

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI**

**MÉMOIRE**

**PRÉSENTÉ À**

**L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI**

**COMME EXIGENCE PARTIELLE**

**DE LA MAÎTRISE EN GESTION DES PMO**

**PAR**

**SERGE HOUDE**

**LES CELLULES SÉRIELLES D'ASSEMBLAGE: UNE ÉTUDE DE CAS**

**NOVEMBRE 1994**



### **Mise en garde/Advice**

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

## REMERCIEMENTS

Ce mémoire est, sans contredit, le résultat d'un travail d'équipe. Je tiens à remercier très sincèrement monsieur Marc Gravel, mon directeur de recherche, pour son implication, son professionnalisme et sa grande disponibilité. Je remercie également monsieur Wilson Price pour sa participation active et ce, depuis les tout débuts de cette recherche. Mes remerciements vont également à Caroline Gagné qui est venue s'ajouter à l'équipe pour l'étape du traitement des données et qui s'est impliquée bien au delà des limites fixées dans le cadre de son stage de perfectionnement.

De plus, j'aimerais remercier spécialement Francine Houde et Scarie Nivyintizo pour la réalisation du travail de mise en forme et de révision linguistique du présent document. Je ne pourrais passer sous silence le support constant de ma famille, en particulier mes parents pour leurs encouragements et pour les valeurs de respect qu'il ont su m'inculquer et qui m'ont guidé jusqu'ici. Finalement, je remercie mes collègues et amis avec qui j'ai pu partager des interrogations, des préoccupations et des satisfactions communes.

## RÉSUMÉ

Le présent document fait état des résultats d'une étude de cas effectuée dans une PME évoluant dans l'industrie du vêtement de plein-air. Nous avons, à l'aide d'un modèle de simulation, évalué la possibilité pour l'entreprise en question de passer d'un aménagement fonctionnel juste-à-temps à un aménagement cellulaire hybride juste-à-temps. Le terme «cellulaire» ou «cellule» signifie le regroupement, à l'intérieur d'un espace précis, de la fabrication de produits ou pièces détenant des caractéristiques similaires. L'expression «aménagement cellulaire hybride» désigne, dans le cas présent, un aménagement fonctionnel incluant une ou des «cellule(s)».

Sur la base des données recueillies dans l'entreprise, certaines «cellules» ont été constituées et évaluées par simulation. Il a été constaté que, dans les meilleurs cas, la performance de l'aménagement cellulaire hybride s'approche de celle de l'aménagement fonctionnel. Il ressort que les «bonnes» ou «mauvaises» performances de l'aménagement cellulaire hybride s'expliquent par la répartition de la charge des machines qui résulte de la constitution de la cellule évaluée.

## **TABLE DES MATIÈRES**

	<b>PAGE</b>
RÉSUMÉ	i
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vi
INTRODUCTION	1
 <b><u>CHAPITRE I : «LA RECHERCHE DE LA PRODUCTIVITÉ DANS L'INDUSTRIE MANUFACTURIÈRE»</u></b>	
 1.1 LES CONSÉQUENCES DE LA MONDIALISATION DES MARCHÉS SUR L'INDUSTRIE MANUFACTURIÈRE	 4
1.2 LES PRINCIPAUX DÉVELOPPEMENTS EN GESTION DE LA PRODUCTION	7
1.2.1 La Planification des Ressources nécessaires à la Production	7
1.2.2 La Gestion Totale de la Qualité (GTQ)	9
1.2.3 Le système Juste-A-Temps (JAT)	11
1.2.4 Les concepts d'aménagement d'usine	17
1.2.4.1 Aménagement linéaire	18
1.2.4.2 Aménagement fonctionnel	19
1.2.4.3 Aménagement cellulaire	20
1.3 OBJECTIFS DE LA RECHERCHE	45
1.4 LA MÉTHODOLOGIE	49

## **TABLE DES MATIÈRES**

### **CHAPITRE II : «LES CELLULES SÉRIELLES D'ASSEMBLAGE: PRÉSENTATION ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS D'UNE ÉTUDE DE CAS PAR SIMULATION»**

	<b>PAGE</b>
<b>2.1 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS</b>	<b>55</b>
2.1.1 Les familles naturelles de produits	55
2.1.2 Les séquences indépendantes de machines	61
2.1.3 La sélection des cellules sérielles	64
2.1.4 Les résultats des simulations	69
<b>2.2 ANALYSE DES RÉSULTATS</b>	<b>75</b>
2.2.1 Les résultats de la famille 4	75
2.2.2 Les résultats de la famille 6	79
2.2.3 Les résultats de la famille 7	82
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>84</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>86</b>
<b>ANNEXE 1</b> Tableaux de toutes les séquences de machines répertoriées	<b>91</b>
<b>ANNEXE 2</b> Tableaux de répartition des charges de machines pour les produits simulés	<b>98</b>
<b>ANNEXE 3</b> Diagrammes d'assemblage des produits simulés	<b>107</b>

## **LISTE DES FIGURES**

		<b>PAGE</b>
<b>FIGURE 1</b>	Présentation d'un aménagement fonctionnel versus un aménagement cellulaire hybride	48
<b>FIGURE 2</b>	Dessins de deux produits de la famille 7	56
<b>FIGURE 3</b>	Dessins de trois produits de la famille 6	56
<b>FIGURE 4</b>	Diagramme d'assemblage du produit Baltus	57
<b>FIGURE 5</b>	Diagramme d'assemblage du produit Céphée	57
<b>FIGURE 6</b>	Diagramme d'assemblage du produit Acapulco	58
<b>FIGURE 7</b>	Diagramme d'assemblage du produit Avalanche	59
<b>FIGURE 8</b>	Diagramme d'assemblage du produit Aventure	60
<b>FIGURE 9</b>	Diagramme d'assemblage du produit Glissa	61
<b>FIGURE 10</b>	Illustration d'un aménagement cellulaire hybride représentant le ressources de l'entreprise	68
<b>FIGURE 11</b>	Diagramme d'assemblage du produit Frisco	78
<b>FIGURE 12</b>	Diagramme d'assemblage du produit Foxbay	81
<b>FIGURE 13</b>	Diagramme d'assemblage du produit Jane	83

## **LISTE DES TABLEAUX**

	<b>PAGE</b>
<b>TABLEAU 1</b>	Niveaux des variables de simulation 36
<b>TABLEAU 2</b>	Les familles de produits 55
<b>TABLEAU 3</b>	Les séquences indépendantes du produit Glissa 62
<b>TABLEAU 4</b>	Le nombre de séquences indépendantes dans chaque famille de produit 63
<b>TABLEAU 5</b>	Les séquences les plus fréquentes pour l'ensemble des produits 64
<b>TABLEAU 6</b>	Les séquences les plus fréquentes dans chacune des familles de produits 65
<b>TABLEAU 7</b>	Les ressources de production 66
<b>TABLEAU 8</b>	Les cellules simulées pour les familles 4, 6 et 7 67
<b>TABLEAU 9</b>	Résultats de simulation de la famille 4 70
<b>TABLEAU 10</b>	Résultats de simulation de la famille 6 71
<b>TABLEAU 11</b>	Résultats de simulation de la famille 7 73
<b>TABLEAU 12</b>	Répartition de la charge de travail du produit Frisco 76
<b>TABLEAU 13</b>	Résultats de simulation du produit Frisco en supposant l'ajout de 4 machines de type 2 77
<b>TABLEAU 14</b>	Répartition de la charge de travail du produit Foxbay 80
<b>TABLEAU 15</b>	Répartition de la charge de travail du produit Jane 83



## INTRODUCTION

Une nouvelle catégorie de «consommateur» est née au cours des dernières décennies. Celui-ci détient un niveau d'éducation plus élevé qu'autrefois et est confronté, avec l'évolution des moyens de communication, à une multitude d'idées nouvelles. Sa famille ne compte plus qu'un ou deux enfants en moyenne et il a tendance à préférer vivre en ville plutôt qu'à la campagne. Comme les familles sont moins nombreuses, il est de plus en plus fréquent de voir les deux membres du couple occuper un emploi, contribuant ainsi à l'accroissement du revenu familial.

Tous ces différents facteurs font en sorte que ce «nouveau consommateur» exige des entreprises avec qui il transige que le produit ou le service qu'il se procure soit distinct, qu'il soit disponible rapidement et dans une large variété de choix, à un prix compétitif et qu'il réponde à des normes de qualité de plus en plus élevées. Pour combler ses attentes, les entreprises, et en particulier les entreprises du secteur manufacturier, doivent adapter leur système d'opérations de manière à créer une plus grande flexibilité de l'appareil de production.

Conséquemment, de nombreux développements ont émergé amenant les organisations à poser des actions concrètes pour faire face à la vive concurrence générée par la mondialisation des marchés et contribuent ainsi à la satisfaction des besoins d'une clientèle aux exigences de plus en plus grandes.

Ces actions se sont traduites par l'émergence de nouveaux systèmes de gestion de la production. Entre autres, plusieurs chercheurs et gestionnaires d'entreprises se sont attardés au problème de l'aménagement physique de l'usine pour obtenir une plus grande

flexibilité de façon à répondre rapidement à la demande du marché. Dans cette perspective, l'aménagement cellulaire est un type d'aménagement qui suscite un intérêt grandissant et dont l'idée principal est de tirer profit des ressemblances entre les opérations et les produits eux-mêmes en regroupant la fabrication de ces derniers à l'intérieur d'une «cellule de production».

Ce mémoire est une étude de cas dont l'objectif général est de vérifier, à l'aide de données recueillies dans une entreprise manufacturière de l'industrie du vêtement de plein-air, la faisabilité pour celle-ci de faire le passage d'un aménagement fonctionnel juste-à-temps à un aménagement cellulaire juste-à-temps. L'évaluation de la faisabilité se fera à l'aide d'un modèle de simulation.

# **CHAPITRE I**

## **LA RECHERCHE DE LA PRODUCTIVITÉ DANS L'INDUSTRIE MANUFACTURIÈRE**

### **1.1 Les conséquences de la mondialisation des marchés sur l'industrie manufacturière**

La mondialisation des marchés amène les entreprises à entreprendre des actions visant à contrer la concurrence de plus en plus féroce et ce, dans tous les secteurs d'activités. Une étude réalisée pour le compte du Ministère du travail [Mashino (1991, p.13)] fait ressortir cinq principaux facteurs dont résulte le processus de mondialisation et qui sont:

1. Le renforcement des capacités de production manufacturière des pays d'Europe, puis d'Asie, et d'Amérique latine;
2. L'essor du potentiel d'innovation et de développement technologique de plusieurs nations industrialisées à partir des années 1960;
3. Le ralentissement de la croissance de la demande mondiale, à partir de la seconde moitié des années 1970;
4. L'impulsion donnée à la recherche de débouchés sur les marchés extérieurs par les réductions successives des barrières commerciales;
5. Les progrès de l'électronique appliqués à la production de biens et de services et aux télécommunications qui permirent aux entreprises de décentraliser leurs opérations.

En ce sens, les entreprises québécoises, en plus d'avoir à faire face à une demande qui change fréquemment, doivent désormais composer avec des entreprises de pays étrangers dont les techniques de production et les méthodes de gestion évoluent rapidement. Pour les entreprises du secteur industriel particulièrement, ces différents changements ont amené des préoccupations économiques qui se traduisent par un plus grand souci de l'accroissement de la productivité et l'amélioration de la qualité de la production. En d'autres termes, cette évolution des marchés crée un contexte qui amène les entreprises à

poser des actions susceptibles d'accroître le rendement productif de leurs ressources humaines et matérielles.

L'étude du Ministère du travail déjà citée fait état de l'impact de la mondialisation sur les entreprises en faisant apparaître trois catégories de facteurs significatifs. Tout d'abord, l'intensification de la concurrence exige des efforts de différenciation des produits en ce sens que les entreprises doivent spécialiser leurs produits en fonction de groupes cibles de plus en plus précis. On parle donc de plus petites séries de production dont les caractéristiques s'adressent uniquement à un segment de marché limité. Comme le volume de production pour chaque produit est restreint, l'exportation s'avère alors le moyen idéal pour augmenter la part de marché d'un produit.

Une deuxième catégorie met en cause le raccourcissement du cycle de vie du produit qui vient accélérer son cycle de renouvellement. Le raccourcissement est dû en partie à l'évolution dans la demande qui se traduit par la production de produits incitant les entreprises à innover régulièrement pour demeurer compétitives.

La troisième catégorie fait ressortir l'instabilité grandissante de la demande des entreprises. En effet, la mondialisation rend plus instable la demande des entreprises par les changements apportés avec l'entrée de produits fabriqués par des firmes provenant de pays étrangers. «Bref, ces différents types d'impact de la mondialisation sur les entreprises pressent ces dernières à débiter un processus ayant comme objectif leur adaptation à la mondialisation.» Mashino (1991, p.32-33)

Ainsi, il ressort de cette étude que l'adaptation des entreprises à la mondialisation passe par les trois facteurs suivants: l'accroissement régulier de la productivité,

l'amélioration constante de la qualité et la recherche de la flexibilité productive. Soulignons tout d'abord que l'amélioration de la qualité et la recherche de flexibilité constituent des moyens d'améliorer la compétitivité d'une entreprise tout en augmentant la productivité.

Concernant l'accroissement de la productivité, l'économiste A. Blinder [cité par Mashino (1991, p.35)], professeur à l'université Princeton, a écrit ceci:

Il semble maintenant raisonnable de dire que l'institutionnalisation de diverses formes de participation des travailleurs peut accroître la productivité (...) Les témoignages partiels qui existent tendent à montrer que cette voie ne réside pas tant dans la représentation des travailleurs au conseil d'administration que vers une consultation effective au niveau de l'atelier qui dépasse la boîte à idées et engage les travailleurs de façon importante.

**L'amélioration de la productivité** passe également par des moyens plus techniques, tels la robotique, l'informatisation, une meilleure utilisation des équipements etc... Ces changements techniques doivent cependant être instaurés en tenant compte de leurs impacts sur le travailleur.

Un autre moyen efficace pour une entreprise de s'adapter à la mondialisation consiste à investir constamment dans **l'amélioration de la qualité des produits et des services** qu'elle offre. Il s'agit alors de produire un bien ou un service capable de donner à la clientèle le degré de satisfaction auquel elle s'attend. En effet, la mondialisation, par son effet d'intensification de la concurrence, agit très fortement sur les entreprises en élevant sans cesse la barre des critères de qualité exigés sur le marché.

Finalement, **la recherche de la flexibilité** est une autre façon intelligente de s'adapter à la mondialisation. Les principales raisons de la recherche de flexibilité sont, entre autres,

les fluctuations de la demande, le raccourcissement du cycle de vie du produit et la production de courtes séries qui résultent des deux premières. Donc, « ...la flexibilité productive est ainsi devenue un impératif pour faire face à une demande changeante, tant au niveau quantitatif que qualitatif, et à des techniques de production fréquemment modifiées par des innovations.» [tiré de Mashino (1991, p.36)]

En ce sens, de nombreux développements ont été entrepris afin de créer de nouveaux systèmes qui permettraient une meilleure gestion de la production avec comme objectif final de diminuer les coûts de production tout en améliorant la productivité. Chacun de ces systèmes vient d'ailleurs englober un, deux ou les trois facteurs d'adaptation à la mondialisation. Dans les pages suivantes, nous présenterons différents systèmes qui nous semblent être les plus utilisés dans l'industrie manufacturière et/ou les plus prometteurs en terme d'amélioration de la productivité.

## **1.2 Les principaux développements en gestion de la production**

Les principaux développements en gestion de la production sont, entre autres: (i) le système de Planification des Ressources nécessaires à la Production (PRP ou MRP II pour Manufacturing Resource Planning), (ii) la gestion totale de la qualité, (iii) le système de production juste-à-temps (iv) et les nouveaux concepts d'aménagement d'usine. Examinons en détail chacun de ces développements.

### **1.2.1 La Planification des Ressources nécessaires à la Production (PRP)**

Les systèmes intégrés de gestion manufacturière, tel PRP ou MRP II, ont une approche globale des opérations par le fait que la planification est réalisée en fonction de

l'ensemble des ressources de l'entreprise, qu'elles soient liées directement ou indirectement à la fabrication des produits (Garwood, 1984). Nollet, Kélada et Diorio (1986) décrivent la PRP comme étant «un processus qui permet l'intégration des ressources liées directement ou indirectement à la fabrication des produits.» On parle donc d'intégrer les activités reliées aux différentes fonctions de l'entreprise soit: marketing, ventes, finance, comptabilité, ingénierie et production.

Un tel système permet de gérer les commandes des clients, de l'entrée jusqu'à la livraison. En effet, dès que les commandes des clients sont entrées, elles viennent s'incorporer au plan directeur de production (PDP). Celui-ci est principalement basé sur des commandes fermes et spécifie le nombre d'unités réelles de chaque produit à fabriquer pour chaque période de temps. Il spécifie également les quantités requises des différents produits finis, de même que les dates auxquelles ces quantités doivent être disponibles. De là, la planification des besoins matières se fait en tenant compte des stocks existants. L'écart entre les besoins et les stocks est calculé et le responsable des approvisionnements est averti par le système lorsqu'une commande d'achat est requise. Aussi, les départements de l'ingénierie, de la comptabilité, des finances de même que la production sur le plancher sont également intégrés dans ce système.

Cerveny et Lawrence (1989), dans une étude faite aux Etats-Unis à la fin des années 80 auprès de 433 entreprises manufacturières et portant sur l'implantation de système PRP, ont obtenu les informations suivantes: les utilisateurs de systèmes PRP ont réduit leurs délais de livraison en moyenne de 4 semaines passant de 17.5 semaines à 13.5 semaines; le roulement de l'inventaire est passé, en moyenne, d'un ratio de 4.6 à 5.5 par année sur une période de 5 ans; de même, la perception des dirigeants d'entreprises concernant le succès



de leur système PRP est très positive. En effet, dans 58 % des cas, le système a dépassé les attentes des utilisateurs; dans 67 % des cas, le système est considéré comme un succès; dans 80 % des cas, le système a permis des bénéfices excédant les coûts; dans 82 % des cas, le système a permis d'augmenter les profits. Également, le nombre de modules PRP installés au fil des années ne cesse d'augmenter, passant de 35 pour la période 1965-1970 à 998 modules pour la période 1981-1986.

De même, dans une étude effectuée auprès de 142 entreprises manufacturières de la Nouvelle-Angleterre et portant sur les différentes approches de gestion manufacturière, White et Wharton (1990) ont fait ressortir les résultats suivants: sur une échelle de 1 à 7, 1 signifiant l'inutilité d'un système et 7 signifiant son extrême utilité, le système de gestion manufacturière PRP ou MRP II a obtenu une note moyenne de 4.39 avec un écart-type de 2.08, le classant dans la catégorie des systèmes jugés comme performants par les dirigeants, avec certaines restrictions cependant. De même, les entreprises qui utilisent PRP ou MRP II ont un degré de perception de l'utilité du système plus élevé (6.20) que ce qu'ils s'attendaient lorsqu'ils travaillaient pour se diriger vers l'utilisation de ce système (5.73).

Les résultats de ces études démontrent un intérêt sans cesse grandissant des dirigeants d'entreprises pour le système PRP de même qu'un degré de satisfaction qui répond bien et dépasse même parfois les attentes du départ.

### **1.2.2 La Gestion Totale de la Qualité (GTQ)**

Nous avons vu précédemment que l'adaptation des entreprises à la mondialisation passe par, notamment, l'amélioration constante de la qualité des produits. Or, la gestion

totale ou intégrale de la qualité est un moyen efficace et de plus en plus répandu pour assurer la production de produits conformes aux normes exigées par le marché. Selon Kélada (1986, p.2), la gestion totale ou intégrale de la qualité est :

Une nouvelle approche qui consiste à étendre le concept de la qualité du produit aux performances de l'entreprise en passant par tout son fonctionnement et en incluant certains éléments de son environnement tels fournisseurs et distributeurs.

La GTQ est une philosophie qui doit prendre ses racines au niveau de la haute direction pour s'étendre par la suite à tous les niveaux de l'organisation. Ce concept ne peut se limiter au simple contrôle des produits. La GTQ doit plutôt se percevoir comme un moyen de satisfaire les besoins spécifiques de chaque intervenant, interne ou externe, de l'entreprise. On parle alors des clients, des fournisseurs, des patrons et des employés de tous les niveaux. Soulignons que le terme client signifie, dans ce contexte, aussi bien le consommateur qui paie pour le produit ou le service que le collègue, le supérieur ou l'employé avec qui on transige.

Les avantages d'appliquer cette philosophie se font vite ressentir. Par exemple, la Société Marconi avait évalué ses coûts de défaillance à 9.25 % des coûts de fabrication. La seule modification du contrôle des matières premières à la réception, passant d'un contrôle par échantillonnage à un contrôle unitaire, a permis de diminuer ces mêmes coûts de défaillance de 35 %. (Nollet et al., 1986, pp. 637- 641)

D'ailleurs, dans l'étude déjà citée, White et Wharton (1990) font également ressortir des données intéressantes concernant la perception des dirigeants d'entreprises face à l'utilité des systèmes de gestion totale de qualité. En effet, l'étude démontre que la gestion totale de la qualité, (sous appellation de "Total quality assurance" pour les fins de l'étude)

obtient une note moyenne de 5.57 avec un écart-type de 1.41, ce qui place ce système en deuxième place dans la catégorie des systèmes "superstars". Concernant la perception de l'utilité du système de gestion totale de la qualité des firmes qui travaillent en vue d'implanter un tel système et de celles qui fonctionnent déjà avec la GTQ, les résultats sont à peu près les mêmes, soit 6.03 pour les premiers et 6.00 pour les seconds.

### **1.2.3 Le système Juste-A-Temps (JAT)**

Le principe du juste-à-temps ou zéro-stock, tel que décrit par Nollet et al. (1989) repose sur le fait que les stocks de matières premières, de produits en-cours et de produits finis entraînent des coûts, affectent la qualité et augmentent les délais de fabrication. En effet, le stockage entraîne des coûts au niveau de l'espace d'entreposage, de l'immobilisation de capitaux, de la manutention, des assurances, etc.

Les japonais, considérant ceci comme un flagrant gaspillage, ont donc imaginé la situation suivante qui correspond à un idéal soit: recevoir à temps les matières premières, faire entrer ces matières juste-à-temps dans le système de transformation de manière à être prêt à livrer les produits finis à temps, c'est-à-dire ni trop tard ni trop tôt.

Cependant, si on se réfère à la méthode du lot économique<sup>1</sup>, plus les coûts de commande ou de mise en route sont élevés, plus la taille du lot économique à acheter ou à fabriquer est élevé, d'où un haut niveau de stocks. Une façon d'améliorer cette situation consiste à réduire les temps de mise en route de manière à ce que, à l'extrême, la taille du lot économique soit de une unité. C'est ce que les japonais ont fait. Schonberger (1982)

---

<sup>1</sup>Selon Nollet, Kélada et Diorio, la méthode du lot économique est «une façon rapide de calculer la quantité la plus économique à commander pour minimiser le coût total de commande (et de mise en route) et du stockage».

démontre les résultats de l'application de ce principe en citant le cas de Toyota. En effet, pour une presse qui requérait une heure de préparation, on se retrouve cinq ans plus tard avec un temps de mise en route de douze minutes en voie d'être amené à dix minutes. Il est intéressant de noter que le temps de mise en route pour une même presse est de six heures aux Etats-Unis.

Donc, en réduisant ses temps de mise en route, Toyota a diminué la taille des lots à fabriquer pour ses produits finis tout en augmentant sa flexibilité. Toyota obtient une meilleure flexibilité de son système de production parce que des temps de mise en route réduits permettent de faire face rapidement à des changements éventuels dans la demande. Plus précisément, cette flexibilité permet de passer de la fabrication d'un produit à un autre avec des coûts de production relativement bas.

Un autre point important pour la réussite du juste-à-temps est d'obtenir la coopération des fournisseurs. «Cette coopération consiste en l'accord des fournisseurs pour répartir leurs livraisons de telle façon qu'elles concordent avec les besoins de production.» [Nollet et al. (1986, p. 702)]

De même, le juste-à-temps permet de meilleurs délais de livraison puisqu'il assure que les produits finis seront disponibles au moment voulu par le client. Pour ce qui est de l'amélioration de la qualité, faisons le cheminement suivant: si un opérateur a besoin d'une pièce qui se trouve en stock et que cette pièce est défectueuse, il n'a qu'à prendre une autre dans le lot et le tour est joué. Par contre, avec le juste-à-temps, l'opérateur qui reçoit une pièce défectueuse au moment même où il en a besoin n'a pas la possibilité de disposer d'une autre pièce en stock. Par conséquent, le système se trouve paralysé, d'où la nécessité de fabriquer des pièces de qualité.

Une publication parue en 1991 s'inscrivant dans la collection BTE (1991, p.4.1.5-4.5) reprend essentiellement le même discours que Nollet et al. (1986) en situant cependant les enjeux du juste-à-temps à différents niveaux. Tout d'abord, au niveau commercial, l'entreprise est plus en mesure de répondre aux attentes du client. Au niveau social, ce système amène, par le découplage des tâches, une polyvalence qui a des effets positifs sur la motivation interne. Du point de vue économique, cela procure un savoir-faire qui permet de fabriquer au moindre coût et de vendre au meilleur prix. Finalement, au niveau de l'organisation, la flexibilité d'un tel système permet d'adapter le flux des opérations et le processus de production lui-même en fonction du client, donc de s'ajuster aux changements dans la demande.

Tout compte fait, le système de production juste-à-temps (JAT) a comme objectif de ne produire que les items nécessaires au moment où ils sont requis en ne créant aucun stock de matières premières, de produits en cours ou de produits finis. White et Wharton (1990) ont évalué le degré d'utilité du JAT et ont fait ressortir ce qui suit: le JAT obtient une note moyenne de 4.53 avec un écart-type de 1.8, ce qui le classe dans la catégorie des systèmes jugés performants par les dirigeants, avec certaines restrictions cependant. Pour ce qui est du degré de perception de l'utilité du JAT, les entreprises qui travaillent présentement à la mise en oeuvre de ce système lui ont accordé une note moyenne de 5.61 alors que ceux qui fonctionnent déjà avec le JAT lui ont attribué une note moyenne de 5.31. Quoique l'on remarque une légère baisse entre les attentes et les résultats obtenus, cette moyenne représente tout de même un potentiel intéressant quant à l'utilisation du système JAT.

Dans une autre étude faite aux Etats-Unis auprès de 68 entreprises et portant cette fois-ci sur l'implantation de systèmes JAT, Thomas J.Billesbach (1991) a relevé les faits suivants: 76.8 % des répondants considèrent que le JAT vient s'imbriquer dans la stratégie de l'entreprise; 47 % ont implanté JAT pour répondre à la demande des clients; 49 % l'ont fait parce que la compétition est présentement engagée dans le processus du JAT. Un autre point intéressant de cette étude fait ressortir que 83 % des répondants considèrent que le changement de l'aménagement actuel en un aménagement cellulaire est essentiel au succès du JAT. Selon les répondants, la fabrication cellulaire résulte en une économie d'espace, une réduction des temps de transfert, une réduction des en-cours et une amélioration de la qualité en ce sens que les défauts sont détectés plus tôt dans le processus de fabrication. De même, 73 % des répondants mentionnent le regroupement des composants et des produits en familles comme un facteur de succès important au JAT.

Golhar, Stamm et Smith (1990) ont également réalisé une étude concernant l'implantation du JAT dans les petites firmes manufacturières aux Etats-Unis. L'enquête fut effectuée auprès de 20 petites entreprises manufacturières (moins de 500 employés) et les résultats sont les suivants: dans 55 % des cas, la qualité des produits finis s'est améliorée et en aucun cas la qualité ne fut diminuée; concernant le niveau d'inventaire, les répondants ont indiqué une réduction de 80 % des matières premières, 58 % des en-cours et 56 % des produits finis. En revanche, seulement 25 % ont indiqué une réduction des temps d'ajustement pendant que 50 % n'ont remarqué aucun changement à ce niveau. Cet état de fait vient un peu à l'encontre de la philosophie du système JAT lui-même. Néanmoins, les auteurs considèrent que cela peut s'expliquer par le fait que souvent les petites entreprises n'ont pas les ressources nécessaires pour procéder à la réduction des temps d'ajustement.

Quelques données de la même étude concernant l'implication des employés nous révèlent les faits suivants: 95 % des entreprises indiquent une augmentation du nombre de travailleurs multi-fonctionnels; 75 % ont remarqué que les employés sont plus enclins à accepter de nouvelles responsabilités dans leur travail et 60 % ont noté une augmentation dans le nombre de cercles de qualité. En rapport aux relations avec les fournisseurs, les résultats sont contradictoires. En effet, alors que 40 % des entreprises remarquent une augmentation dans la durée de leurs contrats avec les fournisseurs et que 75 % ont également constaté que la fréquence des livraisons a augmenté, seulement 40 % des répondants ont indiqué une augmentation de la qualité des matières premières. Ceci indique que les petites firmes manufacturières ont tendance à échouer concernant les objectifs d'étroite relation avec les fournisseurs qui sont sous-jacents à un environnement JAT. L'implantation du JAT résulte également en un meilleur service à la clientèle en termes d'amélioration de la qualité des produits finis (55 %) , de la fréquence des livraisons (45 %) et du respect des dates de livraison.

Les difficultés rencontrées lors de l'implantation du JAT incluent la faible qualité des matières premières, les délais de livraison des fournisseurs non respectés, le coût des changements au niveau de l'aménagement, les coûts de formation des employés etc. En conclusion, 75 % de ces entreprises considèrent l'implantation du JAT comme un succès, 20 % considèrent le succès comme modéré et 5 % n'ont constaté aucun succès. De même, 90 % des répondants referaient la même chose, alors que 10 % ont émis des réserves.

L'approche zéro-stock présentée ci-haut est rendue possible en cours de production par, entre autres, la méthode Kanban. Cette méthode est un système d'information qui

constitue un moyen concret d'appliquer une production juste-à-temps (Nollet et al. 1986, p.705).

Gravel (1987), dans sa thèse de doctorat définit le Kanban comme suit:

Un système spécifique d'étiquetage permettant d'établir un contrôle beaucoup plus serré des matières premières, pièces et de produits semi-finis. Chaque étape du processus de fabrication doit livrer sa production à l'étape suivante à un moment précis qui, d'une part, ne retardera pas la production, et d'autre part, ne causera pas un stockage inutile de produits semi-finis.

Hall (1990, p.22) avance la définition suivante (traduction libre de l'auteur):

Kanban a été développée par Toyota afin de procurer une méthode hautement visuelle pour mieux observer le cheminement de même que le niveau d'inventaire des pièces à travers le processus de fabrication. Le but étant de stimuler les gestionnaires et les travailleurs à découvrir de nouvelles façons d'améliorer la productivité. Ce n'est que d'un point de vue secondaire que Toyota considérait Kanban comme un système de contrôle de la production et des stocks.

La méthode Kanban a donc été développée à l'origine par Toyota dans un environnement de production en séries et est utilisée non seulement par l'entreprise mais aussi par tous ses principaux fournisseurs. Les objectifs de production juste-à-temps et de diminution des stocks mentionnés dans la définition de Gravel (1987) sont atteints par l'utilisation de cartes de contrôle. On peut utiliser soit une, soit deux cartes de contrôle; l'utilité de celles-ci étant de fournir une information complète sur ce qui doit être produit (carte de production) ou transféré d'un poste de travail à un autre (carte de transfert). En fait, on ne fabrique une pièce quelconque qu'au moment où une carte de production avise d'un besoin pour cette pièce.



Dans un système à deux cartes, la méthode fonctionne comme ceci: la carte de transfert indique à quoi servent les **pièces A** contenus dans un panier (par exemple fabriquer la **composante B**) et à quel département (exemple le **département 2**) ces pièces A doivent être acheminées. Au moment du transfert de ces pièces vers le **département 2**, la carte de production accompagnant le panier est retirée et retournée au département (supposons le **département 1**) qui a fabriqué les **pièces A**. Suite à cela, le **département 1** se charge de fabriquer le nombre de **pièces A** requis pour la production et ainsi de suite. Le nombre de **pièces A** à fabriquer est prédéterminé, l'information se trouvant sur la carte de production.

Gravel (1987, p.175-176), dans sa thèse de doctorat, a d'ailleurs démontré la faisabilité et les avantages de l'utilisation d'une telle méthode dans un contexte de fabrication en atelier. **La faisabilité** a d'abord été démontrée à l'aide d'un modèle de simulation et **les avantages** confirmés dans une étude de cas impliquant une entreprise de l'industrie du vêtement de plein air. Plus spécifiquement, l'étude démontre qu'en plus de réduire et stabiliser les stocks de produits en-cours, on arrive, dans la plupart des cas, à diminuer le temps total de fabrication d'une commande et à améliorer le pourcentage d'utilisation des équipements. **Concrètement, cela se chiffre par une diminution moyenne de 20 % du temps total de fabrication d'une commande, une réduction moyenne de 60 % du nombre de produits en-cours et une augmentation moyenne d'environ 25 % de l'utilisation des équipements.**

#### 1.2.4 Les concepts d'aménagement d'usine

Selon Tompkins (1985, p.10.2.1), l'aménagement d'usine constitue aussi un moyen d'améliorer les performances d'un système de production et consiste à déterminer

l'arrangement physique le plus efficace permettant l'utilisation la plus efficiente possible des différentes ressources pour produire un bien ou livrer un service. En effet, selon le Bureau International du Travail (1989, p.418), le premier critère d'un bon aménagement est l'exploitation des ressources disponibles de manière à produire un maximum d'extrants avec un minimum d'intrants.

Les principales formes d'aménagement sont l'aménagement linéaire, fonctionnel et cellulaire. Chaque type d'aménagement correspond généralement aux méthodes de fabrication utilisées, au volume de production, à la variété de la gamme de produits etc.

#### 1.2.4.1 Aménagement linéaire

Commençons par décrire le concept de l'aménagement linéaire. Selon Nollet et al. (1986), ce type d'aménagement est utilisé dans un environnement de **production en séries** où la gamme de produits est plutôt restreinte et les quantités fabriquées importantes.

Le produit fabriqué dans un tel aménagement doit idéalement suivre un **cheminement continu**, c'est-à-dire être fabriqué entièrement sans ne jamais avoir à repasser par une étape déjà réalisée. La répétitivité des tâches fait que ce type d'aménagement est fortement automatisé et de plus en plus robotisé. La manutention est limitée à son minimum et les activités de planification et d'ordonnancement<sup>2</sup> sont peu fréquentes étant donné que la séquence des opérations est établie une fois pour toute. En fait, on se préoccupe de la planification et de l'ordonnancement sporadiquement en fonction des changements de produits, de la fluctuation dans la demande ou lors d'une commande spéciale (Gaiter et al.,

---

<sup>2</sup> L'ordonnancement consiste à s'assurer que les commandes seront produites à temps en veillant à ce que cela soit fait avec une utilisation optimale des ressources de l'entreprise (Nollet, Kélada et Diorio, p. 538.)

1983, p.164). De même, si la ligne est bien balancée, le volume des en-cours est généralement très bas. Cependant, tous ces avantages existent tant que le système de production fonctionne tel que prévu.

Le Bureau International du Travail (1989) s'attarde davantage à l'aspect ressources humaines de l'aménagement linéaire. Effectivement, le BIT insiste sur le fait que ce genre d'aménagement limite le rôle de chaque travailleur à l'intérieur de l'usine et ne permet aucun véritable travail par groupe. Il situe donc le principal désavantage de cet aménagement au niveau de la manière dont est ressenti le travail par les exécutants. Nollet et al. (1986) soulèvent eux aussi cet inconvénient en le situant par rapport à la motivation des travailleurs et la qualité de leur travail qui s'y trouve affectée.

#### **1.2.4.2 Aménagement fonctionnel**

L'aménagement linéaire, par son peu de flexibilité, ne convient pas nécessairement lorsqu'une entreprise fabrique un grand nombre de produits différents en petites quantités. En effet, dans ce contexte de fabrication, l'aménagement fonctionnel est généralement adopté et **se base sur les procédés et les fonctions** (Nollet et al., 1986, p.248). Par exemple, plusieurs usines de meubles utilisent ce type d'aménagement. On retrouve alors dans une partie de l'usine le débitage, dans une autre l'usinage des pièces, ailleurs le sablage, l'assemblage, la finition etc.

Les auteurs consultés [Nollet, Kélada, Diorio (1986) et Gaither, Carrier, Montreuil (1983)] s'entendent pour dire que l'aménagement fonctionnel est généralement adopté lorsqu'une entreprise doit **fabriquer un grand nombre de produits avec le même appareillage** et que chaque produit représente un faible volume de production.

Ce type d'aménagement étant basé sur les procédés de fabrication, on regroupe donc ensemble tous les équipements et installations servant à une même fonction. Ce type d'aménagement permet l'acquisition d'équipements à usage multiple étant donné la variété des opérations à effectuer. Les employés sont regroupés par spécialité ce qui fait que la non-répétitivité des tâches et la production sans contrainte de cadence (contrairement à l'aménagement linéaire) constituent des sources de motivation et des facteurs d'accroissement de la productivité. Les activités de planification, d'ordonnancement et de contrôle doivent se faire de façon continue de manière à assurer une quantité de travail optimale pour chaque département et chaque poste de travail. Elles sont relativement complexes puisque chaque département et chaque poste de travail peut représenter aussi bien un point d'entrée, de transit ou de sortie dans le système.

En outre, ce type d'aménagement a bien souvent le désavantage d'augmenter les stocks de produits en-cours afin de garantir l'utilisation optimale de l'équipement. Également, malgré les efforts poursuivis en ce sens, le fait que les équipements ne soient pas dédiés à une tâche précise vient ralentir les possibilités d'utilisation optimale de ceux-ci. De plus, dans ce type d'aménagement, le cheminement des produits est souvent irrégulier, augmentant les opérations de manutention et de circulation du matériel entre les diverses fonctions.

#### **1.2.4.3 Aménagement cellulaire**

Les deux types d'aménagement décrits précédemment viennent s'inscrire dans un courant que l'on pourrait qualifier de classique. Certains changements, suscités par le souci de la part des entreprises d'amener et maintenir leurs coûts de production à leur plus bas

niveau, ont engendré de nouveaux systèmes plus performants parmi lesquels on retrouve la fabrication cellulaire.

Dans une publication traitant de la technologie de groupe, Burbidge (1975, p.2-4) réfère à la fabrication cellulaire en utilisant plutôt le terme aménagement de groupe. Il parle alors de contremaîtres et d'employés spécialisés dans la production d'un certain nombre de pièces et travaillant ensemble dans l'accomplissement d'une tâche commune. L'économie la plus importante en aménagement cellulaire se situe donc, selon Burbidge (1975), au niveau de la simplification de la circulation du matériel. Pour ce dernier, la fabrication cellulaire ou de groupe est en fait une clé qui ouvre la voie vers des économies qui auraient été très difficiles à obtenir avec un aménagement fonctionnel. Bien qu'il admette que ce type d'aménagement en soi permet des économies, il considère que l'on doit aller plus loin, notamment au niveau de la planification de la production, pour tirer des bénéfices importants suite au changement d'aménagement.

Selon Nollet et al. (1986), la fabrication cellulaire est un concept de production regroupant les machines, les outils, le personnel et le matériel en cellule. Chaque cellule produit une famille de pièces; ces pièces ayant les mêmes traits caractéristiques, les mêmes temps d'ajustement et environ le même cheminement des opérations.

Suite à une revue de littérature concernant la fabrication cellulaire, Huang et Houck (1985) amènent la définition suivante (traduction libre de l'auteur): «La fabrication cellulaire est un processus manufacturier produisant des familles de pièces à l'intérieur d'une ligne unique de production ou d'une cellule de machines opérées par des employés qui ne travaillent que sur cette ligne ou qu'à l'intérieur de cette cellule.»

