optimiser la pose de celles-ci. Il s'agit d'une machine très sophistiquée à la fine pointe de la technologie.

Les mises en course sont très laborieuses au niveau du temps et de la complexité de montage. Lors de la pose de nouvelles composantes, il est nécessaire de faire un apprentissage à la machine de la position et des dimensions de la pièce.

La MPA (machine de placement de précision)

Ce robot est responsable de la pose des circuits possédant du 'fine pitch'. Le 'fine pitch' est une caractéristique de certaines pièces demandant une forte précision de positionnement sur la carte.

Cette machine est plus lente que sa voisine la MV2 mais elle est capable de placer des pièces demandant des précisions au 20/1000 de pouce. La MPA possède trois têtes de montage et 30 feeders à l'avant et à l'arrière.

Présentement, le compétiteur de Panasonic, la compagnie Fuji, offre une machine capable de placer des pièces au 6/1000 de pouce.

BTU (four)

Ce four à convection sert à souder les pièces SMT posées par la MV2 et la MPA sur les cartes. La vitesse du convoyeur est ajustable selon le type de profil désiré par la compagnie.

D'ordre général, il est important de comprendre les éléments suivants : l'ensemble des pièces doivent être enrubannées avant d'être insérées dans une cassette pour la machine rapide, les cassettes sont compatibles entre les deux machines de fabrication (MV2 et MPA), certaines pièces de grandes dimensions et haute précision sont posées sur des plateaux et l'ensemble de celles-ci sont dédiées à la machine de

placement, la position des cassettes pour la mise en course de la machine est déterminée par le logiciel de support fourni par le fabricant des machines, il s'agit d'un logiciel qui cherche à optimiser la position des pièces afin d'améliorer le temps d'assemblage et finalement le logiciel de formation des familles forme le montage des deux machines.

La mise en course des équipements

Lors des opérations de préparation des machines pour la production, il existe trois types de mise en course distincts:

1. La mise en course de la famille: Lors de cette opération, les opérateurs doivent retirer l'ensemble des cassettes du montage précédent, ranger les cassettes, poser les nouvelles pièces, installer les nouvelles cassettes, inspecter le nouveau montage, faire la mise en course des produits et faire la mise en course de la variation.
2. La mise en course du produit: L'opérateur de la machine est chargé de faire l'ajustement des convoyeurs, d'enseigner les coordonnées de la carte à la machine et de faire la mise en course de la variation.
3. La mise en course de la variation: Lors de cette opération, le programme de fabrication du produit doit être chargé dans la machine et la première carte doit être assemblée et inspectée.

Observations en regard du système

Les observations, concernant le système, sont divisées en trois catégories distinctes soient:

Les machines:

- Le système de production est composé de deux machines mais les mises en course sont simultanées , il est donc considéré comme formé d'une seule machine.
- Il y a une seule carte en encours entre les deux machines
- L'espace de rangement des cassettes sur les machines est fixe. Le nombre maximum de cassettes est déterminé par le montage.
- On considère que les sources des composantes n'influencent pas le nombre de pièces. Une pièce peut provenir de différents sous-traitants et occuper la même cassette sur le montage.

Les techniques de gestion:

- Le calendrier de production sera établie sur une période hebdomadaire afin de bien représenter les techniques de planification de la compagnie étudiée.
- Il n'y a aucun changement de cédule de production à l'intérieur de la période de formation des familles.
- Il s'agit d'une ligne de production strictement dédiée à une production stable (aucune pré-production).

Les produits:

- Les produits proviennent des demandes indépendantes des clients représentés par des technologies totalement différentes: vidéo, graphique, réseau et image.
- Les technologies de fabrication sont multiples: SMT, BGA, etc.
- Aucun assemblage automatisé des composantes THT.

Approche de la recherche

L'approche globale de l'expérience est de mesurer les effets des différentes variables sur la productivité dans un environnement flexible qui nous permettra de déterminer une solution optimale. L'expérience cherchera à présenter une représentation réaliste de la ligne de montage en surface de la compagnie Les Systèmes Electroniques Matrox.

Un groupe de variables furent sélectionnées pour mesurer les effets sur la performance de la ligne de montage en surface. Pour bien comprendre les influences sur le système, un plan expérimental fut réalisé afin d'évaluer les effets des différentes variables, de leurs niveaux et des interactions entre celles-ci. Pour la présente étude, le plan expérimental est composé de cinq variables divisées en deux niveaux distincts. Un plan factoriel complet de 2^5 sera utilisé pour bien décrire les effets sur le système.

À cause de la grande variabilité de produits et de composantes, l'utilisation de l'approche analytique s'avère impossible. La technique de simulation par ordinateur a été choisie pour réaliser les différentes expériences du plan expérimental. Le modèle est construit avec AWESIM, une évolution de SLAMSYSTEM. Il sert pour la réalisation des plans d'expériences et l'obtention des résultats. La génération des familles fut réalisée avec l'aide de fonctions programmées en langage C qui furent intégrées au modèle de simulation. Ces outils furent choisis principalement à cause de la flexibilité qu'ils apportent à la réalisation de l'expérience.

Les programmes de simulation et le plan d'expériences et les résultats sont présentés dans les annexes A et B respectivement.

Description des facteurs et des différents niveaux

Cette section présente les facteurs et leurs niveaux respectifs afin de bien comprendre leurs influences sur le système de production.

1. Politique de formation des familles

- La technique GSU*: Pour la technique GSU*, le premier montage utilise la moitié de l'espace de rangement des cassettes. Pour la présente recherche, le nombre d'espaces utilisés sera soit: 75 ou 150. Les familles formées, pour la deuxième section, seront générées par le même algorithme que la méthode SDS.

Contrairement à ce que la littérature propose (deux machines), une seule machine est utilisée car on pose l'hypothèse que le gain d'espace de rangement est réalisé avec l'aide de cassettes doubles de rangement. La moitié des cassettes (machine 1) sont dédiées aux pièces communes et l'autre moitié aux variations (machine 2). Pour faire une distinction avec la méthode GSU traditionnelle, la variation fut nommée GSU*.

- La technique SDS: Les familles seront générées à partir d'un algorithme qui cherche à minimiser les temps de mise en course. Le temps de rangement est principalement influencé par la variété de produits, le nombre de variations et la complexité des produits (le nombre de pièces). Contrairement à la méthode GSU, les familles sont générées avec l'ensemble d'espaces de rangement.

2. Le nombre de pièces par produit

Le nombre de pièces est fixé principalement par la famille du produit et ses variations. Un projet de réduction du nombre de pièces est

présentement en cours afin d'optimiser le rendement des montages. Cette étude a montré qu'une réduction de 20 % du nombre de pièces utilisées est réalisable.

- Niveau 1: le nombre de pièces actuellement utilisé par les produits mis en production.
- Niveau 2: Une réduction de 20 % du nombre de pièces actuellement utilisées.

3. Les espaces de rangement des cassettes sur les machines

Le nombre d'espaces de rangement sur les machines influence directement la performance d'optimisation des temps de mise en course. Avec les possibilités qu'offrent les fabricants d'équipements de montage en surface, il est possible d'utiliser des cassettes doubles qui permettent de doubler l'espace de rangement. Le montage possède une capacité plus importante pour recevoir des produits à l'intérieur de celui-ci.

- Niveau 1: 150 espaces de rangement
- Niveau 2: 300 espaces de rangement

4. Le facteur de similarité RHO pour la formation des familles

Lors de la formation des familles, il est parfois profitable de retirer les produits ayant un faible facteur de similarité avec les autres produits de la famille car le produit peut être intégré dans une autre famille où la similarité peut être supérieure.

- Niveau 1: $RHO = 10 \%$, ce niveau fut déterminé à partir de l'historique de l'utilisation de la technique SDS chez la compagnie étudiée. Il

s'agit du niveau minimum moyen mesuré dans l'historique de la fabrication.

- Niveau 2: $RHO = 30\%$, à partir de la même étude mentionnée ci-dessus, nous avons retenu ce niveau maximum. Ce niveau doublait le nombre de familles.

Évaluation du système de production

La performance du système de production est évaluée en fonction de la minimisation du temps de montage et du niveau moyen du WIP (Work in Process). Les variables du modèle cherchent à solliciter le système avec les différentes flexibilités recherchées dans la gestion d'équipements de montage en surface. Pour avoir une bonne flexibilité manufacturière, le système doit pouvoir accepter une multitude de produits et composantes différentes, pouvoir s'adapter aux nombreux design de différents produits, et s'adapter facilement aux différents volumes et variétés de lots de production.

Le type de production de Matrox correspond exactement à l'environnement type qui doit être simulé et décrit ci-dessus. Les facteurs étudiés seront simulés dans un environnement concret ce qui nous permet de faire la validation pratique de l'expérience.

Hypothèses

Comme la section des observations, cette partie présente les hypothèses imposées lors de la modélisation du système:

Les machines:

- La machine de placement rapide est considérée comme le goulot de production de la ligne de production SMT.
- Le nombre de cassettes est considéré comme infini dans le système.

Les techniques de gestion:

- Le temps de montage est fixe selon le type:

1. Montage de familles	75 min.
2. Montage de produits	25 min.
3. Montage de variations:	15 min.
- La capacité hebdomadaire est suffisante pour répondre à la demande. On considère la capacité infinie lors de la composition des familles.

Les produits:

- Les produits contenant des pièces actives sur les deux cotés de la cartes seront construit à l'intérieur du même montage.
- Seulement la fabrication du côté TOP (dessus) de la carte est considérée dans la présente expérience sauf pour les composantes actives.

CHAPITRE IV

L'EXPÉRIENCE ET SES RÉSULTATS

Le présent chapitre présente le déroulement de l'expérience et les résultats de celle-ci.

L'expérience

Une fois le modèle de simulation construit¹, l'étude fut conduite à l'aide d'un plan factoriel complet afin de maximiser les chances d'obtenir des conclusions significatives. Le tableau 3, ci-dessous, présente une description complète des différentes cellules de l'expérience. Il est important de noter qu'il s'agit de l'expérience globale qui contient des variables appartenant à la deuxième recherche au niveau des techniques d'ordonnancement [12].

Tableau 3: Scénarios de l'expérience (plan factoriel complet 2⁵)

	Politique de TG	Nombre de cassettes	Facteur RHO	Réduction du nombre de pièces	Ordonnancement entre les familles	Ordonnancement entre les produits
1	SDS	150	10%	AUCUNE	RANDOM	RANFAM
2	SDS	150	10%	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM
3	SDS	150	10%	AUCUNE	SPT	RANFAM
4	SDS	150	10%	AUCUNE	SPT	SPTFAM
5	SDS	150	10%	RED 20%	RANDOM	RANFAM

¹ Voir annexe A

6	SDS	150	10%	RED 20%	RANDOM	SPTFAM
7	SDS	150	10%	RED 20%	SPT	RANFAM
8	SDS	150	10%	RED 20%	SPT	SPTFAM
9	SDS	150	30%	AUCUNE	RANDOM	RANFAM
10	SDS	150	30%	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM
11	SDS	150	30%	AUCUNE	SPT	RANFAM
12	SDS	150	30%	AUCUNE	SPT	SPTFAM
13	SDS	150	30%	RED 20%	RANDOM	RANFAM
14	SDS	150	30%	RED 20%	RANDOM	SPTFAM
15	SDS	150	30%	RED 20%	SPT	RANFAM
16	SDS	150	30%	RED 20%	SPT	SPTFAM
17	SDS	300	10%	AUCUNE	RANDOM	RANFAM
18	SDS	300	10%	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM
19	SDS	300	10%	AUCUNE	SPT	RANFAM
20	SDS	300	10%	AUCUNE	SPT	SPTFAM
21	SDS	300	10%	RED 20%	RANDOM	RANFAM
22	SDS	300	10%	RED 20%	RANDOM	SPTFAM
23	SDS	300	10%	RED 20%	SPT	RANFAM
24	SDS	300	10%	RED 20%	SPT	SPTFAM
25	SDS	300	30%	AUCUNE	RANDOM	RANFAM
26	SDS	300	30%	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM
27	SDS	300	30%	AUCUNE	SPT	RANFAM
28	SDS	300	30%	AUCUNE	SPT	SPTFAM
29	SDS	300	30%	RED 20%	RANDOM	RANFAM
30	SDS	300	30%	RED 20%	RANDOM	SPTFAM
31	SDS	300	30%	RED 20%	SPT	RANFAM
32	SDS	300	30%	RED 20%	SPT	SPTFAM
33	GSU	150	10%	AUCUNE	RANDOM	RANFAM
34	GSU	150	10%	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM
35	GSU	150	10%	AUCUNE	SPT	RANFAM

36	GSU	150	10%	AUCUNE	SPT	SPTFAM
37	GSU	150	10%	RED 20%	RANDOM	RANFAM
38	GSU	150	10%	RED 20%	RANDOM	SPTFAM
39	GSU	150	10%	RED 20%	SPT	RANFAM
40	GSU	150	10%	RED 20%	SPT	SPTFAM
41	GSU	150	30%	AUCUNE	RANDOM	RANFAM
42	GSU	150	30%	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM
43	GSU	150	30%	AUCUNE	SPT	RANFAM
44	GSU	150	30%	AUCUNE	SPT	SPTFAM
45	GSU	150	30%	RED 20%	RANDOM	RANFAM
46	GSU	150	30%	RED 20%	RANDOM	SPTFAM
47	GSU	150	30%	RED 20%	SPT	RANFAM
48	GSU	150	30%	RED 20%	SPT	SPTFAM
49	GSU	300	10%	AUCUNE	RANDOM	RANFAM
50	GSU	300	10%	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM
51	GSU	300	10%	AUCUNE	SPT	RANFAM
52	GSU	300	10%	AUCUNE	SPT	SPTFAM
53	GSU	300	10%	RED 20%	RANDOM	RANFAM
54	GSU	300	10%	RED 20%	RANDOM	SPTFAM
55	GSU	300	10%	RED 20%	SPT	RANFAM
56	GSU	300	10%	RED 20%	SPT	SPTFAM
57	GSU	300	30%	AUCUNE	RANDOM	RANFAM
58	GSU	300	30%	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM
59	GSU	300	30%	AUCUNE	SPT	RANFAM
60	GSU	300	30%	AUCUNE	SPT	SPTFAM
61	GSU	300	30%	RED 20%	RANDOM	RANFAM
62	GSU	300	30%	RED 20%	RANDOM	SPTFAM
63	GSU	300	30%	RED 20%	SPT	RANFAM
64	GSU	300	30%	RED 20%	SPT	SPTFAM

Pour chacun des scénarios étudiés, cinq répliquats furent réalisés afin de minimiser l'effet de l'erreur et de valider les résultats de l'expérience. Pour chaque réplikat, le temps de montage moyen hebdomadaire et le WIP furent mesurés. La productivité était le critère principal pour mesurer le niveau de performance face à l'environnement flexible.

Lors de la réalisation de l'expérience, il est important de noter que la durée de chaque simulation fut très importante. La durée moyenne d'une mesure fut d'environ 15 minutes avec un processeur Pentium 200. L'utilisation de fonctions externes, programmées en langage C, ajoutées au logiciel devient un facteur important lors de la modélisation de ce type d'expérience. Elle devient un facteur important par la taille des bases de données accédées. La durée totale de réalisation de l'expérience fut approximativement de 80 heures de simulation ou de temps processeurs (CPU).

L'ensemble des résultats fut traité à l'aide du logiciel de traitement statistique SAS²

La validation du modèle de production a été réalisée à l'aide du logiciel de simulation. Ce logiciel possède une fonction qui permet de contrôler les fluctuations des différents attributs dans le modèle. Aucune analyse ne fut réalisée pour déterminer la fin du régime transitoire car le système étudié est à capacité infinie. Il recommence à vi à chaque semaine donc il n'y a aucun encours qui s'additionne entre les semaines de production.

