

**Titre:** Mise en oeuvre d'une stratégie de distribution dans l'élaboration  
Title: d'un plan de production

**Auteur:** Régis Gaudimier  
Author:

**Date:** 2005

**Type:** Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

**Référence:** Gaudimier, R. (2005). Mise en oeuvre d'une stratégie de distribution dans  
l'élaboration d'un plan de production [Master's thesis, École Polytechnique de  
Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/7383/>

## Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/7383/>  
PolyPublie URL:

**Directeurs de  
recherche:** Pierre Baptiste, & Éric Alsène  
Advisors:

**Programme:** Unspecified  
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

MISE EN ŒUVRE D'UNE STRATÉGIE DE  
DISTRIBUTION DANS L'ÉLABORATION D'UN PLAN DE  
PRODUCTION

RÉGIS GAUDIMIER

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES  
(GÉNIE INDUSTRIEL)

AVRIL 2005



Library and  
Archives Canada

Published Heritage  
Branch

395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

Bibliothèque et  
Archives Canada

Direction du  
Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

*Your file Votre référence*

*ISBN: 0-494-01328-1*

*Our file Notre référence*

*ISBN: 0-494-01328-1*

#### NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

#### AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

---

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

MISE EN ŒUVRE D'UNE STRATÉGIE DE DISTRIBUTION  
DANS L'ÉLABORATION D'UN PLAN DE PRODUCTION

présenté par: GAUDIMIER Régis

en vue de l'obtention du diplôme de: Maîtrise ès sciences appliquées  
a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. AGARD Bruno, Doctorat, président

M. BAPTISTE Pierre, Doctorat, membre et directeur de recherche

M. ALSÈNE Éric, Ph.D., membre et codirecteur de recherche

M. TRÉPANIER Martin, ing., Ph.D., membre

## **REMERCIEMENTS**

En premier lieu, j'aimerais remercier la direction de la compagnie qui nous a accueillis, en la personne de Monsieur René Lecours, ainsi que Monsieur Patrick Bastien, chargé de projet pour son soutien et son aide tout au long de ma recherche.

Ensuite, je tiens à remercier l'ensemble des personnes de l'entreprise, des ouvriers aux cadres pour leur présence et leur implication tout au long de la recherche qui s'est déroulée dans ce cadre industriel.

En dernier lieu, je remercie mon directeur de recherche et mon codirecteur, respectivement Pierre Baptiste et Éric Alsène, pour leur patience et leur aide dans la réalisation de ce mémoire.

## RÉSUMÉ

L'environnement actuel, économique et compétitif, pousse les entreprises à une course à l'innovation, à la production et à la distribution dans des délais de plus en plus courts. La pression concurrentielle leur impose une performance multi niveaux aux coûts les plus bas. Se maintenir sur le marché devient une priorité. Pour y parvenir, il est impératif d'avoir le contrôle de toutes les composantes de l'entreprise. Les chercheurs comme les industriels se sont donc penchés sur l'intégration des fonctions. Cependant, le décloisonnement entre les services, et *a fortiori* leur coopération, a du mal à être mis en œuvre.

Nous souhaitons mettre en évidence les gains potentiels qu'il y a dans l'intégration de deux systèmes de décision, de la manière la plus étroite. Notre étude a porté sur le service expédition et le service production. L'intégration est le plus souvent matérialisée aujourd'hui dans l'industrie par de simples dates dues (*due dates*). Ce système de gestion trouve rapidement ses limites. En effet, dès que l'on cherche à diminuer l'inventaire permettant de découpler les deux fonctions, c'est-à-dire restreindre la marge de manœuvre (stocks tampons) entre les deux entités, masquant les problèmes réels, les gestionnaires se retrouvent face à une incohérence.

Nous avons effectué notre recherche dans une entreprise du domaine électroménager. Cette entreprise confectionne des sécheuses (environ 5600 unités / jour).

L'étude que j'ai réalisée s'attache à la partie technique. Nous cherchons à apporter à l'industriel un support informatique d'aide pour l'ordonnancement de la production prenant en compte l'inventaire nul.

Au-delà de l'outil d'aide à la décision que nous avons développé, nous voulons préciser que l'intégration entre les services (via l'outil) ne peut pas être instaurée dans un contexte hiérarchique. Elle doit être le fruit d'un consensus entre deux entités, mêlant leurs objectifs propres.