**Le principe de base de cet aménagement est d'utiliser les ressemblances entre les opérations et les produits eux-mêmes pour créer une cellule de production où la fabrication de ces produits sera centralisée.** Ceci permet l'exécution rationnelle des opérations similaires par la standardisation des opérations ayant des relations entre elles. Pour ce faire, on doit être en mesure d'établir tous les aspects communs aux différents produits fabriqués par l'entreprise.

Par conséquent, en sachant qu'une pièce est déjà utilisée dans la fabrication d'un produit quelconque, les responsables du développement des produits pourront utiliser cette pièce plutôt qu'en développer une nouvelle. De même, le responsable des méthodes de travail développera une méthode unique pour toutes les pièces similaires au lieu d'instaurer une méthode pour chaque pièce. Le responsable des achats peut également utiliser cette information pour standardiser ses achats de pièces et de matières. L'aménagement cellulaire est donc intéressant par son potentiel d'amélioration de la productivité de la production, de l'ingénierie, des approvisionnements et de la planification des ressources.

Chez E G & G Sealol [tiré de Nollet et al. (1986, p.250)], par exemple, après avoir produit 900 pièces (30 % de la production standard) dans des cellules de fabrication, on observait une réduction de 20 à 30 % du volume des produits en cours et une réduction de l'espace requis de 15 %. Dans un cas spécifique, l'entreprise produisait 324 pièces dans une seule cellule de fabrication avec 7 machines au lieu de 22 machines par le passé.

Selon le Bureau International du Travail (1989), la mission d'un groupe de machines, ou d'une cellule, est de fabriquer un assortiment de composants finis. La cellule compte généralement plus de machines ou de postes de travail que de travailleurs et chacun doit,

de préférence, maîtriser plusieurs types de tâches. C'est à eux que revient la tâche de se diviser le travail et de veiller à ce que la circulation des matières se fasse de manière optimale à l'intérieur de la cellule. Il s'en suit donc un esprit d'équipe fort, voir même primordial au bon fonctionnement de la cellule. Quoique ce type d'aménagement soit plus exigeant pour ses membres que l'aménagement fonctionnel, ce système rend tout de même les tâches plus attrayantes pour les raisons suivantes:

1. Les membres du groupe peuvent se faire une idée plus précise de leur apport au processus de production global;
2. ils trouvent également plus de diversité dans leur travail du fait qu'ils puissent passer d'une tâche à l'autre, le facteur monotonie est moins présent dans ce type d'aménagement;
3. ils ont la possibilité d'être formés à de nouvelles tâches;
4. les contacts avec leurs camarades de travail sont plus fréquents.

Un groupe de recherche en gestion de la logistique composé de Montreuil, Drolet et Lefrançois (1992), amène également la notion d'autonomie du groupe de travailleurs appartenant à la cellule. La planification de la production établit le travail de chaque cellule et par la suite, chacune d'entre elles est personnellement responsable des décisions et opérations internes visant à réaliser les objectifs de la cellule. Les employés assument alors un niveau de responsabilité plus grand que dans les autres types d'aménagement.

Dans un texte portant sur l'aspect humain relié à l'implantation de la fabrication cellulaire, Huq (1992) fait ressortir quatre aspects majeurs à prendre en considération lors du passage d'un environnement traditionnel à un système en fabrication cellulaire. En premier lieu, il y a **l'aspect sélection et entraînement des travailleurs**. Concernant ce

point, l'auteur suggère de sélectionner des travailleurs présentant un fort besoin d'accomplissement, de fournir des programmes d'entraînement ayant comme objectif la formation d'employés multi-spécialisés et de mettre en place un système qui reconnaît l'importance de l'apprentissage de plusieurs tâches et qui récompense sous forme de bonis, augmentations salariales etc.

En second lieu, l'auteur cite **le rôle du superviseur** qui doit être élargi de manière à permettre à ce dernier de bien comprendre et utiliser les systèmes d'information et de contrôle comme outils d'aide à la décision, en particulier pour coordonner le processus de production à l'intérieur des limites qui lui sont propres. Également, il devra posséder des habiletés interpersonnelles afin d'accéder facilement aux différents services de support essentiels au bon fonctionnement de la ou des cellule(s) sous sa charge.

Le troisième aspect couvre le secteur des **relations industrielles**. Huq (1992) considère que les syndicats ont besoin d'être persuadés que les pertes d'emploi (quand cela s'applique) dues à l'introduction de nouveaux systèmes et technologies sont préférables à une éventuelle fermeture complète d'un département ou d'une usine. Selon lui, les organisations devraient présenter ces nouveaux systèmes comme étant une garantie pour la sécurité d'emploi, et ce afin de refléter la volonté de la direction de continuer les opérations. En fait, il s'agit pour les dirigeants concernés de consulter les personnes touchées par l'implantation d'un système ou d'une technologie et d'impliquer ces mêmes personnes tout au long du processus.

Le dernier aspect abordé par l'auteur concerne **l'investissement dans la recherche concernant les aspects humains** reliés aux nouveaux systèmes et aux nouvelles technologies. Après une revue de littérature portant sur les techniques de formation de



cellules de fabrication, Huq (1992) n'a pu retracer aucun texte où les capacités des opérateurs étaient pris en considération lors de la formulation des algorithmes et techniques de formation de cellules.

En résumé, Huq (1992) considère que si les utilisateurs de nouveaux systèmes sont intégrés aux étapes de conception, il en résultera un meilleur design étant donné que les personnes qui auront à utiliser et à gérer le nouveau système auront les connaissances et l'expertise nécessaire au moment de l'implantation du système.

Huber et Hyer (1985) ont mené une étude dans une usine de taille moyenne dans laquelle une partie des équipements utilisés en aménagement fonctionnel ont récemment été convertis en aménagement cellulaire. Les travailleurs oeuvrant dans les deux types d'aménagement ont eu à répondre à un questionnaire ayant pour but de mesurer la perception des employés face à leur emploi, leur satisfaction au travail de même que leur niveau de performance.

Il a été établi lors de cette étude que l'aménagement cellulaire n'améliore ni ne détériore la performance des employés de même que leur satisfaction au travail comparativement à l'aménagement fonctionnel. Les employés oeuvrant à l'intérieur d'une cellule semblaient aussi satisfaits de leur emploi, des modes de supervision et des possibilités d'avancement que ceux travaillant dans un aménagement fonctionnel. Cependant, les employés en cellule étaient plus satisfaits de leurs salaires. Par contre, le texte n'explique pas les raisons de cet écart de satisfaction face au salaire. La performance des superviseurs ne diffère pas non plus d'un aménagement à l'autre.

Quoique cette étude vienne en contradiction avec la majorité des écrits portant sur l'aménagement cellulaire (écrits scientifiques en ce qui concerne la partie technique, et non la partie ressources humaines), les auteurs ne considèrent pas ceci comme négatif. En effet, selon eux, cette étude démontre qu'il est possible de passer d'un aménagement traditionnel, en l'occurrence fonctionnel, à un aménagement cellulaire sans que cela n'ait d'incidences négatives sur l'aspect humain.

Wemmerlov et Hyer (1987) ont identifié un certain nombre de sujets d'étude portant sur la fabrication cellulaire et présentent ces sujets en rapport avec quatre domaines de décisions importants pour l'adoption de nouvelles technologies soit: l'applicabilité, la justification, la conception de système et la mise en oeuvre.

Concernant l'**applicabilité**, les auteurs considèrent que plus nos connaissances des applications de la fabrication cellulaire dans l'industrie sont approfondies, plus nous comprenons le design et les opérations reliées à la fabrication cellulaire. Par le fait même, plus nous détenons de l'information sur des variables critiques reliées à l'implantation, plus nous sommes outillés pour composer avec l'applicabilité et la faisabilité de la fabrication cellulaire.

Pour ce qui est de la **justification** de l'aménagement cellulaire, l'aspect le plus important à prendre en considération concerne les sources de même que le niveau des coûts et des bénéfices qui y sont reliés. En ce sens, il est important de mesurer l'avant et l'après et de le faire avec les mêmes variables dans les deux cas. L'essentiel est d'être le plus objectif possible afin de refléter les vrais résultats découlant d'un changement au niveau de l'aménagement. Les auteurs citent la simulation assistée par ordinateur comme étant un

outil efficace pour procéder à des comparaisons et justifications impartiales et représentatives de la réalité.

D'ailleurs, Van Der Walde (1991) parle de la simulation comme d'un outil puissant susceptible d'accroître la productivité des entreprises américaines. Selon lui, les principaux domaines d'application de la simulation sont: la planification de nouveaux systèmes manufacturiers flexibles, l'amélioration de systèmes existants (Polaroid a réduit l'inventaire des en-cours de 25 % à l'aide d'un modèle de simulation), la résolution de problèmes trop complexes pour être traité autrement etc... Il cite également l'utilisation de la simulation comme outil dans la recherche scientifique en présentant le cas de Jacobs et Bragg [tiré de Vollmam et al., (1988)]. Ces derniers ont utilisé un modèle de simulation pour déterminer les effets de la taille de lot sur le flux de circulation du matériel. Un dernier point important mentionné par Van Der Walde (1991) soulève le fait que les récents développements en micro-informatique permettent la réalisation de simulations de plus en plus complexes, rendant ainsi plus accessible ce nouvel outil de gestion.

**La conception** de cellules de fabrication comprend une partie structurelle et une partie opérationnelle. Dans *la partie structurelle*, il est important de tenir compte des méthodes de formation de cellules disponibles, des procédés de fabrication existants, de l'aménagement en tant que telle (flow line, jobs shops cell) et le degré d'automatisation désiré. *La partie opérationnelle* porte essentiellement sur le design des procédures de planification et du contrôle de la production en contexte de fabrication cellulaire. Le dirigeant doit être capable d'ajuster les fonctions de planification et de contrôle de manière à servir le plus efficacement possible le nouveau système de fabrication en cellule afin d'optimiser les résultats. La dernière partie de la phase de design est l'évaluation de la

configuration des cellules. L'évaluation fournit de l'information pertinente à la sélection des composants structurels et opérationnels du design des cellules. L'objectif principal de l'évaluation consiste à s'assurer que les différentes décisions relatives à la construction des cellules sont cohérentes entre elles et focussent vers des objectifs communs tels la minimisation des temps de transfert, d'ajustement, des inventaires, la maximisation de l'utilisation des ressources, de la flexibilité etc...

Le dernier point couvert par Wemmerlöv et Hyer (1987) porte sur **la mise en oeuvre** des systèmes de fabrication cellulaire et se penche sur deux points précis soit: (1) les effets sur le comportement des opérateurs et des superviseurs et (2) les aspects généraux de l'implantation de la fabrication cellulaire. Concernant l'aspect comportemental, les auteurs suggèrent de s'attarder à l'identification et à la variété des tâches, les principes d'autonomie du travailleur, la variété des habiletés requises etc... Encore une fois, il s'agit de demeurer objectif et de comparer l'avant et l'après avec les mêmes variables dans les deux cas. Toujours du point de vue comportemental, les auteurs proposent de regarder de plus près la situation des superviseurs, de s'attarder à leurs besoins d'être formé afin de s'adapter à leur nouveau rôle face à la mise en place d'un système de fabrication en cellule. En effet, leur rôle consiste désormais à superviser différents types de travailleurs oeuvrant avec différents types de machines dans un environnement également différent d'un système traditionnel.

D'un point de vue plus général, la mise en oeuvre d'un système de fabrication en cellule, en plus d'influencer le travail des opérateurs et superviseurs, a également des effets sur le personnel d'autres départements tel l'assurance qualité, la maintenance, l'ingénierie, la planification et le contrôle de la production, la comptabilité, l'approvisionnement etc.

Le succès de l'implantation de la fabrication en cellule repose donc sur l'habileté de l'entreprise à intégrer les différents départements en les amenant à travailler en commun pour la réussite du système.

Greene et Sadowski (1984) stipulent qu'il n'est pas toujours possible de faire l'entière conversion d'un atelier de production en cellules de production. Dans un même ordre d'idée, Wemmerlöv et Hyer (1987) soulèvent que la plupart des systèmes manufacturiers sont des systèmes hybrides. Ils peuvent être une combinaison des trois sous-systèmes suivants: atelier général (job-shop), atelier sériel (flox-shop) ou atelier cellulaire (cell-shop). De la même façon, une cellule peut être représentée comme un sous-système de type général ou sériel. Il s'agit alors de cellules générales (job-shop-cells) ou de cellules sérielles (flow-shop-cells).

En ce qui concerne les systèmes hybrides, Suresh (1991, 1992) a procédé à une étude par simulation et conclut que la performance d'un aménagement de type hybride est nettement inférieure à celle d'un aménagement fonctionnel et ce, même si des réductions importantes ont été réalisées au niveau des temps de réglages. En rapport avec les études favorables au passage d'un aménagement fonctionnel à un aménagement cellulaire, il constate que l'aménagement fonctionnel de départ était, dans la plupart des cas, très peu performant. Il convient également que les cellules contenant plusieurs machines performant mieux que celles de petite taille. Cependant, le modèle a démontré que l'aménagement cellulaire pouvait être supérieur à un aménagement fonctionnel performant sous certains paramètres particuliers qui sont: une petite taille de lot, un faible facteur de réduction des temps de réglages et des cellules contenant plusieurs machines.

Concernant la formation des cellules, Ham (1985) propose deux approches. Premièrement, la formation de cellules de production est relativement facile à réaliser s'il existe déjà une classification des produits et si un système de codage est déjà mis en place. Ceux-ci représentent des moyens efficaces pour classer les pièces et produits codés en famille de pièces en se basant sur les paramètres spécifiques du système, sans considérer l'origine ou l'utilité de la pièce. Ces paramètres diffèrent d'une entreprise à l'autre et ne sont représentatifs que pour l'entreprise qui les utilise.

**La classification** comprend l'arrangement des items en groupes en accord avec certains principes par lesquels les items sont groupés ensemble en vertu de leurs similarités. Un code peut être un système de symboles qui donne, de manière simplifiée, de l'information sur une pièce ou un produit donné. Il n'existe aucun système de classification et de codage universel, c'est-à-dire applicable à une majorité d'entreprises. Effectivement, chaque entreprise fonctionne déjà avec un système d'information dont il est primordial de tenir compte lorsqu'on prévoit établir un système de classification et de codage. Le temps nécessaire requis pour chaque opération et pour chaque commande dans la famille peut être établi s'il existe des données comme la taille des lots, les temps d'ajustement et les temps de machinage. Ces différents temps serviront de base pour établir la capacité requise pour chaque machine à l'intérieur de la cellule.

Deuxièmement, il est également possible de former des groupes de machines ou de familles de pièces en utilisant **la technique d'analyse du flux de production**. Celle-ci est une technique d'analyse de l'ordre des opérations de production et du cheminement du produit à travers les différentes machines et aires de travail de l'usine. Les pièces ayant un ordre d'opération et un cheminement similaire sont groupées en familles. De la même

façon, les machines et aires de travail utilisées pour produire ces familles de pièces sont rassemblées pour former une cellule de fabrication.

Choi (1992) propose une méthode informelle consistant à sélectionner manuellement les familles de pièces similaires. Elle est utilisée lorsqu'une entreprise ne fabrique qu'un nombre très restreint de produits.

Toujours en ce qui a trait à la formation des cellules, Wemmerlov et Hyer (1987) et Huq(1992) ont recensé quatre grandes approches généralement utilisées soit:

1. Identification des **familles de pièces** soit sur la base des fonctions des pièces, soit par leurs noms ou même par un examen visuel.
2. Identification des **groupes de machines** sur la base du routage des pièces et du calcul d'un coefficient de similitude.
3. Identification des **familles de pièces** sur la base du routage et de la matrice pièce/machine.
4. Identification des **familles de pièces** et des **groupes de machines** simultanément (réarrangement manuel ou algorithmique de la matrice pièce/machine).

Pour chacune de ces approches, plusieurs techniques ont été développées. Ces dernières ont d'ailleurs été résumées par Ballakur et Steudel (1987). Nous allons présenter brièvement dans les pages suivantes quelques unes de ces techniques de manière à couvrir chacune des quatre approches énumérées précédemment.

Concernant la *création des familles de pièces*, Carrie (1973) propose une classification d'ordre statistique. Précisément, il utilise la taxonomie numérique pour

procéder à la classification des pièces. La taxonomie est une science de la biologie consistant à classer des objets selon qu'ils possèdent ou non certaines caractéristiques pré-établies. Cette technique permet donc d'analyser des pièces en faisant ressortir quantitativement leur similarité.

Quant à l'approche de *création des groupes de machines*, Lemoine et Mutel (1983) proposent une méthode de reconnaissance automatique des cellules de production et des familles de pièces basée sur un algorithme dynamique de groupage. Cette technique permet l'analyse d'un nombre important de données et définit les cellules en tenant compte de la similarité des machines-outil, de la charge et de la capacité des machines. Elle prend en considération dès le départ l'équilibre entre la charge et la capacité des machines et permet de tester la stabilité des résultats.

Pour la même approche, Waghodekar et Sahu (1984) ont développé la technique MACE (MACHine-component CELL formation) qui se base principalement sur le concept de coefficient de similarité. Ce **coefficient de similarité** peut être interprété de trois façons possibles soit: le coefficient de similarité de type additif (Carrie, 1973) qui s'exprime en fonction du nombre de pièces commune à deux machines **i** et **j**; le coefficient de similarité de type produit qui se base sur le nombre total de pièces produites par chaque machine **i** et **j** ; et enfin le coefficient de similarité basé sur le flux total de pièces communes produites par une machine particulière. La formation des cellules se fait sur la base du regroupement des machines dont le coefficient de similarité est intéressant.

Un troisième auteur, De Witte (1980) suggère l'utilisation de coefficients de similarité dans l'analyse du flux de production. Particulièrement, De Witte distingue trois grandes *catégories de machines* possibles qu'il classe de la manière suivante: une machine est de la



*catégorie primaire* si elle est unique ou si toutes les machines d'un même type sont dédiées à une seule cellule. Concernant la *catégorie secondaire*, plusieurs machines d'un même type sont disponibles pour un certain nombre de cellules. Finalement, dans la *catégorie tertiaire* nous retrouvons les machines en quantité suffisante pour pouvoir être dédiées à toutes les cellules existantes. Une deuxième catégorisation vient ensuite se faire au niveau des cellules avec les *cellules de catégorie primaire* qui peuvent englober les machines de catégorie primaire, secondaire et tertiaire; les *cellules de catégorie secondaire* qui peuvent contenir les machines de catégorie secondaire et tertiaire; et enfin les *cellules de catégorie tertiaire* qui ne peuvent contenir que des machines de catégorie tertiaire.

Ici encore, trois différents coefficients de similarité sont avancés par l'auteur pour mesurer le degré de relation entre différents types de machines. Le premier coefficient montre le degré de relation absolu entre différents types de machines, le deuxième représente l'interdépendance mutuelle relative entre différents types de machines et le troisième mesure l'interdépendance simple entre différents types de machines.

Relativement à la *création de familles de pièces et de groupes de machines à l'aide d'une matrice*, Burbidge (1977) a développé la première méthode de formation de cellule consistant en l'*analyse du flux de production*. Précisément, cette technique de type manuelle procède en quatre étapes. La première consiste à départager les machines et les pièces en départements ou en grands groupes. La seconde étape reprend les départements précédemment déterminés et procède à une analyse plus spécifique de manière à créer des groupes plus petits. La troisième étape détermine le meilleur aménagement de machines à l'intérieur des groupes générés à l'étape deux. Finalement, la quatrième et dernière étape a

comme objectif de déterminer la séquence optimum de pièces à être fabriquées sur un groupe de machine donné.

Si on se rapporte toujours à la *création de familles de pièces et de groupes de machines à l'aide d'une matrice*, King (1980) a développé une approche utilisant un *algorithme de groupement par ordre*. Cet algorithme réarrange les rangées et les colonnes d'une matrice pièces/machines de manière itérative avec comme résultat final une matrice dont les rangées et les colonnes sont représentées en ordre de valeurs décroissant selon un code binaire (code lu en rangée). Ce code binaire est représenté par le chiffre 1 dans la case correspondant à la jonction pièce **j**/machine **i** lorsque la pièce **j** est fabriquée sur la machine **i**, sinon le chiffre dans la case est 0.

Finalement, Chan et Milner (1981) proposent un *algorithme de groupement direct* suivant également une approche matricielle pièces/machines. L'algorithme considère comme positives les cases correspondant à la jonction d'une pièce et d'une machine et comme négatives les cases vides. L'algorithme parcourt la matrice de façon séquentielle en déplaçant les rangées et les colonnes suivant un ordre précis. Après un certain nombre d'itérations, l'algorithme converge vers une matrice optimale qui présentera des blocs représentant des cellules potentielles. Il est à noter que certaines manipulations sont faites pour traiter les exceptions rencontrées lors du traitement.

D'ailleurs, en rapport avec les exceptions, Greene et Sadowski (1984) amènent un élément nouveau dans la littérature portant sur la fabrication cellulaire. En effet, concernant les pièces qui ne peuvent, pour une raison ou pour une autre, être associées avec une famille de pièces, ou encore concernant les machines à utilisation trop générale,

les auteurs proposent de créer une «remainder cell». Leur définition est la suivante (traduction libre de l'auteur):

Une «remainder cell» est une cellule désignée pour recevoir les pièces et les machines qui ne peuvent, de façon logique ou efficiente, être placées dans une cellule spécialisée. Shunk (1976), dans sa thèse de doctorat, a avancé l'hypothèse que 30 à 40 % de la machinerie fera partie d'une «remainder cell».

Concernant les produits qui ne peuvent faire partie d'aucune famille de pièces, Choi (1992) propose de procéder à des changements (reengineering) sur le design du produit lui-même ou encore sur le processus de fabrication. Lorsque cette solution s'avère trop dispendieuse, il suggère d'acheter ces pièces ou d'utiliser la sous-traitance.

Dans leur recherche, Garza et Smunt (1991) ont testé un certain nombre de mouvements intercellulaires à l'aide d'un modèle de simulation. Ces mouvements intercellulaires sont dus à une impossibilité de produire complètement une pièce ou à un manque de capacité d'une machine donnée dans une cellule particulière. Etant donné cette situation, il s'avère alors nécessaire de sortir la pièce de sa cellule principale pour effectuer une ou plusieurs opérations dans une autre cellule ou sur une autre machine qui ne se retrouve pas nécessairement à l'intérieur d'une cellule. Pour procéder à leur recherche, ils ont donc utilisé cinq variables indépendantes auxquelles sont rattachés différents niveaux d'évaluation. Le Tableau 1 suivant présente les différentes variables et les niveaux correspondants.

**Tableau 1**  
**Niveaux des variables de simulation**

VARIABLES	NIVEAUX
Les mouvements intercellulaires	0, 10 %, 20 %, 30 % <sup>1</sup>
Le temps d'ajustement	0.2, 0.4, 0.6 (en heures)
La variabilité des temps d'opération	0.0, 0.33, 0.67, 1 <sup>2</sup>
La taille des lots	10, 15, 20, 25 (unités)
Le ratio des temps d'ajustement	0.1, 0.3, 0.6, 0.9 <sup>3</sup>
<p><sup>1</sup> Un niveau de 10 % signifie que 10 % des opérations sont effectuées à l'extérieur de la cellule.</p> <p><sup>2</sup> Chaque niveau représente un coefficient de variation. La variabilité peut être due à des bris de machines, de l'entretien préventif etc.</p> <p><sup>3</sup> Un ratio de 0.1 signifie que, par rapport à un aménagement traditionnel, lors d'un ajustement mineur, la réduction des temps d'ajustement est de 90 % en aménagement cellulaire.</p>	
Source: Garza et Smunt 1991, p. 96	

Les conclusions tirées sont les suivantes:

1. Lorsque d'une conversion en fabrication cellulaire découle des mouvements intercellulaires, la performance du système en cellule sera moindre que celle d'un aménagement traditionnel principalement au niveau des temps de production moyens et des en-cours.
2. En réduisant les variations dans les temps de production d'aussi peu qu'un tiers, l'aménagement cellulaire surpasse l'aménagement traditionnel pour des niveaux de mouvements intercellulaires faibles ou modérés, quelque soit le niveau des autres variables. Lorsque la réduction atteint 50 %, la fabrication en cellule dépasse le système traditionnel quelque soit le niveau de toutes les variables.
3. Comme on pouvait s'y attendre, la fabrication cellulaire obtient de meilleurs résultats avec des lots de petite taille que les systèmes traditionnels. Cela s'explique par le fait que les temps d'ajustement sont plus courts en contexte de fabrication cellulaire.
4. Lorsque les temps d'ajustement sont élevés dans le système traditionnel, alors le passage à l'aménagement cellulaire est avantageux pour l'entreprise. Ces résultats

sont prévisibles, l'avantage principal de la fabrication cellulaire étant la réduction des temps d'ajustement.

5. L'étude conclut qu'aussitôt que l'on constate des mouvements intercellulaires, la réduction des temps d'ajustement doit être d'au moins 70 % afin d'amoindrir l'effet négatif des mouvements intercellulaires.
6. Quand les temps de manutention sont relativement élevés en aménagement traditionnel, la conversion à l'aménagement cellulaire devient intéressante et ce, pour la plupart des niveaux de mouvements intercellulaires et en particulier lorsque la taille des lots est petite.
7. La performance de l'atelier «job shop» est apparue plus stable que celle de la fabrication en cellule quand les deux systèmes étaient soumis à différents niveaux de «mix» de produits. L'habileté à produire une pièce donnée sur n'importe quelle machine d'un atelier procure une certaine flexibilité que l'on perd lors de la conversion en aménagement cellulaire.

En résumé, les résultats de cette étude indiquent que, bien que les mouvements intercellulaires aient un effet négatif sur la performance d'un système de fabrication en cellule, l'amélioration de certaines autres variables peuvent venir contrer ces effets négatifs.

Fry, Wilson et Breen (1987) donnent une définition similaire à celles déjà présentées dans ce texte et citent les avantages suivants concernant l'aménagement cellulaire:

- Les temps d'attente, d'ajustement et de transfert sont réduits grâce à la proximité des machines et à la similarité entre les pièces de chaque famille.
- Les machines étant dédiées uniquement à une famille de produits, le pourcentage d'utilisation des équipements se trouve amélioré puisque le processus de production a tendance à suivre un processus continu.
- La manutention des inventaires est réduite parce que le flux de travail est standardisé et centralisé. Souvent, dans une cellule, les matières se déplacent à l'aide d'un

convoyeur permettant ainsi à l'employé de se concentrer essentiellement à des tâches plus productives.

- La qualité des produits est améliorée étant donné que les pièces sont normalement inspectées par l'employé responsable de sa fabrication. Cela permet de détecter les défauts plus rapidement dans le processus de production.
- L'espace de plancher utilisé est réduit du fait que les machines d'une même cellule sont localisées les unes près des autres, libérant de l'espace pour d'autres fins. Walter Baturka, président de Houdaille Industries Inc. [Fry, Wilson et Breen (1987)], a noté que 25 % de l'espace de plancher fut rendu disponible après l'introduction de cellules de production.
- La mobilité et la responsabilisation des travailleurs sont accrues par le fait que les employés oeuvrant au sein d'une cellule sont plus versatiles, étant capables d'opérer plus d'une machine. De plus, ils ont la responsabilité de faire fonctionner la cellule de manière à éviter les goulots d'étranglement et à utiliser le plus efficacement possible les ressources productives.
- Les «scrap losses» sont réduits dû à la similarité des pièces d'une même famille. Les travailleurs sont rarement confrontés à la production de nouvelles pièces. Effectivement, à ces nouvelles pièces sont souvent rattachés des «scrap losses» avant que le travailleur n'apprenne à bien produire ces pièces.

Greene et Sadowski (1984) ont également dressé une liste qui énumère les principaux avantages de même que les désavantages reliés à la fabrication cellulaire. En plus de ceux déjà énumérés précédemment par Fry et al.(1987), nous retrouvons les avantages suivants:

- Le contrôle des expéditions est amélioré pour deux raisons. Tout d'abord, chaque commande étant confinée à l'intérieur d'une même cellule, les recherches inutiles sont réduites. Deuxièmement, étant donné la petite taille de chaque cellule, il est plus facile de cédule le travail entre les machines par rapport aux différentes commandes.
- Etant donné la petite taille des cellules, l'inventaire des produits en-cours doit être maintenu à son minimum afin de préserver l'espace pour la production. Evidemment, la cellule reproduisant un processus linéaire, la réduction des en-cours est une conséquence logique.

Les deux principaux désavantages à la fabrication cellulaire relevés par les auteurs sont:

- L'augmentation de l'investissement en capital qui survient lorsqu'un certain type de machines est requis en plus grand nombre que ce qui est disponible au moment de la conception du système d'aménagement cellulaire. Il peut alors s'avérer nécessaire d'acquérir des machines supplémentaires. En effet, il est parfois difficile de partager un certain type de machines entre deux ou plusieurs cellules sans venir diminuer les avantages de l'aménagement cellulaire. Dans ce cas, un certain investissement doit être fait pour éviter ce genre de situation et respecter les règles de la fabrication cellulaire de manière à en tirer le maximum de bénéfices.
- Un plus faible taux d'utilisation des équipements est parfois une conséquence de la fabrication cellulaire.

Concernant le premier désavantage, c'est-à-dire la pénurie de machines résultant de la formation des cellules, Choi (1992) propose deux solutions comme alternative à l'achat. La première consiste à intégrer deux cellules requérant une même machine à l'intérieur d'une seule et même cellule. La seconde suggère de placer la machine entre les deux cellules de manière à permettre le partage de son utilisation entre les deux. Cependant, deux facteurs doivent être pris en compte lorsqu'on gère une pénurie de machines: (1) les économies réalisées et (2) les désavantages reliés à de plus grandes cellules.

Lorsque la décision d'acquérir de nouveaux équipements se présente, les dirigeants sont confrontés à la possibilité d'acheter de l'équipement sophistiqué versus de l'équipement plus simple et moins dispendieux pouvant également accomplir les tâches requises. Pour procéder à la sélection de bons équipements, on doit tenir compte des facteurs suivants: le coût des machines, les bénéfices tangibles en termes de productivité et de qualité, les coûts d'entraînement sur de nouveaux équipements et les pertes potentielles de flexibilité lors de réajustements à l'intérieur de la cellule (situation rencontrée avec de l'équipement particulièrement sophistiqué).

Parfois les entreprises sont en présence de procédés et de machines difficiles à intégrer à l'intérieur d'un aménagement cellulaire. Les raisons peuvent être: (1) des considérations environnementales (fumée, rayon X), (2) des limites physiques (traitement à la chaleur) et (3) l'utilisation d'équipements fortement capitalisés. Une solution pour pallier à ce problème consiste à créer un espace commun utilisé par plusieurs cellules. Si un nombre restreint de pièces ont besoin d'un traitement spécial, le mieux est de les déplacer de la cellule à l'espace commun et de les ramener à la cellule une fois l'opération terminée. Cependant, si une majorité de pièces nécessitent ce même traitement, alors la meilleure solution serait de créer deux cellules distinctes, l'une avant le traitement et l'autre après le traitement, en particulier lorsque le processus est relativement long.

En rapport au deuxième désavantage, Grenne et Sadowski (1984), contrairement à Fry et al. (1987), considèrent que la fabrication cellulaire amène une diminution du taux d'utilisation des équipements comparativement à un aménagement plus traditionnel. En effet, selon ces derniers, si des achats d'équipements sont nécessaires pour passer d'un aménagement fonctionnel à un aménagement cellulaire, alors le taux d'utilisation des équipements pour un même niveau de production diminue. De plus, si la répartition des «mix» de produits d'une cellule donnée change à une période donnée, alors il risque de se produire des déséquilibres pouvant se traduire par une sur-utilisation de certaines cellules contre une sous-utilisation d'autres, d'où la diminution du pourcentage d'utilisation des équipements.

Concernant la nécessité de construire des cellules flexibles pour faire face à des changements dans la demande et dans le «mix» de produits, Choi (1992) propose de créer des cellules qui, dès le départ, tiennent compte du besoin de flexibilité. La méthode



consiste à estimer la tendance maximale et minimale de la demande pour chaque produit de chacune des familles et de transposer les résultats à chaque cellule en terme de capacité pour une période donnée. Ainsi, les entreprises doivent établir des réserves monétaires pour l'équipement supplémentaire de même que l'espace pour ces équipements additionnels.

Par contre, Huang et Houck (1985) relèvent également la plupart des bénéfices déjà cités et sont en accord avec Fry et al. (1987) en ce qui a trait à l'utilisation des équipements. Il a été observé qu'un facteur important lors du design et de l'implantation de cellules consiste à créer un groupe dans lequel les plus coûteuses et importantes machines ont un taux d'utilisation raisonnablement élevé tandis que les machines plus communes ont un taux d'utilisation que l'on peut tolérer à un niveau plus bas. Tout ceci implique que les employés oeuvrant au sein de la cellule sont aptes à opérer efficacement les deux types de machines, avec l'accent mis sur l'utilisation optimale des machines plus dispendieuses et importantes de manière à maintenir un niveau de productivité maximum. En fait, la fabrication cellulaire, lorsqu'utilisée adéquatement, peut permettre d'augmenter le taux d'utilisation de la machinerie plus fortement capitalisée de 80 à 90 % comparativement à un taux de 10 à 15 % dans un système manufacturier traditionnel.

Après avoir établi les avantages déjà cités, Fry et al. (1987) ont procédé à une étude de cas chez un manufacturier de «roulements à billes». Un essai pilote fut fait sur une famille de «roulements à billes» bien spécifique avec les résultats suivants:

- L'inventaire des en-cours et les temps de production furent réduits de près de 2/3 pour cette famille de «roulements à billes».
- L'inventaire global fut réduit de 1 000 000 \$ avec comme résultante une baisse des coûts d'entreposage de 250 000 \$ sur un an.

- Le responsable de l'implantation de la cellule a également noté une amélioration appréciable du moral et de la satisfaction au travail des employés à l'intérieur de la cellule. Les travailleurs oeuvrant en équipe pour résoudre les problèmes et accomplir le travail de la meilleure façon possible à l'intérieur de «leur» cellule ont développé un sentiment d'appartenance qui se traduit par une satisfaction accrue dans l'exercice de leurs tâches.

Shafer et Meredith (1992) ont conduit une étude par simulation visant à mesurer les différences entre un aménagement fonctionnel et un aménagement cellulaire avec la notion de «flux continu» des opérations ( quand des pièces d'un lot sont envoyées à une opération subséquente avant que le lot ne soit entièrement terminé). L'étude fut faite auprès de trois compagnies et eut lieu en deux parties distinctes. Dans la première partie, les temps d'ajustement et de déplacement des lots ont été fixés de façon très conservatrice afin de ne pas avantager injustement l'aménagement cellulaire au dépend de l'aménagement fonctionnel. Cette première phase a permis d'établir cinq propositions constituant des facteurs pouvant limiter les avantages de la fabrication cellulaire. Ces propositions ou facteurs sont les suivants:

1. Le petit nombre de machines requises pour la fabrication limite les possibilités de «flux continu» des opérations à l'intérieur d'une cellule.
2. En tenant compte du principe de «flux continu» des opérations, la petite taille des lots limite également les bénéfices de l'aménagement cellulaire. Effectivement, des lots de tailles plus grandes profiteront davantage du principe de «flux continu» des opérations que des lots de petites tailles puisque ces derniers passent plus rapidement à travers le processus de production, d'où la réduction des possibilités de «flux continu». Cependant, si l'on ne tient pas compte de la notion de «flux continu», il est évident que des lots de petites tailles sont préférables en contexte d'aménagement cellulaire.
3. Les temps de fabrication par pièces trop courts limitent les bénéfices de l'aménagement cellulaire, toujours par rapport au «flux continu» des opérations. Le raisonnement est le même que pour la petite taille des lots.

4. Le faible nombre de familles de pièces similaires limite également les bénéfices de l'aménagement cellulaire. En effet, plus la quantité de pièces similaires est restreinte, plus les bénéfices potentiels d'une conversion en aménagement cellulaire à partir d'un aménagement fonctionnel sont réduits. Or, le principe même de l'aménagement cellulaire repose sur la similarité des pièces et/ou des opérations.
5. La présence de machines à goulots d'étranglement crée des temps d'attente et élimine d'importants bénéfices de la fabrication cellulaire en réduisant ou en empêchant complètement, à un moment donné, les possibilités de «flux continu». En fait, les goulots d'étranglement créent des augmentations des stocks en-cours et diminuent le pourcentage d'utilisation des équipements, tant pour la machine qui crée le goulot que pour celles qui précèdent ou qui suivent.

La deuxième phase de cette étude se veut plus «réaliste» face à la fabrication cellulaire et utilise une réduction de 40 % des temps d'ajustement basés sur les travaux de Wemmerlov et Hyer (1989). Les résultats sont probants et démontrent que, statistiquement, l'aménagement cellulaire procure des bénéfices supérieurs à l'aménagement fonctionnel. Précisément, sur les six variables étudiées (nombre moyen de pièces en attente d'être produites ou déplacées, niveau maximum des en-cours, temps moyen qu'un lot passe dans le système de son lancement jusqu'à ce qu'il soit complété, temps maximum qu'un lot passe dans le système, distance moyenne parcourue par un lot, nombre moyen de pièces dans la plus longue file d'attente), l'aménagement fonctionnel surpasse l'aménagement uniquement sur la variable «nombre moyen de pièces dans la file d'attente».

Concernant l'aménagement cellulaire, White et Wharton (1990) ont établi qu'en moyenne les dirigeants situent l'utilité d'un tel système à 3.34 avec un écart-type de 2.08; ce qui le classe dans la catégorie des systèmes que les dirigeants perçoivent comme une éventuelle possibilité. Etant donné que 32.8 % des répondants n'ont émis aucune opinion sur ce système, ce qui représente un assez haut pourcentage, nous pouvons avancer

l'hypothèse que le fait qu'il ne soit pas bien connu influence les précédents résultats. En rapport avec la perception de l'utilité de la fabrication cellulaire pour ceux qui travaillent à son implantation et ceux qui fonctionnent déjà avec ce système, les résultats vont en augmentant soit 5.27 pour les premiers et 5.93 pour les seconds; ce qui démontrent que le taux de satisfaction augmente entre la phase d'implantation et les résultats obtenus après une certaine période d'opération avec le système.

Une autre étude effectuée par Wemmerlöv et Hyer (1989) apporte des résultats statistiques concrets. Ces résultats ont été obtenus par le biais de questionnaires complétés par 32 entreprises américaines fonctionnant avec l'aménagement cellulaire. Nous résumerons donc dans les paragraphes suivants les résultats les plus pertinents de l'enquête.

La majorité des entreprises fonctionnent avec des cellules à faible taux d'automatisation. La charge de travail de l'ensemble des cellules d'une entreprise représente 5 % ou moins de la charge totale de travail de l'entreprise et ce dans 48 % des cas. Similairement, 63 % des entreprises évaluent la charge de travail des cellules à moins de 15 % tandis que 74 % évaluent cette charge à moins de 25 % de la charge totale des activités de fabrication. Plus de 80 % des compagnies ont six cellules ou moins, et le trois quart de ces cellules ont été implantées après 1980. Plus de 90 % des entreprises avaient déjà un système PRP au moment de l'implantation de l'aménagement cellulaire et 25 % des organisations prévoyaient installer des «pull systems» (juste-à-temps, Kanban).

Le concept des habiletés des opérateurs à remplir plusieurs fonctions est appliqué dans 87 % des entreprises et dans 39 % des cas, les opérateurs avaient à se déplacer entre les cellules (à une faible fréquence cependant).