² Voir annexe B

Les résultats

Le traitement des résultats fut divisé en deux parties soient: la table ANOVA et la fonction DUNCAN. Les deux prochains tableaux présentent l'analyse de variance relative aux deux mesures de performance considérées (WIP et le temps de montage):

Tableau 4: Table ANOVA partielle pour la variable dépendante WIP

Variable dépendante:		WIP		
Source	DF	Somme des Carrés	Moyenne Carré	F Valeur
Modèle	21	1825585.6125	86932.6	189.26
Erreur	298	136883.5009	459.3	
Total	319	1962469.1134		
R-Carré		0.930249		
C.V.		3.047973		
Racine MSE		21.432233		
Moyenne		703.16345	(cartes)	
Source	DF	Moyenne carré	F valeur	Pr > F
METHODE	1	15966.5367	34.76	0.0001
FEEDER	1	447.5276	0.97	0.3244
RHO	1	709.3429	1.54	0.2150
REDUCT	1	303.0351	0.66	0.4173
METHODE*FEEDER	1	13015.2208	28.33	0.0001
METHODE*RHO	1	16883.9765	36.76	0.0001
METHODE*REDUCT	1	129.8530	0.28	0.5953
FEEDER*RHO	1	443.8241	0.97	0.3264
FEEDER*REDUCT	1	0.2584	0.00	0.9811
RHO*REDUCT	1	9.9061	0.02	0.8833

Le tableau d'ANOVA (tableau 4) montre un R^2 de 93% ce qui signifie que l'expérience est très significative. À l'intérieur de cette expérience, la méthode de regroupement s'est avérée une variable très significative en comparaison aux autres variables.

Avec un niveau de confiance de 5%, les interactions entre la méthode de regroupement/le facteur de similarité RHO et la méthode de regroupement/le nombre d'espaces pour les cassettes se sont avérées également très significatives en comparaison avec les autres.

Ces effets sont également démontrés à l'aide de la table de DUNCAN (tableau 6).

Tableau 5: Table ANOVA partielle pour la variable dépendante temps de setup

Variable dépendante:		Temps de setup		
		Somme des	Moyenne	F
Source	DF	Carrés	carré	Valeur
Modèle	21	6055265.8081	288346.0	13772.
Erreur	298	6239.2885	20.9	
Total	319	6061505.0966		
R-Carré		0.998971		
C.V.		0.528629		
Racine MSE		4.5757196		
Moyenne		865.58309	(min.)	
Source	DF	Moyenne carré	F valeur	Pr > F
METHODE	1	2903607.5340	99999.99	0.0001
FEEDER	1	679831.0254	32469.99	0.0001
RHO	1	1400950.5580	66912.00	0.0001
REDUCT	1	4170.0163	199.17	0.0001
METHODE*FEEDER	1	485586.7921	23192.53	0.0001

METHODE*RHO	1	548160.8684	26181.18	0.0001
METHODE*REDUCT	1	2662.8050	127.18	0.0001
FEEDER*RHO	1	16434.8763	784.96	0.0001
FEEDER*REDUCT	1	114.3795	5.46	0.0201
RHO*REDUCT	1	1361.0148	65.00	0.0001

Le tableau 5 montre l'ANOVA relié à la variable dépendante temps de montage. Ce tableau montre un R^2 de 99% ce qui permet de déduire que l'expérience est encore une fois très significative. L'ensemble des variables indépendantes se sont avérées significatives avec un niveau de confiance de 5%.

Pour cette variable dépendante, l'interaction entre le nombre d'espaces cassettes et le facteur de similarité RHO présente une interaction très significative.

L'analyse de DUNCAN

À partir des tableaux ANOVA, le traitement statistique fut poursuivi pour vérifier les démarcations significatives pour chacun des niveaux des variables de l'étude. Les détails complets de l'analyse sont présentés à l'annexe B. Les prochains tableaux présentent un résumé de cette étude avec les principaux points relevés (tableaux 6 et 7).

Tableau 6: Résultats du traitement statistique DUNCAN (WIP)

Variable	Niveau 1		Niveau 2	
Politique de formation	GSU*	710.227	SDS	696.1
		(B)		(A)
Nombre de cassettes	150	704.346	300	701.981
		(A)		(A)

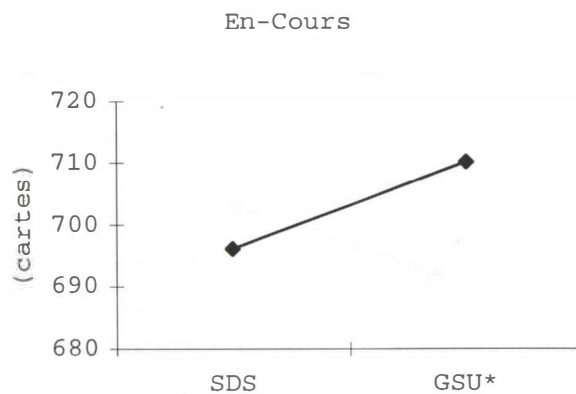
Facteur RHO	10%	704.652	30%	701.675
		(A)		(A)
Réduction du nombre de pièces	Aucune	704.137	20%	702.190
		(A)		(A)

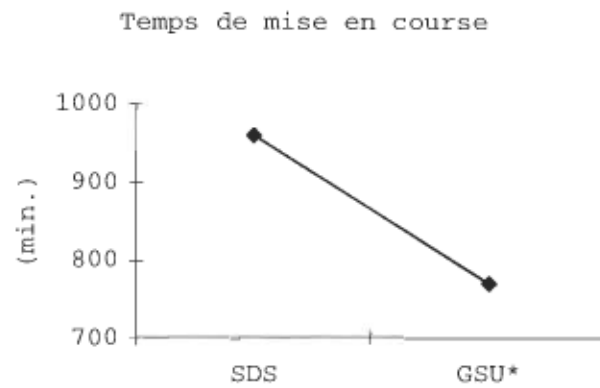
Tableau 7: Résultats du traitement statistique DUNCAN (temps de montage)

Variable	Niveau 1		Niveau 2	
Politique de formation	GSU*	770.327	SDS	960.8394
		(A)		(B)
Nombre de cassettes	150	911.6751	300	819.4911
		(B)		(A)
Facteur RHO	10%	799.4169	30%	931.4169
		(A)		(B)
Réduction du nombre de pièces	Aucune	869.1930	20%	861.9732
		(B)		(A)

Les prochaines figures présentent les graphiques des résultats qui se sont avérés significatifs:

Figure 5 : Niveau de la politique de formation des familles

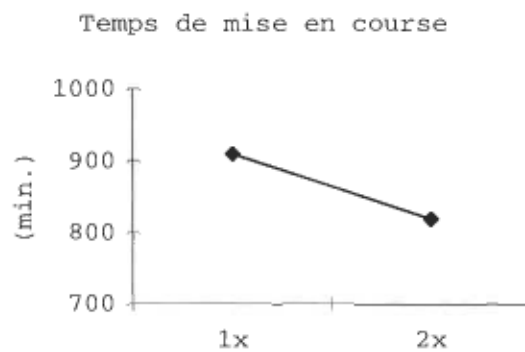




Au niveau des encours, il est clair que la technique SDS est plus performante que la GSU. Ce résultat est facilement explicable par la taille des familles. Les montages sont de plus faible dimension avec SDS ce qui influence directement les encours sur la ligne de production. Ceci concorde avec les résultats de Maimon et Carmon [15].

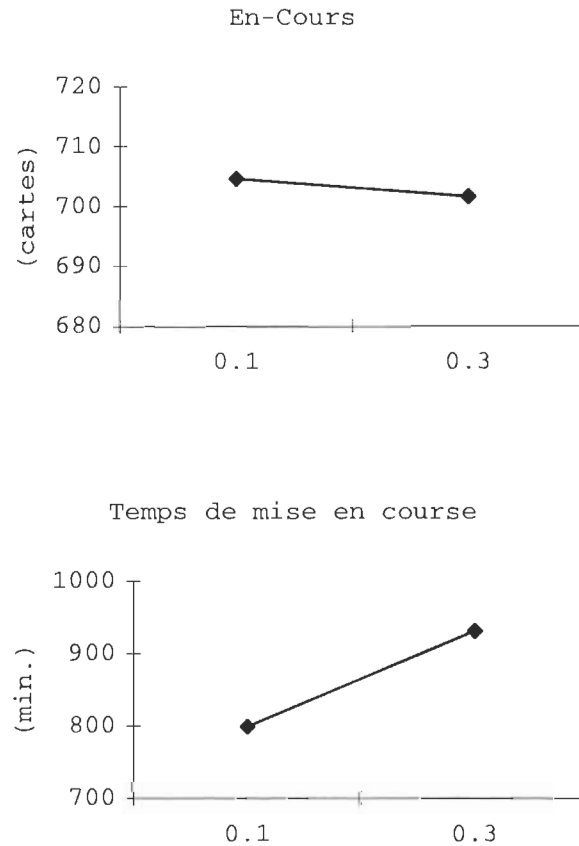
Au niveau du temps de mise en course, le nombre de montages est inférieur avec la technique GSU ce qui explique la différence importance entre les deux techniques. Le temps de mise en course est un facteur important pour la compagnie étudiée (figure 5).

Figure 6 : Niveau du nombre d'espaces cassettes



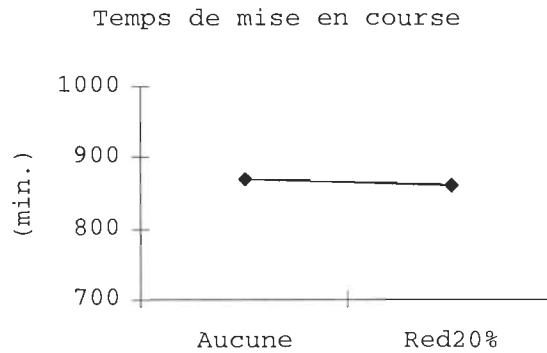
Il est clair qu'un plus grand nombre d'espaces pour les pièces étaient pour réduire les temps de mise en course. Mais la différence est très faible entre les deux niveaux (figure 6).

Figure 7 : Niveau du facteur RHO



On note que le facteur RHO a une forte influence sur les temps de mise en course. La raison est simple d'explication, un facteur RHO élevé force l'algorithme de formation à former une famille supplémentaire. Un plus grand nombre de familles influence directement les temps de mise en course surtout qu'une mise en course majeure (75 minutes) est trois fois plus importantes qu'une mise en course mineure

Figure 8 : Niveau de la réduction du nombre de pièces



La figure 8 montre que la réduction du nombre de pièces influence le temps de mise en course car elle permet de diminuer les montages. Les produits possèdent un plus grand nombre de pièces communes ce qui permet d'optimiser la formation des familles de produits.

Les interactions

Par la suite, certaines interactions, entre les variables, furent étudiées afin de mettre en évidence leurs effets sur la performance de la ligne de production. Il est important de bien comprendre l'effet des différentes combinaisons afin de proposer une solution optimale à la compagnie. Les figures 9 et 10 présentent les relations les plus importantes à considérer lors de l'analyse des résultats.

Figure 9: Interactions entre les politiques de GT et les cassettes

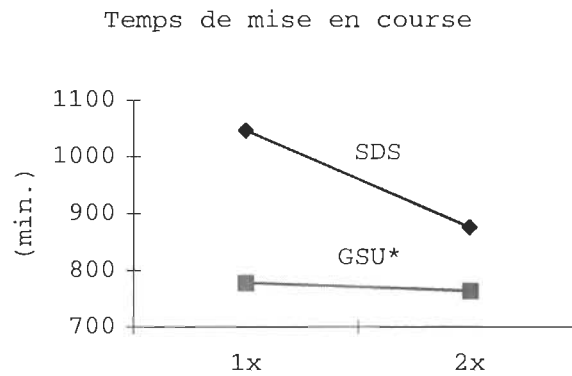
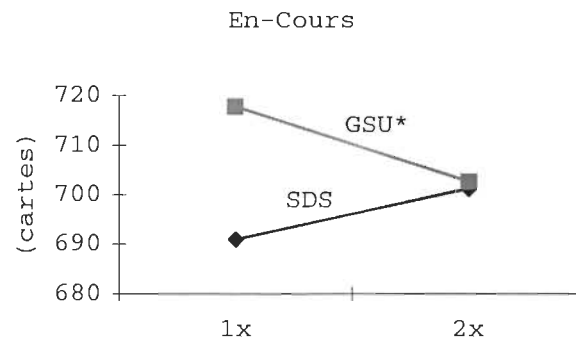
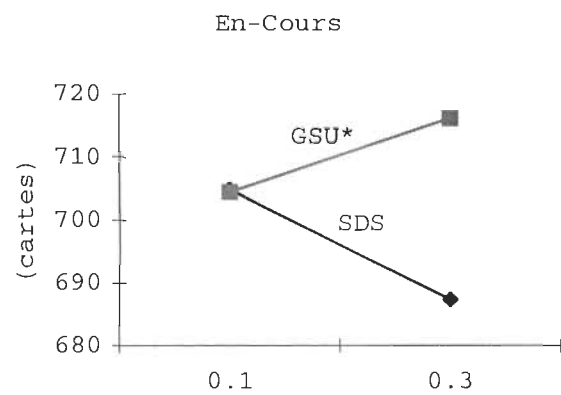
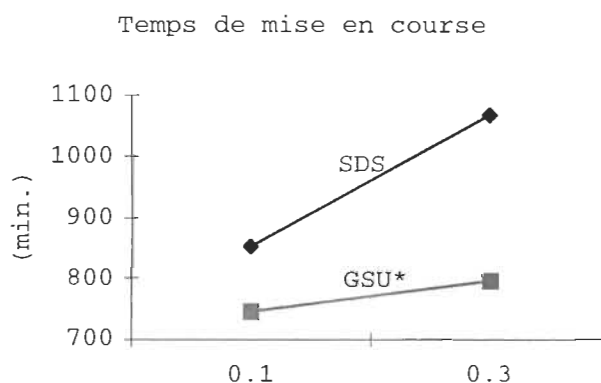


Figure 10: Interactions entre les politiques de GT et le facteur RHO





D'ordre général, on peut voir que la politique SDS est beaucoup plus sensible aux variations de niveau des deux variables comparé à GSU au niveau du temps de mise en course. Par contre, au niveau du WIP, on peut voir que l'effet est inverse selon l'application d'un différent niveau (RHO = .3 WIP diminue et GSU WIP augmente).

Analyse des résultats

Afin de rendre l'analyse simple à suivre, elle sera effectuée en donnant une explication pour chacun des facteurs étudiés et les interactions les plus significatives. Par la suite, une analyse globale sera faite en considérant l'expérience dans son ensemble (chapître 5).

La politique de formation des familles

Il s'agit du facteur principal de la présente étude. L'implantation d'une nouvelle stratégie de formation des montages est un élément majeur dans la gestion de ce type de production. Avec la production mixte du système étudié, aucune étude n'avait apporté une solution optimale générique applicable à ce type de production.

Au niveau du WIP, la politique SDS s'est avérée significativement plus performante avec un WIP moyen plus faible. Par contre la différence moyenne est d'environ 14 cartes par semaine (moins de 2%) ce qui est très faible en comparaison au gain de temps de montage obtenu avec la GSU*. En effet, on peut noter une diminution moyenne du temps de montage par semaine d'environ 190 minutes/semaine (environ 20%) ce qui est un gain beaucoup plus important pour la compagnie à l'étude.

Il est clair que la politique GSU* est beaucoup plus performante dans un environnement où le mixte de produits est élevé et dont la taille des lots est faible. Avec des lots, possédant une taille moyenne plus élevée, il est clair que le choix entre la taille WIP moyen et le temps de montage serait beaucoup plus difficile à réaliser. Donc la taille moyenne des lots est un facteur important à considérer lors du choix des politiques de formation des montages.