## ABSTRACT

The actual competitive environment pushes the firms to race for improvement in innovation, production and distribution delays. The pressure of competition forces them to be efficient on each level at the lower costs. Staying on the market is a priority. To achieve this, they need to control all the components of the company. Researchers as well as pioneers of the industry have focused on integration. However, it is hard to open up the functions and to get them to cooperate.

We wish to demonstrate in a closer way the potential gains of the integration of two decision oriented systems. Our paper purposes to study the dispatching and the production functions. These days, the integration is more often materialized in the industry by simple due dates. This system is rapidly limited. Indeed, from the moment we attempt to diminish the quantity of stock allowing the division of the two functions, management is faced with incoherence.

Our study has been carried out in the industrial context. This company produces tumble-dryers (about 5600 units a day). This paper sets out to analyze the latter aspect of the study. We purpose to bring the firms algorithms and organizational structures as a solution. They will allow the success of this integration in the goal of coupling these functions with no stock. Beyond the tool to help in decision making we have developed, we want to show that integration among functions cannot be established in a hierarchical context. It is the product of a long process of tests and errors between the decision makers, in order to reach the consensus that satisfies best their own objectives.

## TABLE DES MATIÈRES

<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>iii</b>
<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>TABLE DES MATIERES .....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>x</b>
<b>LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>xi</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1 : LE CONTEXTE INDUSTRIEL.....</b>	<b>4</b>
1.1 Présentation de l'entreprise .....	4
1.2 Description des dysfonctionnements .....	5
<i>1.2.1 Situation actuelle .....</i>	5
<i>1.2.2 Problèmes rencontrés.....</i>	8
<i>1.2.2.1 Un ordre d'arrivée perturbé.....</i>	9
<i>1.2.2.2 Des appareils manquants.....</i>	10
<i>1.2.2.3 Des appareils imprévus .....</i>	10
1.3 Analyse de la logique de création de la cédule .....	11
<i>1.3.1 Problème 1 : répartir des commandes sur les lignes par jour.....</i>	11
<i>1.3.2 Problème 2 : Optimisation des transporteurs.....</i>	13
1.4 Bilan .....	15

1.5 Objet de la recherche.....	16
<b>CHAPITRE 2 : ÉTUDE DE LA LITTÉRATURE .....</b>	<b>17</b>
2.1 Intégration .....	17
2.2 Ordonnancement et méthodes de résolutions .....	21
2.3 Principes d'influences .....	23
2.4 L'intégration assemblage et <i>routing</i> .....	26
2.5 Discussion .....	27
<b>CHAPITRE 3 : METHODOLOGIE.....</b>	<b>28</b>
3.1 Recherche et test des scénarii.....	31
3.2 Étude des potentialités .....	35
3.3 Choix de mise en oeuvre.....	37
3.4 Réalisation sur le terrain .....	38
<b>CHAPITRE 4 : REALISATION ET RESULTATS .....</b>	<b>40</b>
4.1 Scénario 1 : découplage par fonction .....	40
4.2 Scénario 2 : constitution de camions hétérogènes .....	44
4.3 Scénario 3 : partir des produits critiques.....	50
4.3.1 <i>Description du modèle</i> .....	50
4.3.2 <i>Fonctionnalités de la maquette</i> .....	55
4.3.3 <i>Résultats</i> .....	58
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>61</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>64</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>68</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1 : RESULTAT DE L'OPTIMISATION DES TRANSPORTEURS.....	42
Tableau 4.2 : RESULTAT DE L'OPTIMISATION DES SKU / LIGNES DE PRODUCTION.....	43
Tableau 4.3 : EXEMPLE DE COMMANDE CLIENT POUR UNE SEMAINE DONNEE.....	48
Tableau 4.4 : RESTE A AFFECTER APRES REPARTITION DES CAMIONS PLEINS.....	49
Tableau 4.5 : SOLUTION D'AFFECTATION DES RESTES POUR LA DESTINATION (A).....	50
Tableau 4.6 : EXPLICATION DES FEUILLES DE LA MAQUETTE.....	57
Tableau 4.7 : TEST DE LA MAQUETTE SEMAINE 25.....	59
Tableau 4.8 : TEST DE LA MAQUETTE SEMAINE 26.....	59
Tableau 4.9 : TEST DE LA MAQUETTE SEMAINE 27.....	60