Les deux problèmes les plus souvent mentionnés sont le balancement des charges de travail à l'intérieur des cellules et la résistance au changement. Les coûts les plus importants concernent les frais de déplacement des équipements.

Des statistiques relatives aux bénéfices ont également été tirées de cette enquête. Par exemple la réduction des temps de circulation de 45.6 %, des inventaires de produits en cours de 39.3 %, des temps d'ajustement de 32 % et une amélioration de la qualité de 29.6 %. Quoique ces résultats représentent une moyenne et diffèrent parfois grandement d'une entreprise à une autre, les répondants sont en majorité enthousiastes envers l'aménagement cellulaire et indiquent que les bénéfices excèdent les coûts. De plus, près de 70 % des entreprises prévoient ajouter de nouvelles cellules dans un proche avenir.

Cependant, les leçons les plus importantes qu'ont retenues ces entreprises concernent l'aspect humain plutôt que technique. En effet, les dirigeants suggèrent fortement d'impliquer et de former les individus au tout début du processus de changement.

Selon Choi (1992), un professeur Coréen qui s'intéresse particulièrement au design et à l'implantation de l'aménagement cellulaire, le nombre de cellules de fabrication installées aux Etats-Unis était estimé à 525 en 1984 et dépassait les 8 000 en 1989. Ces données reflètent bien l'intéressement, tant des professionnels que des chercheurs, à la fabrication cellulaire et à ses effets positifs sur les entreprises.

### **1.3 Objectifs de la recherche**

Afin de contrer les impacts négatifs de la mondialisation, les entreprises manufacturières doivent tendre vers l'atteinte d'une plus grande flexibilité de leur appareil

de production. Le concept d'aménagement cellulaire suscite l'intérêt de plusieurs chercheurs et dirigeants d'entreprises et constitue une voie potentielle vers des économies et une plus grande flexibilité. En ce sens, l'étude de Billesbach (1991) déjà citée portant sur l'implantation du système juste-à-temps et réalisée auprès de 68 entreprises américaines fait ressortir que 83 % des répondants considèrent que le changement de l'aménagement actuel en un aménagement cellulaire est essentiel au succès du juste-à-temps. L'essentiel des parutions traitant de l'aménagement cellulaire se concentrant sur l'évaluation de **cellules d'usinage**, cette recherche vise à combler un certain vide de la littérature en se concentrant sur l'évaluation de **cellules d'assemblage**.

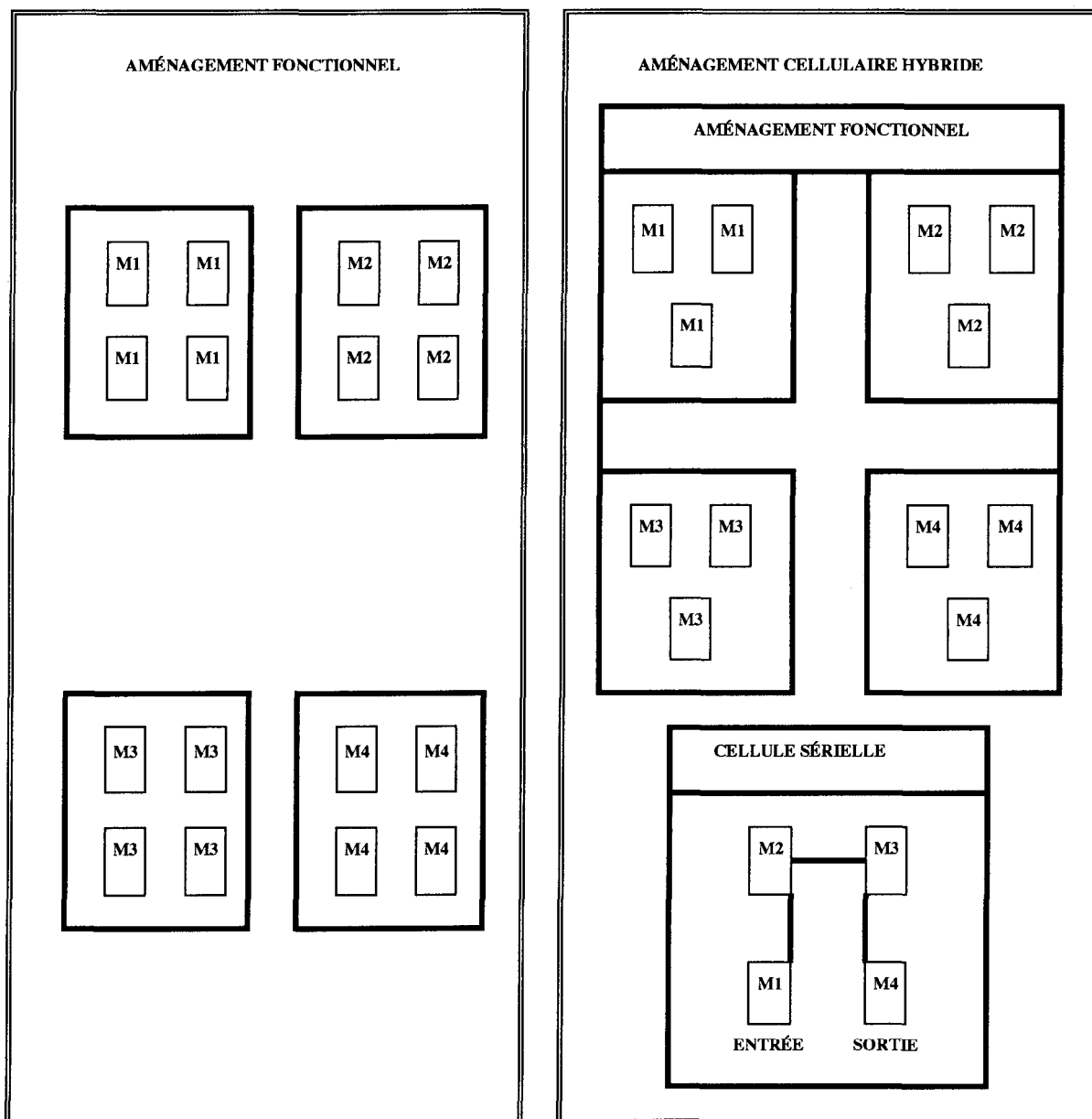
La revue de littérature nous a permis de constater que les différents auteurs s'intéressant à l'aménagement cellulaire s'entendent sur la définition de ce concept. Il en est de même pour les principaux avantages de l'aménagement cellulaire qui sont, entre autres, la réduction des temps d'ajustement, du temps total de production et des inventaires, en particulier les en-cours, l'amélioration de la qualité, l'accroissement de la mobilité et de la responsabilisation des travailleurs, etc....

Par contre, les opinions divergent concernant le pourcentage d'utilisation des équipements. De même, certaines études [étude de cas de Fry et al., (1987)] présentent des résultats très positifs tandis que d'autres [étude de Shafer et Meredith, (1992)] obtiennent des résultats plutôt mitigés. Cependant, ces différentes contradictions ne manquent pas d'intérêt pour le chercheur. Le défi est en effet d'autant plus grand que les résultats possibles sont difficiles à prévoir. En ce sens, le besoin d'études supplémentaires est justifié afin de grossir le corpus des connaissances et amener des éléments supplémentaires susceptibles d'aider à une meilleure compréhension de ces résultats contradictoires.

Ce projet s'intègre dans le cheminement de la recherche déjà entreprise par Gravel et Price (1987, 1988, 1991, 1993) et portant sur l'amélioration de la productivité des entreprises, en particulier les PME. Rappelons que Gravel (1987), dans une étude de cas impliquant une entreprise de l'industrie du vêtement de plein-air, a réalisé le passage d'un aménagement fonctionnel traditionnel à un aménagement fonctionnel juste-à-temps avec l'utilisation de la méthode Kanban. Il a démontré la faisabilité et les avantages de l'utilisation d'une telle méthode dans un contexte de fabrication en atelier. Plus spécifiquement, l'étude a démontré qu'en plus de réduire et stabiliser les stocks de produits en-cours, on arrive, dans la plupart des cas, à diminuer le temps total de fabrication d'une commande et à améliorer le pourcentage d'utilisation des équipements. Concrètement, cela se chiffre par une diminution moyenne d'environ 20 % du temps total de fabrication d'une commande, une réduction moyenne d'environ 60 % du nombre de produits en-cours et une augmentation moyenne d'environ 25 % de l'utilisation des équipements.

L'objectif général de la présente recherche est de vérifier, en se servant du même contexte de production que Gravel (1987), la faisabilité pour une entreprise manufacturière fonctionnant suivant un aménagement fonctionnel performant et intégrant les principes du juste-à-temps, de faire le passage à un aménagement cellulaire hybride de type sériel, et ce toujours dans un contexte de fabrication juste-à-temps. Ce passage est illustré à la Figure 1 où l'on retrouve un aménagement fonctionnel (encadré de gauche) à partir duquel une

**Figure 1**  
**Présentation d'un aménagement fonctionnel**  
**versus un aménagement cellulaire hybride**





cellule sérielle a été formée, créant ainsi un aménagement cellulaire hybride (encadré de droite). Notons le sens des flèches qui indique l'obligation de respecter la structure du produit. Plus spécifiquement, les objectifs poursuivis sont les suivants:

1. **Établir** différents aménagements cellulaires hybrides prometteurs impliquant des cellules de type sérielles.
2. **Valider** la faisabilité technique des aménagements proposés.
3. **Évaluer** les aménagements cellulaires retenus.
4. **Vérifier** les avantages de tels aménagements pour la productivité de l'entreprise.

#### **1.4 La méthodologie**

Afin de réaliser les objectifs décrits précédemment, nous nous servirons de données réelles recueillies dans l'entreprise où Gravel (1987) a conduit ses travaux de recherche et pour lesquels plusieurs articles sont parus dans diverses publications scientifiques [Gravel et Price (1988, 1991, 1993) - Gravel, Martel, Nadeau, Price et Tremblay (1991) - Price, Gravel et Nsakanda (1993 (1) (2)) - Gravel, Kiss, Martel et Price (1993)].

Cette recherche se veut donc une étude de cas, ce qui nous confronte à certaines limites concernant la généralisation des résultats. L'entreprise impliquée dans cette étude fonctionne dans un contexte d'atelier d'assemblage sur commande intégrant la méthode Kanban. Elle évolue dans l'industrie du vêtement de plein-air et fabrique une multitude de produits, allant de la veste passe-partout aux vêtements plus spécialisés utilisés lors d'expéditions dans les régions nordiques. Le client peut choisir entre plusieurs modèles, plusieurs grandeurs et plusieurs couleurs, ce qui laisse percevoir un travail important au niveau de l'assemblage qui se fait avec un ensemble de ressources limitées. Également,

l'entreprise met beaucoup d'emphasis sur la qualité de ses produits comme le prouve d'ailleurs sa politique de «garantie à vie».

La démarche méthodologique est la suivante:

#### **(a) Création des familles naturelles (objectif 1)**

La première étape consiste à subdiviser la gamme de produits de l'entreprise en fonction de certaines caractéristiques évidentes nous permettant de supposer des similarités naturelles entre ces produits. Ces caractéristiques sont, entre autres, l'aspect extérieur du vêtement, l'utilisation qui en sera faite, les tissus utilisés dans sa fabrication, le type de doublure, etc.... Ultérieurement, un examen visuel des diagrammes d'assemblage des produits d'une même famille naturelle permettra de procéder à des correctifs mineurs de conception permettant ainsi d'augmenter le degré de standardisation des produits.

#### **(b) Examen des similitudes des produits d'une même famille (objectif 1)**

Cette deuxième étape consiste à créer un algorithme permettant, dans un premier temps, de décomposer chaque produit en ses diverses chaînes de fabrication continue. Une chaîne de fabrication continue ou **séquence indépendante** est une suite d'opérations consécutives ne nécessitant qu'une seule opération comme pré-requis. Subséquemment, l'algorithme procédera à une énumération de toutes les **combinaisons de machines** de différentes longueurs incluses dans chacune des séquences indépendantes.

Finalement, une compilation statistique sous forme de tableaux de fréquence de toutes les combinaisons de machines de différentes longueurs sera réalisée pour chaque famille

naturelle et pour l'ensemble des produits de l'entreprise. Nous cherchons ainsi à établir quelles sont les chaînes de fabrication continue que nous retrouvons le plus fréquemment dans les produits.

### **(c) Création des cellules (objectif 1)**

Le tableau de fréquences créé à l'étape précédente nous permettra ensuite d'identifier les cellules sérielles potentiellement intéressantes à évaluer pour chaque famille naturelle de produits. Nous nous limiterons à la fréquence la plus élevée pour chacune des séquences de machines de longueur 2, 3, 4, .....

### **(d) Faisabilité technique des cellules identifiées (objectif 2)**

Chaque cellule potentielle sera ensuite évaluée en fonction des machines qu'elle requiert. Si une machine ne se retrouve qu'à un seul exemplaire dans le parc de l'usine, alors la cellule nécessitant cette machine ne sera pas prise en considération car il faudrait acquérir une machine supplémentaire. Notre évaluation de passage à un environnement cellulaire hybride se fera uniquement sur la base des ressources présentement disponibles dans l'entreprise.

### **(e) Simulation de production (objectif 3)**

**L'évaluation de la performance des cellules** se fera à l'aide d'un modèle de simulation. Nous utiliserons le logiciel développé par Gravel et Price (1988, 1991) auquel certaines modifications seront apportées pour tenir compte de la notion de cellules d'assemblage. Les conditions de simulation seront: **la fabrication d'une commande de**

**300 unités pour chaque produit, l'utilisation d'une taille de lot de 5 unités, l'utilisation de 2 cartes kanban et un des critères d'ordonnancement** définis par Gravel et Price (INFOR 1993) (*critère 5: règle d'ordonnancement basée sur un balayage alterné d'une partition multipartite du diagramme d'assemblage*). Ces conditions de simulation correspondent à des ateliers d'assemblage performants selon les études réalisées par Gravel et Price (1987, 1988, 1991, 1993). Nous utiliserons également les mêmes mesures de performance que dans les études antérieures à savoir: **le délai de fabrication de la commande, le nombre de réglages réalisés, le pourcentage d'utilisation des équipements et le stock-en-cours moyen.**

L'évaluation des différentes cellules sérielles sera limitée aux produits de quelques familles représentatives de la gamme de produits de l'entreprise. En effet, nous considérons qu'un échantillon limité de produits permettra de produire des résultats intéressants et de dégager des facteurs communs applicables à toute la gamme de produits. Cette limitation permettra de fournir des résultats pertinents dans un délai raisonnable.

Les conditions décrites précédemment seront d'abord utilisés pour la simulation de chaque produit dans un contexte d'atelier d'assemblage juste-à-temps. Les résultats obtenus fourniront une représentation du fonctionnement actuel de l'atelier de production et serviront de point de comparaison pour l'évaluation objective des performances des cellules sérielles retenues.

Par la suite, chacun des aménagements cellulaires hybrides comportant les cellules sérielles retenues sera soumise aux mêmes conditions de simulation. Il est à noter que seulement les meilleurs résultats impliquant des cellules sérielles seront retenus et que dans

certain cas plusieurs cellules identiques seront utilisées pour atteindre la meilleure performance possible.

**(f) Comparaison des résultats de simulation (objectif 4)**

Pour les quatre mesures de performance, l'écart entre les résultats du produit standard simulé en contexte d'atelier d'assemblage juste-à-temps et ceux des divers aménagements cellulaires hybrides de type sériel évalués sera établi et exprimé en pourcentage.

De la même façon, nous calculerons l'écart moyen pour tous les aménagements cellulaires hybrides de type sériel évalués pour un même produit ainsi que pour l'ensemble des produits d'une même famille. Nous tirerons nos conclusions relatives à la performance de l'aménagement cellulaire sur la base de ces résultats.

## **CHAPITRE II**

**LES CELLULES SÉRIELLES D'ASSEMBLAGE: PRÉSENTATION ET  
INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS D'UNE ÉTUDE DE CAS PAR SIMULATION**

## **2.1 Présentation des résultats**

### **2.1.1 Les familles naturelles de produits**

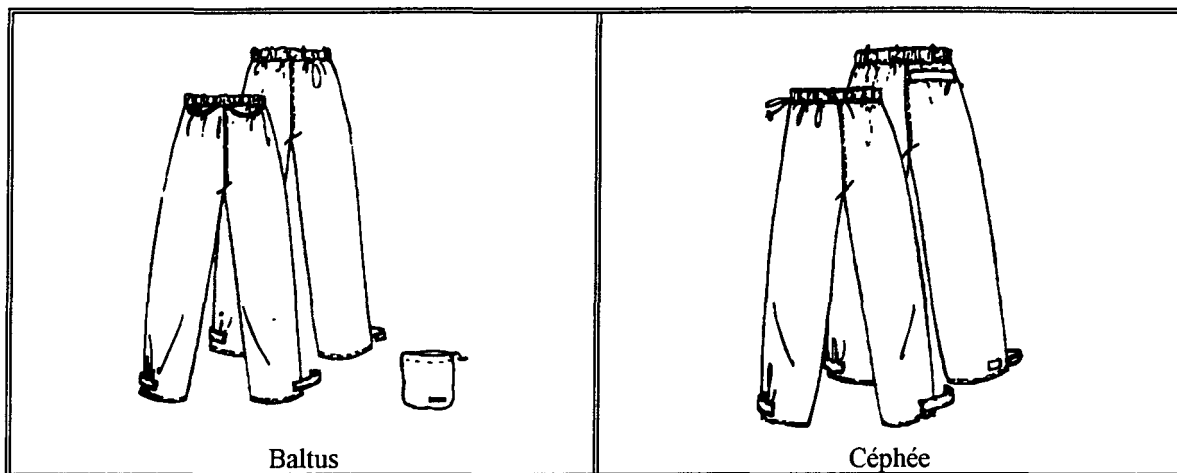
La gamme de produits de l'entreprise est constituée de 79 produits que nous avons regroupés en 7 familles naturelles distinctes sur la base des critères suivants: la similitude au niveau de l'aspect extérieur du vêtement, les tissus utilisés dans sa fabrication, le type de doublure et l'utilisation faite de ce vêtement. Le Tableau 2 présente la description de chacune des familles constituées et le nombre de produits dans chacune d'elles.

**Tableau 2**  
**Les familles de produits**

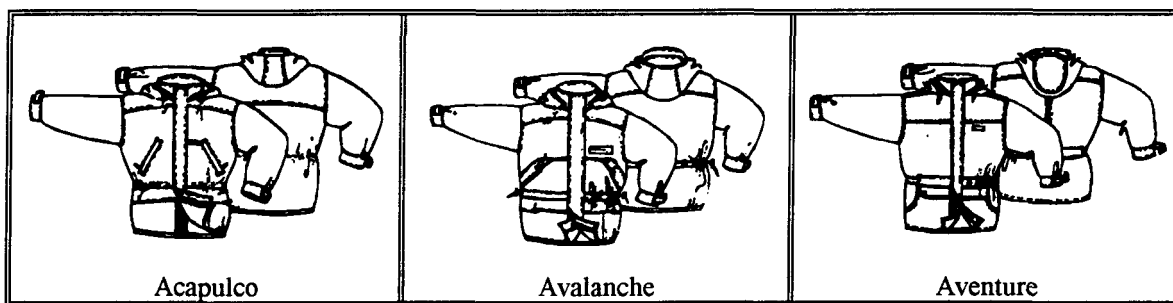
<b>FAMILLE</b>	<b>DESCRIPTION</b>	<b>NOMBRE DE PRODUITS</b>
<b>1</b>	Produits divers	23
<b>2</b>	Polar	7
<b>3</b>	Vestes courtes non-doublées	10
<b>4</b>	Vestes courtes doublées	4
<b>5</b>	Vestes longues non-doublées	10
<b>6</b>	Vestes longues doublées	10
<b>7</b>	Pantalons	15
	<b>TOTAL</b>	<b>79</b>

Après consultation auprès des responsables de la conception de ces vêtements, nous avons constaté que la standardisation des produits avait déjà été réalisée à son maximum par l'entreprise. Les produits des familles précédemment formées n'ont donc subi aucune transformation. Les produits d'une même famille devraient, en principe, avoir des similitudes. Les Figures 2 et 3 illustrent deux produits de la famille 7 et trois produits de la famille 6. Malgré des ressemblances physiques évidentes, les structures d'assemblage de ces produits présentent des différences importantes comme le montrent les diagrammes d'assemblage des Figures 4, 5, 6 7 et 8.

**Figure 2**  
**Deux produits de la famille 7**

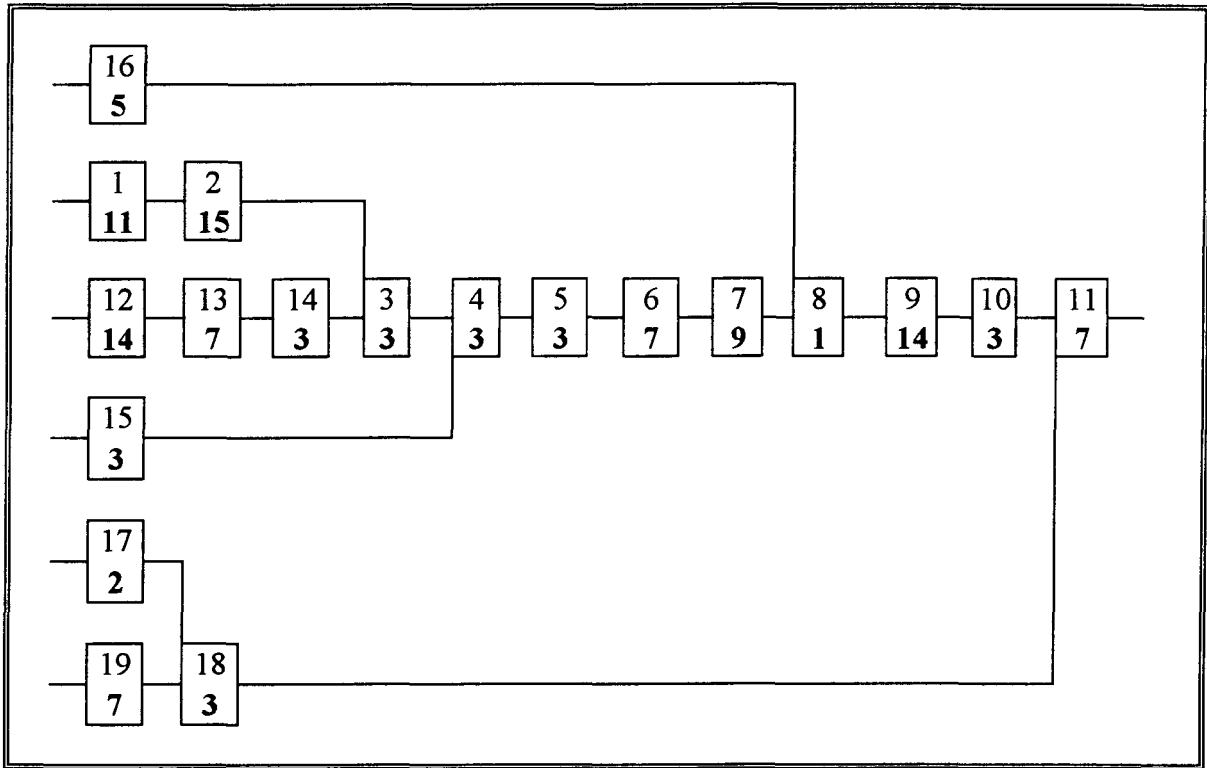


**Figure 3**  
**Trois produits de la famille 6**

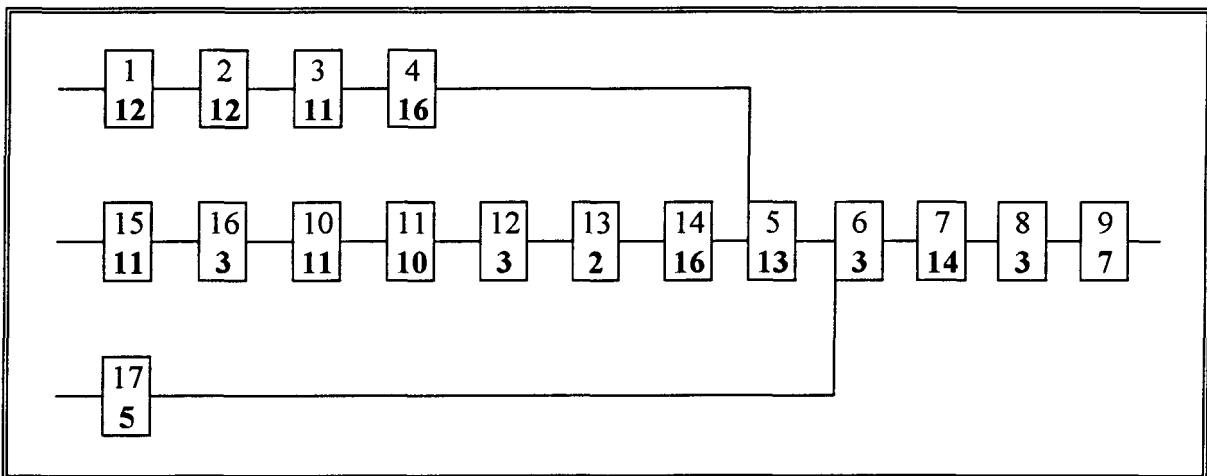




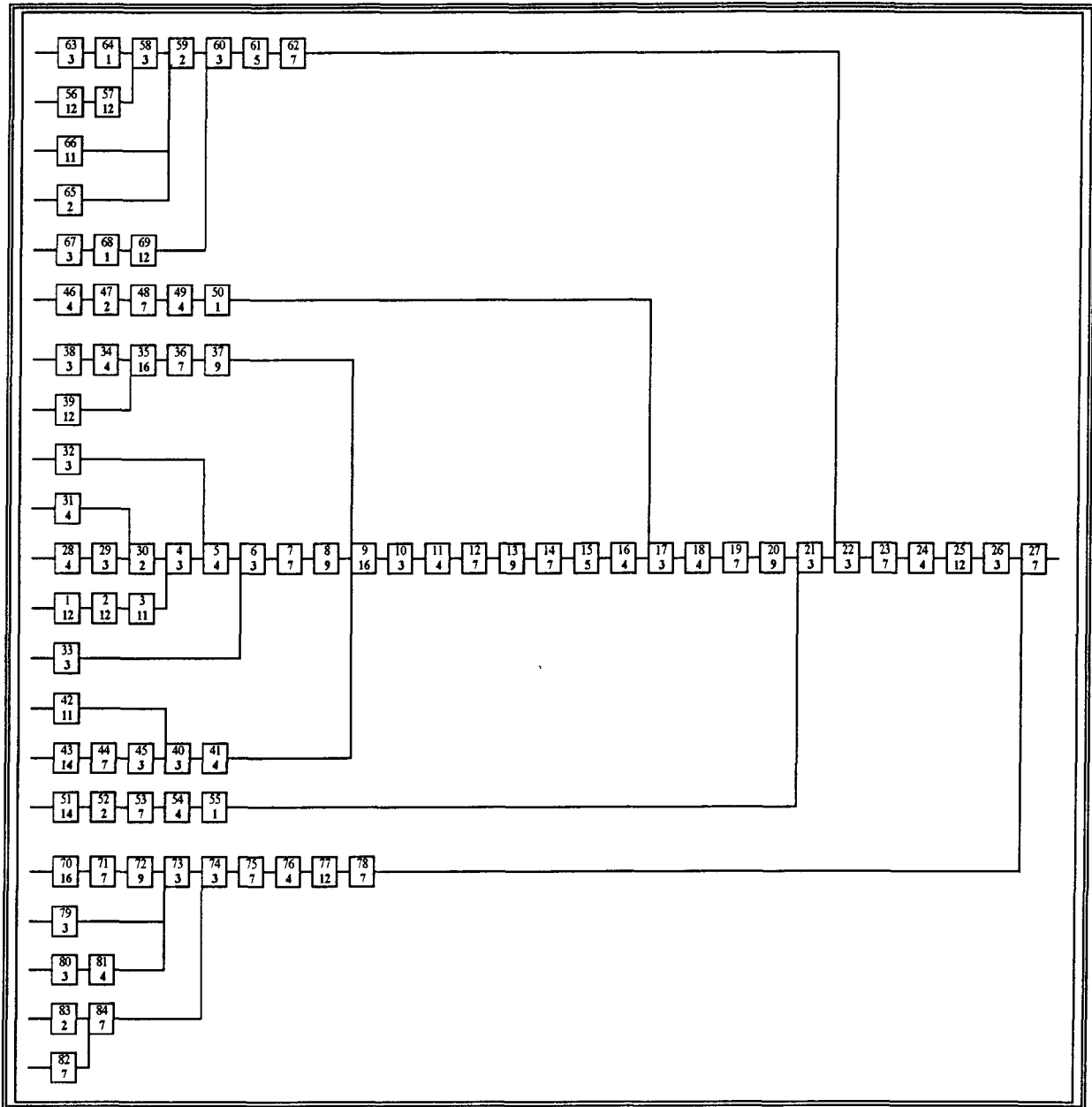
**Figure 4**  
**Diagramme d'assemblage - BALTUS**



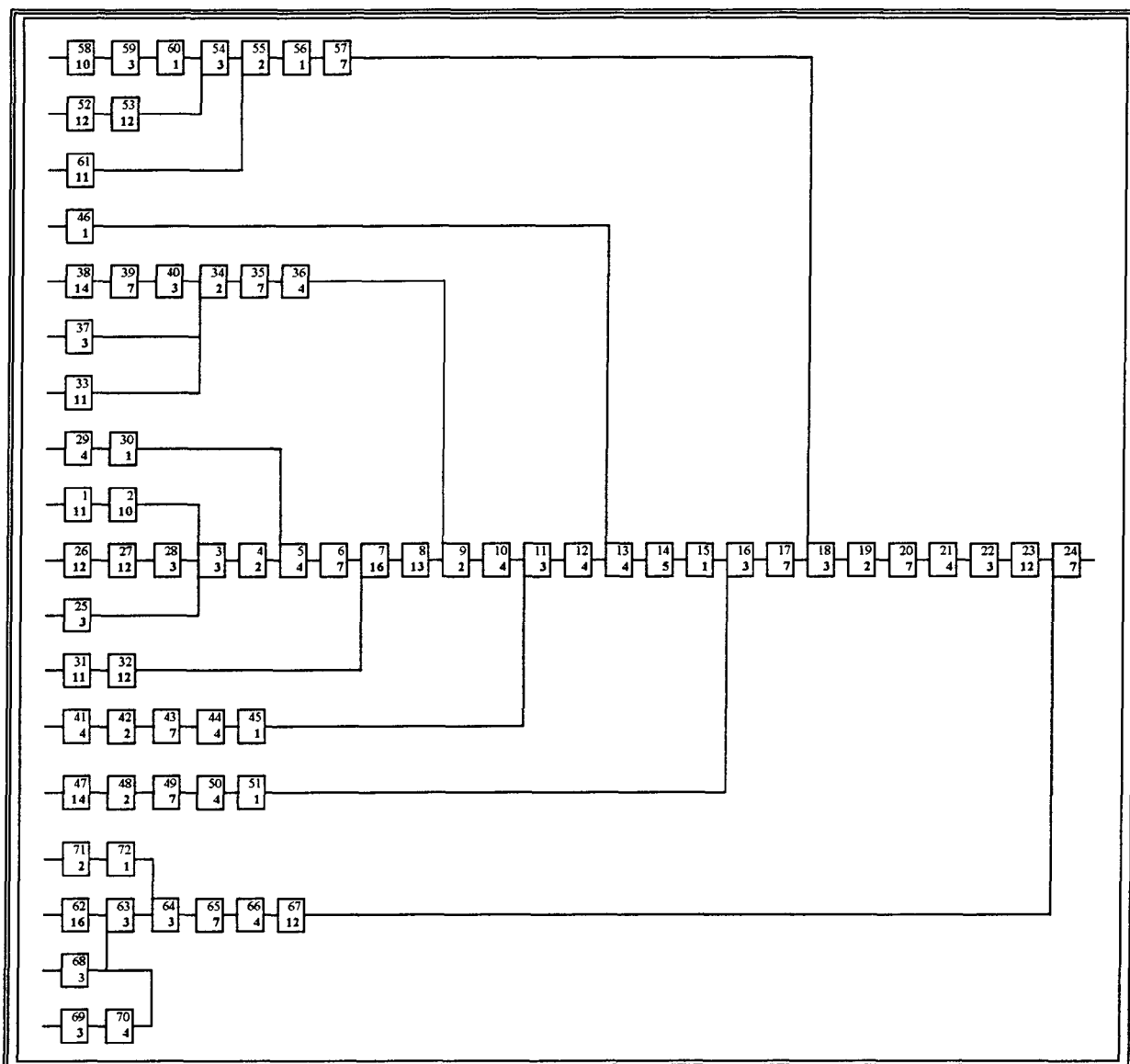
**Figure 5**  
**Diagramme d'assemblage - CÉPHÉE**



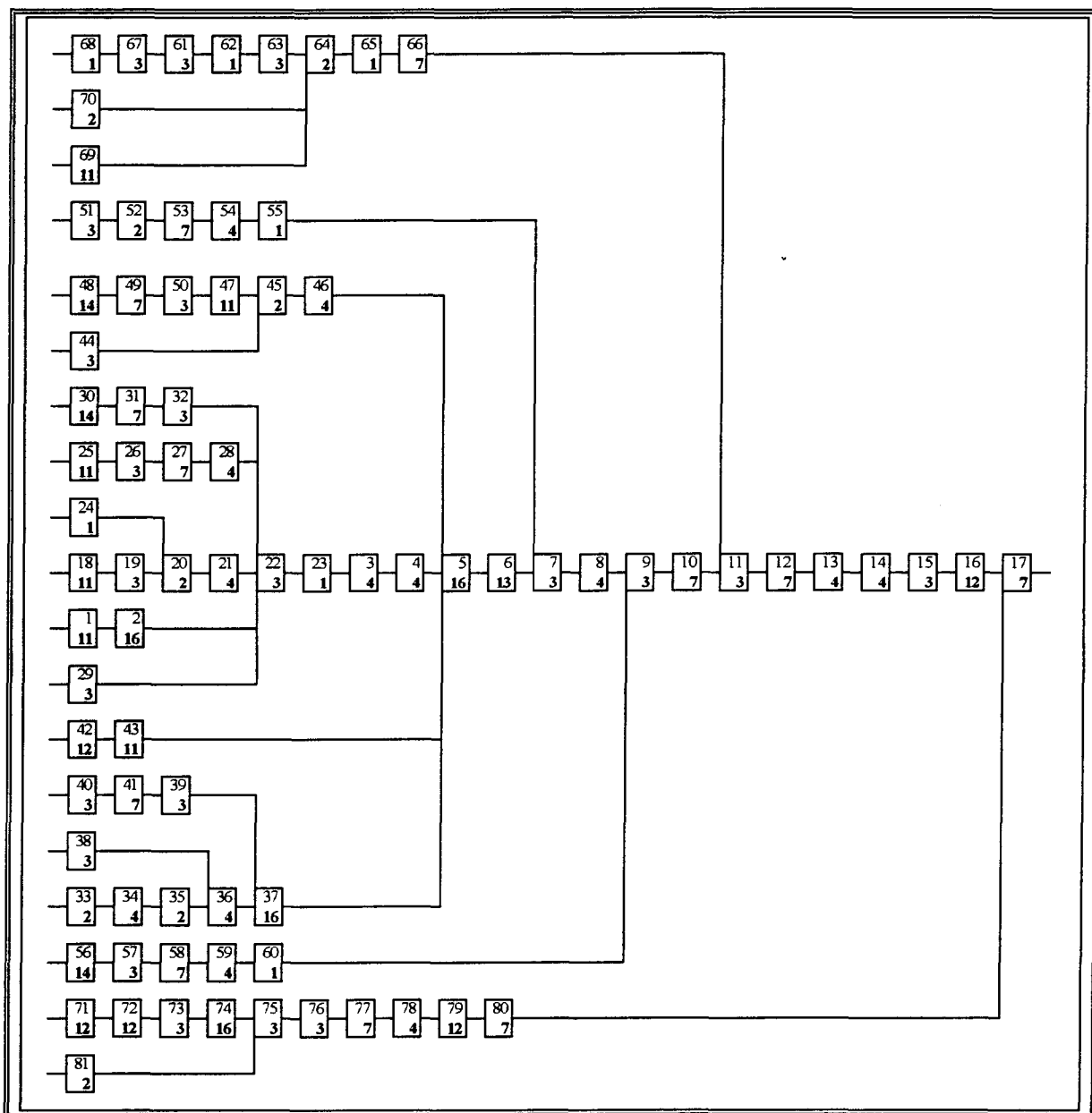
**Figure 6**  
**Diagramme d'assemblage - ACAPULCO**



**Figure 7**  
**Diagramme d'assemblage - AVALANCHE**



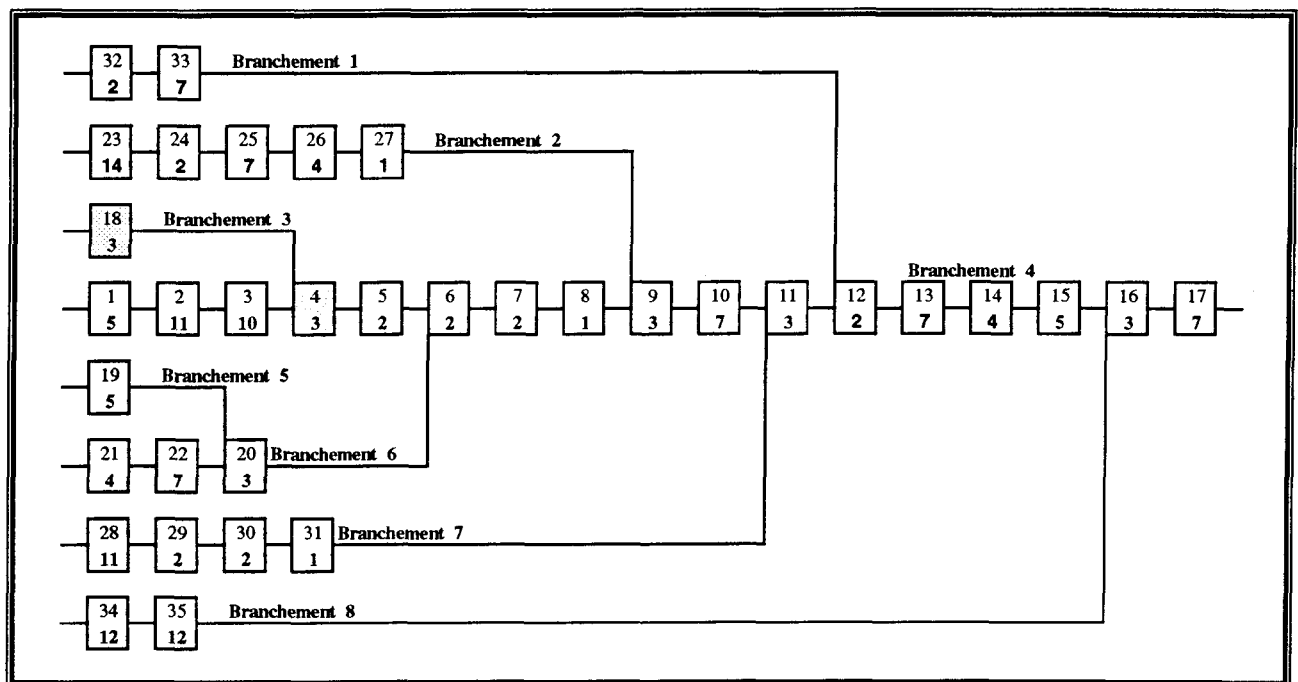
**Figure 8**  
**Diagramme d'assemblage - AVENTURE**



### 2.1.2 Les séquences indépendantes de machines

L'absence de similitudes globales au niveau des diagrammes d'assemblage des produits d'une même famille nous a amené à procéder à l'examen du routage des produits afin de dégager certaines similitudes particulières. Pour ce faire, un algorithme ayant pour fonction de décomposer le diagramme d'assemblage des produits a été élaboré afin d'en extraire toutes les séquences indépendantes. Une séquence indépendante est une suite d'opérations consécutives ne nécessitant qu'une seule opération comme pré-requis. Illustrons concrètement la notion de séquence indépendante à l'aide du diagramme d'assemblage du produit Glissa présenté à la Figure 9.