Pour le cas présent, il est important de voir le problème dans son ensemble et le WIP est un facteur moins important au niveau du département de montage en surface en comparaison avec le département d'assemblage manuel pour le présent cas étudié.

Le facteur de similarité (RHO)

Présentement, la compagnie Matrox n'utilise aucun facteur de similarité RHO dans la formation de ses familles de produits. La considération du facteur RHO dans cette étude semble intéressante car la transformation de familles se réalise de façon manuelle afin d'optimiser les résultats obtenus à partir de l'algorithme présent.

Au niveau du WIP, il n'y a aucune différence significative entre les deux niveaux étudiés. Ce résultat est facilement compréhensible car

le nombre et la taille des lots sont faibles alors il est très difficile de les démarquer en terme de WIP. Par contre au niveau des temps de montage, il est clair que le RHO plus faible s'est démarqué comme étant le plus performant. Le nombre de lots distincts est encore un facteur déterminant pour expliquer ce résultat. D'ordre général, le fait de vouloir maximiser les montages fut un facteur négatif dans l'environnement étudié car il ne faut pas oublier que le système est à capacité infinie. À la fin de la semaine de production, il y a toujours de la place pour accepter un nouveau produit. Dans ces circonstances, le fait de pousser les produits dans une famille ultérieure force généralement la formation d'une famille additionnelle de taille très faible à la fin de la semaine. Le nombre de familles, dans la semaine de production, influence directement le temps de montage moyen. L'addition de ce facteur est sûrement beaucoup plus avantageuse dans un système à capacité limitée.

Il s'agit d'un facteur très risqué à inclure dans un algorithme car certains produits moins avantagés par la similarité des pièces pourraient être désavantagés au niveau des cédules de production. Dans une prochaine étude, il serait intéressant de mesurer l'élimination du facteur RHO en comparaison d'un algorithme avec un facteur minimum ($RHO = .1$).

La capacité des cassettes

En doublant la capacité du montage en terme de pièces, l'hypothèse est qu'on peut s'attendre à une hausse de la taille du WIP. Mais les résultats montrent qu'il n'y a aucune démarcation entre les deux niveaux. Ceci peut être dû au fait que le gain, au niveau des temps de montage, permet de compenser pour la taille supérieure des familles de production. Donc le niveau moyen du WIP est semblable pour les deux niveaux étudiés.

Par contre, il y a une démarcation en terme de temps de mise en course. Le fait d'avoir des cassettes doubles permet de réduire de façon significative le temps de montage. On peut clairement espérer un gain de productivité des lignes de production. Mais il est important de faire une étude de coût/bénéfice avant de changer le type de cassettes car elles sont très dispendieuses. Le gain de productivité doit être important pour rentabiliser ce type de technologie.

La réduction du nombre de pièces

La réduction du nombre pièce pour les produits fut un facteur où les résultats obtenus furent très décevants. Encore une fois, il n'y a eu aucune différence significative au niveau du WIP. Pour le temps de montage moyen, les résultats sont concluants mais les gains sont très faibles.

Avec ce résultat, on peut voir la force de l'algorithme GSU au niveau de l'optimisation car il est peu sensible à certaines variations importantes du système, comme le démontre l'effet de la réduction du nombre de pièces.

Interaction entre la méthode de regroupement et le nombre d'espaces cassettes

Au niveau de la variable dépendante du WIP, une combinaison entre les cassettes doubles (300 espaces) et la technique GSU permet de diminuer le niveau des encours moyens. Par contre pour la technique SDS, le résultat est inversé soit que le niveau d'encours moyen est plus faible avec des cassettes simples. Ce résultat est facilement explicable car les montages sont de plus faible dimension ce qui permet de réduire plus rapidement le niveau d'encours moyen.

Par contre au niveau de la variable dépendante du temps de mises en course, il est clair que la technique GSU est très peu sensible au nombre d'espaces cassettes. Par contre, la technique SDS est beaucoup plus performante avec l'addition des doubles cassettes car cela permet de réduire le nombre des mises en course majeures. Le gain se fait directement par une réduction du temps de montage.

Interaction entre la méthode de regroupement et le facteur de similarité RHO

Un facteur de similarité faible (10%) permet à la méthode de regroupement GSU d'obtenir un niveau moyen d'encours plus bas en comparaison avec l'utilisation d'un facteur élevé. Par contre pour la technique SDS, la variable dépendante performe beaucoup mieux avec un facteur de similarité élevé. Ce résultat s'explique par le fait que le nombre de produits par montage est moins élevé ce qui permet de réduire rapidement le WIP moyen. Par contre la variable dépendante du temps de mise en course réagit très mal à un facteur RHO élevé car cela entraîne la formation d'un plus grand nombre de montages.

Pour la compagnie Matrox, le temps de mise en course est la variable dominante ce qui la pousse à utiliser un facteur de similarité très bas.

CHAPITRE V

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Dans cette dernière section seront présentés les conclusions et les recommandations de la présente étude. Finalement, des recherches futures seront proposées.

Les conclusions de l'expérience dans son ensemble

Dans cette section, les résultats de l'expérience seront présentés dans leur ensemble pour proposer une solution optimale dans l'environnement étudié. Dans un deuxième temps, des combinaisons intéressantes seront présentées pour donner des résultats plus génériques avec une application globale.

La première chose à retenir est que la politique GSU se démarque de SDS au niveau des temps de montage. Il est clair que les politiques d'ordonnancement ont beaucoup plus d'influence au niveau du WIP que les facteurs étudiés par la présente étude. D'ordre général, le facteur temps de mise en course est beaucoup plus important pour la compagnie que le niveau du WIP. Dans les scénarios proposés, la technique GSU sera retenue pour l'ensemble des propositions car elle répond mieux aux critères d'évaluation.

Un des grands avantages de la technique GSU est qu'elle est beaucoup moins sensible au niveau du nombre d'espaces disponibles. On peut facilement le voir à la figure 9. On peut voir que la variation du temps de montage est très faible selon le nombre de cassettes disponibles lors de la formation du montage. Donc la technique

permet de diminuer l'importance des doubles cassettes afin d'optimiser le temps de mise en course.

Au niveau du RHO, on remarque que l'algorithme est beaucoup moins sensible à cette technique de formation des familles de produits. On peut le constater facilement avec l'aide de la figure 10. Par contre, on peut voir qu'un facteur RHO faible est favorable au niveau de l'optimisation du temps de mise en course. Il est clair que mesurer l'élimination du facteur RHO aurait apporté des résultats intéressants à la recherche.

Pour la présente application, voici la combinaison optimale avec les facteurs étudiés :

Tableau 8: Solution optimale

Niveau	Politique de formation	RHO	Nombre de cassettes	Réduction de pièces
1	GSU	.1	150	Aucune
2	SDS	.3	300	20%
Solution	GSU	.1 (aucune)	150	Aucune

Il est important de noter que cette solution tient compte de facteur économique dans le choix des politiques optimales de gestion de la production.

Recherches futures sur le sujet

Domaine en constante évolution, la recherche n'a fait que commencer à approfondir le sujet de la flexibilité dans les environnements de haute technologie. Il est clair que le niveau manufacturier doit se préparer à

être beaucoup plus flexible et supporter les nouvelles technologies afin d'offrir des opportunités de design à ceux-ci. L'application des principes d'ingénierie simultanée est une voie intéressante pour synchroniser les deux groupes (conception et manufacturier).

Au niveau de la flexibilité présentée dans cette recherche, il serait fortement intéressant d'incorporer cette recherche dans un environnement avec plusieurs centres de travail. Les résultats de cette recherche seraient probablement différents considérant les autres facteurs comme la capacité finie et les contraintes technologiques. Il est clair que les nouveaux équipements mieux conçus contribuent à réduire les temps de montage. L'ordonnancement va devenir de plus en plus complexe avec des produits possédant des routages multiples. Beaucoup de travail peut être accompli dans ce domaine.

Pour conclure, la technologie est en constante évolution et la recherche doit être remise à jour constamment tout en cherchant à établir des principes de base adaptables à chaque étape d'évolution de produits et technologies de production.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

[1]

Aggarwal, Flexibility management ; The ultimate strategy, Industrial Management, vol. 37, Nov/Dec 1995, p. 20-26.

[2]

Braskar, G.; Narendran, T.T. ; Grouping PCBs for set-up reduction: a maximum spanning tree approach, International journal of production research, vol.34, 1996,p.621-632.

[3]

Browne, Dubois ; Rathmill, Sethiet Steckle ; Classification of flexible manufacturing systems, The FMS magazine 2 (2), p.114-117.

[4]

Carlson, John ; Yao, Andrew ; Girouard, Wm ; The role of master kits in assembly operations, International journal of production research, vol.35, 1994,p.253-258.

[5]

Carmon, Tali ; Maimon, Oded ; Dar-El, Ezey ; Group set-up for printed circuit board assembly, International journal of production research, vol.27, 1989,p.1795-1810.

[6]

Cyr, Bernard ; Optimisation de la capacité avec l'aide de la simulation pour la ligne de montage en surface chez les systèmes électroniques Matrox à Dorval, rapport ,1994.

[7]

Gentry, Teresa ; High -volume placement equipment survey, Circuit Assembly, Jan 1996, p.36-49

[8]

Gerwin, Donald ; Do's and dont's of computerized manufacturing, Harvard business Review 60 (2), p.107-116.

[9]

Goldratt, Eliyahu ; " What is that thing called The theory of constraints and how should it be implemented? ", North River Press, 1990.

[10]

Gupta and Goyal ; Flexibility of manufacturing systems: Concepts and measurements, European Journal of Operational Research, 43 (1989), p.119-135.

[11]

Hashiba, Satoru ; Chang, Tien-Chien ; PCB assembly setup reduction using group technology, Computers and industrial engineering, vol. 21, no 1-4, p.453-457

[12]

Lambert, Serge ; Implantation d'un système de production à valeur ajoutée (JAT) et de l'ingénierie simultanée chez Les système Électroniques Matrox Ltée, UQTR, Rapport de maîtrise, Mai 1997.

[13]

Luzzatto, Dino ; Perona ; Cell formation in PCB assembly based on production quantitative data, European Journal of Operational Research, 69 (1993), p.312-329.

[14]

Maimon, Oded ; Shtub, Avraham ; Grouping methods for printed circuit boards assembly, International journal of production research, vol.29, no 7, p.1379-1390.

[15]

Maimon, Oded ; Dar-El, Ezeq ; Carmon, Tali ; Set-up saving schemes for printed circuit boards assembly, European Journal of Operational Research, 70 (1993), p.177-190.

[16]

Monden, Yasuhiro ; Toyota production system, Management Press, 1993.

[17]

Peters, B.A. ; Subramanian ; Analysis of partial setup strategies for solving the operational planning problem in parallel machine electronic assembly systems, International journal of production research, vol.34, no 4, p.999-1021.

[18]

Randhawa, Sabah ; McDowell, Edward ; Faruqui, Salahud-Din ; An integer programming application to solve sequencer mix problems in printed circuit board production, International journal of production research, vol.23, no 3, p.543-552.

[19]

Salvendy, Gavriel ; Hanbook of industriel engineering, Wiley-interscience, section 19-10, p.547.

[20]

Sadiq, M. ; Landers, L. ; Don Taylors, G. ; A heuristic algorithm for minimizing total production time for a sequence of jobs on a surface mount placement machine,International journal of production research, vol.31, no 6, p.1327-1341.

[21]

Shingo, Shigeo ; A study of the Toyota production system, Productivity Press, 1981.

[22]

Srinivasan, G. A ; Clustering algorithm for machine cell formation in group technology using minimum spanning trees, International journal of production reseach, vol. 32, no.9, 1994, 2149-2158.

ANNEXE A:
Le modèle de simulation

Les paramètres de contrôles

Voici un exemple concret des paramètres de contrôle qui furent utilisés dans la présente étude.

Les facteurs aléatoires SEED pour la génération furent les suivants :

1,2,33,44,555

GEN,"B. Cyr et S. Lambert","Maitrise",20 Janvier 97,1,YES,YES;

INITIALIZE,0,500000,YES;

SEEDS,{{555,9,NO}};

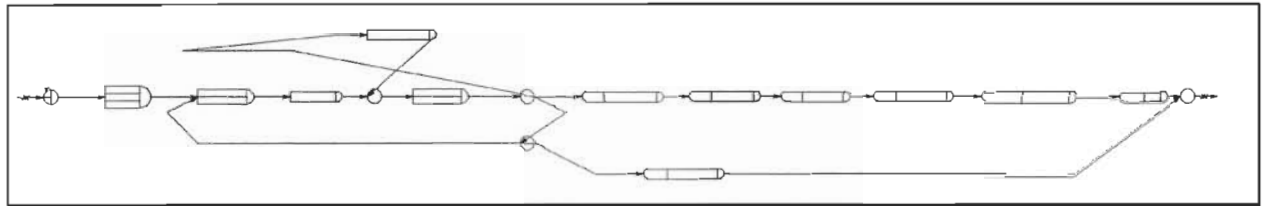
LIMITS,,,,14,,,300;

NETWORK,READ;

FIN;

La figure ci-dessous présente une description graphique du modèle de la simulation.

Le modèle de simulation



Voici une liste détaillée du modèle codé et un logigramme de celui-ci:

```

CREATE, INF, 0.0, , 1, 1;

    ACTIVITY;

SMT_ASSIGN_1:
ASSIGN, {{ATRI[11], 2}, {ATRI[10], 1}, {ATRI[9], 2}, {ATRI[8], 2},
{ATRI[7], 2}, {ATRI[6], 2}, {ATRI[5], 1}}, 1;

    ACTIVITY;

TEST1_ASSIGN_1: ASSIGN, {{ATRI[1], USERF(1)}, {II, 0}}, 1;

    ACTIVITY;

    ASSIGN, {{ATRI[14], TNOW}}, 1;

    ACTIVITY;

PRODUIT: GOON, 1;

    ACTIVITY;

    ASSIGN, {{II, II+1}, {ATRI[3], USERF(2)}}, 1;

    ACTIVITY, 1, ATRI[3]+ATRI[4];

SUIVANT: GOON, 2;

    ACTIVITY, , , II < ATRI[1];

    ACTIVITY, , , "SMT_COLCT_2";

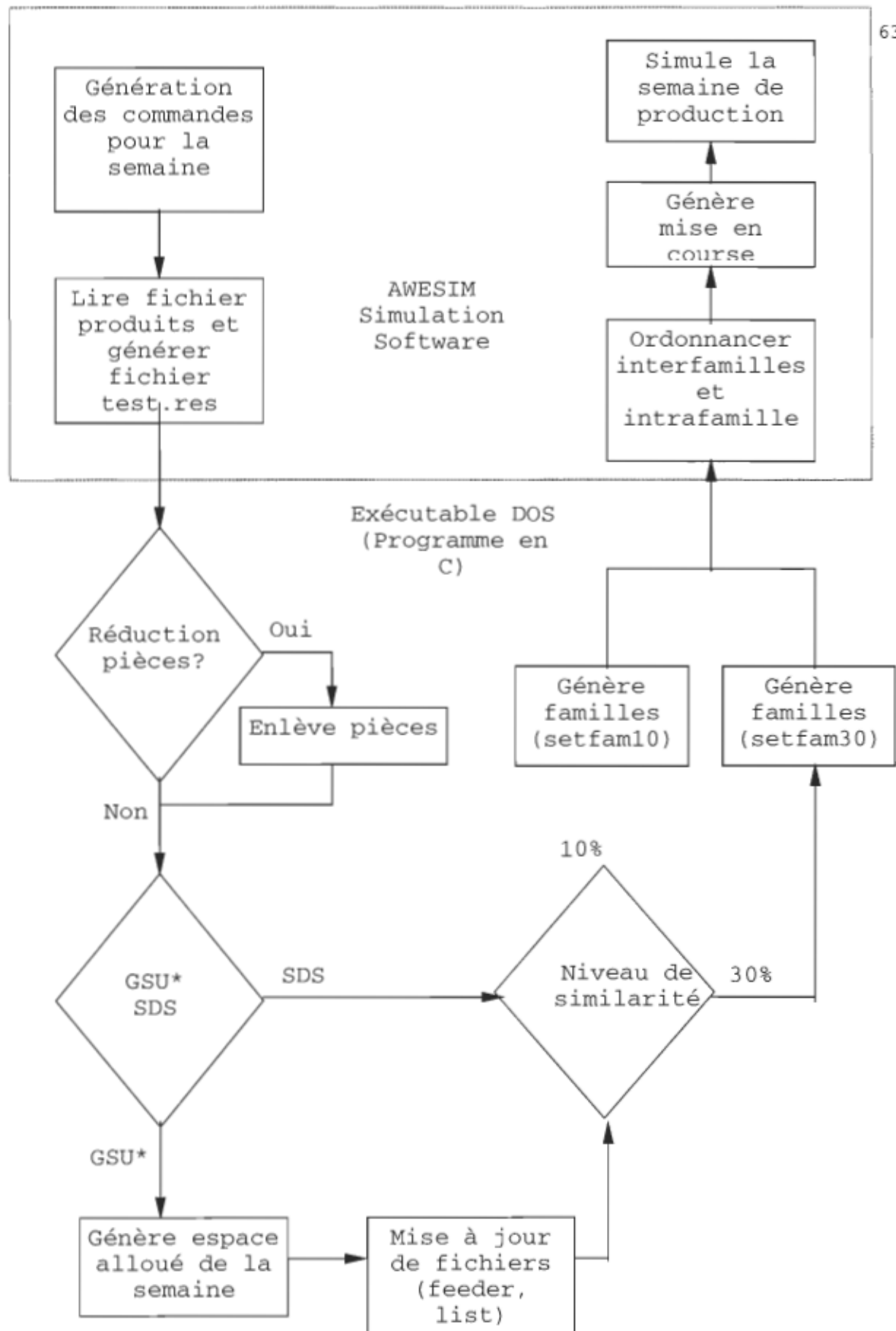
    ACTIVITY, , , "SMT_GOON_1";