**Figure 9**  
**Diagramme d'assemblage du produit Glissa**



Le *branchement 1*, au haut du diagramme, constitue une séquence indépendante composée des machines 2-7 (les machines sont représentées par les chiffres du bas à l'intérieur de chaque case, les chiffres du haut représentant les numéros d'opération). Le *branchement 2* est composé de la séquence de machines 14-2-7-4-1 tandis que le *branchement 3* comprend la séquence constituée de la machine 3 uniquement. Le *branchement 4* comprend sept séquences distinctes, la première étant constituée des machines 5-11-10, la deuxième des machines 3-2, la troisième des machines 2-2-1 et ainsi de suite. Le *branchement 4* illustre très bien le principe d'indépendance des séquences. En effet, nous remarquons que la chaîne de départ se rompt à l'opération 4 (case ombragée du *branchement 4*) lorsque l'opération 18 (case ombragée du *branchement 3*) vient s'y rattacher, d'où les séquences 5-10-11 et 3-2 énumérés plus haut. Au total, nous obtenons, pour le produit Glissa, les 15 séquences indépendantes présentées au Tableau 3.

**Tableau 3**  
**Les séquences indépendantes du produit Glissa**

SÉQUENCES	BRANCHEMENT	SÉQUENCES	BRANCHEMENT	SÉQUENCES	BRANCHEMENT
(2-7)	1	(4-7)	6	(3-7)	4
(14-2-7-4-1)	2	(11-2-2-1)	7	3	4
3	3	(12-12)	8	(2-7-4-5)	4
(5-11-10)	4	(3-2)	4	(3-7)	4
5	5	(2-2-1)	4	3	6

Le Tableau 4 résume le nombre de séquences indépendantes de machines pour l'ensemble des produits de chaque famille naturelle.

**Tableau 4**  
**Le nombre de séquences indépendantes dans chaque famille de produits**

<b>FAMILLE</b>	<b>DESCRIPTION DES FAMILLES</b>	<b>NOMBRE DE SÉQUENCES INDÉPENDANTES</b>
<b>1</b>	Produits divers	116
<b>2</b>	Polar	65
<b>3</b>	Vestes courtes non-doublées	222
<b>4</b>	Vestes courtes doublées	72
<b>5</b>	Vestes longues non-doublées	282
<b>6</b>	Vestes longues doublées	284
<b>7</b>	Pantalons	154
	<b>TOTAL</b>	<b>1199</b>

Chacune de ces séquences a été par la suite décomposées. Par exemple, la séquence **14-2-7-4-1** produit 4 séquences de longueur 2 (14-2, 2-7, 7-4, 4-1), 3 séquences de longueur 3 (14-2-7, 2-7-4, 7-4-1), deux séquences de longueur 4 (14-2-7-4, 2-7-4-1) et une séquence de longueur 5. Pour former des cellules sérielles, l'ordre dans lequel les opérations s'effectuent sur les différentes machines est important et doit être respecté. Vous trouverez à l'annexe 1 un tableau présentant les séquences décomposées retrouvées à au moins deux reprises dans les produits d'une des familles. L'examen statistique de toutes les séquences décomposées nous amènent à conclure que:

- (i) pour l'ensemble des produits, les similitudes sont très faibles en ce qui a trait aux séquences de machines utilisées. Le Tableau 5 présente, pour les différentes longueurs de séquence, les plus hautes fréquences obtenues. Par exemple, la séquence de machines 3-7 est observée à 129 reprises dans les 1199 séquences indépendantes des 79 produits de l'entreprise.

**Tableau 5**  
**Séquences les plus fréquentes pour l'ensemble des produits**

SÉQUENCE LONGUEUR	SÉQUENCE	FRÉQUENCE MAXIMALE	POURCENTAGE
7	3-2-7-4-4-3-12	2	0.00167
6	3-2-7-4-3-12 3-2-7-4-4-3 3-7-4-3-12-7 14-7-3-11-3-4	3	0.00250
5	2-7-4-1-12	21	0.01751
4	2-7-4-1	48	0.04003
3	2-7-4	63	0.05254
2	3-7	129	0.10759

(ii) l'on retrouve également peu de similitudes entre les produits d'une même famille naturelle. Par exemple, au tableau 6, pour les soixante-douze séquences des quatre produits de la famille 4, nous retrouvons à 11 reprises les séquences (2-7) et (7-4), à 8 reprises les séquences (2-7-4) et (7-4-1), etc....

On peut constater encore une fois que, même si les produits sont similaires en apparence, ils sont réellement très différents dans leurs assemblages.

### 2.1.3 La sélection des cellules sérielles

Malgré la faible similitude entre les produits d'une même famille, des cellules d'assemblage de type sériel ont tout de même été formées à l'aide des résultats du Tableau 6. Pour l'évaluation de la performance de l'environnement cellulaire hybride, 29 produits ont été sélectionnés. Ces produits sont répartis dans **la famille 4** (4 vestes courtes doublées), **la famille 6** (10 vestes longues doublées) et **la famille 7** (15 pantalons). Ces trois familles couvrent bien la gamme de produits de l'entreprise et représentent les produits les plus complexes à fabriquer.



**Tableau 6**  
**Séquences les plus fréquentes dans chacune des familles de produits**

SÉQUENCE LONGUEUR	FAMILLE	SÉQUENCE	FRÉQUENCE MAXIMALE
7	3	(3-2-7-4-4-3-12)	2
6	1	(1-14-15-13-5-7), (4-3-16-12-12-7), (11-4-3-3-1-4)	2
	2	(3-2-3-15-5-7)	2
	3	(2-7-4-4-3-12), (3-2-7-4-4-3)	2
	4	(14-7-3-11-3-4)	1
	5	(3-9-9-4-3-12), (14-7-3-11-3-4), (16-13-14-7-7-9)	2
	6	(3-2-7-4-3-12)	3
	7	(3-7-4-3-12-7)	1
5	1	(5-12-12-12-7)	3
	2	(2-3-15-5-7)	3
	3,6	(2-7-4-1-12)	7,6
	5	(3-7-4-12-7)	5
	4	(14-2-7-4-1), (2-7-4-1-12)	3
	7	(2-7-14-3-7), (14-3-4-2-3)	2
4	1	(1-14-15-13), (3-3-3-3), (5-12-12-12), (12-12-12-7)	3
	2	(2-3-15-5), (3-15-5-7)	4
	3,4,6	(2-7-4-1)	13,7,18
	7	(3-4-2-3), (4-3-12-7)	2
	5	(3-7-4-12)	12
	7	(2-7-14-3), (2-11-2-7), (4-3-12-7), (7-14-3-7), (11-3-11-3), (11-10-3-2), (14-3-4-2)	2
3	1	(3-3-3), (3-3-7), (3-7-3), (12-12-7)	5
	2	(3-15-5), (2-3-15)	5
	3,4,6	(2-7-4)	15,8,25
	3,4	(7-4-1)	15,8
	7	(13-7-9)	5
	5	(3-7-4)	25
	7	(2-11-2), (13-7-9)	5
2	1	(3-3)	18
	2	(2-3)	19
	3,4	(2-7)	31,11
	4,6	(7-4)	11,42
	7	(3-7)	16
	5	(3-7)	38

Étant donné les ressources de production disponibles (Tableau 7) et le fait que l'évaluation de la performance de l'environnement cellulaire hybride doit se faire sans l'acquisition de nouveaux équipements, certaines cellules ne pourront être constituées et évaluées. Entre autres, toutes les cellules sérielles impliquant une machine de type 5, 6, 8, 10, 11, 14 et 15 ne peuvent être constituées et évaluées.

**Tableau 7**  
**Les ressources de production**

TYPE DE MACHINES	DESCRIPTION	QUANTITÉ
1	Surjeteuse 3 fils	3
2	Surjeteuse 5 fils	4
3	Simple aiguille	16
4	Double aiguille	7
5	Tacker	1
6	Velcro	1
7	Poste d'inspection	10
8	Machine à oeillets	1
9	Gortex	2
10	Machine à poches	1
11	Mach programmable	1
12	Presse	2
13	Double aiguille - pied libre	2
14	12 aiguilles	1
15	Colerette	1
16	Double aiguille - pied plieur	3

Pour la famille 7, nous avons choisi d'évaluer quelques cellules sérielles dont la fréquence était relativement élevée et près de la plus haute fréquence observée. Les cellules sérielles soumises à l'évaluation de performance seront donc celles présentées au Tableau 8.

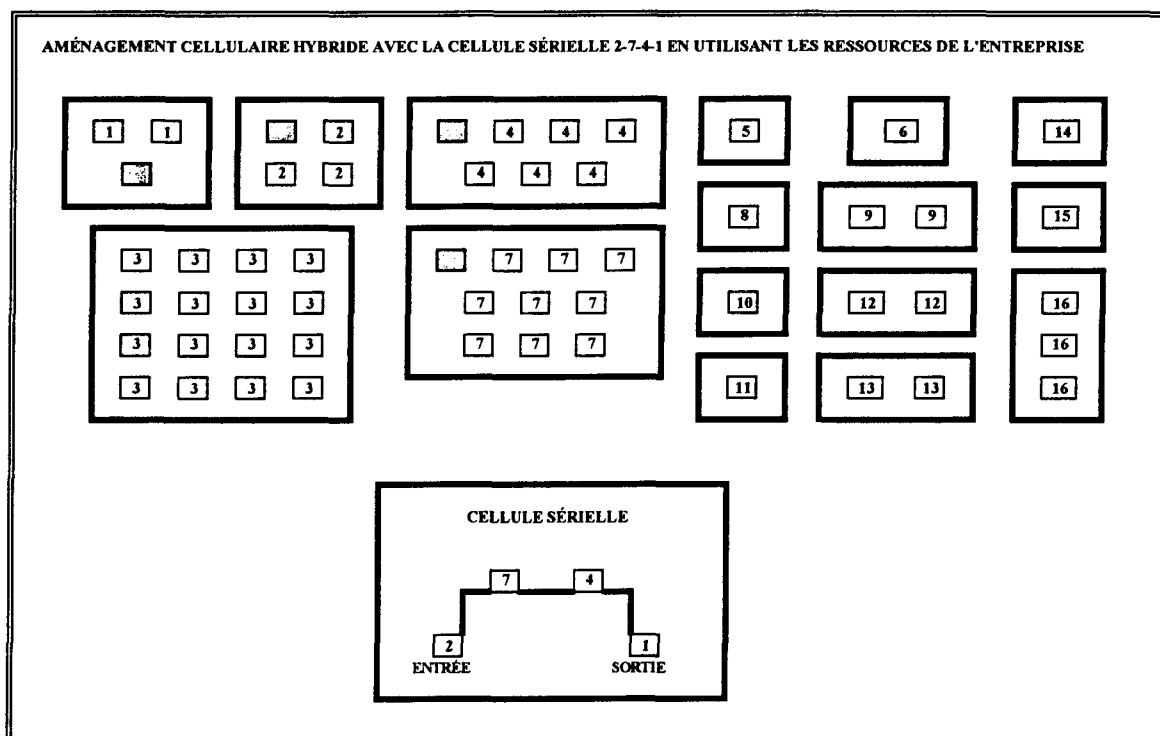
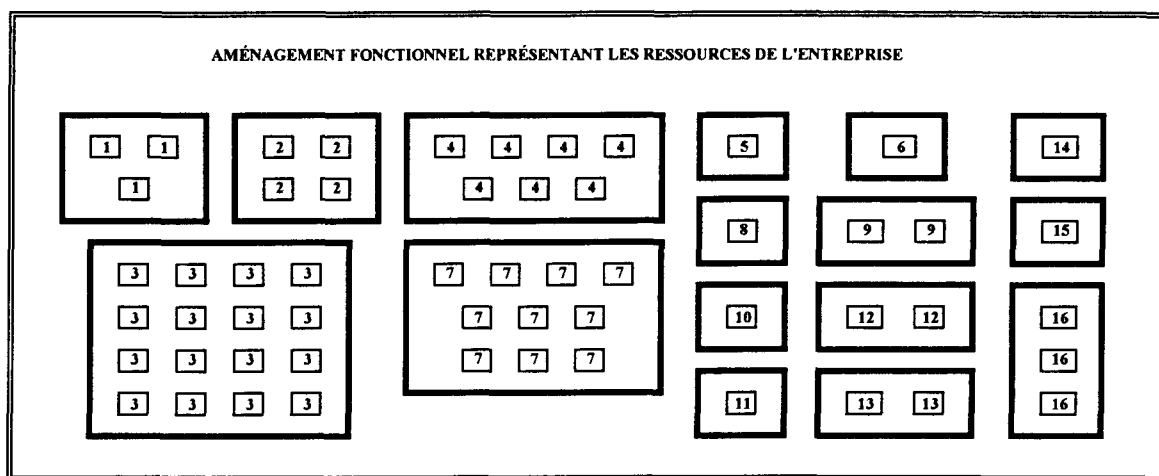
**Tableau 8**  
**Les cellules sérielles évaluées par famille**

FAMILLE	NUMÉRO CELLULE	SÉQUENCES DE MACHINES
<b>4</b>	1	(2-7)
	2	(2-7-4)
	3	(2-7-4-1)
	4	(7-4)
	5	(7-4-1)
<b>6</b>	1	(7-4)
	2	(2-7-4)
	3	(2-7-4-1)
	4	(2-7-4-1-12)
	5	(3-2-7-4-3-12)
<b>7</b>	1	(2-7)*
	2	(3-7)
	3	(3-4)*
	4	(7-9)*
	5	(13-7-9)
	6	(3-4-2-3)
	7	(4-3-12-7)

\* Cellules sérielles supplémentaires constituées pour fin d'évaluation

La Figure 10 illustre le passage d'un aménagement fonctionnel à un aménagement cellulaire hybride et représente les ressources de l'entreprise. L'encadré du haut de la Figure 10 présente l'aménagement fonctionnel tandis que l'encadré du bas représente l'aménagement cellulaire hybride avec, dans un premier temps, l'aménagement fonctionnel diminué des machines 2-7-4-1 (cases ombragées) et, dans un deuxième temps, la cellule sérielle constituée des mêmes machines. La direction des flèches montre clairement le principe des cellules sérielles, en ce sens que le respect absolu de la structure des produits doit être appliqué.

**Figure 10**  
**Illustration d'un aménagement cellulaire hybride**  
**représentant les ressources de l'entreprise**



#### 2.1.4 Les résultats des simulations

Nous avons ensuite simulé la fabrication des différents produits choisis à l'aide du modèle de simulation développé par Gravel et Price (1988, 1991). Une adaptation du logiciel, pour tenir compte de la notion de cellules sérielles, a été rendue nécessaire.

Dans un premier temps, chacun des 29 produits a été simulé dans un contexte d'atelier fonctionnel juste-à-temps dans les conditions suivantes: la fabrication d'une commande de 300 unités pour chaque produit, l'utilisation d'une taille de lot de 5 unités, l'utilisation de 2 cartes kanban et d'une règle d'ordonnancement basée sur un balayage alterné d'une partition multipartite du diagramme d'assemblage [critère 5 défini par Gravel et Price (INFOR 1993)]. Les mesures d'évaluation de performance retenues sont: le délai de fabrication de la commande, le nombre de réglages réalisés, le pourcentage d'utilisation des équipements et le stock-en-cours moyen. Dans un deuxième temps, la simulation de chaque aménagement cellulaire hybride impliquant les cellules sérielles identifiées précédemment a été réalisée dans les mêmes conditions.

Les résultats obtenus pour chacun des aménagements simulés sont présentés au Tableau 9 (**famille 4**), Tableau 10 (**famille 6**) et Tableau 11 (**famille 7**). Dans chacun de ces tableaux, nous retrouvons tout d'abord le nom du produit et les résultats des 4 mesures de performance. Par la suite, nous retrouvons la composition de chaque cellule sériele, la fréquence à laquelle on retrouve cette séquence de machines dans le produit, le nombre de cellules sérielles identiques utilisées pour l'obtention du résultat optimal, les résultats des quatre mesures de performance de même que l'écart entre les résultats de chaque cellule sériele et ceux de l'atelier fonctionnel juste-à-temps pour chaque mesure de performance. A

la fin de chaque tableau, nous retrouvons certaines statistiques de performance pour l'ensemble des produits d'une même famille.

**Tableau 9**  
**Résultats de simulation de la famille 4**

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Blues			18:12:40		2454		0.53		3.98	
Cellule 1 (2-7)	2	1	21:16:45	16.85%	2028	-17.36%	0.45	-14.42%	4.31	8.29%
Cellule 2 (2-7-4)	2	1	21:15:45	16.76%	1992	-18.83%	0.45	-14.35%	4.32	8.54%
Cellule 3 (2-7-4-1)	2	1	21:19:30	17.10%	2047	-16.59%	0.45	-14.60%	4.30	8.04%
Cellule 4 (7-4)	4	2	18:2:40	-0.92%	2265	-7.70%	0.53	0.92%	3.92	-1.51%
Cellule 5 (7-4-1)	3	1	18:12:10	-0.05%	2252	-8.23%	0.53	0.05%	3.99	0.25%
ÉCART MOYEN				9.95%		-13.74%		-8.48%		4.72%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Frisco			23:8:25		1921		0.37		3.57	
Cellule 1 (2-7)	5	2	28:35:5	23.53%	2166	12.75%	0.30	-19.05%	5.13	43.70%
Cellule 2 (2-7-4)	3	1	25:40:5	10.92%	2212	15.15%	0.34	-9.85%	4.91	37.54%
Cellule 3 (2-7-4-1)	3	1	25:40:20	10.94%	2248	17.02%	0.34	-9.86%	4.85	35.85%
Cellule 4 (7-4)	3	2	23:0:55	-0.54%	2053	6.87%	0.37	0.54%	3.63	1.68%
Cellule 5 (7-4-1)	3	1	23:9:50	0.10%	2284	18.90%	0.37	-0.10%	3.53	-1.12%
ÉCART MOYEN				8.99%		14.14%		-7.66%		23.53%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Glissade			25:1:30		1004		0.26		3.89	
Cellule 1 (2-7)	3	1	25:26:10	1.64%	1119	11.45%	0.26	-1.62%	4.40	13.11%
Cellule 2 (2-7-4)	2	1	26:14:45	4.88%	1061	5.68%	0.25	-4.65%	4.56	17.22%
Cellule 3 (2-7-4-1)	1	1	29:16:30	16.98%	944	-5.98%	0.22	-14.52%	4.63	19.02%
Cellule 4 (7-4)	2	2	24:52:5	-0.63%	1288	28.29%	0.26	0.63%	3.92	0.77%
Cellule 5 (7-4-1)	1	1	24:54:40	-0.46%	949	-5.48%	0.26	0.46%	3.94	1.29%
ÉCART MOYEN				4.48%		6.79%		-3.94%		10.28%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Nevada			15:37:55		894		0.31		3.74	
Cellule 1 (2-7)	1	1	17:52:45	14.38%	893	-0.11%	0.27	-12.57%	4.42	18.18%
Cellule 2 (2-7-4)	1	1	17:52:45	14.38%	875	-2.13%	0.27	-12.57%	4.46	19.25%
Cellule 3 (2-7-4-1)	1	1	17:52:45	14.38%	854	-4.47%	0.27	-12.57%	4.48	19.79%
Cellule 4 (7-4)	2	2	15:30:5	-0.84%	790	-11.63%	0.31	0.84%	4.58	22.46%
Cellule 5 (7-4-1)	1	1	15:37:55	0.00%	858	-4.03%	0.31	0.00%	3.80	1.60%
ÉCART MOYEN				8.46%		-4.47%		-7.37%		16.26%

ÉCART MOYEN GLOBAL				7.97%		0.68%		-6.86%		13.70%
--------------------	--	--	--	-------	--	-------	--	--------	--	--------

ÉCART MOYEN - CELLULES 1 A 3			12.52%		-0.26%		-10.82%		19.12%
------------------------------	--	--	--------	--	--------	--	---------	--	--------

ÉCART MOYEN - CELLULES 4 ET 5			-0.41%		2.12%		0.42%		3.18%
-------------------------------	--	--	--------	--	-------	--	-------	--	-------

**Tableau 10**  
**Résultats de simulation de la famille 6**

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Acapulco			37: 2:45		3247		0.41		4.76	
Cellule 1 (7-4)	4	2	36:39: 0	-1.07%	3107	-4.31%	0.41	1.08%	4.77	0.21%
Cellule 2 (2-7-4)	2	1	37:27:15	1.10%	3531	8.75%	0.40	-1.09%	4.8	0.84%
Cellule 3 (2-7-4-1)	2	1	37:27:15	1.10%	3505	7.95%	0.40	-1.09%	4.8	0.84%
ÉCART MOYEN				0.38%		4.13%		-0.37%		0.63%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Avalanche			27:30: 0		2782		0.42		4.45	
Cellule 1 (7-4)	5	3	27: 9:40	-1.23%	2836	1.94%	0.42	1.25%	4.5	1.12%
Cellule 2 (2-7-4)	4	1	32:30:55	18.24%	2729	-1.91%	0.35	-15.42%	4.5	1.12%
Cellule 3 (2-7-4-1)	2	1	30:52:15	12.26%	2838	2.01%	0.37	-10.92%	4.84	8.76%
Cellule 5 (3-2-7-4-3-12)	1	1	31:37:50	15.02%	2581	-7.23%	0.33	-20.90%	4.27	-4.04%
ÉCART MOYEN				11.07%		-1.29%		-11.50%		1.74%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Aventure			39:14:45		3746		0.33		4.64	
Cellule 1 (7-4)	5	2	39: 2:25	-0.52%	3982	6.30%	0.33	0.53%	4.69	1.08%
Cellule 2 (2-7-4)	1	1	39:14:45	0.00%	3656	-2.40%	0.33	0.00%	4.69	1.08%
Cellule 3 (2-7-4-1)	1	1	39:14:45	0.00%	3529	-5.79%	0.33	0.00%	4.69	1.08%
ÉCART MOYEN				-0.17%		-0.63%		0.18%		1.08%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Baffin			28:49:30		3666		0.42		3.83	
Cellule 1 (7-4)	6	3	28:42: 0	-0.43%	3508	-4.31%	0.42	0.44%	3.85	0.52%
Cellule 2 (2-7-4)	4	1	30:45:20	6.70%	3532	-3.66%	0.39	-6.28%	4.46	16.45%
Cellule 3 (2-7-4-1)	3	1	31:53: 5	10.61%	3594	-1.96%	0.38	-9.60%	4.75	24.02%
Cellule 4 (2-7-4-1-12)	2	1	34:10:10	18.54%	3549	-3.19%	0.35	-15.64%	4.44	15.93%
Cellule 5 (3-2-7-4-3-12)	1	1	33:21:35	15.73%	3339	-8.92%	0.33	-21.01%	3.84	0.26%
ÉCART MOYEN				10.23%		-4.41%		-10.42%		11.44%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Beijing			19: 6:40		2205		0.44		1.69	
Cellule 1 (7-4)	4	1	18:59:30	-0.62%	2177	-1.27%	0.44	0.63%	1.48	-12.43%
Cellule 2 (2-7-4)	2	1	19: 6:40	0.00%	2222	0.77%	0.44	0.00%	1.69	0.00%
Cellule 3 (2-7-4-1)	2	1	19: 6:40	0.00%	2235	1.36%	0.44	0.00%	1.7	0.59%
Cellule 4 (2-7-4-1-12)	2	1	23:36:50	23.56%	2083	-5.53%	0.36	-19.07%	4.22	49.70%
ÉCART MOYEN				5.73%		-1.17%		-4.61%		34.47%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Caphorn			25:26:25		2733		0.46		4.83	
Cellule 1 (7-4)	4	3	25: 0: 5	-1.73%	2643	-3.29%	0.47	1.76%	4.85	0.41%
Cellule 2 (2-7-4)	2	1	25: 2:15	-1.58%	2625	-3.95%	0.47	1.61%	4.74	-1.86%
Cellule 3 (2-7-4-1)	1	1	30:14:40	18.88%	2354	-13.87%	0.39	-15.88%	4.79	-0.83%
Cellule 5 (3-2-7-4-3-12)	1	1	25:42: 5	1.03%	2410	-11.82%	0.41	-10.79%	4.73	-2.07%
ÉCART MOYEN				4.15%		-8.23%		-5.83%		-1.09%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Foxbay			27:10: 5		3169		0.42		4.1	
Cellule 1 (7-4)	6	2	26:55: 5	-0.92%	3059	-3.47%	0.43	0.93%	4.18	1.95%
Cellule 2 (2-7-4)	5	1	28:36:25	5.30%	2838	-10.44%	0.40	-5.03%	3.36	-18.05%
Cellule 3 (2-7-4-1)	4	1	27:26:50	1.03%	3086	-2.62%	0.42	-1.02%	4.36	6.34%
Cellule 4 (2-7-4-1-12)	2	1	43:50:10	61.35%	2975	-6.12%	0.26	-38.02%	4.49	9.51%
ÉCART MOYEN				16.69%		-5.66%		-10.79%		-0.06%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Parkam			34:55: 0		2853		0.30		3.5	
Cellule 1 (7-4)	2	1	34:42:20	-0.60%	2843	-0.35%	0.30	0.61%	3.49	-0.29%
Cellule 2 (2-7-4)	1	1	34:43:10	-0.56%	2599	-8.90%	0.30	0.57%	3.39	-3.14%
ÉCART MOYEN				-0.58%		-4.63%		0.59%		-1.71%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Shangai			22: 1:10		2364		0.39		3.59	
Cellule 1 (7-4)	4	2	21:42:40	-1.40%	2308	-2.37%	0.40	1.42%	3.64	1.39%
Cellule 2 (2-7-4)	3	1	24: 0:60	9.07%	2334	-1.27%	0.36	-8.32%	4.52	25.91%
Cellule 3 (2-7-4-1)	3	1	24: 2:30	9.18%	2308	-2.37%	0.36	-8.41%	4.57	27.30%
ÉCART MOYEN				5.62%		-2.00%		-5.10%		18.20%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Stratus			24:18:55		1581		0.32		3.86	
Cellule 1 (7-4)	2	2	23:12: 0	-4.59%	1565	-1.01%	0.34	4.81%	3.8	-1.55%
Cellule 2 (2-7-4)	1	1	23:47:35	-2.15%	1492	-5.63%	0.33	2.19%	3.88	0.52%
ÉCART MOYEN				-3.37%		-3.32%		3.50%		-0.52%

ÉCART MOYEN GLOBAL				4.97%		-2.72%		-4.43%		6.42%
--------------------	--	--	--	-------	--	--------	--	--------	--	-------

ÉCART MOYEN - CELLULES 1 A 3				2.72%		-2.00%		-2.33%		2.98%
------------------------------	--	--	--	-------	--	--------	--	--------	--	-------

ÉCART MOYEN - CELLULE 4				34.48%		-4.95%		-24.24%		58.38%
-------------------------	--	--	--	--------	--	--------	--	---------	--	--------

ÉCART MOYEN - CELLULE 5				10.59%		-9.32%		-17.57%		-1.95%
-------------------------	--	--	--	--------	--	--------	--	---------	--	--------



**Tableau 11**  
**Résultats de simulation de la famille 7**

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Andoori			27:13:35		1622		0.32		4.25	
Cellule 2 (3-7)	3	2	26:56:55	-1.02%	1465	-9.68%	0.32	1.03%	4.27	0.47%
Cellule 3 (3-4)	1	2	27:16:60	0.21%	714	-55.98%	0.32	-0.21%	4.37	2.82%
Cellule 4 (7-9)	2	1	27:15:25	0.11%	953	-41.25%	0.32	-0.11%	4.36	2.59%
Cellule 5 (13-7-9)	1	1	27:14:20	0.05%	764	-52.90%	0.32	-0.05%	4.33	1.88%
ÉCART MOYEN				-0.16%		-39.95%		0.17%		1.94%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Baltus			13:47:27		197		0.25		3.87	
Cellule 2 (3-7)	1	2	13:56:37	1.11%	201	2.03%	0.25	-1.10%	3.72	-3.88%
Cellule 4 (7-9)	1	1	13:56:37	1.11%	191	-3.05%	0.25	-1.10%	3.71	-4.13%
ÉCART MOYEN				1.11%		-0.51%		-1.10%		-4.01%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Céphée			17:13:15		236		0.17		2.35	
Cellule 2 (3-7)	1	1	17: 5:20	-0.77%	234	-0.85%	0.17	0.77%	2.36	0.43%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Cirrus			18:18:10		495		0.20		1.37	
Cellule 1 (2-7)	2	2	18:10:40	-0.68%	375	-24.24%	0.20	0.69%	1.42	3.65%
Cellule 2 (3-7)	1	1	18:11:25	-0.61%	494	-0.20%	0.20	0.62%	1.37	0.00%
Cellule 4 (7-9)	1	1	18:10:40	-0.68%	324	-34.55%	0.20	0.69%	1.26	-8.03%
Cellule 5 (13-7-9)	1	1	18: 1:30	-1.52%	324	-34.55%	0.21	1.54%	1.13	-17.52%
ÉCART MOYEN				-0.87%		-23.38%		0.88%		-5.47%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Héron			19:55:35		1683		0.25		4.85	
Cellule 1 (2-7)	1	3	19:29:35	-2.17%	1616	-3.98%	0.25	0.22%	4.71	-2.89%
Cellule 3 (3-4)	5	2	19:48:40	-0.58%	1725	2.50%	0.25	0.58%	3.94	-18.76%
Cellule 6 (3-4-2-3)	1	2	19:38:10	-1.46%	1668	-0.89%	0.23	-6.34%	4.79	-1.24%
ÉCART MOYEN				-1.40%		-0.79%		-1.85%		-7.63%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Jane			17:18:50		501		0.22		3.8	
Cellule 1 (2-7)	1	1	21:22:45	23.48%	495	-1.20%	0.18	-19.02%	4.42	16.32%
Cellule 2 (3-7)	1	1	17:11:20	-0.72%	443	-11.58%	0.22	0.73%	3.83	0.79%
ÉCART MOYEN				11.38%		-6.39%		-9.14%		8.55%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Kangourou			38:19:60		2289		0.38		3.12	
Cellule 1 (2-7)	1	2	37:50:20	-1.29%	2155	-5.85%	0.38	1.31%	3.16	1.28%

Cellule 2 (3-7)	2	2	37:47:40	-1.41%	2185	-4.54%	0.38	1.43%	3.08	-1.28%
Cellule 4 (7-9)	3	1	36:15:15	-5.42%	2246	-1.88%	0.40	5.73%	2.5	-19.87%
ÉCART MOYEN				-2.71%		-4.09%		2.82%		-6.62%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Lama			15:42:60		436		0.24		2.97	
Cellule 1 (2-7)	2	3	15:34:15	-0.93%	422	-3.21%	0.24	-1.08%	3	1.01%
Cellule 2 (3-7)	1	2	15:36:15	-0.72%	417	-4.36%	0.24	0.72%	2.99	0.67%
Cellule 4 (7-9)	1	1	15:35:30	-0.80%	421	-3.44%	0.24	0.80%	2.83	-4.71%
Cellule 5 (13-7-9)	1	1	15:29:30	-1.43%	420	-3.67%	0.24	1.45%	2.82	-5.05%
ÉCART MOYEN				-0.97%		-3.67%		0.47%		-2.02%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Nagasaki			28:55:20		766		0.19		4.92	
Cellule 1 (2-7)	1	1	28:55:20	0.00%	674	-12.01%	0.19	0.00%	4.93	0.20%
Cellule 3 (3-4)	3	1	29:28:45	1.93%	745	-2.74%	0.19	-1.89%	4.26	-13.41%
Cellule 6 (3-4-2-3)	1	1	29:35:35	2.32%	810	5.74%	0.17	-10.93%	4.86	-1.22%
ÉCART MOYEN				1.42%		-3.00%		-4.27%		-4.81%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Nuptse			21:35:0		1533		0.46		3.66	
Cellule 1 (2-7)	1	2	21:30:60	-0.31%	1569	2.35%	0.46	0.31%	3.62	-1.09%
Cellule 2 (3-7)	1	4	21:9:50	-1.94%	1608	4.89%	0.47	1.98%	3.63	-0.82%
Cellule 3 (3-4)	1	2	25:14:55	16.98%	1216	-20.68%	0.39	-14.52%	3.58	-2.19%
Cellule 4 (7-9)	1	1	22:33:5	4.49%	992	-35.29%	0.44	-4.29%	3.9	6.56%
Cellule 7 (4-3-12-7)	1	1	30:1:40	39.12%	875	-42.92%	0.3	-34.26%	4.43	21.04%
ÉCART MOYEN				11.67%		-18.33%		-10.16%		4.70%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Pantalo			31:8:15		963		0.17		3.07	
Cellule 2 (3-7)	2	1	31:0:20	-0.42%	867	-9.97%	0.17	0.43%	3.09	0.65%
Cellule 4 (7-9)	3	1	30:57:30	-0.58%	952	-1.14%	0.17	0.58%	3.13	1.95%
Cellule 5 (13-7-9)	2	1	32:36:55	4.75%	994	3.22%	0.16	-4.53%	3.51	14.33%
ÉCART MOYEN				1.25%		-2.63%		-1.18%		5.65%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Pkluane			14:41:50		399		0.25		3.01	
Cellule 1 (2-7)	1	2	18:07:05	23.16%	305	-23.56%	0.20	-18.81%	3.89	29.24%
Cellule 2 (3-7)	1	1	14:34:40	-0.81%	384	-3.76%	0.25	0.82%	3.04	1.06%
ÉCART MOYEN				11.17%		-13.66%		-8.99%		15.12%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Puffin			15:0:20		476		0.24		1.72	
Cellule 2 (3-7)	1	2	14:57:60	-0.26%	467	-1.89%	0.24	0.26%	1.72	0.00%
Cellule 3 (3-4)	1	1	15:0:20	0.00%	338	-28.99%	0.24	0.00%	1.73	0.58%
ÉCART MOYEN				-0.13%		-15.44%		0.13%		0.29%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Rafale			14:36:15		331		0.23		3.26	
Cellule 1 (2-7)	1	2	14:27:30	-1.08%	349	5.44%	0.23	1.01%	3.29	0.92%

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Toundra			24: 2:55		484		0.30		4.53	
Cellule 1 (2-7)	1	2	24: 0:55	-0.14%	708	46.28%	0.30	0.14%	4.35	-3.97%
Cellule 2 (3-7)	2	4	23:44:15	-1.29%	455	-5.99%	0.30	1.31%	4.59	1.32%
Cellule 7 (4-3-12-7)	1	1	42:34:60	77.07%	246	-49.17%	0.15	-49.45%	5.92	30.68%
ÉCART MOYEN				25.21%		-2.96%		-16.00%		9.35%

ÉCART MOYEN GLOBAL				3.68%		-8.68%		-3.10%		1.09%
--------------------	--	--	--	-------	--	--------	--	--------	--	-------

ÉCART MOYEN - CELLULES 1 A 6				1.90%		-6.18%		-1.86%		0.11%
------------------------------	--	--	--	-------	--	--------	--	--------	--	-------

ÉCART MOYEN - CELLULE 7				58.10%		-46.05%		-41.85%		25.86%
-------------------------	--	--	--	--------	--	---------	--	---------	--	--------

## 2.2 Analyse des résultats

### 2.2.1 Les produits de la famille 4

Au Tableau 9, nous remarquons pour les produits de la famille 4 qui sont des vestes courtes doublées, que les cellules sérielles 1, 2 et 3 donnent des résultats qui sont en moyenne inférieures au produit standard pour trois des quatre mesures de performance. Par contre, les cellules sérielles 5 et 6 obtiennent des résultats qui se rapprochent du produit standard allant même jusqu'à améliorer en moyenne le délai de fabrication d'une commande de 0.41 % et le pourcentage d'utilisation des équipements de 0.42%.

La piètre performance des trois premiers aménagements cellulaires hybrides évalués s'expliquent par une mauvaise répartition de la charge de travail sur la machine 2. Par exemple, pour le produit **Frisco**, dont vous trouverez le diagramme d'assemblage à la Figure 11 et la répartition de charge de travail présentée au Tableau 12 (les Annexes 2 et 3 présentent les diagrammes d'assemblage de même que les tableaux de répartition de charge

de travail pour les 29 produits évalués), nous remarquons que 10 opérations totalisant 986 secondes de temps d'opération doivent s'effectuer sur les 4 machines de type 2 disponibles. Or, la cellule sérielle 1, formée des machines 2-7 est présente à cinq reprises dans la diagramme d'assemblage du produit Frisco et un total de 367 secondes de temps d'opération sur la machine 2 (voir le tableau du haut de la Figure 9), représentant 37 % du temps total à faire sur ce type de machine, est déplacé dans la cellule et crée un déséquilibre de charge avec le reste de l'atelier.

Même en supposant l'utilisation de deux cellules sérielles 1 identiques, nous n'arrivons pas à obtenir l'**équilibre** entre les machines de types 2 du parc des machines de l'usine et celles utilisées à l'intérieur des cellules, d'où le temps de fabrication supérieur obtenu avec ce type de cellule. Les deux cellules sérielles 1 sont suffisantes pour les 367 secondes requises (5 opérations) mais il ne reste que deux machines 2 pour effectuer les 619 secondes restantes (5 opérations), ce qui cause une surcharge de travail pour le parc de machines de l'usine.

**Tableau 12**  
**Répartition de la charge de travail du produit Frisco**

TYPE DE MACHINES	1	2	3	4	7	10	11	12	13
ABRÉVIATION	SU3	SU5	SA	DA	MA	PO	BAS	PR	DL
NOMBRE DE MACHINES	3	4	16	7	10	1	1	2	2
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	448	986	1609	545	568	113	41	188	257
POURCENTAGE	9%	21%	34%	11%	12%	2%	1%	4%	5%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	8	10	17	7	8	3	1	3	1
POURCENTAGE	14%	17%	29%	12%	14%	5%	2%	5%	2%

TEMPS TOTAL D'OPÉRATION (SEC):	4755
--------------------------------	------

NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:	58
----------------------------	----

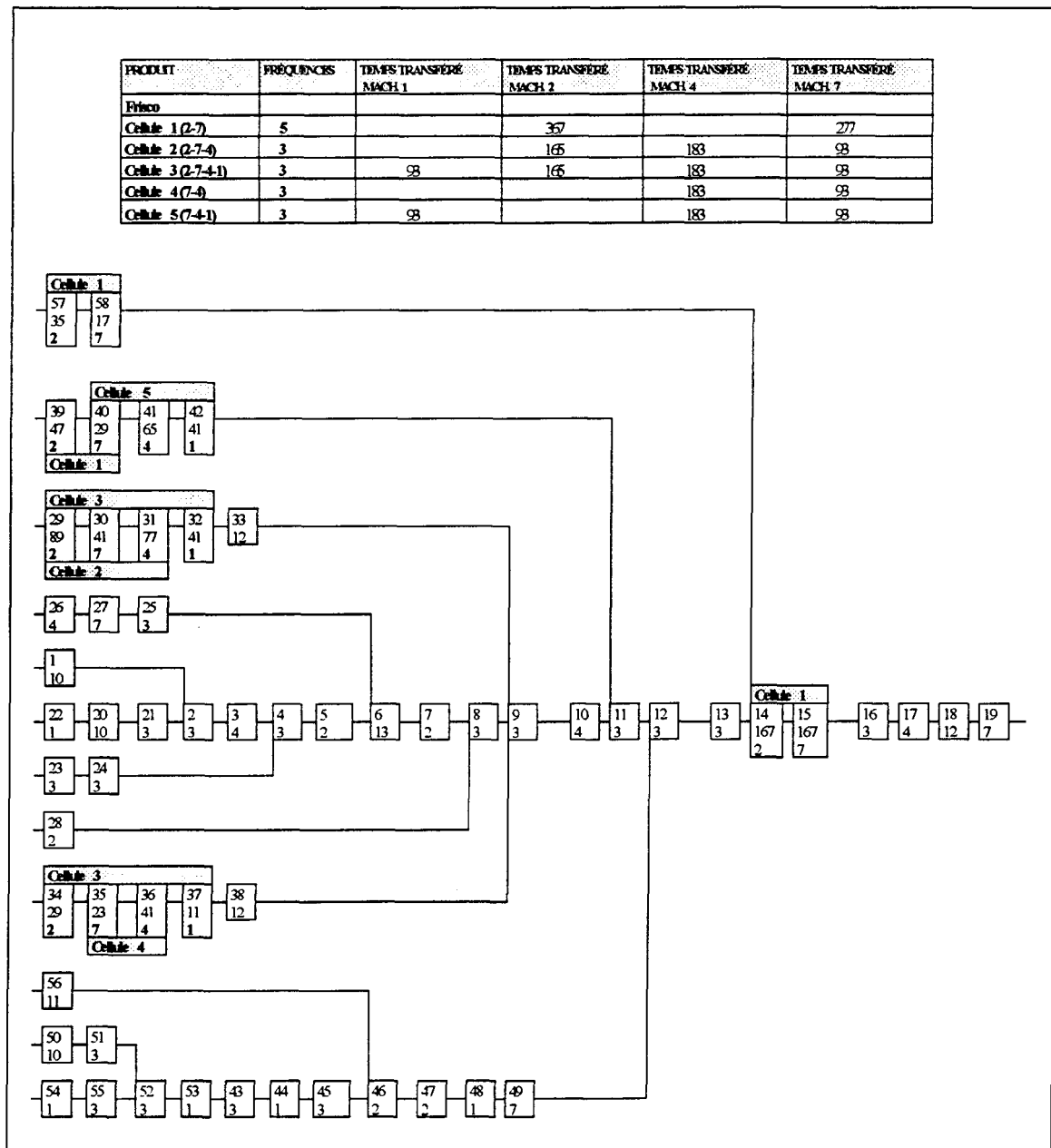
Nous avons supposé l'achat de quatre machines de type 2 supplémentaires et nous obtenons alors des performances intéressantes pour les cellules sérielles 1 et 2. Ces résultats sont présentés au Tableau 13 et s'appliquent au produit Frisco.

**Tableau 13**  
**Résultats de simulation du Frisco**  
**en supposant l'ajout de 4 machines de type 2**

PRODUIT	FRÉQ.	NB CELL.	TEMPS	ÉCART	RÉGLAGES	ÉCART	% UTIL.	ÉCART	STOCKS	ÉCART
Frisco			15:44:40		2186		0.50		3.32	
Cellule 1 (2-7)	5	3	15:32:30	-1.29%	2233	2.15%	0.49	-2.59%	3.36	1.20%
Cellule 2 (2-7-4)	3	2	15:49:35	0.52%	2106	-3.66%	0.48	-4.34%	3.36	1.20%
ÉCART GLOBAL FRISCO	4 MACH 2 / 8 MACH 2			-0.38%		-0.75%		-3.46%		1.20%

La bonne performance des cellules sérielles 5 et 6 s'explique par les faibles temps d'opération sur la machine 7 transférés dans les cellules et également par le fait que nous retrouvons 10 machines de ce type pour l'ensemble des opérations. Pour le Frisco, seulement 93 secondes (voir Figure 11) des 568 secondes à faire sur les machines de type 7 (voir Tableau 12) sont transférées dans deux cellules 4 et une cellule 5. Il reste donc un nombre suffisant de machine de type 7 (huit ou neuf selon le cas) dans le reste de l'usine pour réaliser les 504 autres secondes de production .

**Figure 11**  
**Diagramme d'assemblage du produit Frisco**



### 2.2.2 Les produits de la famille 6

Concernant les produits de la famille 6 qui sont des vestes longues doublées, on note au Tableau 10 que les cellules sérielles 1, 2 et 3 donnent des résultats se rapprochant de ceux du produit standard pour les quatre mesures de performance. Dans cette famille, nous remarquons cette fois que la cellule sériele 2, formée des machines 2-7-4 est performante dans la plupart des cas et ce même si le nombre de machine est limité à quatre. L'explication est que pour la majorité des produits de la famille 6, la charge de travail transférée dans les cellules est équilibrée avec le reste des machines de l'atelier.

Plus particulièrement, à la Figure 12, si l'on regarde le diagramme du produit Foxbay, nous remarquons, pour la machine 2, un temps total de 224 secondes (4 opérations sur un total de 10) transféré dans la cellule sériele 3. Ce temps représente 21 % du temps total à faire sur ce type de machine comme le montre le Tableau 14 (224 secondes/1058 secondes). La machine 2 dédiée à la cellule sériele 3 représente 25% ( $\frac{1}{4}$ ) de la capacité de ce type de machines. On constate donc le juste équilibre entre la charge de travail (21 %) et la capacité disponible (25 %).

Nous observons cependant au Tableau 10 que la cellule sériele 4, formée des machines 2-7-4-1-12 donne des résultats de beaucoup inférieurs à ceux du produit standard pour trois des quatre mesures de performance. Si l'on se rapporte toujours au produit Foxbay, nous observons dans le Tableau 10 un écart de 61.35 % pour la cellule sériele 4 concernant la mesure délai de fabrication d'une commande. Cet écart important s'explique par le fait que nous ne disposons que de deux machines du type 12 et que nous mobilisons une de ces deux machines pour effectuer 70 secondes (2 opérations tel que montré à la Figure 12) des 478 secondes (8 opérations) requises sur ce type de machine (voir Tableau

14). C'est donc dire qu'il ne reste qu'une seule machine 12 dans le parc de l'usine pour réaliser 85 % du temps d'opération.

**Tableau 14**  
**Répartition de la charge de travail du produit Foxbay**

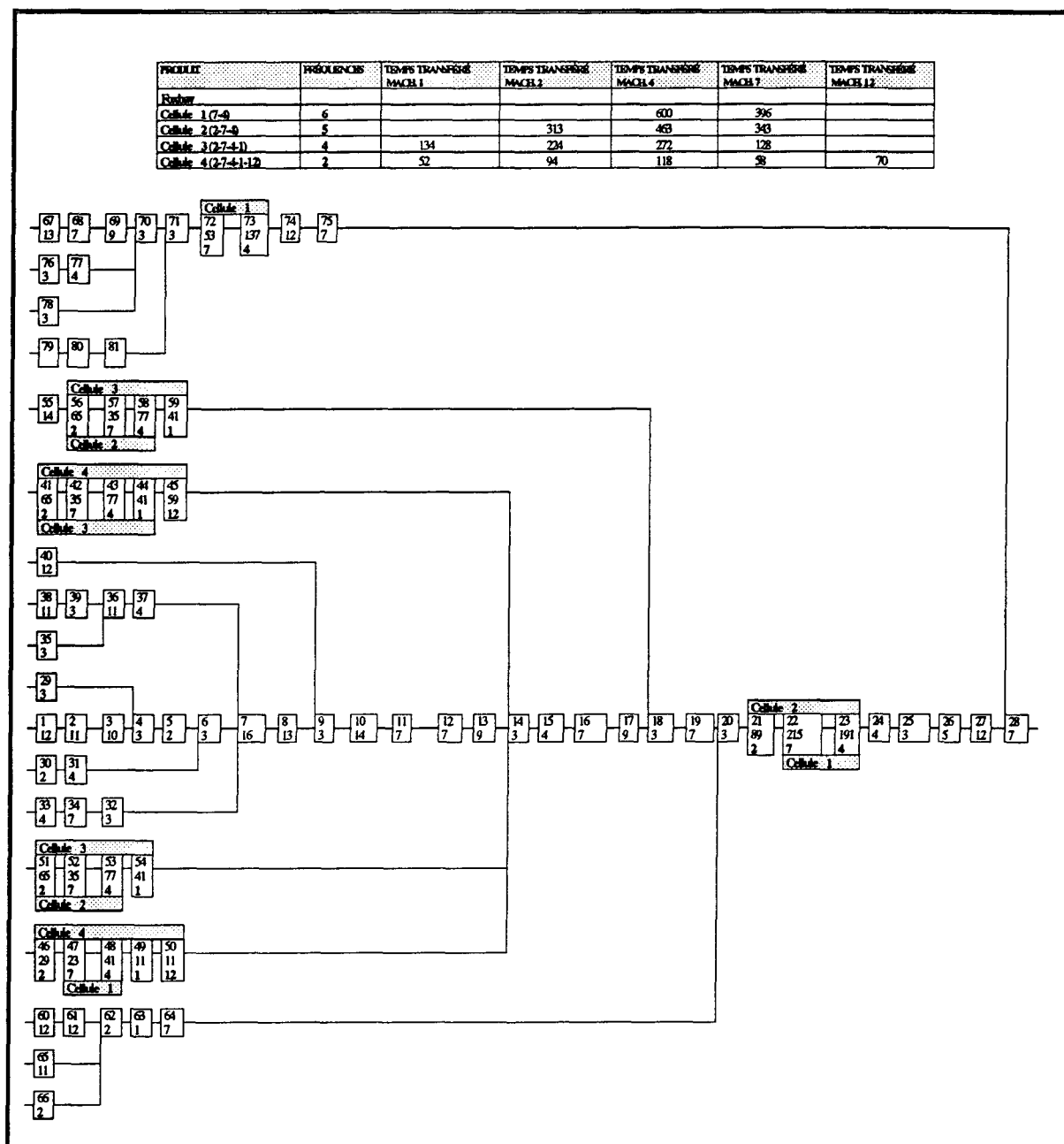
TYPE DE MACHINES	1	2	3	4	5	7	9	10	11	12	13	14	16
ABRÉVIATION	SU3	SU5	SA	DA	TA	MA	GO	PO	BAS	PR	DL	12A	DP
NOMBRE DE MACHINES	3	4	16	7	1	10	2	1	1	2	2	1	3
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	396	1058	1768	1122	65	1190	375	5	212	478	244	124	245
POURCENTAGE	5%	15%	24%	15%	1%	16%	5%	0%	3%	7%	3%	2%	3%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	6	10	15	12	1	16	3	1	4	8	2	2	1
POURCENTAGE	7%	12%	19%	15%	1%	20%	4%	1%	5%	18%	2%	2%	1%

TEMPS TOTAL D'OPÉRATION (SEC):	7282
--------------------------------	------

NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:	81
----------------------------	----



**Figure 12**  
**Diagramme d'assemblage du produit Foxbay**



### 2.2.3 Les résultats de la familles 7

La famille 7 comprend les pantalons et le Tableau 11 nous montre que l'ensemble des cellules sérielles présentent des résultats similaires à ceux du produit standard pour les quatre mesures de performance. Plus particulièrement, les résultats des cellules sérielles 1 à 6 montrent une diminution du nombre de réglages de 6.18 % sans que les trois autres mesures ne soient augmentées de plus de 1.90 %.

Les quelques situations où les cellules sérielles donnent une mauvaise performance s'expliquent également par une mauvaise répartition de la charge de travail entre la cellule et le reste de l'atelier. Par exemple, pour le produit Jane, nous constatons que les opérations nécessitant l'usage d'une machine de type 2 représentent 48 % du temps total de ce produit comme nous le montre le Tableau 15. Or, la Figure 13 montre que le temps sur la machine de type 2 transféré dans la cellule sérielle 1 ne représente que 4.5 % (35 secondes sur 768 secondes - 1 opération sur 6) du temps total d'opération du produit, ce qui ne laisse que trois machines de type 2 pour un temps d'opération total de 733 secondes (95 % du temps total pour cette machine). De même, la cellule sérielle 7, formée des machines 4-3-12-7, donne une performance inférieure à celle du produit standard pour trois des quatre mesures. Ici encore, la rareté du type de machine 12 est à l'origine de cette situation. En fait, nous privons l'usine d'une ressource rare et nous sous-utilisons cette ressource rare à l'intérieur de la cellule.

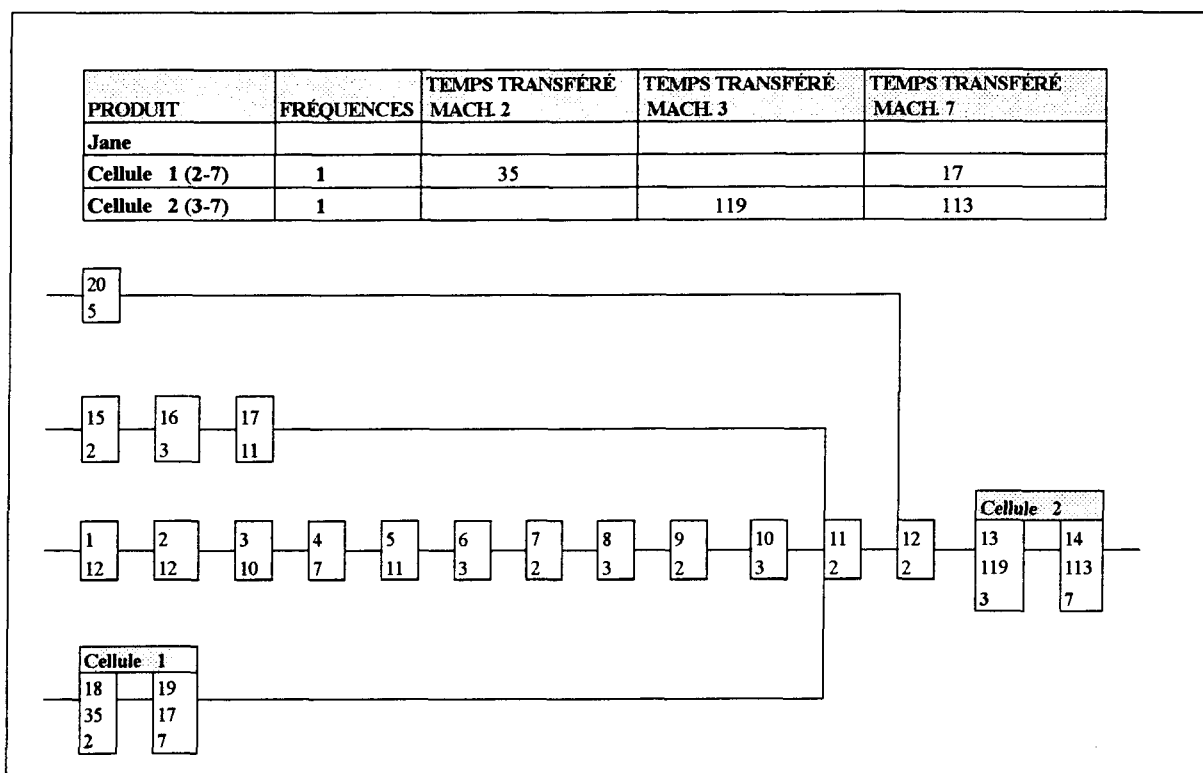
**Tableau 15**  
**Répartition de la charge de travail du produit Jane**

TYPE DE MACHINES	2	3	5	7	10	11	12
ABRÉVIATION	SU5	SA	TA	MA	PO	BAS	PR
NOMBRE DE MACHINES	4	16	1	10	1	1	2
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	768	475	23	159	66	70	27
POURCENTAGE	48%	30%	1%	10%	4%	4%	2%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	6	5	1	3	1	2	2
POURCENTAGE	30%	25%	5%	15%	5%	10%	10%

TEMPS TOTAL D'OPÉRATION (SEC):	<b>1588</b>
--------------------------------	-------------

NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:	<b>20</b>
----------------------------	-----------

**Figure 13**  
**Diagramme d'assemblage du produit Jane**



## CONCLUSIONS

Les résultats obtenus nous démontrent clairement l'importance de tenir compte du respect de l'équilibre entre la charge de travail et la capacité disponible lors du transfert de certaines opérations vers des cellules d'assemblage. Dans d'autres cas, nous avons constaté que la création de cellules sérielles est possible si ces dernières nécessitent des équipements disponibles en quantité suffisante de manière à ne pas priver le reste de l'atelier de ses ressources.

Toutefois, même lorsque l'équilibre est respecté et que nous disposons d'un nombre d'équipements suffisants, nous constatons que, dans les meilleurs cas, la performance de l'aménagement cellulaire hybride juste-à-temps est similaire à celle d'un aménagement d'atelier d'assemblage juste-à-temps. Pour l'étude de cas réalisée, compte tenu des équipements présentement disponibles dans cette entreprise, le passage à un aménagement de type cellulaire nécessiterait de la part de celle-ci des investissements en terme d'équipements afin de préserver sa performance actuelle. Conséquemment, le pourcentage d'utilisation des équipements s'en trouvera inévitablement diminué.

Tous ces résultats viennent en quelque sorte appuyer les observations de Suresh (1991, 1992) en ce sens qu'une entreprise qui évolue déjà dans un contexte très performant limitent ainsi les bénéfices potentiels de l'aménagement cellulaire. En effet, pour le cas étudié, la réduction des en-cours, la réduction des délais de fabrication, l'amélioration de la qualité et la réduction de l'espace nécessaire à la production ont tous été obtenus lors du passage au juste-à-temps et ne peuvent donc être imputé directement à l'aménagement cellulaire.

Cependant, nous considérons que l'entreprise serait susceptible de tirer certains bénéfices d'un aménagement cellulaire hybride comportant quelques cellules sérielles d'assemblage. Précisément, ces cellules permettraient la réduction de la manutention tout en favorisant un niveau de qualité accru. Il pourrait être intéressant également pour l'entreprise de vérifier la performance d'un aménagement utilisant des cellules de type général. Ce type de cellules est moins restrictif que les cellules sérielles car l'ordre d'utilisation des machines n'est pas linéaire. Les cellules de type général permettent d'utiliser la même cellule pour toutes permutations de séquences intégrant les mêmes machines. De ce fait, il est possible que ce type de cellules montre de meilleures performances que les cellules sérielles.

## BIBLIOGRAPHIE

Ballakur, A., Steudel, H.J. [1987], «A within-cell utilization based heuristic for designing cellular manufacturing systems», International Journal of Production Research, Vol. 25, No. 5, pp 639-665.

Billesbach, J. Thomas [1991], «A study of the implementation of just-in-time in the united states» , Production and inventory management journal, Third Quarter, pp. 1-4.

BTE collection [1991], Méthodes d'organisation industrielle TMI, Édition Bte-Conseil Formation , pp. 4-5 à 4-15

Burbidge, J.L. [1975], The introduction of group technology, Édition William Heinemann Ltd, pp. 2-4

Burbidge, J.L. [1977], «A manual method of production flow analysis», The production engineer, Vol.56, p.34-39.

Bureau International du Travail [1989], Introduction à l'étude du travail, Genève, p. 418

Carrie, A.S. [1973], «Numerical taxonomy applied to group technology and plant layout», International Journal of Production Research ,Vol.11, p.399.

Cerveny, P. R. et Lawrence, W. S. [1989], «A survey of MRP implementation.», Production and inventory management journal, Third Quarter, pp.31-34

Chan, H.M., Milner, D.A. [1981], «Direct clustering algorithm for group formation in cellular manufacture», Journal of Manufacture Systems, Vol. 1, p.65.

Choi, M. J. [1992], «Manufacturing cell design», Production and Inventory Management Journal, Second Quarter, pp. 66-69.

De Witte, J. [1980], «The use of similarity coefficients in production flow analysis», International Journal of Production Research , Vol. 18, p. 503.

Fry, D. T., Wilson, M. G. et Breen, M. [1987], «A successful implementation of group technology and cell manufacturing», Production and inventory management, Third Quarter, pp.4-6.

## BIBLIOGRAPHIE

Gaiter, N., Carrier, S. et Montreuil P. [1983], L'entreprise et la gestion des opérations, Les Éditions HRW ltée., p. 164

Garza, O. et Smunt, T.L. [1991], «Countering the negative impact of intercell flow in cellular manufacturing», Journal of operations management, Vol. 10, No. 1, pp.92-118

Golhar, Y. D., Stamm, L. C. et Smith, P. W. [1990], «JIT implementation in small manufacturing firms», Production and inventory management journal, Second Quarter, pp. 44-48.

Gravel, Marc [1987], Évaluation de la méthode Kanban dans un contexte de production par lots: expérimentation dans une pme québécoise. Thèse de doctorat, Aix-Marseille, p.175-176.

Gravel, M., Kiss, L., Martel, J.M. et Price, W.L., «A DSS for production planning», ITOR, Soumis en août 1993.

Gravel, M., Martel, J.M., Nadeau, R., Price, W.L. et Tremblay, R. [1992], «A multicriterion view of optimal resource allocation in job-shop production», EJOR, Vol.61, No 1, pp.230-244

Gravel, M. et Price W.L. [1988], «Using the Kanban in job-shop environment», International Journal of Production Research, Vol.26, No 6, pp. 1105-1118.

Gravel, M. et Price W.L., [1991], «Virtual interactive simulation shows how to use the Kanban in small business», INTERFACES, Vol.21, No 5, pp.22-23.

Gravel, M. et Price W.L. [1993], «Règles de décision pour l'ordonnement multi-objectifs dans un atelier d'assemblage», INFOR, Vol.31, No 2.

Grenne, J. T. et Sadowski, P. R. [1984], «A review of cellular manufacturing assumptions, advantages and desing techniques», Journal of operations management, Vol.4, No.2, pp.85-97.

Huang, Y. P. et Houck, W. L. B. [1985], «Cellular manufacturing: an overview and bibliography», Production and inventory management, Fourth Quarter, pp. 83-92.

## BIBLIOGRAPHIE

Huber, V. et Hyer, N., [1985], «The human factor in cellular manufacturing», Journal of operations management, Vol 5, No. 2, pp. 213-228

Huq, Faizul [1992], «Labor issues in the implementation of group technology cellular manufacturing», Production and inventory management journal, Fourth Quarter, pp. 15-19.

Im, H. J. [1989], «How does kanban work in american companies», Production and inventory management journal, Fourth Quarter, p.22.

Inyong, Ham [1985], Handbook of industrial engineering group technology, Gavriel Salvendy Editor, Chapter 7.8 , The pennsylvania State University

Kélada, J. [1986], Le contrôle statistique de la qualité, Éditions Quaefec, p. 2

King, J.R. [1980], «Machine-component grouping in production flow analysis: an approach using rank order clustering algorithm», International Journal of Production Research , Vol. 18, p. 213.

Lemoine, Y., Mutel, B. [1983], «Automatic recognition of production cells and part families», In T.M.R. Ellis and O.I. Semenov (editors), Advances in CAD/CAM (Amsterdam: North-Holland Publishing Company), p.239.

Maschino, D. [1991], La mondialisation de l'économie et les changements dans l'organisation du travail au sein des entreprises au Québec, Centre de recherche et de statistiques sur le marché du travail, rapport préliminaire, p.13.

Montreuil, B., Drolet, J. et Lefrançois, P. [1992], «Conception et gestion de systèmes manufacturiers cellulaires virtuels», Groupe de recherche en Gestion de la logistique, 17 pages.

Nollet, J., Kélada, J. et Diorio, M. [1986], La gestion des opérations et de la production: une approche systémique , Édition Gaétan Morin, p. 250.

Price, W.L., Gravel, M. et Nsakanda, A.L., «A review of optimisation models of kanban - based production systems», EJOR, Accepté en juillet 1993.



## BIBLIOGRAPHIE

Price, W.L., Gravel, M., Nsakanda, A.L. et Cantin, F., «Modeling the performance of a kanban assembly shop», International Journal of Production Research, Soumis en avril 1993, en révision.

Shafer, S. M. et Meredith, J. R. [1992], «An empirically-based simulation study of fonctionnal versus cellular layouts with operations overlapping», International Journal of Operations & Production Management, Vol. 13, No. 2, pp. 47-62.

Schonberger, R. J., Japanese manufacturing techniques, New-York, The Free Press, 1982, tiré de Nollet, Kélada et Diorio, [1986], op. cit. p. 699.

Shunk, D. L. [1976], The measurements of the effect of group technology by simulation, Doctoral dissertation, Purdue University, tiré de Greene et Sadowski, [1984] op. cit. p.87.

Suresh, N. C., [1991], Partitioning work centers for group technology: Insights from an analytical model, Decision Sciences, Vol. 22, pp. 772-791.

Suresh, N. C., [1992], Partitioning work centers for group technology: analytical extension and shop-level simulation investigation, Decision Sciences, Vol. 23, pp. 267-290.

Tompkins, James A. [1985], «Chapter 10.2, Plant layout», Handbook of industrial engineering, Edited by Gavriel Salvendy, p.10.2.1

Van Der Walde, E. [1991], «Computer simulation in manufacturing», Production and Inventory Management Journal , Second Quarter, pp. 80-83.

Vollman, T. E., Berry, W.L. et Whybark, D.C. [1988], Manufacturing Planning and Control Systems , Richard D. Irwin Inc., Homewood, IL, pp. 854-855.

Waghodekar, P.H., Sahu, S. [1984], «Machine-component cell formation in group technology: MACE», International Journal of Production Research, Vol. 3, p.937.

## BIBLIOGRAPHIE

Wemmerlöv, U. et Hyer, N. L. [1987], «Research issues in cellular manufacturing», International Journal of Production Research, Vol. 25, No. 3, pp. 413-431

Wemmerlov, U. et Hyer, N. L. [1989], «Cellular manufacturing in the U.S. industry: a survey of users», International Journal of Production Research, Vol 27, No. 9, pp. 1511-1530.

## **ANNEXE I**

### **TABLEAUX DE TOUTES LES SÉQUENCES DE MACHINES RÉPERTORIÉES**

SÉQUENCES	116 fréq.		65 fréq.		222 fréq.		72 fréq.		282 fréq.		284 fréq.		158 fréq.		1199 fréq.	
	23 Prod.		7 Prod.		10 Prod.		4 Prod.		10 Prod.		10 Prod.		15 Prod.		79 Prod.	
	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FRÉQU.	%
	1		2		3		4		5		6		7		TOTALES	

## LONGUEUR 7

03-02-07-04-04-03-12	0	0%		0%	2	1%		0%		0%		0%		0%	2	0%
----------------------	---	----	--	----	---	----	--	----	--	----	--	----	--	----	---	----

## LONGUEUR 6

01-14-15-13-05-07	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
02-07-04-04-03-12		0%		0%	2	1%		0%		0%		0%		0%	2	0%
03-02-03-15-05-07		0%	2	3%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
03-02-07-04-04-03		0%		0%	2	1%		0%		0%	1	0%		0%	3	0%
03-02-07-04-03-12		0%		0%		0%		0%		0%	3	1%		0%	3	0%
03-07-04-03-12-07		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%	1	1%	3	0%
03-09-09-04-03-12		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%
04-03-16-12-12-07	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
11-04-03-03-01-04	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
14-07-03-11-03-04		0%		0%		0%	1	1%	2	1%		0%		0%	3	0%
16-13-14-07-07-09		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%

## LONGUEUR 5

01-14-15-13-05	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
02-03-15-05-07		0%	3	5%		0%		0%		0%		0%		0%	3	0%
02-07-03-04-12		0%		0%	2	1%	1	1%		0%		0%		0%	3	0%
02-07-04-01-12	1	1%		0%	7	3%	3	4%	4	1%	6	2%		0%	21	2%
02-07-04-03-12		0%		0%		0%		0%		0%	3	1%		0%	3	0%
02-07-04-04-03		0%		0%	2	1%		0%		0%	1	0%		0%	3	0%
02-07-14-03-07		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%	2	0%
03-02-03-15-05		0%	2	3%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
03-02-07-04-03		0%		0%		0%		0%		0%	3	1%		0%	3	0%
03-02-07-04-04		0%		0%	2	1%		0%		0%		0%		0%	2	0%
03-03-03-03-03	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
03-04-03-07-09		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%
03-04-07-09-03		0%		0%		0%		0%	3	1%		0%		0%	3	0%
03-07-04-01-12		0%		0%	2	1%	1	1%	3	1%		0%		0%	6	1%
03-07-04-03-12		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%	1	1%	3	0%
03-07-04-12-07		0%		0%	3	1%		0%	5	2%	3	1%		0%	11	1%
03-09-09-04-03		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%
03-16-12-12-07	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
04-02-07-04-01		0%		0%		0%		0%		0%	3	1%		0%	3	0%
04-03-03-01-04	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
04-03-16-12-12	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
05-12-12-12-07	3	3%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	3	0%
07-04-03-12-07		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%	1	1%	3	0%
07-04-04-03-12		0%		0%	2	1%		0%		0%	1	0%	1	1%	4	0%
07-03-11-03-04		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%
09-09-04-03-12		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%
11-03-07-04-12		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%
11-04-03-03-01	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
13-14-07-07-09		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%
14-02-07-04-01		0%		0%	2	1%	3	4%		0%	5	2%	1	1%	11	1%
14-03-04-02-03		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%	2	0%
14-03-07-04-01		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%	2	0%
14-07-03-11-03		0%		0%		0%	1	1%	4	1%		0%		0%	5	0%
14-15-13-05-07	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
16-13-14-07-07		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%

SÉQUENCES	116 fréq.		65 fréq.		222 fréq.		72 fréq.		282 fréq.		284 fréq.		158 fréq.		1199 fréq.	
	23 Prod.		7 Prod.		10 Prod.		4 Prod.		10 Prod.		10 Prod.		15 Prod.		79 Prod.	
	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FRÉQU.	%
	1		2		3		4		5		6		7		TOTALES	

LONGUEUR 4																
01-14-15-13	3	3%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	3	0%
02-02-01-07		0%		0%		0%	2	3%		0%		0%		0%	2	0%
02-03-01-03		0%	2	3%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
02-03-15-05		0%	4	6%		0%		0%		0%		0%		0%	4	0%
02-07-02-01		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%	2	0%
02-07-03-04		0%		0%	3	1%	1	1%	1	0%		0%		0%	5	0%
02-07-04-01	1	1%		0%	13	6%	7	10%	8	3%	18	6%	1	1%	48	4%
02-07-04-03		0%		0%		0%		0%		0%	3	1%		0%	3	0%
02-07-04-04		0%		0%	2	1%		0%		0%	1	0%		0%	3	0%
02-07-14-03		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%	2	0%
02-11-02-07		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%	2	0%
03-02-03-15		0%	2	3%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
03-02-07-04		0%		0%	2	1%		0%		0%	5	2%	1	1%	8	1%
03-03-01-04	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
03-03-03-03	3	3%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	3	0%
03-03-03-07	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
03-03-07-04	1	1%		0%		0%	2	3%	1	0%	1	0%		0%	5	0%
03-04-02-03		0%		0%	1	0%		0%		0%		0%	2	1%	3	0%
03-04-03-07		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%	1	1%	3	0%
03-04-07-09	1	1%		0%	3	1%	1	1%	6	2%	3	1%		0%	14	1%
03-07-03-03	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
03-07-04-01		0%		0%	2	1%	1	1%	6	2%	2	1%		0%	11	1%
03-07-04-03	1	1%		0%	1	0%	1	1%	2	1%	4	1%	1	1%	10	1%
03-07-04-04		0%		0%		0%	1	1%	2	1%	1	0%	1	1%	5	0%
03-07-04-09		0%		0%		0%	1	1%	1	0%		0%	1	1%	3	0%
03-07-04-12		0%		0%	6	3%		0%	12	4%	7	2%		0%	25	2%
03-09-09-04		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%
03-11-03-04		0%		0%		0%	1	1%	2	1%		0%	1	1%	4	0%
03-15-05-07		0%	4	6%		0%		0%		0%		0%		0%	4	0%
03-16-12-12	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
04-02-07-04		0%		0%		0%		0%		0%	3	1%		0%	3	0%
04-03-03-01	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
04-03-07-04		0%		0%		0%	1	1%	2	1%		0%		0%	3	0%
04-03-07-09	1	1%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	3	0%
04-03-12-07		0%		0%		0%		0%	1	0%	2	1%	2	1%	5	0%
04-03-16-12	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
04-04-03-12		0%		0%	2	1%		0%	1	0%	1	0%	1	1%	5	0%
04-07-09-03		0%		0%		0%		0%	3	1%		0%		0%	3	0%
05-12-12-12	3	3%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	3	0%
07-03-04-12		0%		0%	2	1%	1	1%		0%		0%		0%	3	0%
07-03-11-03		0%		0%		0%	1	1%	4	1%		0%		0%	5	0%
07-04-01-12	1	1%		0%	9	4%	4	6%	7	2%	6	2%		0%	27	2%
07-04-03-12		0%		0%	2	1%		0%	1	0%	5	2%	1	1%	9	1%
07-04-04-03		0%		0%	2	1%		0%	1	0%	2	1%	1	1%	6	1%
07-04-12-07		0%		0%	3	1%		0%	5	2%	4	1%		0%	12	1%
07-14-03-07		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%	2	0%
09-04-03-12		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%
09-09-04-03		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%
10-03-01-03		0%		0%	3	1%		0%		0%		0%		0%	3	0%
10-02-02-01		0%		0%		0%	2	3%		0%		0%		0%	2	0%
11-02-07-04	1	1%		0%		0%		0%	4	1%	1	0%		0%	6	1%
11-03-07-04		0%		0%		0%		0%	3	1%	2	1%		0%	5	0%
11-03-11-03		0%		0%		0%		0%	1	0%		0%	2	1%	3	0%
11-03-11-04		0%		0%		0%		0%	1	0%	2	1%		0%	3	0%

SÉQUENCES	116 fréq.		65 fréq.		222 fréq.		72 fréq.		282 fréq.		284 fréq.		158 fréq.		1199 fréq.	
	23 Prod.		7 Prod.		10 Prod.		4 Prod.		10 Prod.		10 Prod.		15 Prod.		79 Prod.	
	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FRÉQU.	%
	1		2		3		4		5		6		7		TOTALES	

11-04-03-03	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%	1	1%	3	0%
11-10-03-02		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%	2	0%
12-12-03-16		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%	2	0%
12-12-12-07	3	3%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	3	0%
13-14-07-07		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%
14-02-07-04		0%		0%	2	1%	3	4%		0%	5	2%	1	1%	11	1%
14-03-04-02		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%	2	0%
14-03-07-04		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%	2	0%
14-07-03-11		0%		0%	1	0%	1	1%	4	1%	1	0%		0%	7	1%
14-07-07-09		0%		0%		0%		0%	2	1%	1	0%		0%	3	0%
14-15-13-05	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
15-13-05-07	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
16-12-12-07	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
16-13-14-07		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%

LONGUEUR 3																
01-03-07-	2	2%	1	2%		0%		0%		0%		0%		0%	3	0%
01-10-03-		0%		0%	2	1%	1	1%	2	1%	1	0%		0%	6	1%
01-14-15-	3	3%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	3	0%
02-01-07-		0%		0%	2	1%	2	3%	3	1%	7	2%	1	1%	15	1%
02-02-01-		0%		0%		0%	4	6%		0%		0%		0%	4	0%
02-03-01-		0%	2	3%		0%		0%	1	0%		0%		0%	3	0%
02-03-02-	1	1%	2	3%		0%		0%		0%		0%	1	1%	4	0%
02-03-03-	1	1%		0%	1	0%		0%	2	1%		0%		0%	4	0%
02-03-07-		0%	2	3%	1	0%		0%	2	1%		0%	1	1%	6	1%
02-03-15-		0%	5	8%		0%		0%		0%		0%		0%	5	0%
02-07-02-		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%	2	0%
02-07-03-		0%	1	2%	6	3%		0%	3	1%	3	1%		0%	13	1%
02-07-04-	1	1%		0%	15	7%	8	11%	11	4%	25	9%	3	2%	63	5%
02-07-07-		0%		0%	2	1%		0%		0%		0%		0%	2	0%
02-07-14-		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%	2	0%
02-11-02-		0%		0%		0%		0%		0%		0%	5	3%	5	0%
03-01-03-	1	1%	2	3%	3	1%		0%	1	0%	3	1%		0%	10	1%
03-01-04-	2	2%		0%	1	0%		0%		0%		0%		0%	3	0%
03-01-07-		0%		0%		0%		0%	1	0%		0%	2	1%	3	0%
03-02-03-		0%	4	6%	1	0%		0%		0%	1	0%	2	1%	8	1%
03-02-07-		0%		0%	3	1%		0%	1	0%	6	2%	1	1%	11	1%
03-03-01-	2	2%		0%	1	0%		0%		0%	1	0%		0%	4	0%
03-03-03-	5	4%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	5	0%
03-03-07-	5	4%		0%		0%	2	3%	2	1%	1	0%	2	1%	12	1%
03-04-01-		0%		0%	1	0%		0%	2	1%	3	1%	1	1%	7	1%
03-04-02-		0%		0%	1	0%		0%		0%		0%	3	2%	4	0%
03-04-03-	1	1%		0%		0%		0%	3	1%	1	0%	2	1%	7	1%
03-04-07-	1	1%		0%	4	2%	1	1%	6	2%	3	1%		0%	15	1%
03-04-12-		0%		0%	2	1%	1	1%		0%		0%		0%	3	0%
03-05-03-	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
03-05-07-	1	1%		0%	1	0%		0%		0%	2	1%	1	1%	5	0%
03-05-12-	1	1%		0%		0%		0%	2	1%	1	0%	1	1%	5	0%
03-07-03-	5	4%	2	3%	1	0%		0%	2	1%	2	1%	1	1%	13	1%
03-07-04-	1	1%	1	2%	10	5%	3	4%	25	9%	16	6%	4	3%	60	5%
03-07-05-	1	1%		0%	2	1%		0%		0%		0%		0%	3	0%
03-07-09-	1	1%		0%		0%		0%	7	2%	3	1%	2	1%	13	1%
03-09-09-		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%
03-11-03-		0%		0%		0%	1	1%	5	2%		0%	2	1%	8	1%
03-11-04-		0%		0%		0%		0%	2	1%	2	1%		0%	4	0%



SÉQUENCES	116 fréq.		65 fréq.		222 fréq.		72 fréq.		282 fréq.		284 fréq.		158 fréq.		1199 fréq.	
	23 Prod.		7 Prod.		10 Prod.		4 Prod.		10 Prod.		10 Prod.		15 Prod.		79 Prod.	
	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FREQU.	%
	1		2		3		4		5		6		7		TOTALES	

13-07-09-		0%		0%		0%		0%	1	0%	2	1%	5	3%	8	1%
13-14-07-		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%
14-02-07-		0%		0%	3	1%	3	4%		0%	5	2%	1	1%	12	1%
14-03-04-		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%	2	0%
14-03-07-		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%	3	2%	5	0%
14-07-03-		0%		0%	1	0%	1	1%	6	2%	4	1%	4	3%	16	1%
14-07-07-		0%		0%		0%		0%	2	1%	1	0%		0%	3	0%
14-15-13-	4	3%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	4	0%
15-05-07-	2	2%	4	6%		0%		0%		0%		0%		0%	6	1%
15-13-05-	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
16-07-09-		0%		0%	3	1%		0%	6	2%	3	1%	1	1%	13	1%
16-12-12-	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
16-13-14-		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%		0%	2	0%