```

```

        ASSIGN,{{atrib[12],atrib[12] - atrib[2]}},1;
        ACTIVITY,,,, "PRODUIT";
SMT_COLCT_2: COLCT,,ATRIB[1],"Nombre de commande",,,,1;
        ACTIVITY;
        COLCT,,ATRIB[2],"Quantite produite",,,,1;
        ACTIVITY;
        COLCT,,ATRIB[3],"Temps de setup",,,,1;
        ACTIVITY;
        COLCT,,ATRIB[4],"Temps de production",,,,1;
        ACTIVITY;
        COLCT,,TNOW - ATRIB[14],"Temps de passage",,,,1;
        ACTIVITY;
        COLCT,,ATRIB[12],"WIP",,,,1;
        ACTIVITY,,,, "SMT_TERMINATE_1";
SMT_TERMINATE_1: TERMINATE,INF;
SMT_GOON_1: GOON,2;
        ACTIVITY,,,, "TEST1_ASSIGN_1";
        ACTIVITY,,,, "SMT_COLCT_1";
SMT_COLCT_1: COLCT,,ATRIB[13],"Setup de la semaine",,,,1;
        ACTIVITY,,,, "SMT_TERMINATE_1";

```



Les fonctions du modèle

Dans le présente modèle, une série de fonctions externes furent annexées au modèle de simulation, voici le code des différentes fonctions utilisées dans la simulation :

```
/******
```

Simulation du systeme de Production

Programme: userf.c

Fonction: Interface C pour SLAM

Auteur: Serge Lambert

Date: 19 octobre 1996

```
*****/
```

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <malloc.h>
#include <math.h>
#include <windows.h>
#include <time.h>
#include "vslam.h"
#include "maitrise.h"
```



```

int    Var5, Var6, Var7, Var8, Var9, Var10, Var11;
int    MAXPROD;
int    DiffProd;
double SetupSemaine;
double WIP;
HGLOBAL hprod, hdon, hsum, hsup;

/*****

Fonction: USERF()

*****/
double SWFUNC USERF (int iCode, ENTITY *peUser)
{
    double donnee;
    double commande;
    int  n, i, j;
    double  nombre[100];
    int  ligne;
    char ltemp[2];
    char string[128];
    char buffer[16];
    char scenario[18];
    char *token;
    char espace[] = ",";
    double no_al, temp ;
    PRODUIT *prod;
    FILE  *fin1_ptr, *fin2_ptr, *fout1_ptr, *fout2_ptr, *fout4_ptr;
    char  *argv1 = "produit.txt";

```

```

char  *argv2 = "setup.txt";
char  *argv3 = "test.res";
char  *argv4 = "simulate.txt";
// char  *argv5 = "tampon.txt";
char  *argv6 = "ligne.txt";

double Round();

double Sup();

void  ylire(FILE *, FILE *);

// void  OrdreFam(FILE *, FILE *, FILE *);

void  OrdreFam(FILE *, FILE *);

switch (iCode)
{
case 1:
    Var5 = (int) peUser->ATRIB[5];
    Var6 = (int) peUser->ATRIB[6];
    Var7 = (int) peUser->ATRIB[7];
    Var8 = (int) peUser->ATRIB[8];
    Var9 = (int) peUser->ATRIB[9];
    Var10 = (int) peUser->ATRIB[10];
    Var11 = (int) peUser->ATRIB[11];

    /* ouverture du fichier d'entree */
    (fin1_ptr = fopen (argv1, "r"));

    /* ouverture des fichiers de sortie */
    (fout1_ptr = fopen (argv3, "w"));

    /* ouverture et ecriture du fichier indiquant la ligne */
    (fout4_ptr = fopen (argv6, "w"));
    fprintf(fout4_ptr, "1 \n");

```

```

fclose(fout4_ptr);

commande = Round(RNORM(33, 9, 8));

/* Troncage si commande inferieur a 0 */
if (commande<0) commande = 0;

donnee = commande;
MAXPROD = (int) commande ;

/* Allocation memoire pour les nombres aleatoires */
hprod = GlobalAlloc(GHND, sizeof(PRODUIT)*MAXPROD);
prod = (PRODUIT *) GlobalLock(hprod);

/* Generation des nombres aleatoires */
for (n=0;n<MAXPROD;n++)
{
    if (Var9 == 1) no_al = UNFRM(0., 1336.,9);
    else no_al = UNFRM(0., 2827.,9);
    /* Ecriture et trie en bulle des nombres */
    if (n==0)
    {
        nombre[n] = no_al;
    }
    else if (n>0)
    {
        j = n;
        for (i = 0; i < j; i++)
        {
            n --;

```

```

        if (no_al < nombre[n])
        {
            temp = nombre[n];
            n ++;
            nombre[n] = temp;
            n --;
            if (n == 0)
            {
                nombre[n] = no_al;
            }
        }
        else
        {
            n++;
            nombre[n] = no_al;
        }
    }
    n = j;
} //fin du else if
} //fin du for

for (i = 0; i < MAXPROD; i++, prod++)
{
    prod->chiffre = nombre[i];
}

/* Liberation de la memoire */
GlobalUnlock(hprod);

/* Lecture du fichier produit et ecriture du fichier pour famille */
ylire (fin1_ptr, fout1_ptr);

```

```

/* fermeture du fichier d'entree et de sortie */
fclose (fin1_ptr);
fclose (fout1_ptr);

/* Generation des familles a partir de test.res */
/* Choix formation des familles */
if (Var5 == 1) strcpy(scenario, "sds");
else strcpy(scenario, "gsu");
/* Choix reduction de pieces */
if (Var8 == 1) strcat(scenario, "0");
else strcat(scenario, "r");
/* Choix des feeders */
if (Var6 == 1) strcat(scenario, "1x");
else strcat(scenario, "2x");
/* Choix du niveau de similarite */
if (Var7 == 1) strcat(scenario, "10");
else strcat(scenario, "30");
strcat(scenario, " test.res");
system(scenario);

/* ouverture des fichiers d'entree pour les familles*/
//      (fout1_ptr = fopen (argv5, "w"));

(fin2_ptr = fopen (argv2, "r"));

/* ouverture du fichier de sortie pour les familles*/
(fout2_ptr = fopen (argv4, "w"));

/* Appel fonction pour ordonnancer les familles */
//      OrdreFam(fout1_ptr, fout2_ptr, fin2_ptr);

```

```

OrdreFam(fout2_ptr, fin2_ptr);

/* fermeture des fichiers d'entree et de sortie */
fclose (fin2_ptr);
//    fclose (fout1_ptr);
fclose (fout2_ptr);
peUser->ATRIB[12] = WIP;
peUser->ATRIB[13] = SetupSemaine;
if (SetupSemaine < 100)
{
    Beep(250,2000);
    system("bug");
}
break;

case 2:

/* lire la ligne rendu */
(fout4_ptr = fopen(argv6, "r"));
while (!feof (fout4_ptr))
{
    fscanf(fout4_ptr, "%s", ltemp);
    ligne = atoi(ltemp);
}
fclose (fout4_ptr);

/* lecture du temps de setup du produit a faire */
(fout2_ptr = fopen (argv4, "r"));
i = 1;
while (!feof (fout2_ptr))
{

```

```

fgets(string, 128, fout2_ptr);
token = strtok (string, espace);
n = 0;
while (token != NULL)
{
    strcpy(buffer, token);
    if (i == ligne)
    {
        switch (n)
        {
            case 1:
                peUser->ATRIB[2] = atof(buffer);
                break;
            case 2:
                donnee = atof(buffer);
                break;
            case 3:
                peUser->ATRIB[4] = atof(buffer);
                break;
        }
    }
    n++;
    token = strtok(NULL, espace);
}
i++;
}
fclose(fout2_ptr);

/* ecriture de la ligne suivante */
ligne++;
if((fout4_ptr = fopen(argv6, "w"))==NULL)

```

```

        {
            Beep(500,500);
        }

        fprintf(fout4_ptr, "%d \n", ligne);

        fclose (fout4_ptr);

break;

} //fin du case

return (donnee);
}
/* fin de SWUSERF */

/*****

Fonction: Lecture du fichier d'entree

*****/
void ylire (fin1_ptr, fout1_ptr)
FILE *fin1_ptr, *fout1_ptr;
{
    int i, j;
    int n, m, p, t;
    char code_prod[16] = "";
    char fichierSMT[13] = "";
    char compagnie[4] = "";
    double lot_cum = 0;
    double cumul;

```



```

double    moy;
double    ecart;
double    ttop1;
double    ttop2;
double    tbot;
double    quantite;
char    string[128];
char    virgule[] = ",";
char    *token;
char    buffer[16];
PRODUIT *prod;
DONNEE  *don;

/* parcourir le fichier d'entree */
fscanf (finl_ptr, "%[^\\n]", string);
i = 0;
n = 1; p = 1;
m = 0;
DiffProd = 0;
prod = (PRODUIT *)GlobalLock(hprod);
hdon = GlobalAlloc(GHND, sizeof(DONNEE)*MAXPROD);
don = (DONNEE *)GlobalLock(hdon);
cumul = prod->chiffre;

while (!feof (finl_ptr))
{
    fgets(string, 128, finl_ptr);
    token = strtok(string, virgule);
    j = 0;
    while (token != NULL)
    {

```

```

strcpy(buffer,token);
if (i>0)
{
    switch (j)
    {
    case 0:
        strcpy(code_prod,buffer);
        break;
    case 1:
        strcpy(fichierSMT,buffer);
        break;
    case 2:
        strcpy(compagnie,buffer);
        break;
    case 3:
        lot_cum = atoi(buffer);
        while ((lot_cum>cumul)&&(n<MAXPROD+1))
        {
            fprintf (fout1_ptr, "%-16s", code_prod);
            fprintf (fout1_ptr, "%-14s", fichierSMT);
            fprintf (fout1_ptr, "%3s\n", compagnie);
            prod ++;
            cumul = prod->chiffre;
            m++;
            n++;
        }
        break;
    case 4:
        moy = atof(buffer);
        break;
    case 5:

```

```

    ecart = atof(buffer);
    break;
case 6:
    ttop1 = atof(buffer);
    break;
case 7:
    ttop2 = atof(buffer);
    break;
case 8:
    tbot = atof(buffer);
    if (m>0)
    {
        DiffProd++;
        for (t = 0; t < m; t++)
        {
            if (ecart !=0)
            {
                quantite = Round(RNORM(moy,ecart,3));
                if (quantite<1) quantite = 5;
            }
            else quantite = moy;

            strcpy(don->nom, code_prod);
            strcpy(don->fichier, fichierSMT);
            don->quant = quantite;
            don->top1 = Sup(quantite*ttop1/42);
            don->top2 = Sup(quantite*ttop2/42);
            don->bottom = Sup(quantite*tbot/42);
            don++;
        }
    }
}

```

```

        m = 0;
        break;
    } //fin du switch
} //fin du if

j++;
token = strtok(NULL, virgule);
} //fin du second while
i++;
} //fin du premier while
GlobalUnlock(hprod);
GlobalFree(hprod);
GlobalUnlock(hdon);

}
/* fin de ylire */

/*****

Fonction: Arrondir un nombre

*****/
double Round (double number)
{
    double chiffre;
    double entier;

    if (modf(number, &entier)>.5)
        chiffre = ceil(number);
    else

```

```

        chiffre=entier;

    return chiffre;
}

/* fin de Round */

/*****

Fonction: Arrondir un nombre a l'entier superieur

*****/
double Sup (double number)
{
    double chiffre;
    double entier;

    if (modf(number, &entier)>.2)
        chiffre = ceil(number);
    else
        chiffre=entier;

    return chiffre;
}

/* fin de Sup */

/*****

Fonction: Ordonnancement des familles

*****/

```

```

//void OrdreFam(fout1_ptr, fout2_ptr, fin2_ptr)
//FILE *fout1_ptr, *fout2_ptr, *fin2_ptr;
void OrdreFam(fout2_ptr, fin2_ptr)
FILE *fout2_ptr, *fin2_ptr;
{
    int i, j, k, l, m;
    char nofam[1];
    char fichierSMT[13];
    char *pro, *tprod;
    int total_famille;
    int PasChoisi;
    double tempo1, tempo2, tempo3;
    DONNEE *don, *ptrtemp1;
    SOMME *sum, *ptrtemp2;
    SUPER *sup, *ptrtemp4;
    char tempfich[13];
    double tqte, ttop1, ttop2, tbot;
    double temptop[100], tempbot[100];
    int batch[100], ordre[100];
    int tfam, tord, bidon, QuantiteSetup;
// FILE *toto_ptr;

    hsum = GlobalAlloc(GHND, sizeof(SOMME)*DiffProd);
    sum = (SOMME *)GlobalLock(hsum);
    hsup = GlobalAlloc(GHND, sizeof(SUPER)*MAXPROD);
    sup = (SUPER *)GlobalLock(hsup);
    don = (DONNEE *)GlobalLock(hdon);

    ptrtemp1 = don;
    i = 0;

```

```

/* Inscrire famille dans tableau */
while (!feof (fin2_ptr))
{
    fscanf(fin2_ptr, "%s %s", nofam, fichierSMT);
    if (i<MAXPROD)
    {
        don = ptrtemp1;
        k = 0;
        while (k < MAXPROD)
        {
            if ((i==0)&&(strcmp(don->fichier,fichierSMT)==0))
            {
                strcpy (sup->produit, don->fichier);
                sup->qte = don->quant;
                sup->tt1 = don->top1;
                sup->tt2 = don->top2;
                sup->tb = don->bottom;
                sup->groupe = atoi(nofam);
                don->famille = atoi(nofam);
                sup->arrive = i+1;
                i++;
                sup++;
                break;
            }
            else if ((i>0)&&(strcmp(don->fichier,fichierSMT)==0)&&(don-
>famille==0))
            {
                ptrtemp4 = sup;

                for (j = 0; j < i+1 ; j++)
                {

```

```

sup--;
if (strcmp(sup->produit,don->fichier) == 0)
{
    if (sup->tt1 > don->top1)
    {
        tqte = sup->qte;
        ttop1 = sup->tt1;
        ttop2 = sup->tt2;
        tbot = sup->tb;
        tprod = sup->produit;
        tfam = sup->groupe;
        tord = sup->arrive;
        sup++;
        sup->qte = tqte;
        sup->tt1 = ttop1;
        sup->tt2 = ttop2;
        sup->tb = tbot;
        strcpy(sup->produit, tprod);
        sup->groupe = tfam;
        sup->arrive = tord;
        sup--;
    }
    else
    {
        sup++;
        strcpy (sup->produit, don->fichier);
        sup->qte = don->quant;
        sup->tt1 = don->top1;
        sup->tt2 = don->top2;
        sup->tb = don->bottom;
        sup->groupe = atoi(nofam);
    }
}

```