LONGUEUR 2																
01-03-	3	3%	2	3%	4	2%	2	3%	3	1%	7	2%		0%	21	2%
01-04-	3	3%		0%	1	0%		0%	1	0%		0%	3	2%	8	1%
01-05-		0%	2	3%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
01-07-	4	3%		0%	2	1%	2	3%	4	1%	7	2%	4	3%	23	2%
01-10-		0%		0%	2	1%	1	1%	2	1%	2	1%		0%	7	1%
01-12-	1	1%	1	2%	9	4%	4	6%	7	2%	8	3%	1	1%	31	3%
01-14-	3	3%		0%		0%		0%		0%		0%	1	1%	4	0%
02-01-		0%		0%	6	3%	4	6%	5	2%	12	4%	2	1%	29	2%
02-02-		0%	2	3%	1	0%	5	7%		0%	1	0%	1	1%	10	1%
02-03-	7	6%	19	20%	5	2%		0%	8	3%	2	1%	7	4%	48	4%
02-04-	1	1%	1	2%	1	0%	2	3%	3	1%	7	2%	4	3%	19	2%
02-05-		0%	1	2%	2	1%		0%	1	0%		0%		0%	4	0%
02-07-	4	3%	7	11%	31	14%	11	15%	16	6%	31	11%	11	7%	111	9%
02-11-		0%		0%		0%		0%		0%		0%	5	3%	5	0%
02-14-		0%	4	6%		0%		0%	1	0%		0%	1	1%	6	1%
02-15-		0%	1	2%	2	1%		0%		0%		0%		0%	3	0%
03-01-	5	4%	3	5%	9	4%	3	4%	9	3%	14	5%	4	3%	47	4%
03-02-	3	3%	5	8%	11	5%	3	4%	5	2%	13	5%	8	5%	48	4%
03-03-	18	16%	1	2%	5	2%	4	6%	3	1%	4	1%	5	3%	40	3%
03-04-	5	4%		0%	16	7%	6	8%	26	9%	27	10%	11	7%	91	8%
03-05-	5	4%		0%	2	1%		0%	4	1%	3	1%	5	3%	19	2%
03-07-	17	15%	7	11%	18	8%	7	10%	38	13%	26	9%	16	10%	129	11%
03-09-	1	1%		0%		0%		0%	3	1%		0%		0%	4	0%
03-11-	2	2%		0%	1	0%	1	1%	12	4%	4	1%	6	4%	26	2%
03-12-	1	1%		0%	8	4%		0%	11	4%	11	4%	7	4%	38	3%
03-14-		0%		0%	3	1%	1	1%	1	0%	1	0%	2	1%	8	1%
03-15-	1	1%	7	11%		0%		0%		0%		0%		0%	8	1%
03-16-	3	3%		0%	2	1%		0%	2	1%	5	2%	2	1%	14	1%
04-01-	1	1%	1	2%	19	9%	9	13%	19	7%	27	10%	4	3%	80	7%
04-02-	1	1%		0%	1	0%		0%		0%	4	1%	5	3%	11	1%
04-03-	9	8%		0%	4	2%	2	3%	12	4%	13	5%	8	5%	48	4%
04-04-	5	4%		0%	2	1%	2	3%	3	1%	3	1%	5	3%	20	2%
04-05-	2	2%		0%		0%	1	1%	3	1%	4	1%	3	2%	13	1%
04-07-	3	3%	5	8%	14	6%	5	7%	16	6%	9	3%	8	5%	60	5%
04-09-		0%		0%		0%		0%	3	1%		0%		0%	3	0%
04-11-		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%	2	0%
04-12-		0%		0%	13	6%	2	3%	14	5%	9	3%	1	1%	39	3%
04-13-		0%		0%		0%		0%		0%		0%	4	3%	4	0%
04-14-		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%	2	0%
04-16-	3	3%		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%	5	0%



SÉQUENCES	116 fréq.		65 fréq.		222 fréq.		72 fréq.		282 fréq.		284 fréq.		158 fréq.		1199 fréq.	
	23 Prod.		7 Prod.		10 Prod.		4 Prod.		10 Prod.		10 Prod.		15 Prod.		79 Prod.	
	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FAM.	%	FRÉQU.	%
	1		2		3		4		5		6		7		TOTALES	

05-03-	3	3%	1	2%		0%		0%		0%		0%	2	1%	6	1%
05-07-	7	6%	4	6%	2	1%		0%		0%	4	1%	5	3%	22	2%
05-12-	3	3%	1	2%		0%		0%	4	1%		0%	1	1%	9	1%
07-01-		0%		0%	2	1%		0%		0%		0%		0%	2	0%
07-02-	1	1%		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%	3	0%
07-03-	5	4%	4	6%	11	5%	4	6%	17	6%	12	4%	8	5%	61	5%
07-04-	2	2%	1	2%	27	12%	11	15%	36	13%	42	15%	8	5%	127	11%
07-05-	1	1%		0%	3	1%	1	1%	1	0%	2	1%		0%	8	1%
07-07-	2	2%		0%	2	1%		0%	2	1%		0%		0%	6	1%
07-09-	2	2%		0%	6	3%	1	1%	23	8%	13	5%	12	8%	57	5%
07-14-		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	1%	2	0%
09-03-		0%		0%	1	0%		0%	5	2%		0%	1	1%	7	1%
09-04-	1	1%		0%		0%		0%	3	1%		0%		0%	4	0%
09-09-		0%		0%	1	0%	1	1%	4	1%		0%	3	2%	9	1%
10-03-	2	2%	2	3%	6	3%	2	3%	7	2%	6	2%	2	1%	27	2%
10-07-		0%	2	3%		0%		0%		0%		0%	1	1%	3	0%
10-11-		0%	1	2%	1	0%		0%		0%	1	0%	2	1%	5	0%
10-12-		0%		0%		0%		0%	3	1%	1	0%		0%	4	0%
11-02-	4	3%	1	2%	4	2%	2	3%	4	1%	1	0%	6	4%	22	2%
11-03-	5	4%	1	2%	5	2%	2	3%	15	5%	12	4%	8	5%	48	4%
11-04-	4	3%		0%	2	1%		0%	2	1%	4	1%	3	2%	15	1%
11-07-	2	2%		0%	1	0%		0%		0%		0%		0%	3	0%
11-10-		0%	2	3%	2	1%	1	1%	1	0%	2	1%	2	1%	10	1%
11-11-	5	4%		0%		0%		0%	1	0%	1	0%		0%	7	1%
11-16-	2	2%		0%		0%		0%		0%	1	0%	6	4%	9	1%
12-02-		0%		0%		0%		0%	3	1%	1	0%	1	1%	5	0%
12-03-		0%	1	2%		0%		0%	3	1%	6	2%	1	1%	11	1%
12-07-	5	4%	1	2%	5	2%	2	3%	8	3%	7	2%	5	3%	33	3%
12-11-	1	1%		0%		0%		0%	2	1%	3	1%	4	3%	10	1%
12-12-	9	8%	2	3%	4	2%	2	3%	12	4%	14	5%	7	4%	50	4%
12-16-		0%		0%	2	1%		0%	1	0%	2	1%		0%	5	0%
13-02-		0%		0%	3	1%	1	1%	1	0%		0%		0%	5	0%
13-04-		0%		0%		0%		0%		0%		0%	5	3%	5	0%
13-05-	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
13-07-	1	1%		0%		0%		0%	1	0%	2	1%	5	3%	9	1%
13-13-		0%		0%		0%		0%	2	1%		0%	1	1%	3	0%
13-14-		0%		0%		0%		0%	3	1%		0%		0%	3	0%
14-02-		0%	1	2%	5	2%	3	4%		0%	5	2%	1	1%	15	1%
14-03-		0%		0%		0%	1	1%		0%	2	1%	6	4%	9	1%
14-07-	1	1%		0%	2	1%	2	3%	10	4%	7	2%	6	4%	28	2%
14-15-	4	3%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	4	0%
15-03-	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
15-05-	2	2%	5	8%		0%		0%		0%		0%		0%	7	1%
15-13-	4	3%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	4	0%
16-02-		0%		0%	2	1%	1	1%	1	0%		0%		0%	4	0%
16-04-	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%	3	2%	5	0%
16-07-	2	2%		0%	3	1%		0%	6	2%	5	2%	3	2%	19	2%
16-12-	2	2%		0%		0%		0%		0%		0%		0%	2	0%
16-13-		0%		0%	3	1%		0%	3	1%	5	2%		0%	11	1%

## **ANNEXE II**

### **TABLEAUX DE RÉPARTITION DE LA CHARGE DE MACHINES POUR LES PRODUITS SIMULÉS**

## LES PRODUITS DE LA FAMILLE 4

BLUES												
TYPE DE MACHINES	1	2	3	4	7	9	10	11	12	13	14	16
ABRÉVIATION	SU3	SU5	SA	DA	MA	GO	PO	BAS	PR	DL	12A	DP
NOMBRE DE MACHINES	3	4	16	7	10	2	1	1	2	2	1	3
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	266	655	1622	1055	1064	299	16	153	170	329	128	245
POURCENTAGE	4%	11%	27%	18%	18%	5%	0%	3%	3%	5%	2%	4%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	4	5	13	13	10	1	2	3	4	1	3	1
POURCENTAGE	7%	8%	22%	22%	17%	2%	3%	5%	7%	2%	5%	2%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):					6002							
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:					60							

FRISCO									
TYPE DE MACHINES	1	2	3	4	7	10	11	12	13
ABRÉVIATION	SU3	SU5	SA	DA	MA	PO	BAS	PR	DL
NOMBRE DE MACHINES	3	4	16	7	10	1	1	2	2
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	448	986	1609	545	568	113	41	188	257
POURCENTAGE	9%	21%	34%	11%	12%	2%	1%	4%	5%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	8	10	17	7	8	3	1	3	1
POURCENTAGE	14%	17%	29%	12%	14%	5%	2%	5%	2%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):					4755				
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:					58				

GLISSADE										
TYPE DE MACHINES	1	2	3	4	5	7	10	11	12	14
ABRÉVIATION	SU3	SU5	SA	DA	TA	MA	PO	BAS	PR	12A
NOMBRE DE MACHINES	3	4	16	7	1	10	1	1	2	1
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	333	1078	938	189	215	564	149	82	22	35
POURCENTAGE	9%	30%	26%	5%	6%	16%	4%	2%	1%	1%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	3	8	6	3	3	6	1	2	2	1
POURCENTAGE	9%	23%	17%	9%	9%	17%	3%	6%	6%	3%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):					3605					
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:					35					

NEVADA										
TYPE DE MACHINES	1	2	3	4	5	7	11	12	14	16
ABRÉVIATION	SU3	SU5	SA	DA	TA	MA	BAS	PR	12A	DP
NOMBRE DE MACHINES	3	4	16	7	1	10	1	2	1	3
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	183	667	797	331	41	432	87	52	94	101
POURCENTAGE	7%	24%	29%	12%	1%	16%	3%	2%	3%	4%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	3	5	7	5	1	6	3	3	2	1
POURCENTAGE	8%	14%	19%	14%	3%	17%	8%	8%	6%	3%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):					2785					
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:					36					



## LES PRODUITS DE LA FAMILLE 6

BEIJING											
TYPE DE MACHINES	1	2	3	4	7	10	11	12	13	14	16
ABRÉVIATION	SU3	SU5	SA	DA	MA	PO	BAS	PR	DL	12A	DP
NOMBRE DE MACHINES	3	4	16	7	10	1	1	2	2	1	3
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	223	331	2039	735	573	100	207	337	245	149	112
POURCENTAGE	4%	7%	40%	15%	11%	2%	4%	7%	5%	3%	2%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	5	5	17	10	9	2	3	9	1	1	2
POURCENTAGE	8%	8%	27%	16%	14%	3%	5%	14%	2%	2%	3%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):					5051						
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:					64						

CAPHORN												
TYPE DE MACHINES	1	2	3	4	7	9	10	11	12	13	14	16
ABRÉVIATION	SU3	SU5	SA	DA	MA	GO	PO	BAS	PR	DL	12A	DP
NOMBRE DE MACHINES	3	4	16	7	10	2	1	1	2	2	1	3
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	379	928	2005	1082	1323	363	46	212	290	485	125	58
POURCENTAGE	5%	13%	27%	15%	18%	5%	1%	3%	4%	7%	2%	1%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	5	8	18	11	9	3	2	4	6	1	2	1
POURCENTAGE	7%	11%	26%	16%	13%	4%	3%	6%	9%	1%	3%	1%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):				7296								
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:				70								

FOX BAY													
TYPE DE MACHINES	1	2	3	4	5	7	9	10	11	12	13	14	16
ABRÉVIATION	SU3	SU5	SA	DA	TA	MA	GO	PO	BAS	PR	DL	12A	DP
NOMBRE DE MACHINES	3	4	16	7	1	10	2	1	1	2	2	1	3
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	396	1058	1768	1122	65	1190	375	5	212	478	244	124	245
POURCENTAGE	5%	15%	24%	15%	1%	16%	5%	0%	3%	7%	3%	2%	3%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	6	10	15	12	1	16	3	1	4	8	2	2	1
POURCENTAGE	7%	12%	19%	15%	1%	20%	4%	1%	5%	10%	2%	2%	1%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):				7282									
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:				81									

PARKA DE MONTAGNE										
TYPE DE MACHINES	1	2	3	4	5	7	11	12	13	16
ABRÉVIATION	SU3	SU5	SA	DA	TA	MA	BAS	PR	DL	DP
NOMBRE DE MACHINES	3	4	16	7	1	10	1	2	2	3
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	597	308	1975	1788	83	600	364	294	125	59
POURCENTAGE	10%	5%	32%	29%	1%	10%	6%	5%	2%	1%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	9	4	17	12	1	6	8	6	1	1
POURCENTAGE	14%	6%	26%	18%	2%	9%	12%	9%	2%	2%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):					6193					
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:					65					



## LES PRODUITS DE LA FAMILLE 7

ANDOORI												
TYPE DE MACHINES	1	2	3	4	5	7	9	10	11	12	13	16
ABRÉVIATION	SU3	SU5	SA	DA	TA	MA	GO	PO	BAS	PR	DL	DP
NOMBRE DE MACHINES	3	4	16	7	1	10	2	1	1	2	2	3
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	158	493	2475	787	77	529	226	35	70	155	364	71
POURCENTAGE	3%	9%	45%	14%	1%	10%	4%	1%	1%	3%	7%	1%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	4	5	9	6	1	5	2	1	2	1	2	1
POURCENTAGE	10%	13%	23%	15%	3%	13%	5%	3%	5%	3%	5%	3%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):					5440							
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:					39							

BALTUS									
TYPE DE MACHINES	1	2	3	5	7	9	11	14	15
ABRÉVIATION	SU3	SU5	SA	TA	MA	GO	BAS	12A	CO
NOMBRE DE MACHINES	3	4	16	1	10	2	1	1	1
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	113	41	810	23	260	167	2	152	77
POURCENTAGE	7%	2%	49%	1%	16%	10%	0%	9%	5%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	1	1	7	1	4	1	1	2	1
POURCENTAGE	5%	5%	37%	5%	21%	5%	5%	11%	5%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):					1645				
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:					19				

CÉPHÉE										
TYPE DE MACHINES	2	3	5	7	10	11	12	13	14	16
ABRÉVIATION	SU5	SA	TA	MA	PO	BAS	PR	DL	12A	DP
NOMBRE DE MACHINES	4	16	1	10	1	1	2	2	1	3
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	83	410	23	119	35	189	23	281	137	136
POURCENTAGE	6%	29%	2%	8%	2%	13%	2%	20%	10%	9%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	1	4	1	1	1	3	2	1	1	2
POURCENTAGE	6%	24%	6%	6%	6%	18%	12%	6%	6%	12%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):					1436					
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:					17					

CIRRUS									
TYPE DE MACHINES	2	3	7	9	11	12	13	14	16
ABRÉVIATION	SU5	SA	MA	GO	BAS	PR	DL	12A	DP
NOMBRE DE MACHINES	4	16	10	2	1	2	2	1	3
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	363	268	374	137	200	25	167	117	173
POURCENTAGE	20%	15%	21%	8%	11%	1%	9%	6%	9%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	3	2	4	1	4	2	1	1	1
POURCENTAGE	16%	11%	21%	5%	21%	11%	5%	5%	5%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):					1824				
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:					19				





## LES PRODUITS DE LA FAMILLE 7

NAGASAKI										
TYPE DE MACHINES	1	2	3	4	5	7	12	13	14	16
ABRÉVIATION	SU3	SU5	SA	DA	TA	MA	PR	DL	12A	DP
NOMBRE DE MACHINES	3	4	16	7	1	10	2	2	1	3
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	176	124	1325	509	327	350	47	239	89	60
POURCENTAGE	5%	4%	41%	16%	10%	11%	1%	7%	3%	2%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	5	2	8	7	3	6	1	1	1	1
POURCENTAGE	14%	6%	23%	20%	9%	17%	3%	3%	3%	3%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):				3246						
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:				35						

NUPTSE														
TYPE DE MACHINES	1	2	3	4	5	7	9	10	11	12	13	14	16	
ABRÉVIATION	SU3	SU5	SA	DA	TA	MA	GO	PO	BAS	PR	DL	12A	DP	
NOMBRE DE MACHINES	3	4	16	7	1	10	2	1	1	2	2	1	3	
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	214	458	2150	1432	77	942	334	35	100	214	143	29	136	
POURCENTAGE	3%	7%	34%	23%	1%	15%	5%	1%	2%	3%	2%	0%	2%	
NOMBRE D'OPÉRATIONS	3	5	10	8	1	7	2	1	3	2	1	1	2	
POURCENTAGE	7%	11%	22%	17%	2%	15%	4%	2%	7%	4%	2%	2%	4%	
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):					6264									
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:					46									

PANTALO										
TYPE DE MACHINES	2	3	4	5	7	9	11	12	13	16
ABRÉVIATION	SU5	SA	DA	TA	MA	GO	BAS	PR	DL	DP
NOMBRE DE MACHINES	4	16	7	1	10	2	1	2	2	3
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	231	601	201	23	422	656	344	71	373	119
POURCENTAGE	8%	20%	7%	1%	14%	22%	11%	2%	12%	4%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	3	5	3	1	4	4	4	4	3	1
POURCENTAGE	9%	16%	9%	3%	13%	13%	13%	13%	9%	3%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):					3041					
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:					32					

PANTALON KLUANE							
TYPE DE MACHINES	2	3	4	7	10	11	12
ABRÉVIATION	SU5	SA	DA	MA	PO	BAS	PR
NOMBRE DE MACHINES	4	16	7	10	1	1	2
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	637	345	531	124	84	32	32
POURCENTAGE	36%	19%	30%	7%	5%	2%	2%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	6	3	4	2	1	1	1
POURCENTAGE	33%	17%	22%	11%	6%	6%	6%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):				1785			
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:				18			

## LES PRODUITS DE LA FAMILLE 7

PUFFIN									
TYPE DE MACHINES	2	3	4	5	7	10	11	12	14
ABRÉVIATION	SU5	SA	DA	TA	MA	PO	BAS	PR	12A
NOMBRE DE MACHINES	4	16	7	1	10	1	1	2	1
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	208	828	268	23	166	67	160	26	124
POURCENTAGE	11%	44%	14%	1%	9%	4%	9%	1%	7%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	3	6	3	1	2	1	3	2	1
POURCENTAGE	14%	27%	14%	5%	9%	5%	14%	9%	5%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):					1870				
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:					22				

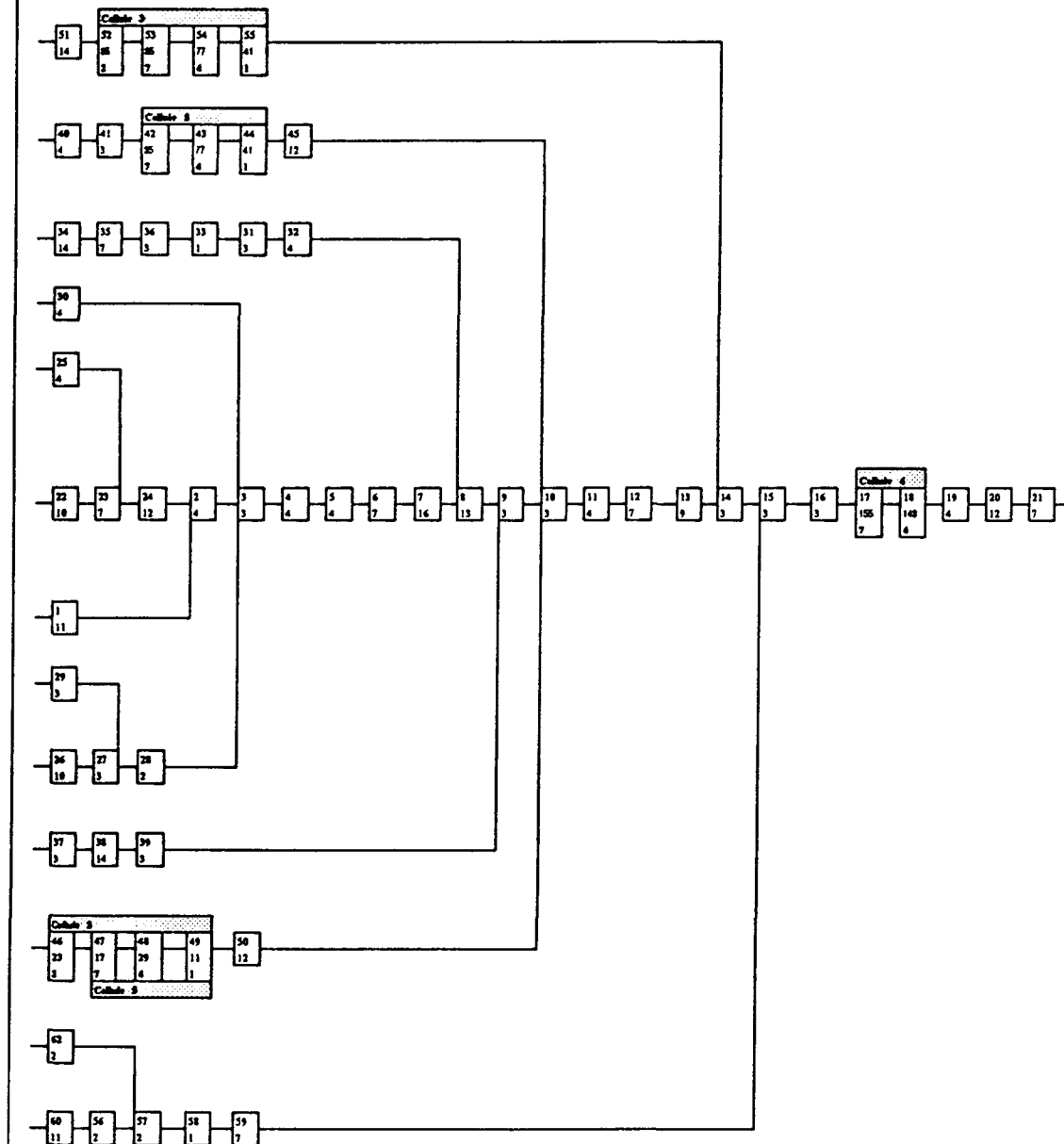
RAFALE										
TYPE DE MACHINES	1	2	3	4	7	11	12	13	14	16
ABRÉVIATION	SU3	SU5	SA	DA	MA	BAS	PR	DL	12A	DP
NOMBRE DE MACHINES	3	4	16	7	10	1	2	2	1	3
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	160	171	733	149	218	118	26	125	148	124
POURCENTAGE	8%	9%	37%	8%	11%	6%	1%	6%	8%	6%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	2	3	5	1	4	2	2	1	2	2
POURCENTAGE	8%	13%	21%	4%	17%	8%	8%	4%	8%	8%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):					1972					
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:					24					

TOUNDRA										
TYPE DE MACHINES	1	2	3	4	7	11	12	13	14	16
ABRÉVIATION	SU3	SU5	SA	DA	MA	BAS	PR	DL	12A	DP
NOMBRE DE MACHINES	3	4	16	7	10	1	2	2	1	3
TEMPS D'OPÉRATION (SEC)	262	369	1190	1104	654	70	185	137	77	148
POURCENTAGE	6%	9%	28%	26%	16%	2%	4%	3%	2%	4%
NOMBRE D'OPÉRATIONS	2	3	4	6	6	2	1	1	1	2
POURCENTAGE	7%	11%	14%	21%	21%	7%	4%	4%	4%	7%
TEMPS D'OPÉRATION TOTAL (SEC):					4196					
NOMBRE TOTAL D'OPÉRATIONS:					28					

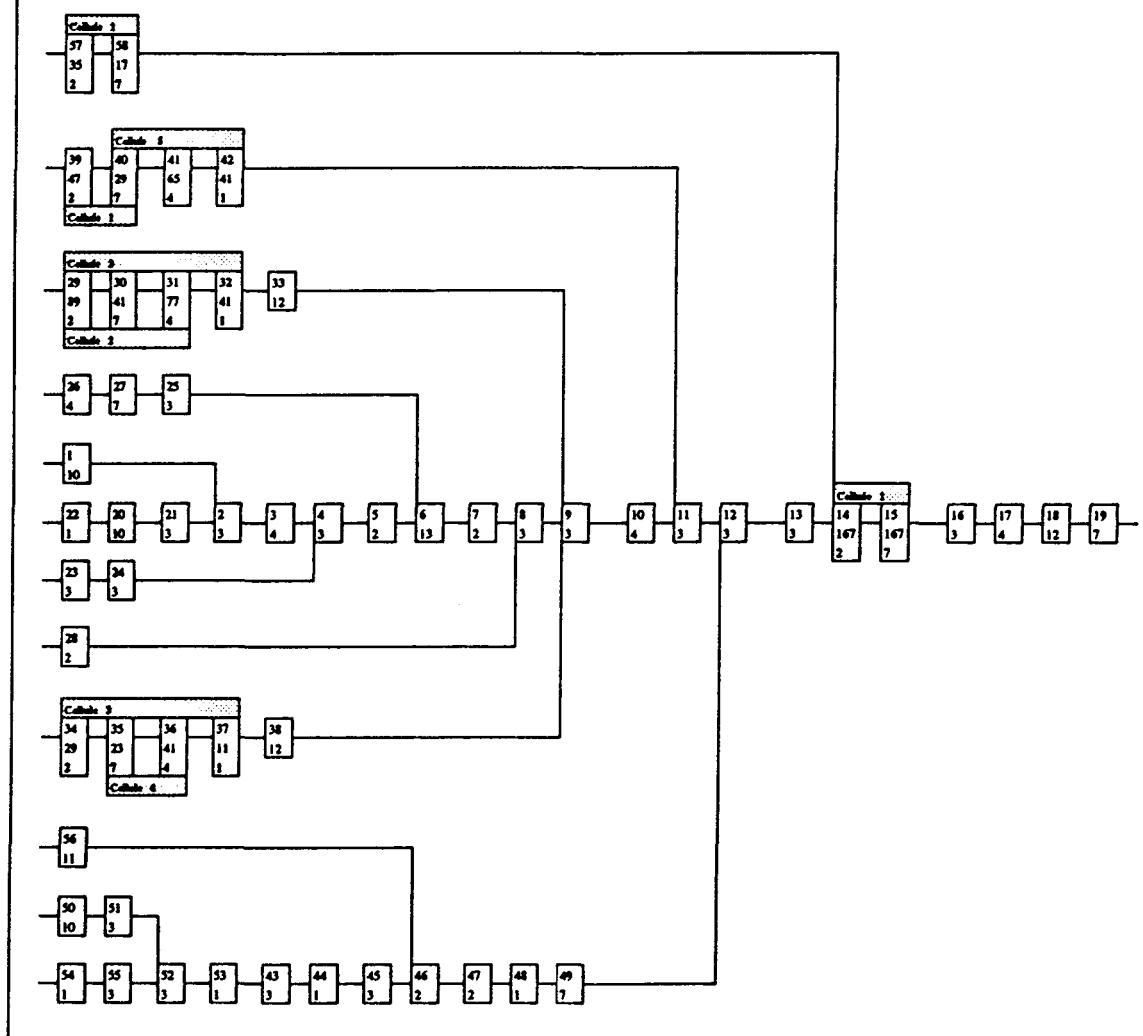
## **ANNEXE III**

### **DIAGRAMMES D'ASSEMBLAGE DES PRODUITS SIMULÉS**

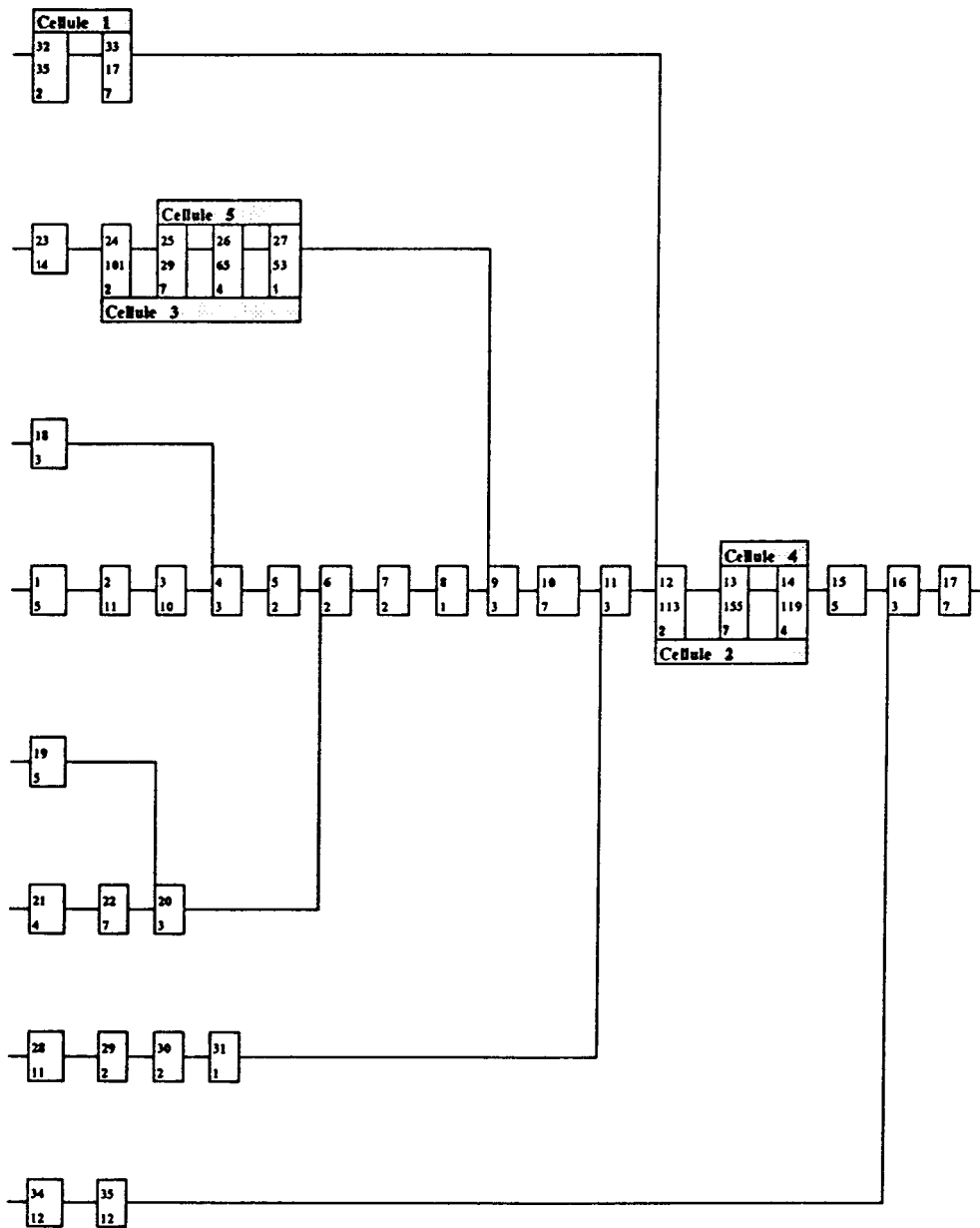
PRODUIT	FREQUENCE	TEMPS TRANSFERS MACE 1	TEMPS TRANSFERS MACE 2	TEMPS TRANSFERS MACE 4	TEMPS TRANSFERS MACE 7
Blues					
Cellule 1 (2-7)	2		58		32
Cellule 2 (2-7-4)	2		58	106	32
Cellule 3 (2-7-4-1)	2	52	58	106	32
Cellule 4 (7-4)	4			326	242
Cellule 5 (7-4-1)	3	93		183	87



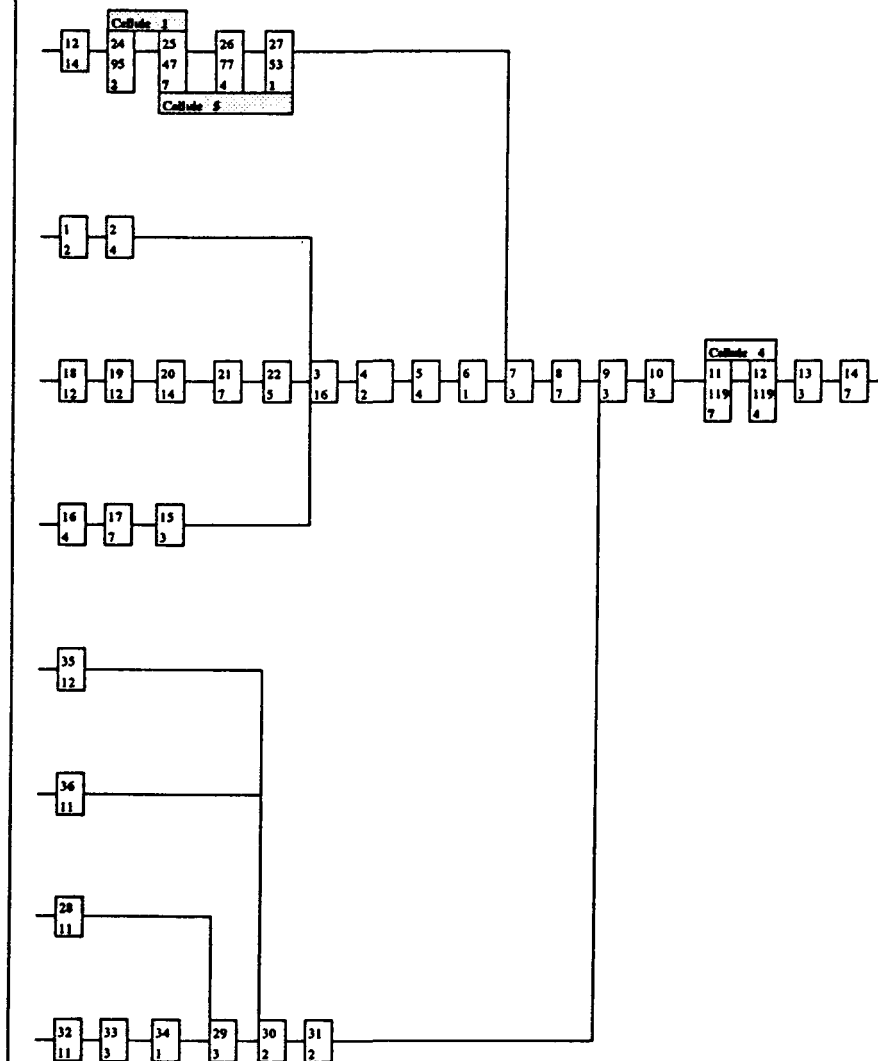
PRODUIT	FREQUENCES	TEMPS TRANSFÈRE MACH. 1	TEMPS TRANSFÈRE MACH. 2	TEMPS TRANSFÈRE MACH. 4	TEMPS TRANSFÈRE MACH. 7
Frisco					
Cellule 1 (2-7)	5		367		277
Cellule 2 (2-7-4)	3		165	183	93
Cellule 3 (2-7-4-1)	3	93	165	183	93
Cellule 4 (7-4)	3			183	93
Cellule 5 (7-4-1)	3	93		183	93



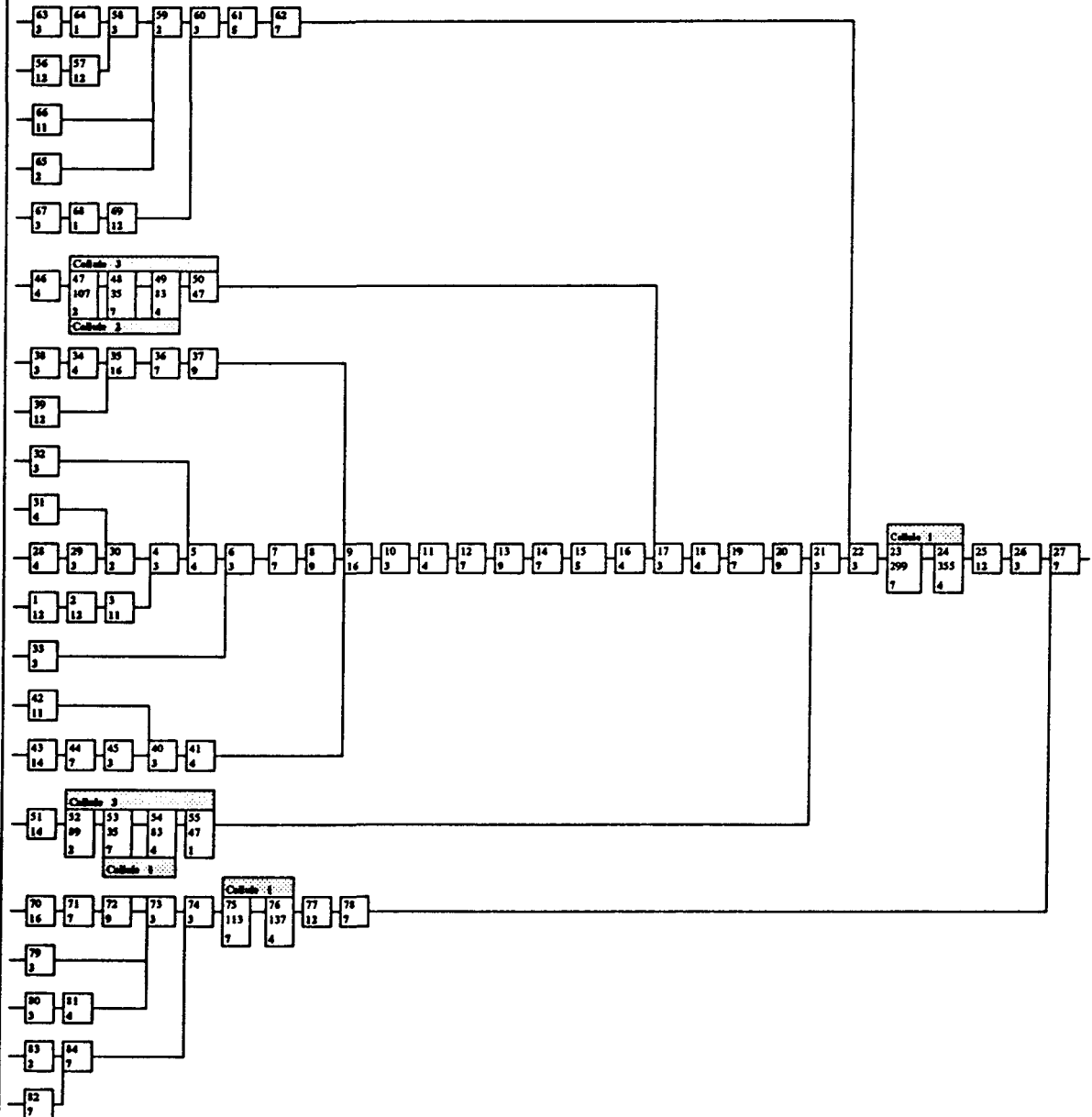
PRODUIT	FREQUENCES	TEMPS TRANSFERE MACH. 1	TEMPS TRANSFERE MACH. 2	TEMPS TRANSFERE MACH. 4	TEMPS TRANSFERE MACH. 7
Glissade					
Cellule 1 (2-7)	3		249		301
Cellule 2 (2-7-4)	2		214	184	184
Cellule 3 (2-7-4-1)	1	53	101	65	29
Cellule 4 (7-4)	2			184	184
Cellule 5 (7-4-1)	1	53		65	29



PRODUIT	FRÉQUENCES	TEMPS TRANSFÉRÉ	TEMPS TRANSFÉRÉ	TEMPS TRANSFÉRÉ	TEMPS TRANSFÉRÉ
		MACH 1	MACH 2	MACH 4	MACH 7
Nevada					
Cellule 1 (2-7)	1		95		47
Cellule 2 (2-7-4)	1		95	77	47
Cellule 3 (2-7-4-1)	1	53	95	77	47
Cellule 4 (7-4)	2			196	166
Cellule 5 (7-4-1)	1	53		77	47

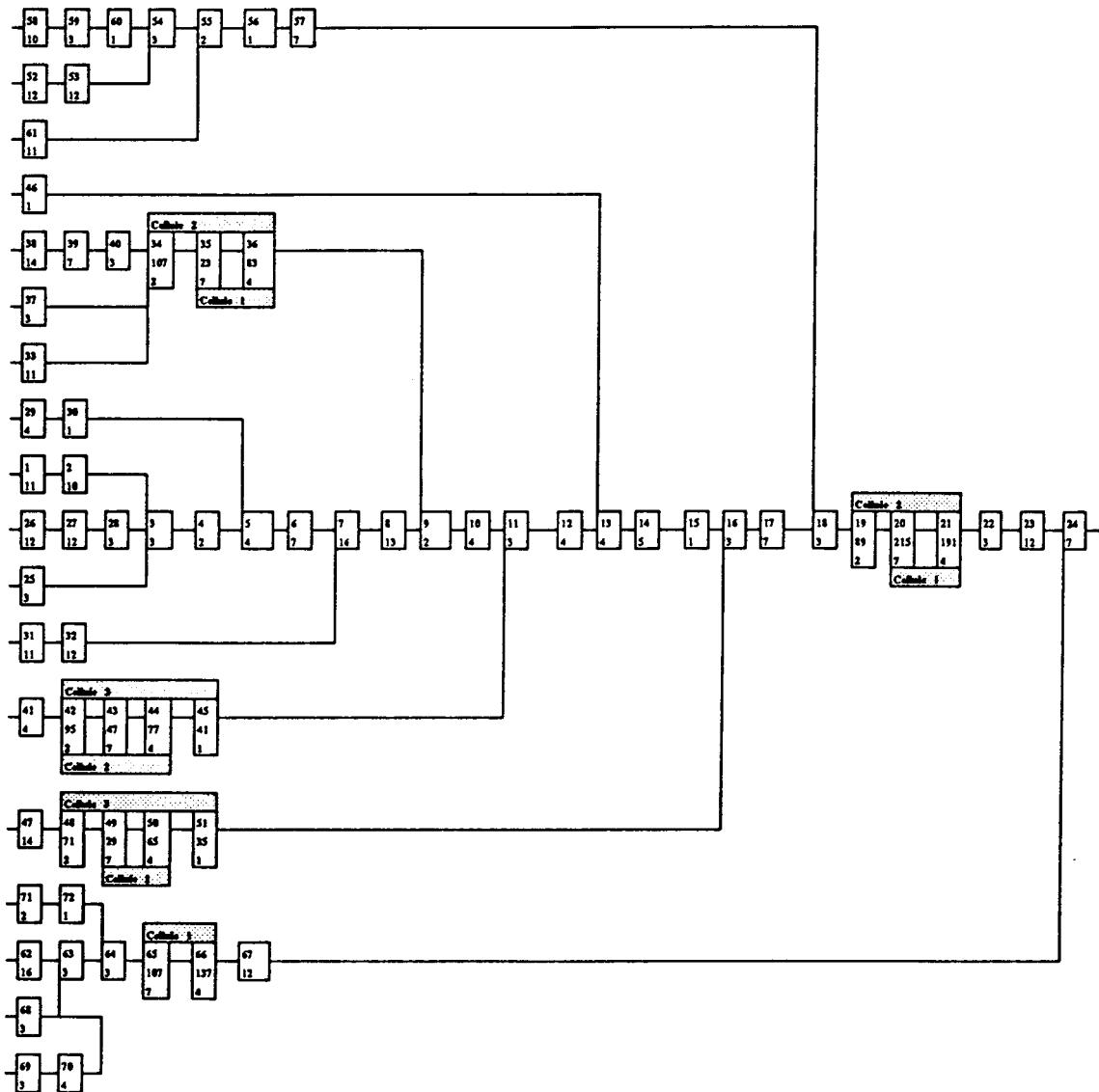


PRODUIT	FREQUENCES	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 1	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 2	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 4	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 7
Acapulco					
Cellule 1 (7-4)	4			638	482
Cellule 2 (2-7-4)	2		196	166	70
Cellule 3 (2-7-4-1)	2	94	196	166	70

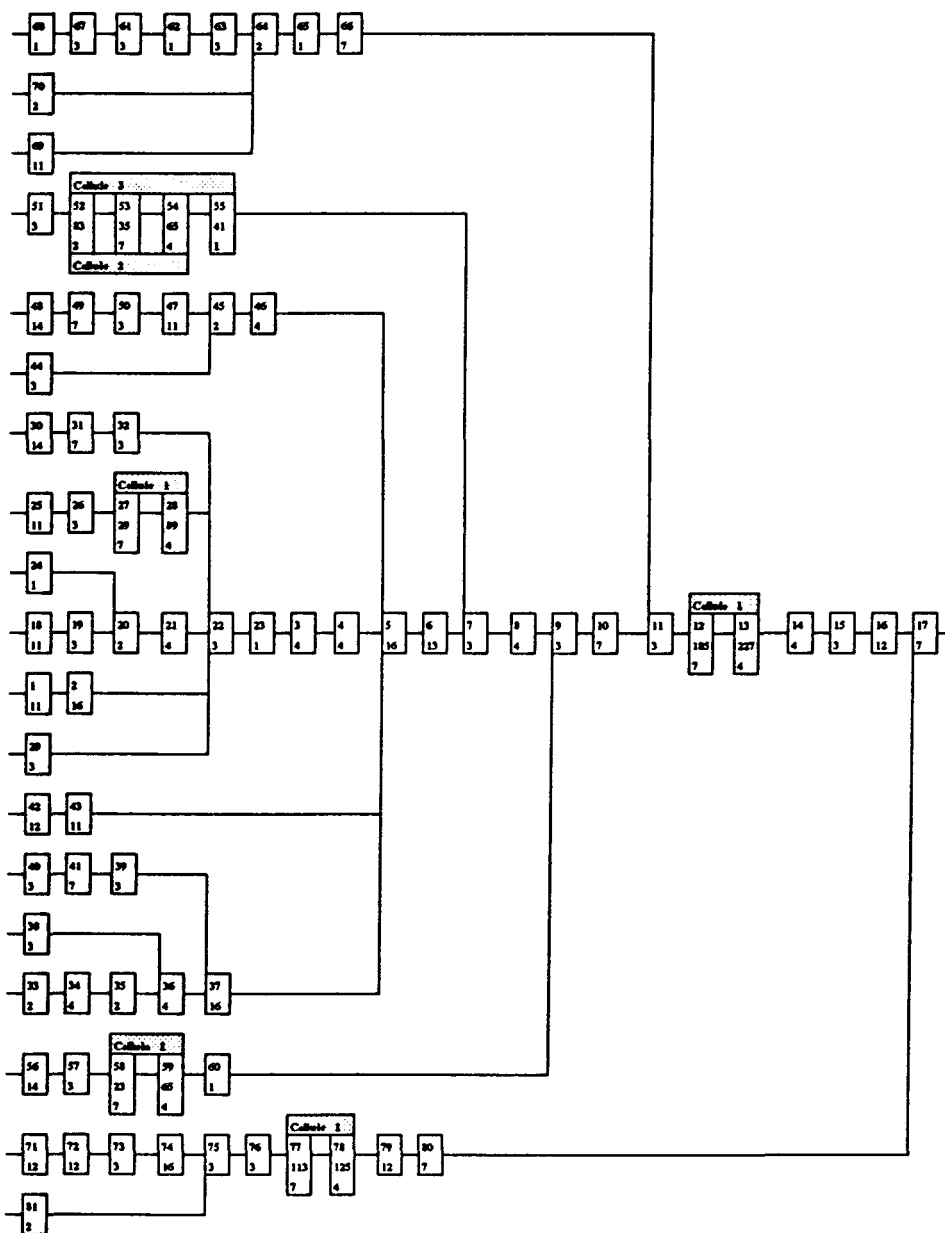




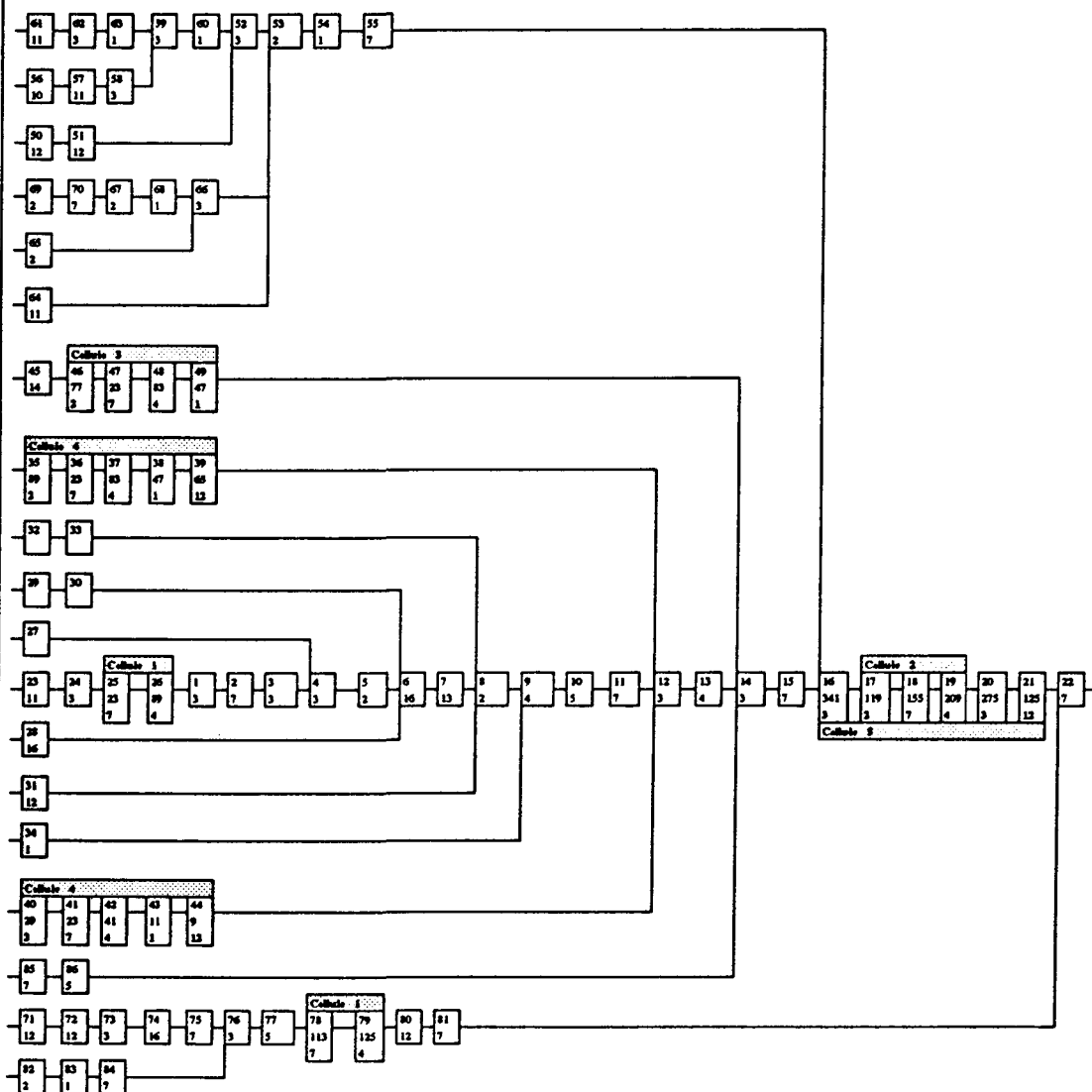
PRODUIT	PERIODES	TEMPS TRANSFÉRÉ MACE 1	TEMPS TRANSFÉRÉ MACE 2	TEMPS TRANSFÉRÉ MACE 3	TEMPS TRANSFÉRÉ MACE 4	TEMPS TRANSFÉRÉ MACE 5	TEMPS TRANSFÉRÉ MACE 6
Avalanche							
Cellule 1 (7-4)	8				353	421	
Cellule 2 (2-7-4)	4		362		416	314	
Cellule 3 (3-7-4-1)	3	35	71		65	76	
Cellule 4 (3-2-7-4-3-12)	1		89	484	191	215	59



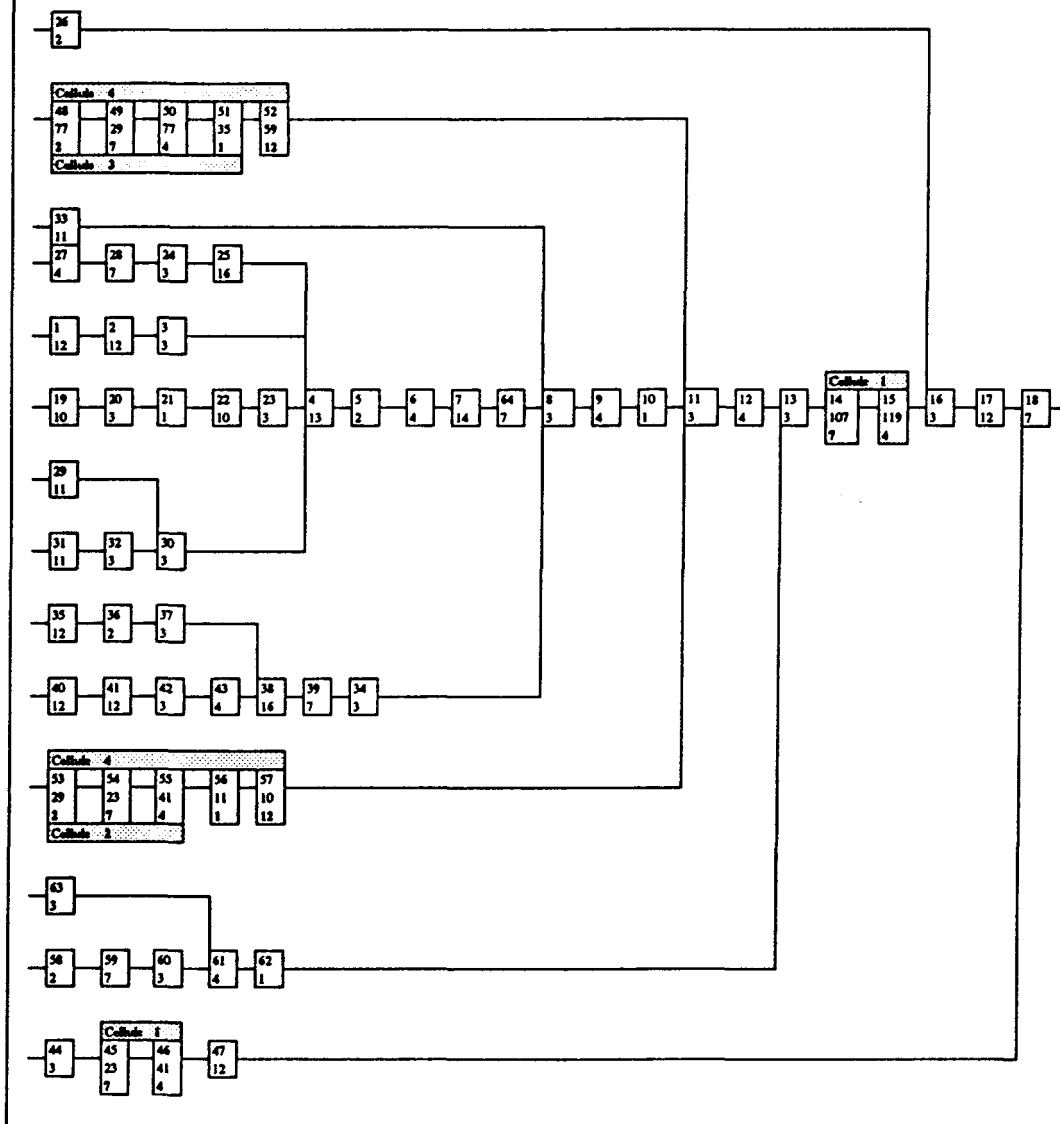
PRODUIT	FRÉQUENCE	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 1	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 3	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 4	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 7
Aventure					
Cellule 1 (7-4)	8			571	385
Cellule 2 (7-4-1)	1		83	65	35
Cellule 3 (2-7-4-1)	1	41		65	35



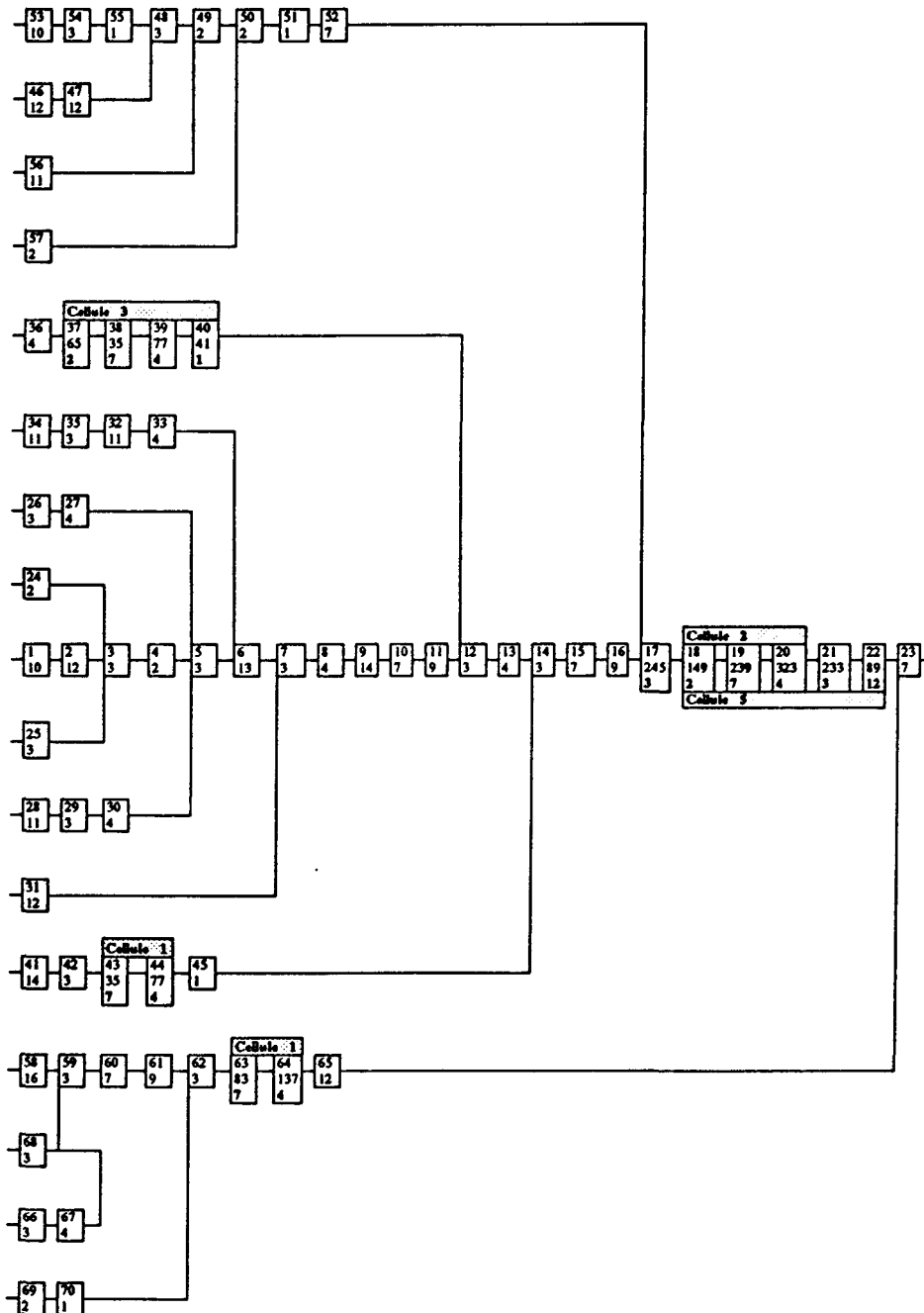
PRODUIT	FREQUENCES	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 1	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 2	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 3	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 4	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 7	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 12
Baffin							
Cellule 1 (7-6)	6				630	360	
Cellule 2 (2-7-6)	4		314		416	224	
Cellule 3 (2-7-4-1)	3	105	195		207	69	
Cellule 4 (2-7-4-1-12)	2	58	118		125	46	74
Cellule 5 (3-2-7-4-3-12)	1		119	616	209	155	125



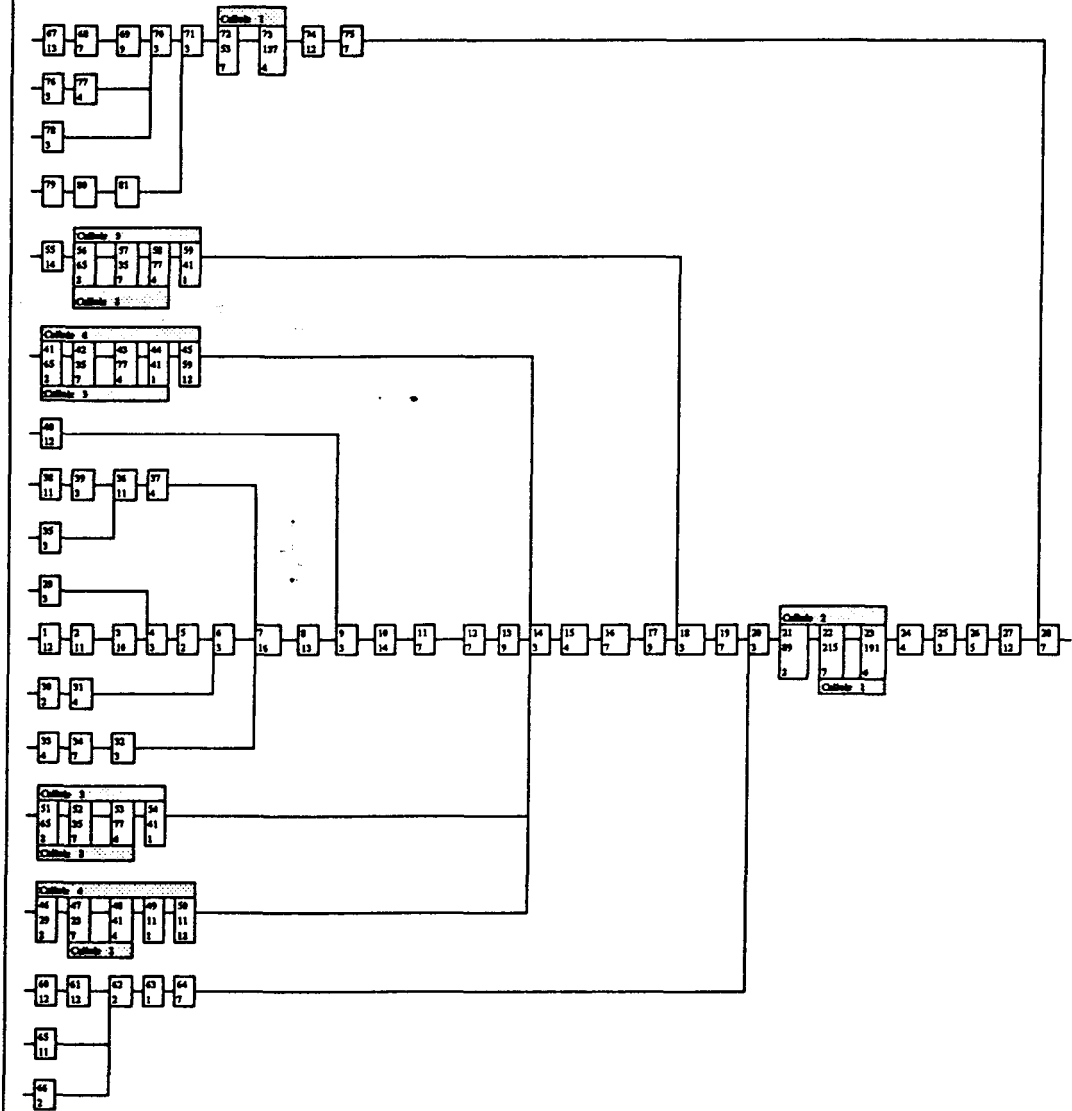
PRODUIT	FREQUENCES	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 1	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 2	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 4	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 7	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 13
Beijing						
Cellule 1 (7-4)	4			278	182	
Cellule 2 (2-7-4)	2		106	128	52	
Cellule 3 (2-7-4-1)	2	46	106	128	52	
Cellule 4 (2-7-4-1-12)	2	46	106	128	52	69



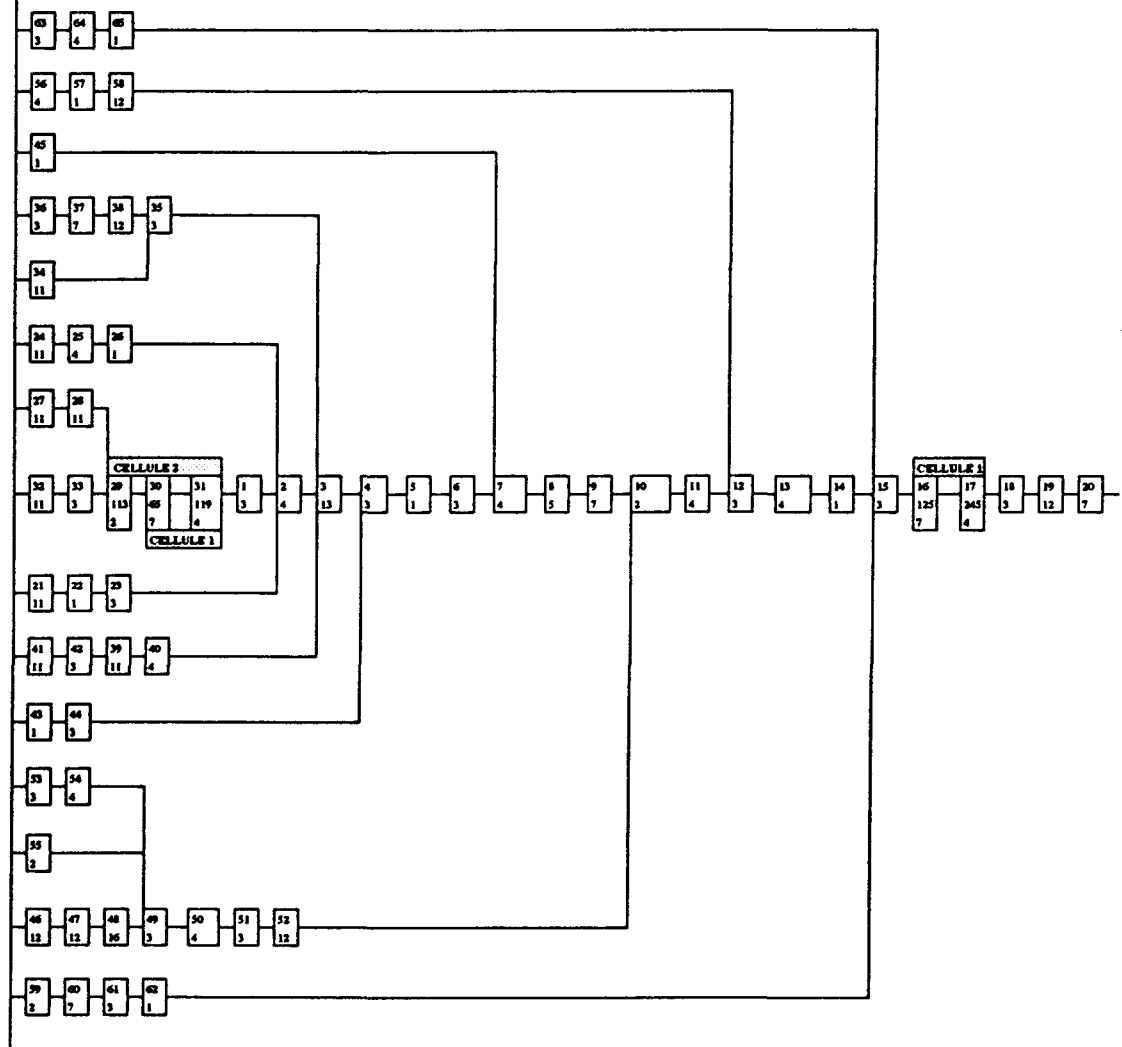
PRODUIT	FREQUENCES	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 1	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 2	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 3	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 4	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 7	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 22
Caphorn							
Cellule 1 (7-4)	4				614	392	
Cellule 2 (2-7-4)	2		214		400	274	
Cellule 3 (2-7-4-1)	1	41	65		77	35	
Cellule 5 (3-2-7-4-3-12)	1		149	478	323	239	89



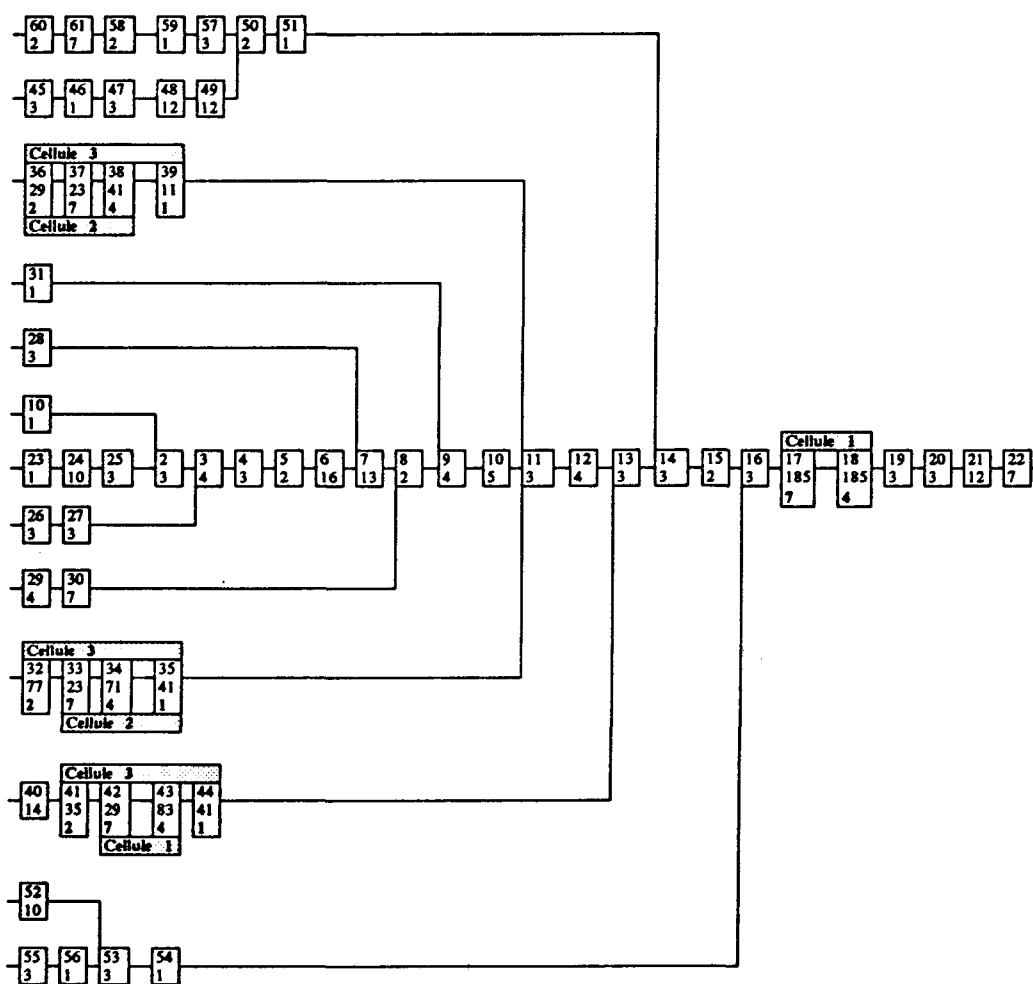
PRODUIT	FREQUENCE	TEMPS TRANSFERS MACH. 1	TEMPS TRANSFERS MACH. 2	TEMPS TRANSFERS MACH. 4	TEMPS TRANSFERS MACH. 7	TEMPS TRANSFERS MACH. 13
Forbay						
Cellule 1 (7-4)	6			600	396	
Cellule 2 (2-7-4)	8		313	463	343	
Cellule 3 (2-7-4-1)	4	134	224	272	128	
Cellule 4 (2-7-4-1-12)	2	52	94	118	58	70



PRODUIT	FRÉQUENCES	TEMPS TRANSFÈRE MACH. 2	TEMPS TRANSFÈRE MACH. 4	TEMPS TRANSFÈRE MACH. 7
Parkam				
Cellule 1 (7-4)	2		364	190
Cellule 2 (2-7-4)	1	113	119	65



PRODUIT	FREQUENCES	TEMPS TRANSFÈRE			
		MACH. 1	MACH. 2	MACH. 4	MACH. 7
Shangai					
Cellule 1 (7-4)	4			380	260
Cellule 2 (2-7-4)	3		141	195	75
Cellule 3 (2-7-4-1)	3	93	141	195	75

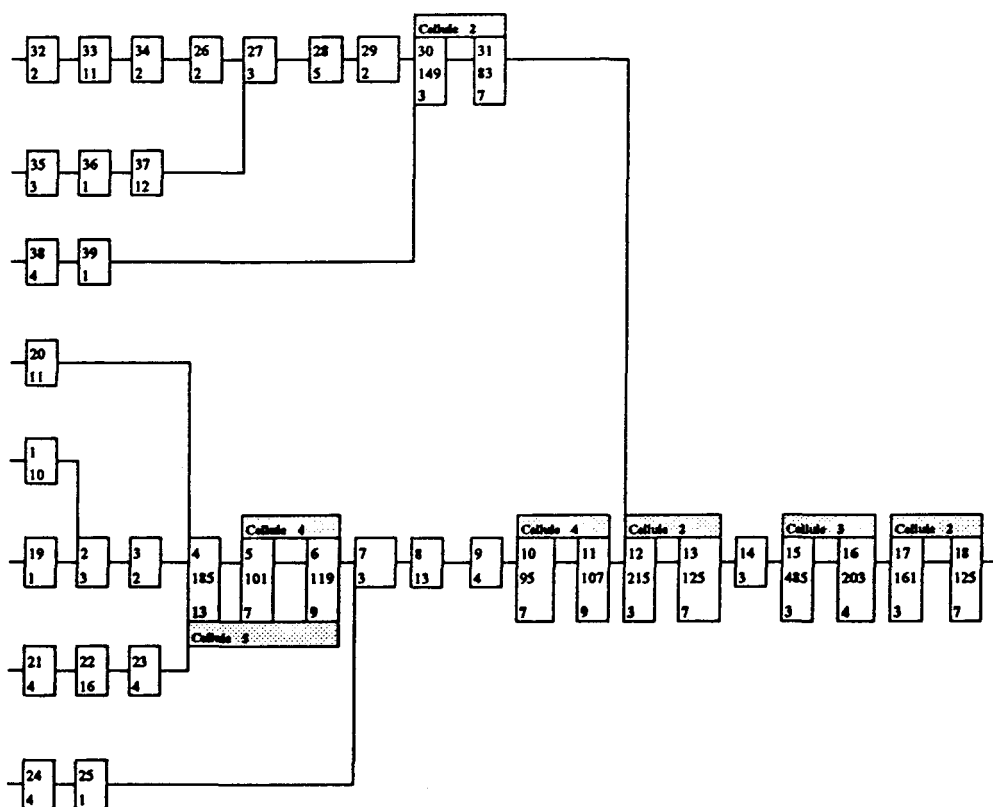




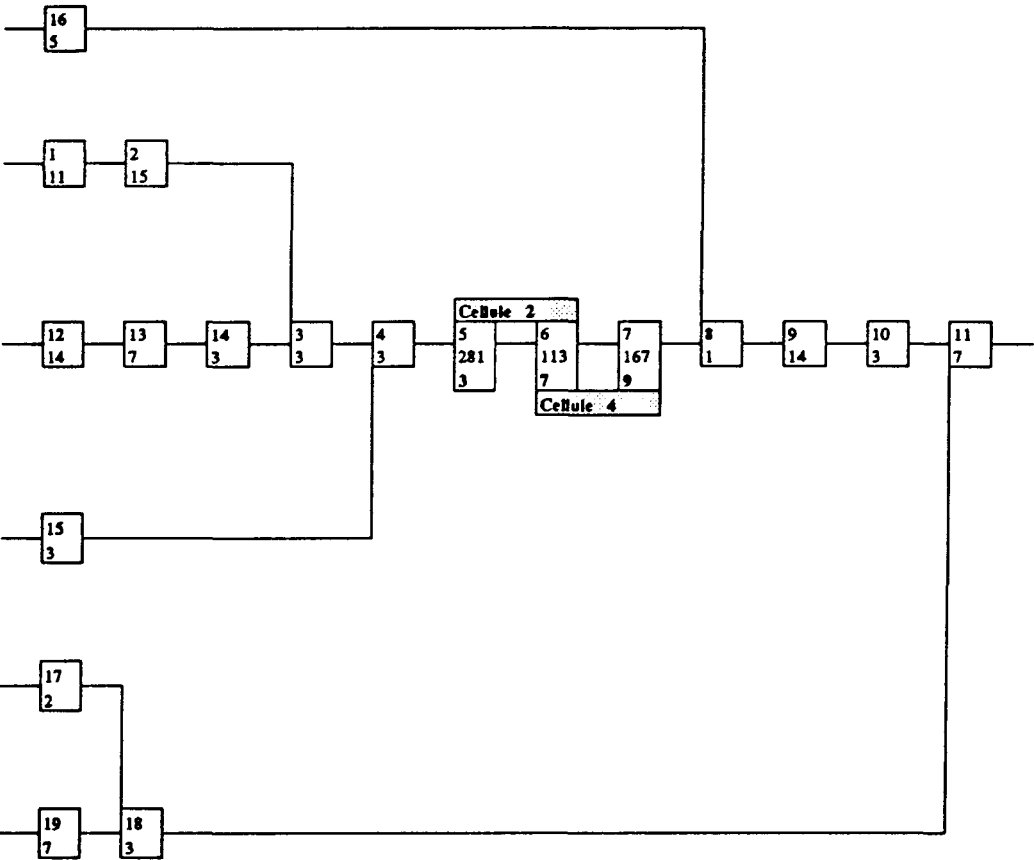
PRODUIT	FRÉQUENCES	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 1	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 4	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 7
Stratus				
Cellule 1 (7-4)	2	89	208	82
Cellule 2 (2-7-4)	1	89	83	35