```

        don->famille = atoi(nofam);
        sup->arrive = i+1;
    }
}
if (strcmp(sup->produit,don->fichier) != 0)
{
    sup++;
    strcpy (sup->produit, don->fichier);
    sup->qte = don->quant;
    sup->ttl = don->top1;
    sup->tt2 = don->top2;
    sup->tb = don->bottom;
    sup->choisi = 0;
    sup->groupe = atoi(nofam);
    don->famille = atoi(nofam);
    sup->arrive = i+1;
}
} // fin du for
sup = ptrtemp4;
i++;
sup++;
break;
} //fin du elseif
k++;
don++;
} //fin du while k
} //fin du if i
total_famille = atoi(nofam);
QuantiteSetup = i;
} //fin du while

```

```

/* Si produit avec seulement bottom ou erreur dans programme famille */
if (MAXPROD != QuantiteSetup)
{
    if (QuantiteSetup == 0)
    {
        Beep(500,500);
        Sleep(60000);
    }
    don = ptrtemp1;
    for ( i = 0; i < MAXPROD; i++, don++)
    {
        if ((don->famille < 1) || (don->famille > total_famille))
        {
            don->famille = 0;
            strcpy (sup->produit, don->fichier);
            sup->tt1 = don->top1;
            sup->tt2 = don->top2;
            sup->tb = don->bottom;
            sup->groupe = 0;
            sup++;
        }
    }
}

GlobalUnlock(hsup);

/* Calculer le temps pour chaque produit et ordonnancer selon SPT dans
les familles */
sup = (SUPER *)GlobalLock(hsup);
i=0;
j=1;

```

```

for (i=0; i<MAXPROD; i++)
{
    PasChoisi = 1;
    if(sup->choisi == 0)
    {
        PasChoisi = 0;
        pro = sup->produit;
        bidon = sup->groupe;
        tempol = sup->tt1;      //sum->stop1
        tempo2 = sup->tt2;      //sum->stop2
        tempo3 = sup->tb;       //sum->sbol
        ptrtemp4 = sup;
        sup++;
        for(l=1; l<MAXPROD-i; sup++, l++)
        {
            if(strcmp(sup->produit, pro) == 0)
            {
                tempol += sup->tt1;
                tempo2 += sup->tt2;
                tempo3 += sup->tb;
                sup->choisi = 1;
            }
        }
        sup = ptrtemp4;
    }

    /* Trie en bulle des produits */
    if ((j==1)&&(PasChoisi==0))
    {
        sum->stop1 = tempol;
        sum->stop2 = tempo2;
    }
}

```

```

    sum->sbot = tempo3;
    sum->family = bidon;
    strcpy(sum->fich, pro);
}
else if ((j>1)&&(PasChoisi==0))
{
    ptrtemp2 = sum;

    for (k = 1; k < j+1; k++)
    {
        sum--;
        if (sum->stop1 > tempol)
        {
            ttop1 = sum->stop1;
            ttop2 = sum->stop2;
            tbot = sum->sbot;
            tprod = sum->fich;
            tfam = sum->family;
            sum++;
            sum->stop1 = ttop1;
            sum->stop2 = ttop2;
            sum->sbot = tbot;
            strcpy(sum->fich, tprod);
            sum->family = tfam;
            sum--;
        }
        else
        {
            sum++;
            sum->stop1 = tempol;
            sum->stop2 = tempo2;

```

```

        sum->sbot = tempo3;
        sum->family = bidon;
        strcpy(sum->fich, pro);
    }
} // fin du for

sum = ptrtemp2;
} //fin du elseif

if(PasChoisi == 0)
{
    sum++;
    j++;
}
sup++;

} //fin du for
GlobalUnlock(hsum);
GlobalUnlock(hsup);
// DiffProd = j;

/* Choix de l'ordre des familles selon SPT */
sum = (SOMME *)GlobalLock(hsum);
ptrtemp2 = sum;

/* toto_ptr = fopen("ordre.txt", "w");
for (i=0; i<DiffProd; i++, sum++)
{
    fprintf(toto_ptr, "Produit: %s  Fam: %d  Top: %f\n", sum->fich, sum-
>family, sum->stop1);
}

```

```

sum = ptrtemp2;
fclose (toto_ptr);
toto_ptr = fopen("boucle.txt", "w");*/
for (i = 1; i < total_famille+1; i++)
{
    tempol = 0;
    tempo2 = 0;
    for(j = 0; j < DiffProd; j++, sum++)
    {
        if ( sum->family == i)
        {
            tempol += sum->stop1 + sum->stop2;
            tempo2 += sum->shot;
            tfam = sum->family;
        }
    }
}
//    fprintf(toto_ptr,"Avant trie MAXPROD = %d\n", MAXPROD);

/* Trie en bulle des familles */
if (i==1)
{
    temptop[i] = tempol;
    tempbot[i] = tempo2;
    batch[i] = tfam;
}
else if (i>1)
{
    k = i;

    for (j = 1; j < k+1; j++)
    {

```

```

i--;
if (temptop[i] > tempol)
{
    ttop1 = temptop[i];
    tbot = tempbot[i];
    bidon = batch[i];
    i++;
    temptop[i] = ttop1;
    tempbot[i] = tbot;
    batch[i] = bidon;
    i--;
    if (i == 1)
    {
        temptop[i] = tempol;
        tempbot[i] = tempo2;
        batch[i] = tfam;
    }
}
else
{
    i++;
    temptop[i] = tempol;
    tempbot[i] = tempo2;
    batch[i] = tfam;
}
} // fin du for
i = k;
} // fin du elseif
ordre[i] = i;
sum = ptrtemp2;
} // fin du for

```

```

GlobalUnlock(hsum);
/* fclose (toto_ptr);
toto_ptr = fopen("debug.txt", "w");
    fprintf(toto_ptr,"Avant ordre SPT a l'interieur des familles");
fclose (toto_ptr);*/

/* Ordre SPT a l'interieur des familles */
sum = (SOMME *)GlobalLock(hsum);
sup = (SUPER *)GlobalLock(hsup);
ptrtemp2 = sum;
ptrtemp4 = sup;

tfam = 1;
for (i=0; i<total_famille; i++)
{
    k = 1;
    sum = ptrtemp2;
    for (j=0; j<DiffProd; j++, sum++)
    {
        if (sum->family == tfam)
        {
            sup = ptrtemp4;
            for (l=0; l<MAXPROD; l++, sup++)
            {
                if(strcmp(sum->fich, sup->produit) == 0)
                {
                    sup->seqprod = k;
                    k++;
                } //fin du if meme produit
            } // fin du for l
        } // fin du if meme famille
    }
}

```



```

    } //fin du for j
    tfam++;
}

GlobalUnlock(hsup);
GlobalUnlock(hsum);
GlobalFree(hsum);

/* Ecrit ordre des familles */
sup = (SUPER *)GlobalLock(hsup);
ptrtemp4 = sup;
/* toto_ptr = fopen("ordre2.txt", "w");
for (i=1; i<total_famille+1; i++)
{
    fprintf(toto_ptr,"Famille: %d   Ordre: %d   Top: %f\n", batch[i],
ordre[i], temptop[i]);
}
fclose (toto_ptr);*/

for (i=0; i<total_famille; i++)
{
    for (l=1; l<total_famille+1; l++)
    {
        if (ordre[l] == i+1)
        {
            sup = ptrtemp4;
            for (j=0; j<MAXPROD; j++, sup++)
            {
                if (sup->groupe == batch[l]) sup->seqfam = ordre[l];
            }
        }
    }
}

```



```

        else sup->tsetup = 75.0;
        tfam = sup->groupe;
        strcpy(tempfich, sup->produit);
    }
    else if ((tfam == sup->groupe)&&(i != 1))
    {
        if (strncmp(tempfich, sup->produit,4) == 0 )
        {
            if (strcmp(tempfich, sup->produit) == 0 ) sup->tsetup =
0.0;

            else sup->tsetup = 15.0;
            tfam = sup->groupe;
            strcpy(tempfich, sup->produit);
        }
        else
        {
            sup->tsetup = 25.0;
            tfam = sup->groupe;
            strcpy(tempfich, sup->produit);
        }
        strcpy(tempfich, sup->produit);
    }
    SetupSemaine += sup->tsetup;
    WIP += sup->qte;
    fprintf(fout2_ptr,      "%s,%f,%f,%f,%f,%f,%d,%d,%d\n",      sup-
>produit, sup->qte, sup->tsetup, sup->ttl + sup->tt2, sup->tt2, sup->tb,
sup->groupe ,sup->seqfam, sup->seqprod);
    }
    }
    }
}

```

```

if((Var10==1)&&(Var11==2))
{
    for (i=0; i<total_famille; i++)
    {
        k = 1;
        for (j=0; j<MAXPROD; j++)
        {
            sup =ptrtemp4;
            for (l=0; l<MAXPROD; l++, sup++)
            {
                if((sup->groupe == tfam)&&(sup->seqprod == k))
                {
                    if (k == 1)
                    {
                        if (Var5 == 2)
                        {
                            if (i==0) sup->tsetup = 75.0;
                            else sup->tsetup = 35.0;
                        }
                        if (Var5==1) sup->tsetup = 75.0;
                        strcpy(tempfich, sup->produit);
                    }
                    if (k > 1)
                    {
                        if (strncmp(tempfich, sup->produit,4) == 0 )
                        {
                            if (strcmp(tempfich, sup->produit) == 0 ) sup->tsetup =
0.0;

                            else sup->tsetup = 15.0;
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        else
        {
            sup->tsetup = 25.0;
        }

        strcpy(tempfich, sup->produit);
    }

    SetupSemaine += sup->tsetup;
    WIP += sup->qte;

    fprintf(fout2_ptr, "%s,%f,%f,%f,%f,%f,%d,%d,%d\n", sup->produit,
sup->qte, sup->tsetup, sup->tt1 + sup->tt2, sup->tt2, sup->tb, sup-
>groupe ,sup->seqfam, sup->seqprod);

    k++;
}

}

}

tfam++;
}

}

if((Var10==2)&&(Var11==1))
{
    k=1;

    for (i=1; i<total_famille+1; i++)
    {
        sup =ptrtemp4;
        bidon = 100;

        for (j=0; j<MAXPROD; j++, sup++)
        {
            if((sup->seqfam == tfam)&&(bidon>sup->arrive)) bidon=sup->arrive;
//            fprintf(fout1_ptr,"Prod: %s Arrive: %d Famille: %d\n", sup-
>produit, sup->arrive, sup->seqfam);

```



```

        {
            sup->tsetup = 25.0;
            strcpy(tempfich, sup->produit);
        }
        strcpy(tempfich, sup->produit);
        break;
    }
    SetupSemaine += sup->tsetup;
    WIP += sup->qte;
    fprintf(fout2_ptr, "%s,%f,%f,%f,%f,%f,%d,%d,%d\n", sup-
>produit, sup->qte, sup->tsetup, sup->tt1 + sup->tt2, sup->tt2, sup->tb,
sup->groupe ,sup->seqfam, sup->seqprod);
    bidon++;
}
}
}
tfam++;
k=2;
}
}
m = 0;
if((Var10==2)&&(Var11==2))
{
    for (i=0; i<total_famille; i++)
    {
        k = 1;
        for (j=0; j<MAXPROD; j++)
        {
            sup = ptrtemp4;
            for (l=0; l<MAXPROD; l++, sup++)

```

```

{
    if ((sup->seqfam == tfam)&&(sup->seqprod == k))
//    if ((sup->groupe == tfam)&&(sup->seqprod == k))
    {
        if (k == 1)
        {
            if (Var5==2)
            {
                if (m==0) sup->tsetup = 75.0;
                else sup->tsetup = 35.0;
            }
            if (Var5==1) sup->tsetup = 75.0;
            strcpy(tempfich, sup->produit);
            m = 1;
        }
        if (k > 1)
        {
            if (strncmp(tempfich, sup->produit,4) == 0 )
            {
                if (strcmp(tempfich, sup->produit) == 0 ) sup->tsetup =
0.0;

                else sup->tsetup = 15.0;
            }
            else
            {
                sup->tsetup = 25.0;
            }
            strcpy(tempfich, sup->produit);
        }
        SetupSemaine += sup->tsetup;
        WIP += sup->qte;
    }
}

```



```

        fprintf(fout2_ptr, "%s,%f,%f,%f,%f,%f,%d,%d,%d\n", sup-
>produit, sup->qte, sup->tsetup, sup->ttl + sup->tt2, sup->tt2, sup->tb,
sup->groupe ,sup->seqfam, sup->seqprod);

        k++;
//        break;
    }
}
}
tfam++;
}
}
GlobalUnlock(hsup);
GlobalFree(hsup);
GlobalUnlock(hdon);
GlobalFree(hdon);
}
/* fin de OrdreFam */

```

ANNEXE B:
Les résultats de la simulation

Les résultats de la recherche furent traités à l'aide du logiciel SAS. Cette annexe est composée de trois sections soit le tableau ANOVA qui donne le sommaire du traitement statistique, les entrées (Résultats de la simulation) et les résultats de l'analyse DUNCAN.

Dependent Variable:		WIP			Lead Time			Set-up Time		
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Model	21	1825585.6125	86932.6	189.26	5724563.7937	272598.	242.38	6055265.8081	288346.0	13772.
Error	298	136883.5009	459.3		335155.5033	1124.7		6239.2885	20.9	
Corrected Total	319	1962469.1134			6059719.2970			6061505.0966		
R-Square		0.930249			0.944691			0.998971		
C.V.		3.047973			2.832439			0.528629		
Root MSE		21.432233			33.536292			4.5757196		
Mean		703.16345 (cards)			1184.0076 (min.)			865.58309 (min.)		
Source	DF	Mean Square	F Value	Pr > F	Mean Square	F Value	Pr > F	Mean Square	F Value	Pr > F
METHODE	1	15966.5367	34.76	0.0001	486983.3607	433.00	0.0001	2903607.5340	99999.99	0.0001
FEEDER	1	447.5276	0.97	0.3244	192781.9779	171.41	0.0001	679831.0254	32469.99	0.0001
RHO	1	709.3429	1.54	0.2150	672491.9568	597.94	0.0001	1400950.5580	66912.00	0.0001
REDUCT	1	303.0351	0.66	0.4173	80.1674	0.07	0.7897	4170.0163	199.17	0.0001
INTERF	1	1546783.2722	3367.40	0.0001	1471582.2270	1308.44	0.0001	0.0000	0.00	0.9995
INTRAF	1	71230.8551	155.07	0.0001	81722.7475	72.66	0.0001	7948.2948	379.63	0.0001
METHODE*FEEDER	1	13015.2208	28.33	0.0001	188257.5456	167.39	0.0001	485586.7921	23192.53	0.0001
METHODE*RHO	1	16883.9765	36.76	0.0001	340117.1842	302.41	0.0001	548160.8684	26181.18	0.0001
METHODE*REDUCT	1	129.8530	0.28	0.5953	2721.0210	2.42	0.1209	2662.8050	127.18	0.0001
METHODE*INTERF	1	75546.1045	164.47	0.0001	1932058.7460	1717.87	0.0001	0.0000	0.00	0.9995
METHODE*INTRAF	1	11532.2977	25.11	0.0001	8589.4489	7.64	0.0061	2611.9455	124.75	0.0001
FEEDER*RHO	1	443.8241	0.97	0.3264	192.1998	0.17	0.6796	16434.8763	784.96	0.0001
FEEDER*REDUCT	1	0.2584	0.00	0.9811	17.2972	0.02	0.9014	114.3795	5.46	0.0201
FEEDER*INTERF	1	49215.0691	107.14	0.0001	310172.2675	275.79	0.0001	0.0000	0.00	0.9995
FEEDER*INTRAF	1	6841.4876	14.89	0.0001	5644.6977	5.02	0.0258	817.1507	39.03	0.0001
RHO*REDUCT	1	9.9061	0.02	0.8833	888.8240	0.79	0.3747	1361.0148	65.00	0.0001
RHO*INTERF	1	15192.2813	33.07	0.0001	27031.5571	24.03	0.0001	0.0000	0.00	0.9995
RHO*INTRAF	1	1189.6251	2.59	0.1086	1071.0597	0.95	0.3299	1007.5606	48.12	0.0001
REDUCT*INTERF	1	141.8491	0.31	0.5788	2138.9189	1.90	0.1689	0.0000	0.00	0.9995
REDUCT*INTRAF	1	2.7086	0.01	0.9388	5.2438	0.00	0.9456	0.9870	0.05	0.8283
INTERF*INTRAF	1	0.5810	0.00	0.9717	15.3450	0.01	0.9071	0.0000	0.00	0.9995

Table 1. ANOVA

Les entrées de la recherches

```

data matrox;

    options pagesize=60 linesize=80;

    options nodate;

    title;

    title5 'Simulation Ligne SMT';

input methode$ feeder rho reduct$ interf$ intraf$ wip tpas setup;

cards;