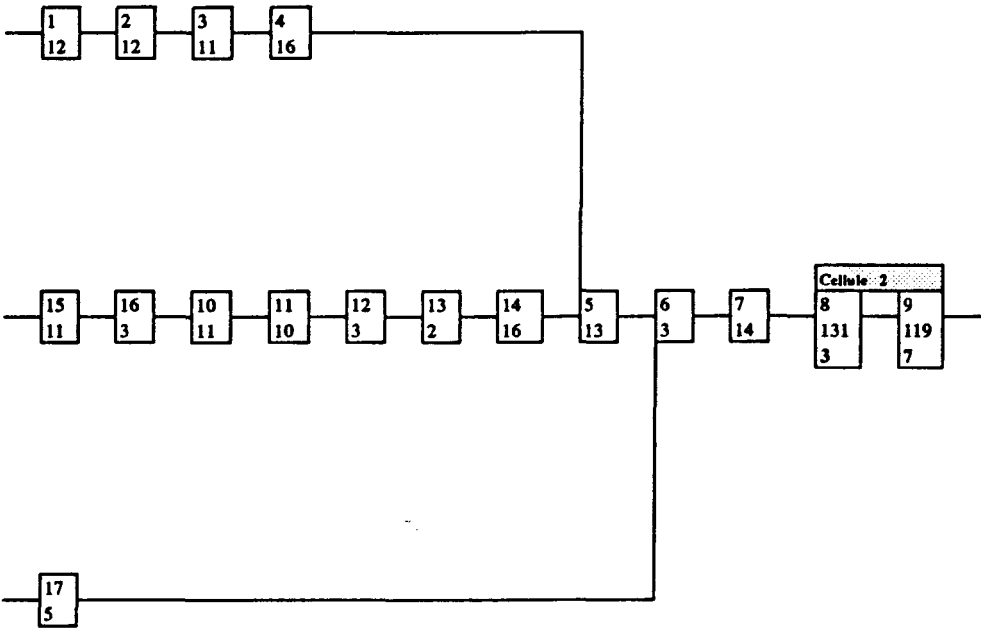
PRODUIT	FREQUENCES	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 3	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 4	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 7	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 9	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 13
Andoori						
Cellule 2 (3-7)	3	525		333		
Cellule 3 (3-4)	1	485	203			
Cellule 4 (7-9)	2			196	226	
Cellule 5 (13-7-9)	1			101	119	185



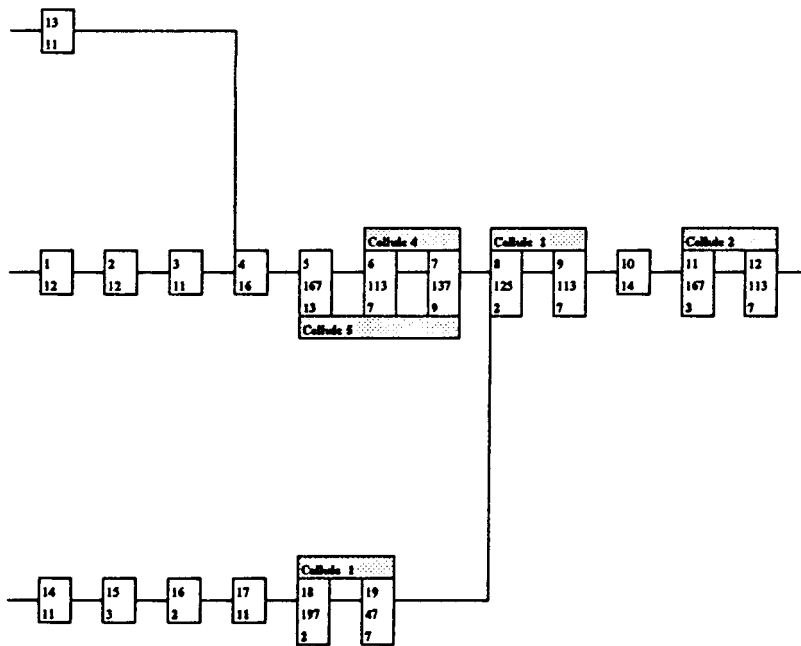
PRODUIT	FRÉQUENCES	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH 3	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH 7	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH 9
Baltus				
Cellule 2 (3-7)	1	281	113	
Cellule 4 (7-9)	1		113	167



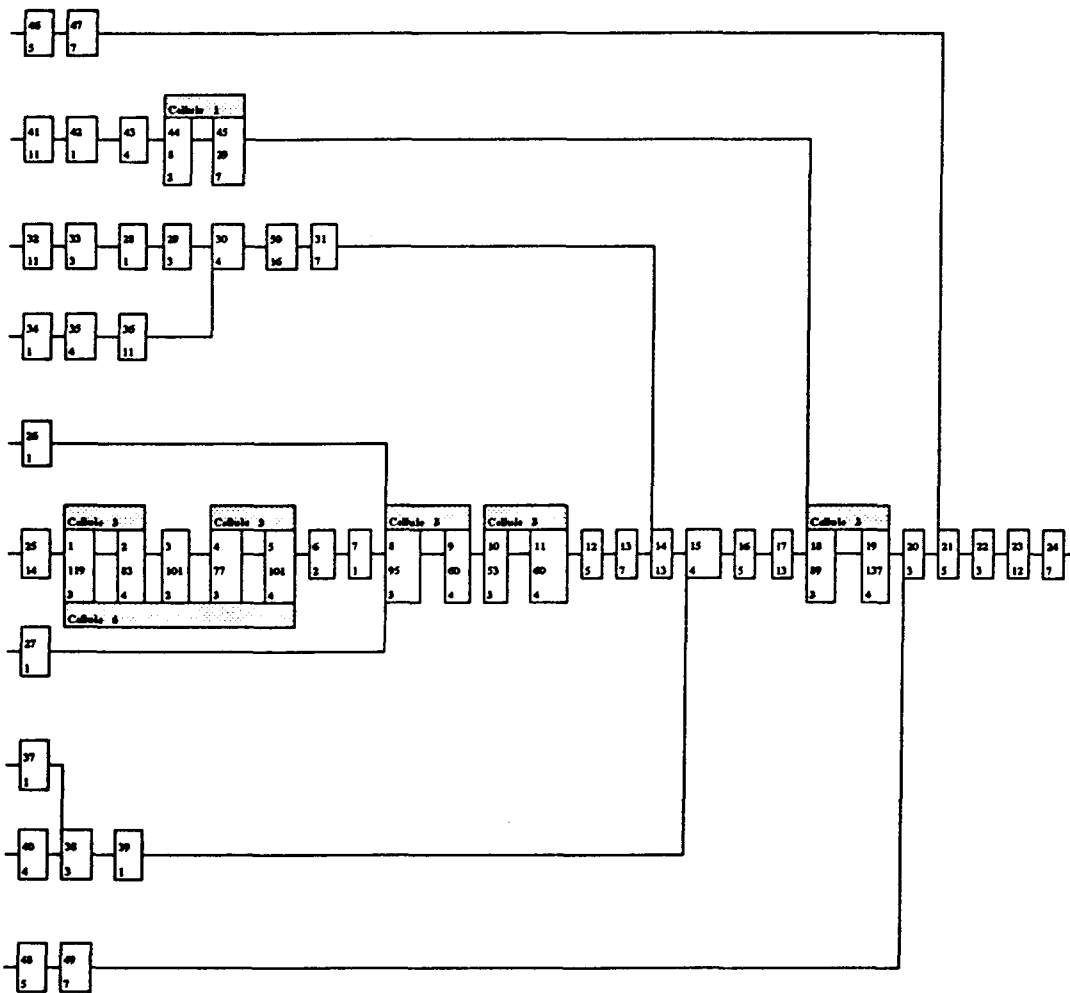
PRODUIT	FRÉQUENCES	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 3	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 7
Céphée			
Cellule 2 (3-7)	1	131	119



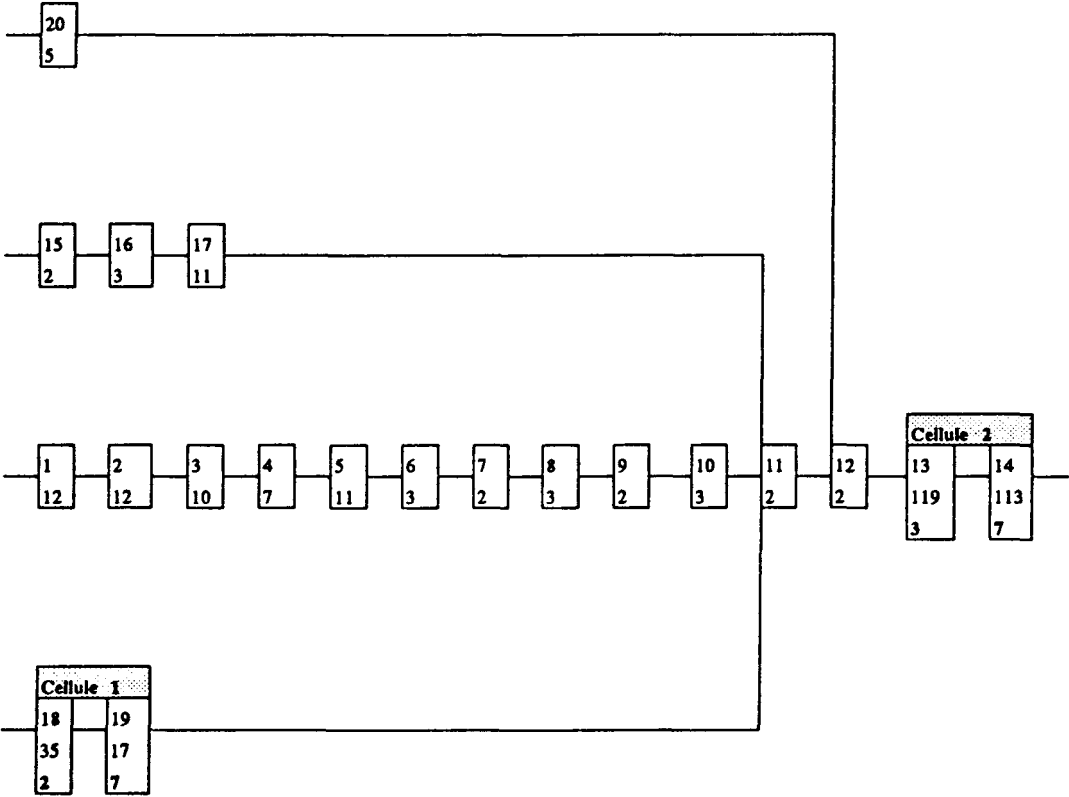
PRODUIT	FRÉQUENCES	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 2	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 3	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 7	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 9	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 13
Cirrus						
Cellule 1 (2-7)	2	322		160		
Cellule 2 (3-7)	1		167	113		
Cellule 4 (7-9)	1			113	137	
Cellule 5 (13-7-9)	1			113	137	167



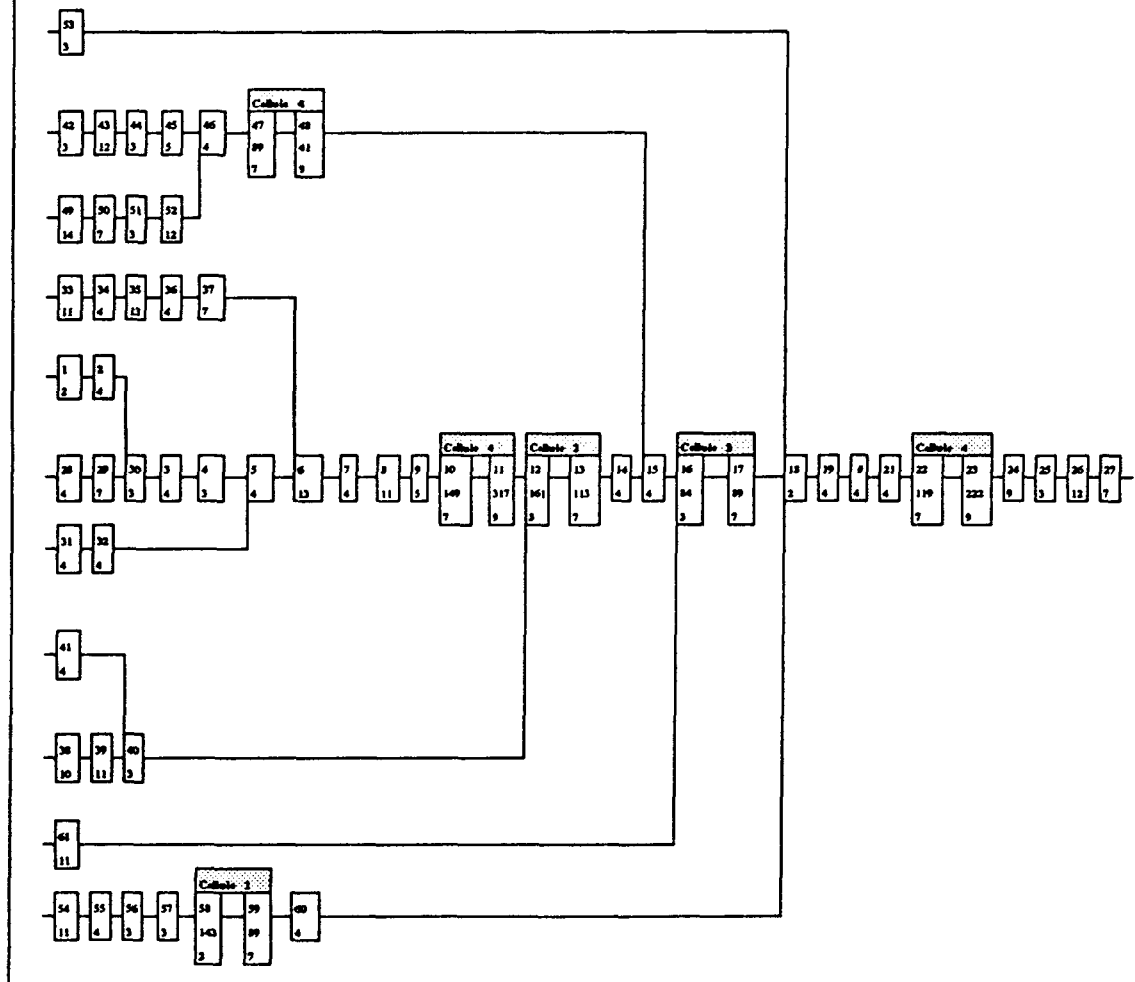
PRODUIT	FRÉQUENCES	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 2	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 3	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 4	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 7
Héron					
Cellule 1 (2-7)	1	8			29
Cellule 3 (3-4)	3		433	441	
Cellule 6 (3-4-2-3)	1	101	196	184	



PRODUIT	FRÉQUENCES	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 2	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 3	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 7
Jane				
Cellule 1 (2-7)	1	35		17
Cellule 2 (3-7)	1		119	113

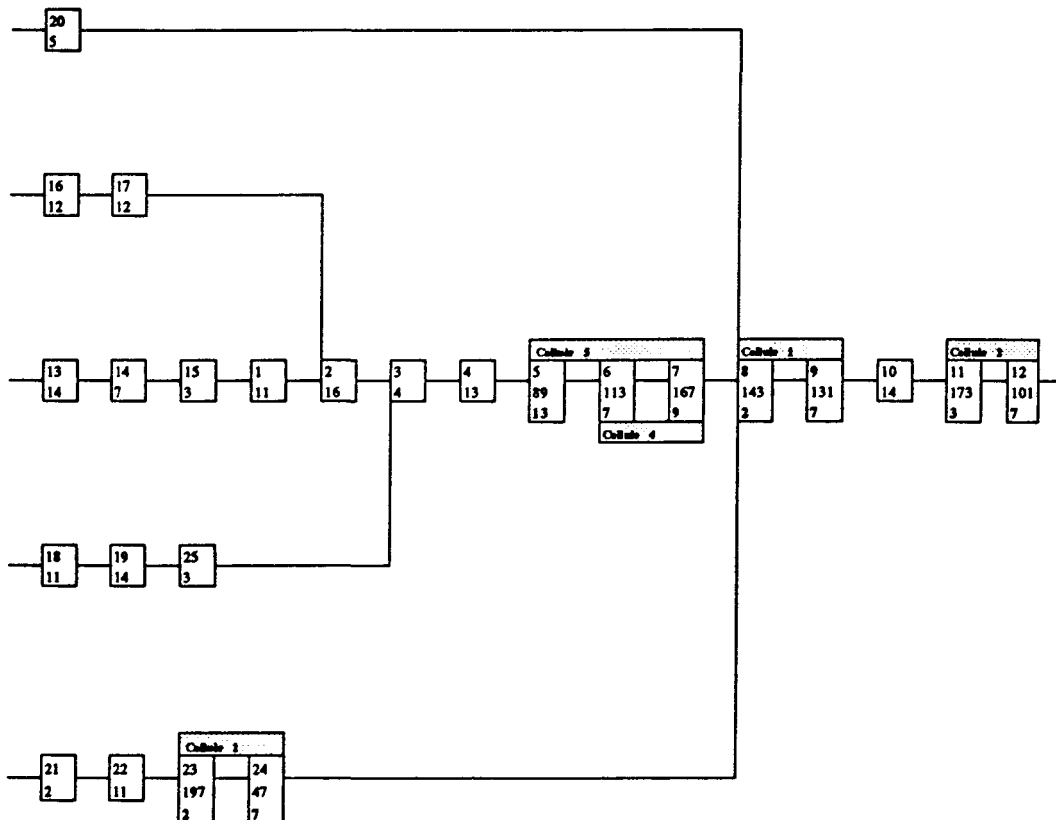


PRODUIT	FREQUENCES	TEMPS TRANSFERE MACH. 2	TEMPS TRANSFERE MACH. 3	TEMPS TRANSFERE MACH. 7	TEMPS TRANSFERE MACH. 9
Kangourou					
Cellule 1 (2-7)	1	143		89	
Cellule 2 (3-7)	2		245	202	
Cellule 4 (7-9)	3			357	590

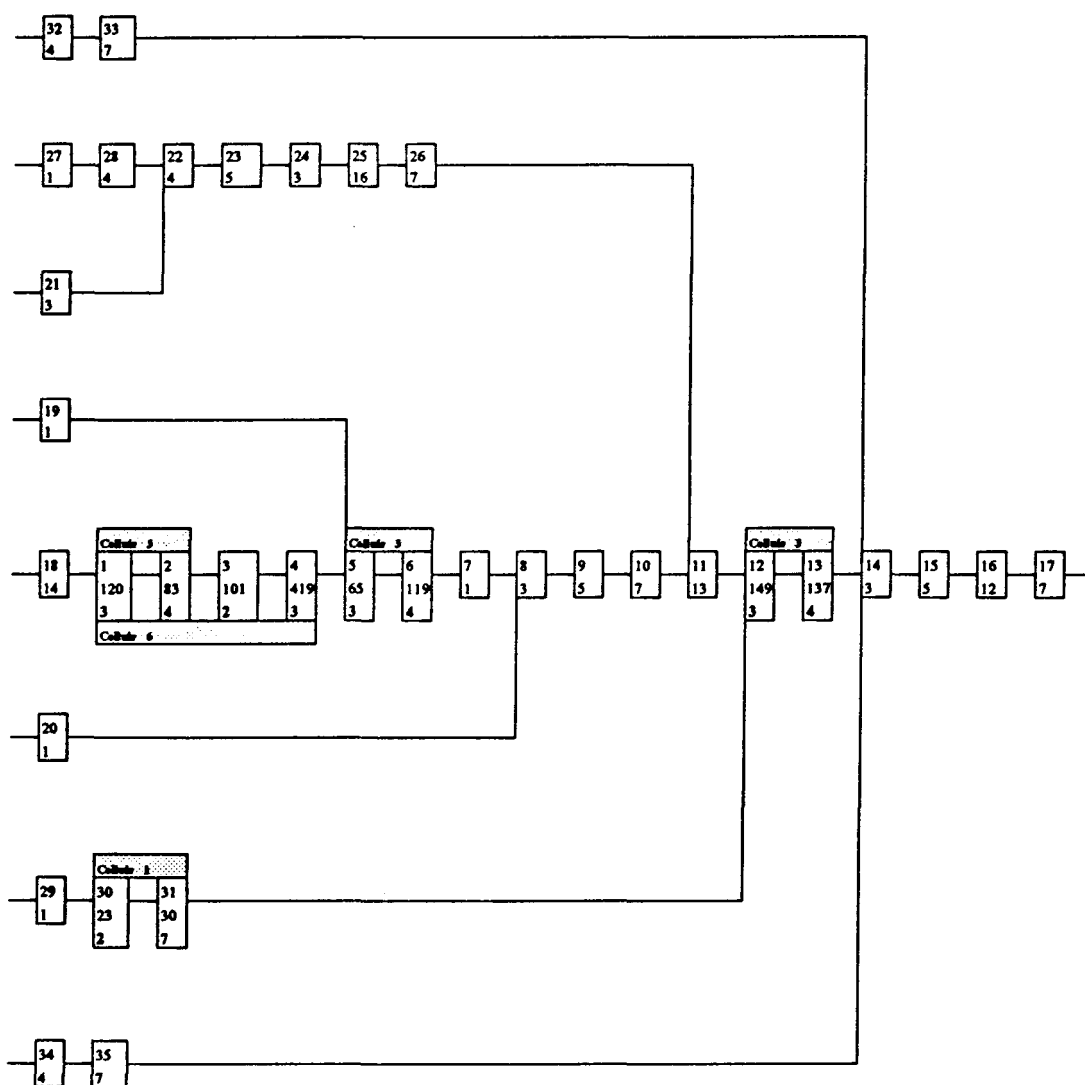




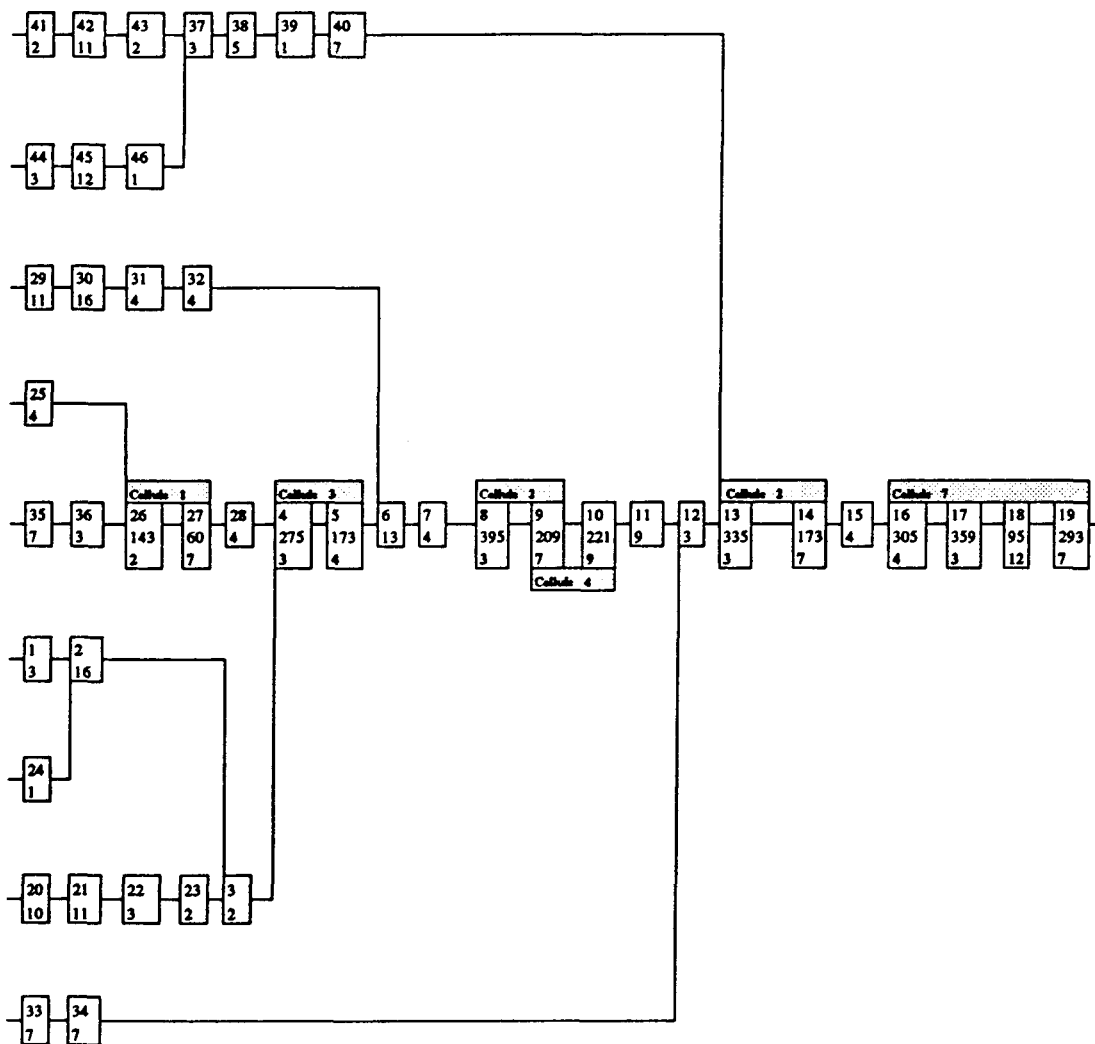
PRODUIT	FRÉQUENCES	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH 2	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH 3	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH 7	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH 9	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH 13
Lama						
Cellule 1 (2-7)	3	340		178		
Cellule 2 (3-7)	1		173	101		
Cellule 4 (7-9)	1			113	167	
Cellule 5 (13-7-9)	1			113	167	89



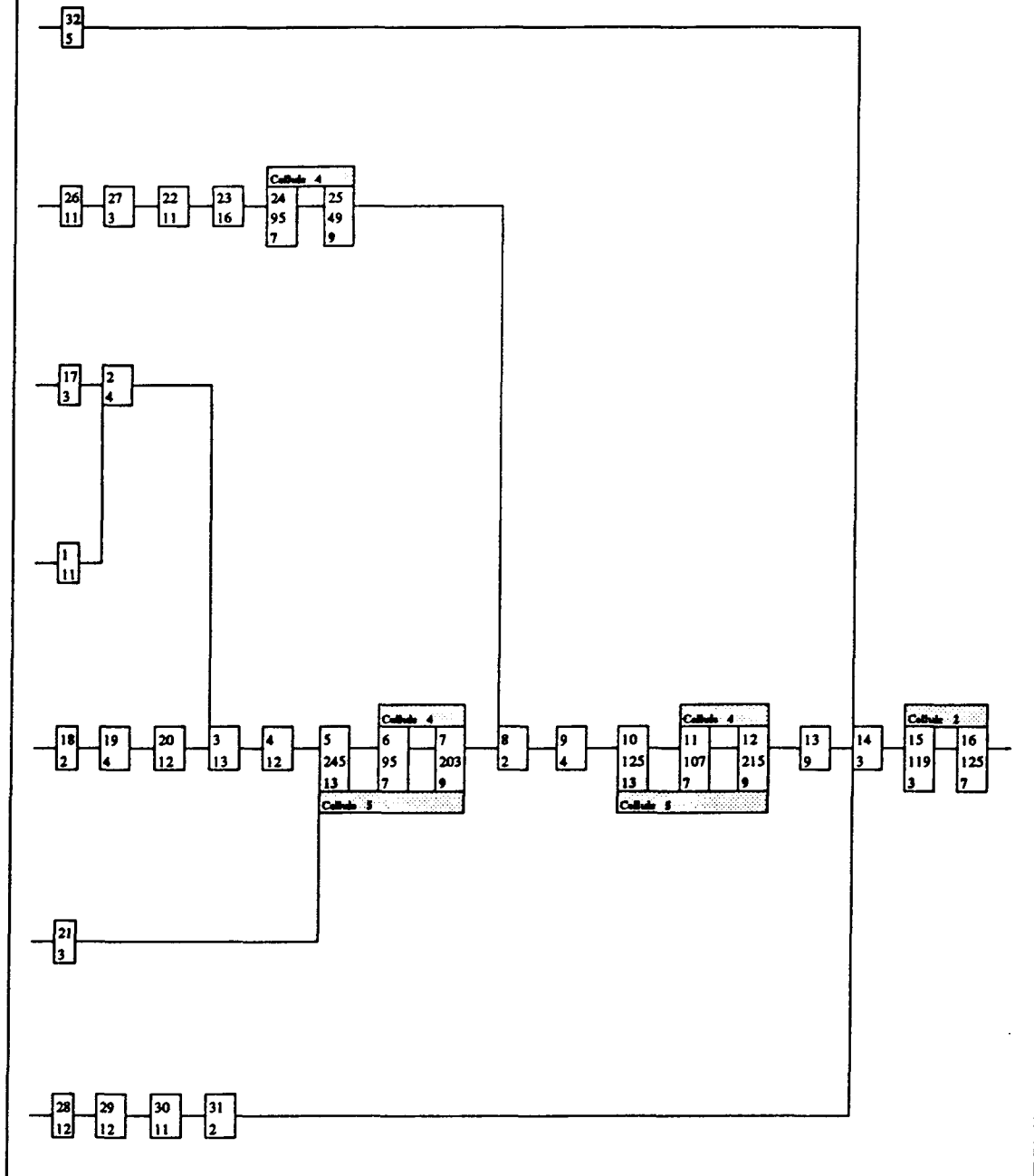
PRODUIT	FREQUENCES	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 2	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 3	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 4	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 5
Nagasaki					
Cellule 1 (2-7)	1	23			30
Cellule 3 (3-4)	3		334	339	
Cellule 6 (3-4-2-3)	1	101	539	83	



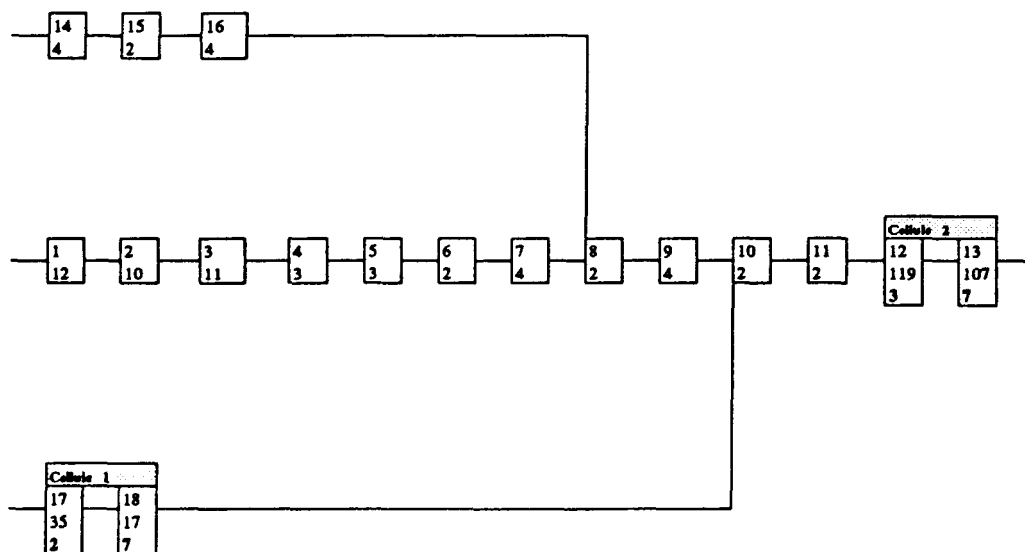
PRODUIT	FREQUENCE	TEMPS TRANSFERE MACH. 2	TEMPS TRANSFERE MACH. 3	TEMPS TRANSFERE MACH. 4	TEMPS TRANSFERE MACH. 7	TEMPS TRANSFERE MACH. 9	TEMPS TRANSFERE MACH. 12
Nuptse							
Cellule 1 (2-7)	1	143	60				
Cellule 2 (3-7)	2		730		302		
Cellule 3 (3-6)	1		275	173			
Cellule 4 (7-9)	1				209	221	
Cellule 7 (4-3-12-7)	1		359	305	293		95



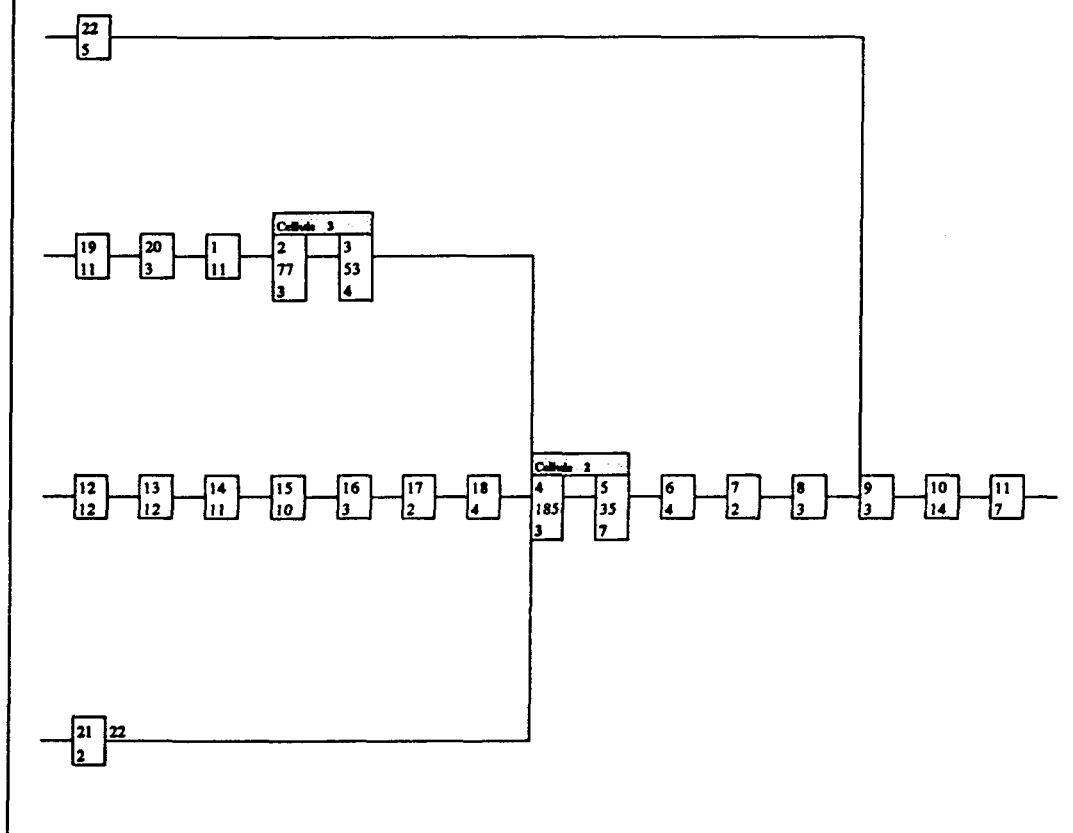
PRODUIT	FREQUENCES	TEMPS TRANSFERE MACH. 3	TEMPS TRANSFERE MACH. 7	TEMPS TRANSFERE MACH. 9	TEMPS TRANSFERE MACH. 13
Pantale					
Cellule 2 (3-7)	1	119	125		
Cellule 4 (7-9)	3		297	467	
Cellule 5 (13-7-9)	2		202	418	610

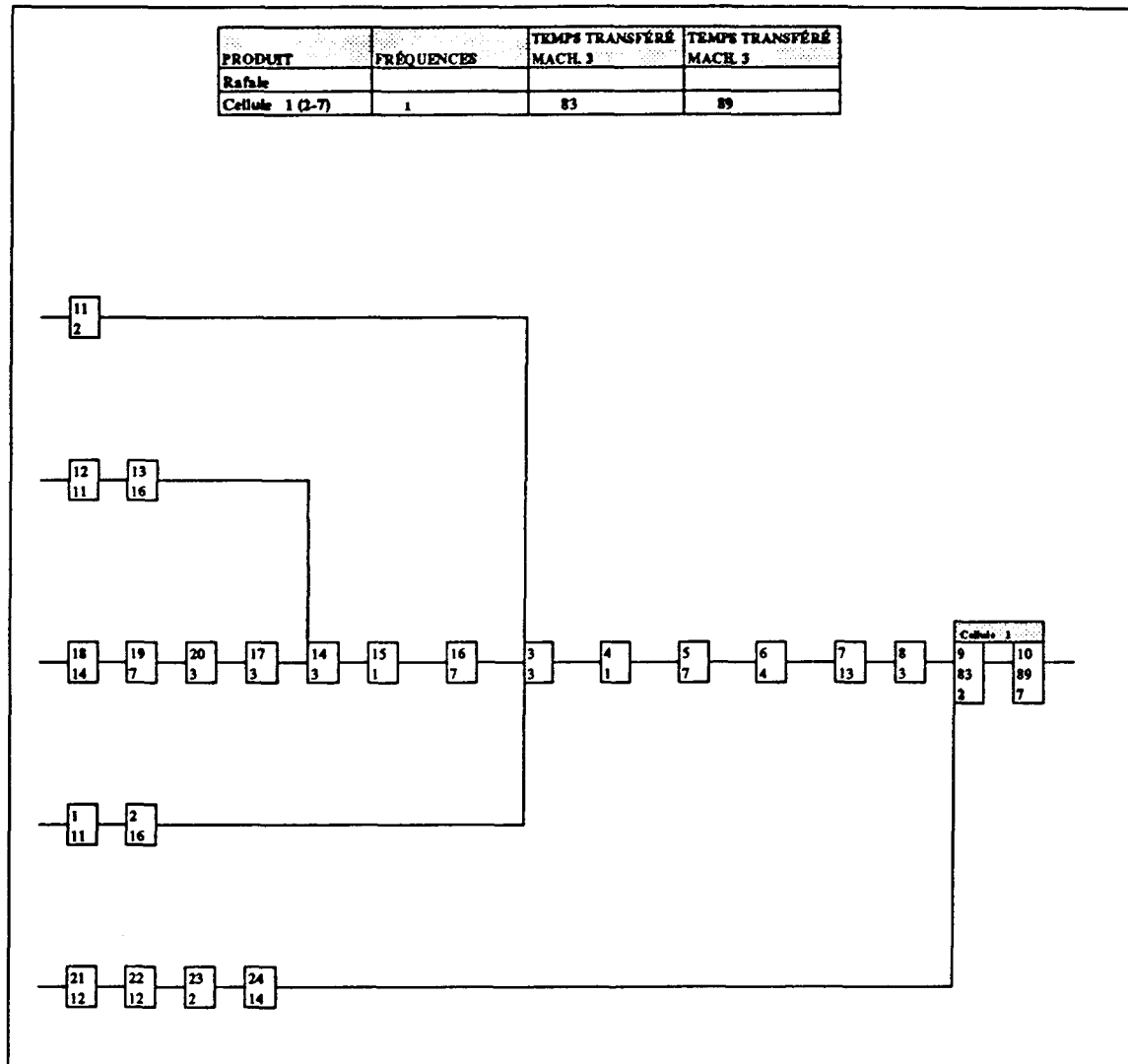


PRODUIT	FRÉQUENCES	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 3	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 3	TEMPS TRANSFÉRÉ MACH. 7
Pkluane				
Cellule 1 (2-7)	1	35		17
Cellule 2 (3-7)	1		119	107



PRODUIT	FREQUENCES	TEMPS TRANSFERE MACH. 3	TEMPS TRANSFERE MACH. 4	TEMPS TRANSFERE MACH. 7
Puffin				
Cellule 2 (3-7)	1	77		35
Cellule 3 (3-4)	1	185	53	





PRODUIT	FRÉQUENCES	TEMPS TRANSFÉRÉ	TEMPS TRANSFÉRÉ	TEMPS TRANSFÉRÉ	TEMPS TRANSFÉRÉ	TEMPS TRANSFÉRÉ
		MACH. 2	MACH. 3	MACH. 4	MACH. 7	MACH. 12
Toundra						
Cellule 1 (2-7)	1	71			51	
Cellule 2 (3-7)	2		898		280	
Cellule 7 (4-3-12-7)	1		257	479	197	185