SDS 150 0.10 AUCUNE RANDOM RANFAM 633.4776423 1265.261726 935.4314721
SDS 150 0.10 AUCUNE RANDOM RANFAM 621.070429 1214.68923 947.3880597
SDS 150 0.10 AUCUNE RANDOM RANFAM 627.947505 1228.602777 938.275
SDS 150 0.10 AUCUNE RANDOM RANFAM 622.4484024 1234.755848 943.7
SDS 150 0.10 AUCUNE RANDOM RANFAM 606.1992205 1205.496477 947.0689655
SDS 150 0.10 AUCUNE RANDOM SPTFAM 662.6128221 1230.812539 948.3163265
SDS 150 0.10 AUCUNE RANDOM SPTFAM 646.8720735 1184.313543 959.425
SDS 150 0.10 AUCUNE RANDOM SPTFAM 651.4150161 1202.302933 954.3467337
SDS 150 0.10 AUCUNE RANDOM SPTFAM 649.43497 1210.006618 958.1909548
SDS 150 0.10 AUCUNE RANDOM SPTFAM 629.8338359 1183.393697 960.0990099
SDS 150 0.10 AUCUNE SPT RANFAM 781.018142 1197.160932 935.4314721
SDS 150 0.10 AUCUNE SPT RANFAM 745.509577 1172.841528 947.3880597
SDS 150 0.10 AUCUNE SPT RANFAM 764.7377574 1182.496415 938.275
SDS 150 0.10 AUCUNE SPT RANFAM 751.6641186 1192.002293 943.7
SDS 150 0.10 AUCUNE SPT RANFAM 719.7159994 1176.489729 947.0689655
SDS 150 0.10 AUCUNE SPT SPTFAM 809.6512724 1162.312284 948.3163265
SDS 150 0.10 AUCUNE SPT SPTFAM 771.1928779 1143.44689 959.425
SDS 150 0.10 AUCUNE SPT SPTFAM 786.6513663 1155.867516 954.3467337
SDS 150 0.10 AUCUNE SPT SPTFAM 778.9813674 1166.079612 958.1909548
SDS 150 0.10 AUCUNE SPT SPTFAM 742.7270946 1153.295961 960.0990099
SDS 150 0.10 RED20% RANDOM RANFAM 629.9177591 1271.606898 929.2893401
SDS 150 0.10 RED20% RANDOM RANFAM 615.4349871 1222.02382 941.3681592
SDS 150 0.10 RED20% RANDOM RANFAM 623.9893325 1238.529869 930.625
SDS 150 0.10 RED20% RANDOM RANFAM 617.5079438 1246.131836 940.35
SDS 150 0.10 RED20% RANDOM RANFAM 600.287358 1216.127765 941.6666667
SDS 150 0.10 RED20% RANDOM SPTFAM 660.0271373 1238.017882 943.3163265
SDS 150 0.10 RED20% RANDOM SPTFAM 642.8687548 1193.04767 954.475

```

SDS 150 0.10 RED20% RANDOM SPTFAM 652.1431415 1205.440447 946.825
 SDS 150 0.10 RED20% RANDOM SPTFAM 644.8989697 1219.395664 955.3768844
 SDS 150 0.10 RED20% RANDOM SPTFAM 625.0558651 1191.640416 955.8910891
 SDS 150 0.10 RED20% SPT RANFAM 778.4943855 1200.915003 929.2893401
 SDS 150 0.10 RED20% SPT RANFAM 742.7263078 1170.97392 941.3681592
 SDS 150 0.10 RED20% SPT RANFAM 761.1008531 1189.46557 930.625
 SDS 150 0.10 RED20% SPT RANFAM 751.6523002 1194.113862 940.35
 SDS 150 0.10 RED20% SPT RANFAM 715.367902 1184.787657 941.6666667
 SDS 150 0.10 RED20% SPT SPTFAM 808.1960169 1167.081857 943.3163265
 SDS 150 0.10 RED20% SPT SPTFAM 770.2935164 1144.287109 954.475
 SDS 150 0.10 RED20% SPT SPTFAM 788.5140759 1156.559976 946.825
 SDS 150 0.10 RED20% SPT SPTFAM 779.3380477 1166.491007 955.3768844
 SDS 150 0.10 RED20% SPT SPTFAM 740.2188441 1158.75587 955.8910891
 SDS 150 0.30 AUCUNE RANDOM RANFAM 604.5252251 1472.566503 1146.961326
 SDS 150 0.30 AUCUNE RANDOM RANFAM 585.0024855 1426.456007 1156
 SDS 150 0.30 AUCUNE RANDOM RANFAM 586.6649527 1444.899154 1146
 SDS 150 0.30 AUCUNE RANDOM RANFAM 583.6038397 1448.049416 1160.679348
 SDS 150 0.30 AUCUNE RANDOM RANFAM 558.9965725 1415.44916 1154.126984
 SDS 150 0.30 AUCUNE RANDOM SPTFAM 632.3938981 1444.99233 1158.232044
 SDS 150 0.30 AUCUNE RANDOM SPTFAM 609.621406 1398.756357 1165.162162
 SDS 150 0.30 AUCUNE RANDOM SPTFAM 612.4781089 1418.600633 1155.297297
 SDS 150 0.30 AUCUNE RANDOM SPTFAM 610.071309 1420.475561 1169.23913
 SDS 150 0.30 AUCUNE RANDOM SPTFAM 580.5442789 1394.770339 1164.281915
 SDS 150 0.30 AUCUNE SPT RANFAM 792.4064834 1308.087407 1146.961326
 SDS 150 0.30 AUCUNE SPT RANFAM 750.7346702 1288.27229 1156
 SDS 150 0.30 AUCUNE SPT RANFAM 768.8024548 1291.09786 1146
 SDS 150 0.30 AUCUNE SPT RANFAM 762.7626355 1305.2402 1160.679348
 SDS 150 0.30 AUCUNE SPT RANFAM 725.9541748 1273.691129 1154.126984
 SDS 150 0.30 AUCUNE SPT SPTFAM 820.131561 1277.402863 1158.232044
 SDS 150 0.30 AUCUNE SPT SPTFAM 774.8547236 1260.10875 1165.162162
 SDS 150 0.30 AUCUNE SPT SPTFAM 794.8467809 1261.483114 1155.297297
 SDS 150 0.30 AUCUNE SPT SPTFAM 789.836093 1275.522663 1169.23913
 SDS 150 0.30 AUCUNE SPT SPTFAM 747.1329404 1251.044696 1164.281915
 SDS 150 0.30 RED20% RANDOM RANFAM 603.0151286 1430.200706 1124.20765
 SDS 150 0.30 RED20% RANDOM RANFAM 589.0970125 1378.702232 1129.521277
 SDS 150 0.30 RED20% RANDOM RANFAM 587.9532818 1401.890278 1124.358289
 SDS 150 0.30 RED20% RANDOM RANFAM 587.091781 1411.052092 1134.462366
 SDS 150 0.30 RED20% RANDOM RANFAM 557.7273461 1370.544339 1127.382199
 SDS 150 0.30 RED20% RANDOM SPTFAM 633.9945955 1399.755953 1134.725275

SDS 150 0.30 RED20% RANDOM SPTFAM 614.8668644 1352.391004 1138.850267
 SDS 150 0.30 RED20% RANDOM SPTFAM 613.2582563 1378.683785 1133.475936
 SDS 150 0.30 RED20% RANDOM SPTFAM 615.9699535 1380.306275 1142.972973
 SDS 150 0.30 RED20% RANDOM SPTFAM 579.9888132 1348.538262 1138.078947
 SDS 150 0.30 RED20% SPT RANFAM 781.8633843 1331.284994 1124.20765
 SDS 150 0.30 RED20% SPT RANFAM 739.9415723 1304.208108 1129.521277
 SDS 150 0.30 RED20% SPT RANFAM 763.2790468 1303.595399 1124.358289
 SDS 150 0.30 RED20% SPT RANFAM 755.7317235 1325.321535 1134.462366
 SDS 150 0.30 RED20% SPT RANFAM 716.2960749 1295.961557 1127.382199
 SDS 150 0.30 RED20% SPT SPTFAM 812.7931442 1298.279804 1134.725275
 SDS 150 0.30 RED20% SPT SPTFAM 765.324004 1276.759631 1138.850267
 SDS 150 0.30 RED20% SPT SPTFAM 788.6869221 1276.967966 1133.475936
 SDS 150 0.30 RED20% SPT SPTFAM 784.2742497 1295.0194 1142.972973
 SDS 150 0.30 RED20% SPT SPTFAM 738.6768757 1271.97942 1138.078947
 SDS 300 0.10 AUCUNE RANDOM RANFAM 672.2528009 1104.318587 743.3962264
 SDS 300 0.10 AUCUNE RANDOM RANFAM 648.2268415 1067.623186 750.437788
 SDS 300 0.10 AUCUNE RANDOM RANFAM 651.952028 1086.753706 744.2165899
 SDS 300 0.10 AUCUNE RANDOM RANFAM 644.5395126 1101.36315 755.9490741
 SDS 300 0.10 AUCUNE RANDOM RANFAM 638.424343 1070.509544 751.6666667
 SDS 300 0.10 AUCUNE RANDOM SPTFAM 737.922093 1045.660901 770.1435407
 SDS 300 0.10 AUCUNE RANDOM SPTFAM 707.462775 1007.944444 774.8372093
 SDS 300 0.10 AUCUNE RANDOM SPTFAM 715.0203649 1021.559044 770.1162791
 SDS 300 0.10 AUCUNE RANDOM SPTFAM 706.6148918 1033.040006 778.9953271
 SDS 300 0.10 AUCUNE RANDOM SPTFAM 693.6382682 1016.22486 777.8571429
 SDS 300 0.10 AUCUNE SPT RANFAM 733.741523 1185.800144 743.3962264
 SDS 300 0.10 AUCUNE SPT RANFAM 704.7425384 1148.453696 750.437788
 SDS 300 0.10 AUCUNE SPT RANFAM 719.6238802 1150.75266 744.2165899
 SDS 300 0.10 AUCUNE SPT RANFAM 709.0384561 1173.60741 755.9490741
 SDS 300 0.10 AUCUNE SPT RANFAM 684.0331813 1155.938338 751.6666667
 SDS 300 0.10 AUCUNE SPT SPTFAM 799.4459951 1127.525658 770.1435407
 SDS 300 0.10 AUCUNE SPT SPTFAM 764.2735609 1088.252257 774.8372093
 SDS 300 0.10 AUCUNE SPT SPTFAM 782.4914342 1084.503752 770.1162791
 SDS 300 0.10 AUCUNE SPT SPTFAM 769.7394767 1108.427901 778.9953271
 SDS 300 0.10 AUCUNE SPT SPTFAM 739.3022086 1102.345261 777.8571429
 SDS 300 0.10 RED20% RANDOM RANFAM 671.8696774 1104.999713 738.7264151
 SDS 300 0.10 RED20% RANDOM RANFAM 653.9807826 1060.907812 747.2706422
 SDS 300 0.10 RED20% RANDOM RANFAM 651.8730603 1088.135887 740.9907834
 SDS 300 0.10 RED20% RANDOM RANFAM 648.7930259 1095.355174 751.4583333
 SDS 300 0.10 RED20% RANDOM RANFAM 637.1613438 1070.720725 749.9315068

SDS 300 0.10 RED20% RANDOM SPTFAM 741.0267131 1040.645616 765.6666667
 SDS 300 0.10 RED20% RANDOM SPTFAM 713.0438213 1000.300268 771.5348837
 SDS 300 0.10 RED20% RANDOM SPTFAM 716.9970335 1020.025427 766.3488372
 SDS 300 0.10 RED20% RANDOM SPTFAM 709.0501563 1029.641802 773.8551402
 SDS 300 0.10 RED20% RANDOM SPTFAM 693.019263 1015.224316 776.5668203
 SDS 300 0.10 RED20% SPT RANFAM 732.3936658 1173.844941 738.7264151
 SDS 300 0.10 RED20% SPT RANFAM 699.8903594 1145.951797 747.2706422
 SDS 300 0.10 RED20% SPT RANFAM 714.0513 1163.936679 740.9907834
 SDS 300 0.10 RED20% SPT RANFAM 705.5476659 1177.183071 751.4583333
 SDS 300 0.10 RED20% SPT RANFAM 683.1555893 1153.977339 749.9315068
 SDS 300 0.10 RED20% SPT SPTFAM 800.6891696 1110.520616 765.6666667
 SDS 300 0.10 RED20% SPT SPTFAM 759.0209948 1085.997605 771.5348837
 SDS 300 0.10 RED20% SPT SPTFAM 779.0540158 1095.362698 766.3488372
 SDS 300 0.10 RED20% SPT SPTFAM 764.7957447 1116.381135 773.8551402
 SDS 300 0.10 RED20% SPT SPTFAM 739.0986741 1099.181577 776.5668203
 SDS 300 0.30 AUCUNE RANDOM RANFAM 644.4935815 1245.780327 998.9322917
 SDS 300 0.30 AUCUNE RANDOM RANFAM 618.6382979 1197.860693 993.3585859
 SDS 300 0.30 AUCUNE RANDOM RANFAM 613.506337 1232.679862 994.9238579
 SDS 300 0.30 AUCUNE RANDOM RANFAM 627.19136 1204.97645 987.5380711
 SDS 300 0.30 AUCUNE RANDOM RANFAM 609.1987739 1193.052107 994.85
 SDS 300 0.30 AUCUNE RANDOM SPTFAM 701.6522581 1190.780645 1013.717278
 SDS 300 0.30 AUCUNE RANDOM SPTFAM 667.4203125 1154.075938 1007.918782
 SDS 300 0.30 AUCUNE RANDOM SPTFAM 671.0050275 1175.945326 1007.933674
 SDS 300 0.30 AUCUNE RANDOM SPTFAM 684.5505653 1151.899026 1001.607143
 SDS 300 0.30 AUCUNE RANDOM SPTFAM 656.3072178 1152.144355 1006.742424
 SDS 300 0.30 AUCUNE SPT RANFAM 728.9180591 1401.920791 998.9322917
 SDS 300 0.30 AUCUNE SPT RANFAM 699.2187354 1349.252913 993.3585859
 SDS 300 0.30 AUCUNE SPT RANFAM 708.2633391 1370.541073 994.9238579
 SDS 300 0.30 AUCUNE SPT RANFAM 705.6166094 1357.327349 987.5380711
 SDS 300 0.30 AUCUNE SPT RANFAM 676.7528366 1355.480681 994.85
 SDS 300 0.30 AUCUNE SPT SPTFAM 785.9714286 1339.975626 1013.717278
 SDS 300 0.30 AUCUNE SPT SPTFAM 747.8886804 1302.427767 1007.918782
 SDS 300 0.30 AUCUNE SPT SPTFAM 764.2724697 1309.802928 1007.933674
 SDS 300 0.30 AUCUNE SPT SPTFAM 763.5014935 1298.42210 1001.607143
 SDS 300 0.30 AUCUNE SPT SPTFAM 723.4921345 1311.23211 1006.742424
 SDS 300 0.30 RED20% RANDOM RANFAM 650.8306567 1205.170138 976.7010309
 SDS 300 0.30 RED20% RANDOM RANFAM 641.8921207 1146.927516 975.8542714
 SDS 300 0.30 RED20% RANDOM RANFAM 627.0627512 1194.701082 970.7070707
 SDS 300 0.30 RED20% RANDOM RANFAM 631.0945359 1181.668892 978.030303

SDS	300	0.30	RED20%	RANDOM	RANFAM	613.3149666	1161	976.1442786
SDS	300	0.30	RED20%	RANDOM	SPTFAM	710.6172563		1155.013447
SDS	300	0.30	RED20%	RANDOM	SPTFAM	691.716677		1098.32734
SDS	300	0.30	RED20%	RANDOM	SPTFAM	683.1731339		1141.754558
SDS	300	0.30	RED20%	RANDOM	SPTFAM	686.3669166		1130.955483
SDS	300	0.30	RED20%	RANDOM	SPTFAM	661.9845637		1115.999847
SDS	300	0.30	RED20%	SPT	RANFAM	722.645777		1392.114999
SDS	300	0.30	RED20%	SPT	RANFAM	688.2005232		1361.298553
SDS	300	0.30	RED20%	SPT	RANFAM	709.2725023		1359.817971
SDS	300	0.30	RED20%	SPT	RANFAM	703.7371446		1361.493864
SDS	300	0.30	RED20%	SPT	RANFAM	677.2949848		1350.143921
SDS	300	0.30	RED20%	SPT	SPTFAM	781.9566192		1338.963663
SDS	300	0.30	RED20%	SPT	SPTFAM	736.8202386		1310.816519
SDS	300	0.30	RED20%	SPT	SPTFAM	765.3366568		1302.15423
SDS	300	0.30	RED20%	SPT	SPTFAM	759.586056		1305.085665
SDS	300	0.30	RED20%	SPT	SPTFAM	725.8138005		1299.591493
GSU	150	0.10	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	638.4314178		1320.075513
GSU	150	0.10	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	616.7467133		1271.28042
GSU	150	0.10	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	627.2597805		1281.564171
GSU	150	0.10	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	614.8420384		1303.397798
GSU	150	0.10	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	603.4697791		1267.076143
GSU	150	0.10	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	657.4489796		1297.54552
GSU	150	0.10	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	632.2770848		1251.214576
GSU	150	0.10	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	643.5468508		1261.602931
GSU	150	0.10	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	632.5549272		1280.632405
GSU	150	0.10	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	618.5371246		1247.902948
GSU	150	0.10	AUCUNE	SPT	RANFAM	827.8839659		1002.207967
GSU	150	0.10	AUCUNE	SPT	RANFAM	783.2266816		985.8533072
GSU	150	0.10	AUCUNE	SPT	RANFAM	799.9292943		1000.807703
GSU	150	0.10	AUCUNE	SPT	RANFAM	795.4763047		1001.572497
GSU	150	0.10	AUCUNE	SPT	RANFAM	766.9282343		991.5009717
GSU	150	0.10	AUCUNE	SPT	SPTFAM	846.5488581		980.8302978
GSU	150	0.10	AUCUNE	SPT	SPTFAM	798.5398404		967.4825655
GSU	150	0.10	AUCUNE	SPT	SPTFAM	815.8048471		981.9819642
GSU	150	0.10	AUCUNE	SPT	SPTFAM	813.4	979.0607345	763.7674419
GSU	150	0.10	AUCUNE	SPT	SPTFAM	782.0655738		973.0295916
GSU	150	0.10	RED20%	RANDOM	RANFAM	640.8226644		1307.077134
GSU	150	0.10	RED20%	RANDOM	RANFAM	613.8890907		1271.750943
GSU	150	0.10	RED20%	RANDOM	RANFAM	628.3637386		1274.98707

GSU	150	0.10	RED20%	RANDOM	RANFAM	616.7651708	1295.159046	757.7906977
GSU	150	0.10	RED20%	RANDOM	RANFAM	603.7103984	1262.073025	758.440367
GSU	150	0.10	RED20%	RANDOM	SPTFAM	659.6403293	1285.618807	756.9194313
GSU	150	0.10	RED20%	RANDOM	SPTFAM	629.709709	1251.696838	759.7465438
GSU	150	0.10	RED20%	RANDOM	SPTFAM	645.4696607	1254.44094	756.8981481
GSU	150	0.10	RED20%	RANDOM	SPTFAM	634.7135799	1272.966262	761.0697674
GSU	150	0.10	RED20%	RANDOM	SPTFAM	619.3842412	1241.698999	762.6605505
GSU	150	0.10	RED20%	SPT	RANFAM	824.5407781	1004.649424	752.5829384
GSU	150	0.10	RED20%	SPT	RANFAM	779.8723642	987.014942	756.0599078
GSU	150	0.10	RED20%	SPT	RANFAM	796.3932584	1000.369242	753.1712963
GSU	150	0.10	RED20%	SPT	RANFAM	793.4657457	1002.60812	757.7906977
GSU	150	0.10	RED20%	SPT	RANFAM	763.9465723	995.0745212	758.440367
GSU	150	0.10	RED20%	SPT	SPTFAM	843.7106746	983.3440705	756.9194313
GSU	150	0.10	RED20%	SPT	SPTFAM	796.0797314	967.5030074	759.7465438
GSU	150	0.10	RED20%	SPT	SPTFAM	813.3912187	980.3622291	756.8981481
GSU	150	0.10	RED20%	SPT	SPTFAM	811.5754797	980.2793454	761.0697674
GSU	150	0.10	RED20%	SPT	SPTFAM	779.4495349	976.4692489	762.6605505
GSU	150	0.30	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	655.7296345	1356.020549	796.884058
GSU	150	0.30	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	617.1612949	1319.552482	795.6308411
GSU	150	0.30	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	623.8354575	1340.007017	793.685446
GSU	150	0.30	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	623.07806	1337.371215	799.4575472
GSU	150	0.30	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	605.7575458	1314.993089	798.5348837
GSU	150	0.30	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	669.4776163	1336.768237	796.9565217
GSU	150	0.30	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	630.0520314	1300.802709	794.9065421
GSU	150	0.30	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	637.3740513	1320.885723	793.0516432
GSU	150	0.30	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	636.9367379	1317.766318	799.2688679
GSU	150	0.30	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	617.4479549	1297.947109	798.4651163
GSU	150	0.30	AUCUNE	SPT	RANFAM	840.8492226	1010.519947	796.884058
GSU	150	0.30	AUCUNE	SPT	RANFAM	792.7831789	985.9823236	795.6308411
GSU	150	0.30	AUCUNE	SPT	RANFAM	807.086639	1002.434341	793.685446
GSU	150	0.30	AUCUNE	SPT	RANFAM	802.776901	1007.251363	799.4575472
GSU	150	0.30	AUCUNE	SPT	RANFAM	774.5961376	994.1960812	798.5348837
GSU	150	0.30	AUCUNE	SPT	SPTFAM	854.5897624	992.5825755	796.9565217
GSU	150	0.30	AUCUNE	SPT	SPTFAM	805.5951838	969.0129667	794.9065421
GSU	150	0.30	AUCUNE	SPT	SPTFAM	820.6198655	984.5384285	793.0516432
GSU	150	0.30	AUCUNE	SPT	SPTFAM	816.5383733	989.2308134	799.2688679
GSU	150	0.30	AUCUNE	SPT	SPTFAM	786.0772266	979.7512683	798.4651163
GSU	150	0.30	RED20%	RANDOM	RANFAM	652.9026107	1361.924465	795.3864734
GSU	150	0.30	RED20%	RANDOM	RANFAM	615.0292314	1330.066448	794.8831776

GSU	150	0.30	RED20%	RANDOM	RANFAM	621.3706143	1347.070743	792.6056338
GSU	150	0.30	RED20%	RANDOM	RANFAM	620.1414634	1343.494261	799.009434
GSU	150	0.30	RED20%	RANDOM	RANFAM	602.5500423	1324.024105	796.5813953
GSU	150	0.30	RED20%	RANDOM	SPTFAM	666.9599707	1342.329326	795.3140097
GSU	150	0.30	RED20%	RANDOM	SPTFAM	627.4263511	1311.61443	794.3925234
GSU	150	0.30	RED20%	RANDOM	SPTFAM	634.829373	1327.09791	792.1596244
GSU	150	0.30	RED20%	RANDOM	SPTFAM	633.4924688	1324.715105	799.1273585
GSU	150	0.30	RED20%	RANDOM	SPTFAM	614.1358895	1307.063011	796.6511628
GSU	150	0.30	RED20%	SPT	RANFAM	840.7194603	1009.972137	795.4347826
GSU	150	0.30	RED20%	SPT	RANFAM	793.2034768	984.7601881	794.8831776
GSU	150	0.30	RED20%	SPT	RANFAM	808.8320458	1000.312876	792.6056338
GSU	150	0.30	RED20%	SPT	RANFAM	803.4828576	1005.982786	799.009434
GSU	150	0.30	RED20%	SPT	RANFAM	774.447717	993.5693348	796.5813953
GSU	150	0.30	RED20%	SPT	SPTFAM	854.5412817	991.6896906	795.3140097
GSU	150	0.30	RED20%	SPT	SPTFAM	805.8946169	967.7445172	794.3925234
GSU	150	0.30	RED20%	SPT	SPTFAM	822.2191076	982.354119	792.1596244
GSU	150	0.30	RED20%	SPT	SPTFAM	816.7776503	988.9000143	799.1273585
GSU	150	0.30	RED20%	SPT	SPTFAM	785.8461322	978.8812174	796.6511628
GSU	300	0.10	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	632.4802051	1268.669467	723.691588
GSU	300	0.10	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	605.8215716	1238.071953	727.739726
GSU	300	0.10	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	611.4258127	1253.44554	725.3440367
GSU	300	0.10	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	609.2920156	1257.116555	730.8986175
GSU	300	0.10	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	595.219105	1230.347338	728.7782805
GSU	300	0.10	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	663.8742129	1237.852175	734.9765258
GSU	300	0.10	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	633.3483817	1209.190721	738.8302752
GSU	300	0.10	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	643.6169738	1223.093104	737.281106
GSU	300	0.10	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	640.3913957	1226.753784	741.1111111
GSU	300	0.10	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	621.6662996	1202.531801	739.8181818
GSU	300	0.10	AUCUNE	SPT	RANFAM	777.1493664	1053.20561	723.691588
GSU	300	0.10	AUCUNE	SPT	RANFAM	741.5804312	1029.726368	727.739726
GSU	300	0.10	AUCUNE	SPT	RANFAM	752.8546617	1042.463665	725.3440367
GSU	300	0.10	AUCUNE	SPT	RANFAM	761.9025105	1037.528731	730.8986175
GSU	300	0.10	AUCUNE	SPT	RANFAM	726.0253182	1032.760914	728.7782805
GSU	300	0.10	AUCUNE	SPT	SPTFAM	808.624857	1017.553919	734.9765258
GSU	300	0.10	AUCUNE	SPT	SPTFAM	769.1286607	998.1576683	738.8302752
GSU	300	0.10	AUCUNE	SPT	SPTFAM	784.489608	1006.709165	737.281106
GSU	300	0.10	AUCUNE	SPT	SPTFAM	792.4857863	1004.07604	741.1111111
GSU	300	0.10	AUCUNE	SPT	SPTFAM	752.1677437	1001.81342	739.8181818
GSU	300	0.10	RED20%	RANDOM	RANFAM	616.0718051	1290.966235	723.317757

GSU	300	0.10	RED20%	RANDOM	RANFAM	611.0196106	1230.39663	727.4657534
GSU	300	0.10	RED20%	RANDOM	RANFAM	605.6279845	1261.444892	723.4633028
GSU	300	0.10	RED20%	RANDOM	RANFAM	606.2020357	1259.303542	729.0825688
GSU	300	0.10	RED20%	RANDOM	RANFAM	589.8071448	1239.558582	727.3303167
GSU	300	0.10	RED20%	RANDOM	SPTFAM	649.5823673	1258.804065	735.3051643
GSU	300	0.10	RED20%	RANDOM	SPTFAM	637.3722577	1203.185921	738.3256881
GSU	300	0.10	RED20%	RANDOM	SPTFAM	638.8991069	1231.288027	735.1612903
GSU	300	0.10	RED20%	RANDOM	SPTFAM	638.5966704	1227.371992	739.4009217
GSU	300	0.10	RED20%	RANDOM	SPTFAM	617.2125757	1211.319758	739.0454545
GSU	300	0.10	RED20%	SPT	RANFAM	774.1378967	1059.661164	723.317757
GSU	300	0.10	RED20%	SPT	RANFAM	735.3866243	1040.235042	727.4657534
GSU	300	0.10	RED20%	SPT	RANFAM	749.8116324	1046.764853	723.4633028
GSU	300	0.10	RED20%	SPT	RANFAM	751.6158673	1052.399052	729.0825688
GSU	300	0.10	RED20%	SPT	RANFAM	719.4082638	1043.252702	727.3303167
GSU	300	0.10	RED20%	SPT	SPTFAM	807.1809469	1022.61808	735.3051643
GSU	300	0.10	RED20%	SPT	SPTFAM	762.092423	1009.786428	738.3256881
GSU	300	0.10	RED20%	SPT	SPTFAM	782.8569038	1011.129847	735.1612903
GSU	300	0.10	RED20%	SPT	SPTFAM	783.4501329	1016.736047	739.4009217
GSU	300	0.10	RED20%	SPT	SPTFAM	746.4869434	1011.43994	739.0454545
GSU	300	0.30	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	642.8385157	1342.956146	792.3429952
GSU	300	0.30	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	609.694049	1307.574744	791.6588785
GSU	300	0.30	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	620.7845296	1316.733486	789.882691
GSU	300	0.30	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	614.615142	1326.517924	796.6037736
GSU	300	0.30	AUCUNE	RANDOM	RANFAM	596.0599916	1305.522743	796.5740741
GSU	300	0.30	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	655.608868	1326.591543	794.9758454
GSU	300	0.30	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	621.1796407	1293.642715	794.6261682
GSU	300	0.30	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	634.5258337	1301.928725	792.5821596
GSU	300	0.30	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	628.3793054	1309.557549	799.4103774
GSU	300	0.30	AUCUNE	RANDOM	SPTFAM	607.6608426	1291.227138	797.8604651
GSU	300	0.30	AUCUNE	SPT	RANFAM	835.4743552	1000.321366	792.3429952
GSU	300	0.30	AUCUNE	SPT	RANFAM	790.8784648	982.4601279	791.6588785
GSU	300	0.30	AUCUNE	SPT	RANFAM	801.656	999.9277143	789.882691
GSU	300	0.30	AUCUNE	SPT	RANFAM	801.5434471	1002.490536	796.6037736
GSU	300	0.30	AUCUNE	SPT	RANFAM	767.9545134	1000.764259	796.5740741
GSU	300	0.30	AUCUNE	SPT	SPTFAM	848.682158	991.9901774	794.9758454
GSU	300	0.30	AUCUNE	SPT	SPTFAM	802.2734653	967.1679248	794.6261682
GSU	300	0.30	AUCUNE	SPT	SPTFAM	815.5082976	983.954364	792.5821596
GSU	300	0.30	AUCUNE	SPT	SPTFAM	815.1889527	985.2519369	799.4103774
GSU	300	0.30	AUCUNE	SPT	SPTFAM	779.6491475	985.6422432	797.8604651

GSU	300	0.30	RED20%	RANDOM	RANFAM	623.2564253	1370.751799	791.2560386
GSU	300	0.30	RED20%	RANDOM	RANFAM	603.4479863	1318.902377	790.4906542
GSU	300	0.30	RED20%	RANDOM	RANFAM	610.1473699	1332.510435	788.42723
GSU	300	0.30	RED20%	RANDOM	RANFAM	606.857409	1336.8362	795.7075472
GSU	300	0.30	RED20%	RANDOM	RANFAM	610.1473699	1332.510435	795.2314815
GSU	300	0.30	RED20%	RANDOM	SPTFAM	637.0576555	1352.922783	794.1545894
GSU	300	0.30	RED20%	RANDOM	SPTFAM	614.5227985	1305.490596	793.364486
GSU	300	0.30	RED20%	RANDOM	SPTFAM	624.0998712	1317.230505	790.9389671
GSU	300	0.30	RED20%	RANDOM	SPTFAM	620.6748924	1319.593687	798.3254717
GSU	300	0.30	RED20%	RANDOM	SPTFAM	594.6323799	1310.07313	796.7906977
GSU	300	0.30	RED20%	SPT	RANFAM	831.3735346	1014.890533	791.2560386
GSU	300	0.30	RED20%	SPT	RANFAM	787.3334281	987.2673112	790.4906542
GSU	300	0.30	RED20%	SPT	RANFAM	799.4517281	1003.394459	788.42723
GSU	300	0.30	RED20%	SPT	RANFAM	799.0086059	1006.583907	795.7075472
GSU	300	0.30	RED20%	SPT	RANFAM	767.1923185	1002.908554	795.2314815
GSU	300	0.30	RED20%	SPT	SPTFAM	845.1628793	996.8051605	794.1545894
GSU	300	0.30	RED20%	SPT	SPTFAM	798.7140418	972.6027884	793.364486
GSU	300	0.30	RED20%	SPT	SPTFAM	813.0923253	987.1614978	790.9389671
GSU	300	0.30	RED20%	SPT	SPTFAM	812.720373	989.4615495	798.3254717
GSU	300	0.30	RED20%	SPT	SPTFAM	777.9489925	988.7355221	796.7906977

;

proc anova;

classes methode feeder rho reduct interf intraf;

```

model wip = methode feeder rho reduct interf intraf methode*feeder
methode*rho methode*reduct methode*interf methode*intraf

```

```

          feeder*rho    feeder*reduct    feeder*interf    feeder*intraf
rho*reduct rho*interf rho*intraf reduct*interf reduct*intraf
          interf*intraf;

```

means methode/duncan alpha=0.05;

means feeder/duncan alpha=0.05;

means rho/duncan alpha=0.05;

means reduct/duncan alpha=0.05;

means interf/duncan alpha=0.05;

means intraf/duncan alpha=0.05;

run;

```

proc anova;
  classes methode feeder rho reduct interf intraf;
  model tpas = methode feeder rho reduct interf intraf methode*feeder
methode*rho methode*reduct methode*interf methode*intraf
          feeder*rho   feeder*reduct   feeder*interf   feeder*intraf
rho*reduct rho*interf rho*intraf reduct*interf reduct*intraf
          interf*intraf;
  means methode/duncan alpha=0.05;
  means feeder/duncan alpha=0.05;
  means rho/duncan alpha=0.05;
  means reduct/duncan alpha=0.05;
  means interf/duncan alpha=0.05;
  means intraf/duncan alpha=0.05;
run;

proc anova;
  classes methode feeder rho reduct interf intraf;
  model setup = methode feeder rho reduct interf intraf methode*feeder
methode*rho methode*reduct methode*interf methode*intraf
          feeder*rho   feeder*reduct   feeder*interf   feeder*intraf
rho*reduct rho*interf rho*intraf reduct*interf reduct*intraf
          interf*intraf;
  means methode/duncan alpha=0.05;
  means feeder/duncan alpha=0.05;
  means rho/duncan alpha=0.05;
  means reduct/duncan alpha=0.05;
  means interf/duncan alpha=0.05;
  means intraf/duncan alpha=0.05;
run;

```

Le traitement ANOVA

Voici la présentation des résultat de l'analyse DUNCAN obtenues par le logiciel SAS.

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
METHODE	2	GSU SDS
FEEDER	2	150 300
RHO	2	0.1 0.3
REDUCT	2	AUCUNE RED20%
INTERF	2	RANDOM SPT
INTRAF	2	RANFAM SPTFAM

Number of observations in data set = 320

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Dependent Variable: WIP

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Pr > F				
Model	21	1825585.6125	86932.6482	189.26
				0.0001
Error	298	136883.5009	459.3406	
Corrected Total	319	1962469.1134		
R-Square	C.V.	Root MSE	WIP Mean	
0.930249	3.047973	21.432233	703.16345	

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
METHODE	1	15966.5367	15966.5367	34.76	0.0001
FEEDER	1	447.5276	447.5276	0.97	0.3244
RHO	1	709.3429	709.3429	1.54	0.2150
REDUCT	1	303.0351	303.0351	0.66	0.4173
INTERF	1	1546783.2722	1546783.2722	3367.40	0.0001
INTRAF	1	71230.8551	71230.8551	155.07	0.0001
METHODE*FEEDER	1	13015.2208	13015.2208	28.33	0.0001

METHODE*RHO	1	16883.9765	16883.9765	36.76	0.0001
METHODE*REDUCT	1	129.8530	129.8530	0.28	0.5953
METHODE*INTERF	1	75546.1045	75546.1045	164.47	0.0001
METHODE*INTRAF	1	11532.2977	11532.2977	25.11	0.0001
FEEDER*RHO	1	443.8241	443.8241	0.97	0.3264
FEEDER*REDUCT	1	0.2584	0.2584	0.00	0.9811
FEEDER*INTERF	1	49215.0691	49215.0691	107.14	0.0001
FEEDER*INTRAF	1	6841.4876	6841.4876	14.89	0.0001
RHO*REDUCT	1	9.9061	9.9061	0.02	0.8833
RHO*INTERF	1	15192.2813	15192.2813	33.07	0.0001
RHO*INTRAF	1	1189.6251	1189.6251	2.59	0.1086
REDUCT*INTERF	1	141.8491	141.8491	0.31	0.5788
REDUCT*INTRAF	1	2.7086	2.7086	0.01	0.9388
INTERF*INTRAF	1	0.5810	0.5810	0.00	0.9717

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: WIP

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 459.3406

Number of Means 2

Critical Range 4.716

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	METHODE
A	710.227	160	GSU
B	696.100	160	SDS

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: WIP

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 459.3406

Number of Means 2

Critical Range 4.716

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	FEEDER
A	704.346	160	150
A			
A	701.981	160	300

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: WIP

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 459.3406

Number of Means 2

Critical Range 4.716

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	RHO
A	704.652	160	0.1
A			
A	701.675	160	0.3

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: WIP

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 459.3406

Number of Means 2

Critical Range 4.716

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	REDUCT
A	704.137	160	AUCUNE
A			
A	702.190	160	RED20%

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: WIP

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 459.3406

Number of Means 2

Critical Range 4.716

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	INTERF
A	772.688	160	SPT
B	633.639	160	RANDOM

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: WIP

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 459.3406

Number of Means 2

Critical Range 4.716

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	INTRAF
A	718.083	160	SPTFAM
B	688.244	160	RANFAM

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
METHODE	2	GSU SDS
FEEDER	2	150 300
RHO	2	0.1 0.3
REDUCT	2	AUCUNE RED20%
INTERF	2	RANDOM SPT
INTRAF	2	RANFAM SPTFAM

Number of observations in data set = 320

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Dependent Variable: TPAS

Source	DF	Squares	Sum of Square	Mean F Value	Pr > F
Model	21	5724563.7937	272598.2759	242.38	0.0001

Error	298	335155.5033	1124.6829		
-------	-----	-------------	-----------	--	--

Corrected Total	319	6059719.2970			
-----------------	-----	--------------	--	--	--

R-Square	C.V.	Root MSE	TPAS Mean
0.944691	2.832439	33.536292	1184.0076

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
METHODE	1	486983.3607	486983.3607	433.00	0.0001
FEEDER	1	192781.9779	192781.9779	171.41	0.0001
RHO	1	672491.9568	672491.9568	597.94	0.0001
REDUCT	1	80.1674	80.1674	0.07	0.7897
INTERF	1	1471582.2274	1471582.2274	1308.44	0.0001
INTRAF	1	81722.7475	81722.7475	72.66	0.0001
METHODE*FEEDER	1	188257.5456	188257.5456	167.39	0.0001
METHODE*RHO	1	340117.1842	340117.1842	302.41	0.0001
METHODE*REDUCT	1	2721.0210	2721.0210	2.42	0.1209

METHODE*INTERF	1	1932058.7455	1932058.7455	1717.87	0.0001
METHODE*INTRAF	1	8589.4489	8589.4489	7.64	0.0061
FEEDER*RHO	1	192.1998	192.1998	0.17	0.6796
FEEDER*REDUCT	1	17.2972	17.2972	0.02	0.9014
FEEDER*INTERF	1	310172.2675	310172.2675	275.79	0.0001
FEEDER*INTRAF	1	5644.6977	5644.6977	5.02	0.0258
RHO*REDUCT	1	888.8240	888.8240	0.79	0.3747
RHO*INTERF	1	27031.5571	27031.5571	24.03	0.0001
RHO*INTRAF	1	1071.0597	1071.0597	0.95	0.3299
REDUCT*INTERF	1	2138.9189	2138.9189	1.90	0.1689
REDUCT*INTRAF	1	5.2438	5.2438	0.00	0.9456
INTERF*INTRAF	1	15.3450	15.3450	0.01	0.9071

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: TPAS

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 1124.683

Number of Means 2

Critical Range 7.379

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	METHODE
A	1223.018	160	SDS
B	1144.997	160	GSU

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: TPAS

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 1124.683

Number of Means 2

Critical Range 7.379

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	FEEDER
A	1208.552	160	150
B	1159.463	160	300

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: TPAS

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 1124.683

Number of Means 2

Critical Range 7.379

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	RHO
A	1229.850	160	0.3
B	1138.165	160	0.1

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: TPAS

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 1124.683

Number of Means 2

Critical Range 7.379

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	REDUCT
A	1184.508	160	AUCUNE
A			
A	1183.507	160	RED20%

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: TPAS

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 1124.683

Number of Means 2

Critical Range 7.379

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	INTERF
A	1251.821	160	RANDOM
B	1116.194	160	SPT

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: TPAS

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 1124.683

Number of Means 2

Critical Range 7.379

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	INTRAF
-----------------	------	---	--------

A	1199.988	160	RANFAM
B	1168.027	160	SPTFAM

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
METHODE	2	GSU SDS
FEEDER	2	150 300
RHO	2	0.1 0.3
REDUCT	2	AUCUNE RED20%
INTERF	2	RANDOM SPT
INTRAF	2	RANFAM SPTFAM

Number of observations in data set = 320

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Dependent Variable: SETUP

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	21	6055265.8081	288345.9909	13771.94	0.0001
298	6239.2885	20.9372			
Corrected Total	319	6061505.0966			

R-Square	C.V.	Root MSE	SETUP Mean
	0.998971	0.528629	4.5757196
865.58309			

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
METHODE	1	2903607.5340	2903607.5340	99999.99	0.0001
FEEDER	1	679831.0254	679831.0254	32469.99	0.0001
RHO	1	1400950.5578	1400950.5578	66912.00	0.0001
REDUCT	1	4170.0163	4170.0163	199.17	0.0001
INTERF	1	0.0000	0.0000	0.00	0.9995
INTRAF	1	7948.2948	7948.2948	379.63	0.0001
METHODE*FEEDER	1	485586.7921	485586.7921	23192.53	0.0001
METHODE*RHO	1	548160.8684	548160.8684	26181.18	0.0001

METHODE*REDUCT	1	2662.8050	2662.8050	127.18	0.0001
METHODE*INTERF	1	0.0000	0.0000	0.00	0.9995
METHODE*INTRAF	1	2611.9455	2611.9455	124.75	0.0001
FEEDER*RHO	1	16434.8763	16434.8763	784.96	0.0001
FEEDER*REDUCT	1	114.3795	114.3795	5.46	0.0201
FEEDER*INTERF	1	0.0000	0.0000	0.00	0.9995
FEEDER*INTRAF	1	817.1507	817.1507	39.03	0.0001
RHO*REDUCT	1	1361.0148	1361.0148	65.00	0.0001
RHO*INTERF	1	0.0000	0.0000	0.00	0.9995
RHO*INTRAF	1	1007.5606	1007.5606	48.12	0.0001
REDUCT*INTERF	1	0.0000	0.0000	0.00	0.9995
REDUCT*INTRAF	1	0.9870	0.9870	0.05	0.8283
INTERF*INTRAF	1	0.0000	0.0000	0.00	0.9995

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: SETUP

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 20.93721

Number of Means 2

Critical Range 1.007

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	METHODE
A	960.8394	160	SDS
B	770.3267	160	GSU

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: SETUP

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 20.93721

Number of Means 2

Critical Range 1.007

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	FEEDER
A	911.6751	160	150
B	819.4911	160	300

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: SETUP

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 20.93721

Number of Means 2

Critical Range 1.007

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	RHO
A	931.7493	160	0.3
B	799.4169	160	0.1

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: SETUP

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 20.93721

Number of Means 2

Critical Range 1.007

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	REDUCT
A	869.1930	160	AUCUNE
B	861.9732	160	RED20%

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: SETUP

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not
the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 20.93721

Number of Means 2

Critical Range 1.007

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	INTERF
A	865.5832	160	SPT
A			
A	865.5829	160	RANDOM

Simulation Ligne SMT

Analysis of Variance Procedure

Duncan's Multiple Range Test for variable: SETUP

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate

Alpha= 0.05 df= 298 MSE= 20.93721

Number of Means 2

Critical Range 1.007

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	INTRAF
-----------------	------	---	--------

A	870.5669	160	SPTFAM
B	860.5993	160	RANFAM