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : SCHEMA DU FLUX DE PRODUCTION.....	5
Figure 1.2 : PROCESSUS MACRO DE CREATION DE LA CEDULE DE PRODUCTION.....	7
Figure 1.3 : MECANISMES ACTUELS D'INTEGRATION.....	8
Figure 2.1 : MODELE SCOR NIVEAU 1.....	19
Figure 3.1 : SCHEMA DES TROIS SCENARIIS DE DECOUPAGE.....	30
Figure 3.2 : EXEMPLE DU PROBLEME GLOBAL.....	32
Figure 3.3 : PARTITION EN JOURNEE.....	35
Figure 4.1 : SCHEMA D'UNE APPROCHE COOPERATIVE ENTRE FONCTION .....	41
Figure 4.2 : INTERFACE DE LA MAQUETTE LIVREE A L'ENTREPRISE.....	56

## LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1: CONTRAINTES POUR LA CRÉATION DE LA CÉDULE DE PRODUCTION .....	69
ANNEXE 2 : DONNÉES D'ENTRÉE POUR TRAITER HYPOTHÈSE 3 .....	71
ANNEXE 3 : CONTRAINTE DE PRODUCTION PAR LIGNE ET PAR FAMILLE DE PRODUIT .....	73
ANNEXE 4 : AFFECTATION DES PRODUITS CRITIQUES.....	73
ANNEXE 5 : RÉSULTAT DE LA MAQUETTE POUR LE JOUR 1 .....	75

## INTRODUCTION

Dans le contexte industriel d'aujourd'hui, la production (capacité à fabriquer des produits) est supérieure à la demande dans de nombreux secteurs, d'où une compétition de plus en plus vive entre les concurrents. Parallèlement, les comportements de consommation sont de plus en plus difficiles à prévoir. Dans cette situation la capacité à satisfaire rapidement la demande ou « réactivité », est devenu un avantage concurrentiel important. Dans ce contexte, la notion de chaîne logistique a pris une importance considérable. Nous définissons une chaîne logistique par un réseau d'installations qui assure les fonctions d'approvisionnement en matières premières, le transport de ces matières premières, la transformation de ces matières premières en composants puis en produits finis, la distribution du produit fini chez le client (LEE, 1995). Une coopération entre les différents membres de la chaîne logistique est un facteur déterminant pour la réactivité de l'entreprise. Dans ce contexte, la performance passe par une optimisation globale et non plus locale (pour chaque composant de la chaîne logistique). Les entreprises cherchent à mettre en place un autre mode de management : une coopération et une collaboration forte entre les autres membres de la « chaîne logistique ». Dans ce cadre, les problématiques relatives à la gestion de chaînes logistiques sont nombreuses et couvrent différents horizons de la prise de décision : long, moyen et court terme. On distingue les problèmes de configuration de flux informationnel, de ceux liés à la gestion (coordination, pilotage d'atelier). Ce sont tout d'abord les processus dit « opérationnels » (flux physique) qui ont été au centre de beaucoup de préoccupations. Ils ont été étudiés, analysés et optimisés.

Dans ce travail, nous apportons un outil d'aide, pour la cohésion de deux entités décisionnelles de l'entreprise.

L'objectif de cette recherche est de pouvoir doter matériellement une entreprise d'un outil capable d'intégrer deux stratégies différentes. Notre cadre d'étude se base sur

l'ordonnancement d'un atelier de production qui est le pivot entre les fonctions production et expédition.

Nous définissons la fonction production comme l'ensemble des étapes de planification et de fabrication pour satisfaire le besoin client. La logique de fonctionnement de ce service est basée sur la réalisation de produits en vue de satisfaire la demande. Elle doit fonctionner tout en minimisant les coûts de production, de main-d'œuvre et de stocks. Elle est soumise aux contraintes ressources (MO, machine, outils, outillages, etc.) et matières (matières premières, composants, consommables, etc.). L'objectif de cette fonction est de s'assurer l'acquisition en temps et en quantité nécessaires des ressources et des matières pour répondre à la demande.

Par expédition, nous entendons l'ensemble des activités qui permettent de collecter les produits fabriqués et de les distribuer dans le délai imparti aux clients. Les activités de cette fonction peuvent être gérées séparément (stockage, expédition, livraison). Les logiques de fonctionnement de celles-ci sont caractérisées par le lotissement des produits et leur date de livraison et surtout la gestion des flottes de transporteurs, des quais d'expédition et des chariots de chargement.

L'ordonnancement comme nous le concevons est subdivisé en deux activités. La première est une planification journalière des produits à fabriquer. La seconde s'attache au séquencement journalier des lots déterminés dans la première phase. L'étude est fortement influencée par l'aspect technique de l'intégration, un de nos objectifs étant de doter l'entreprise d'un outil d'aide à la décision.

Dans le domaine de la gestion, l'intégration (coopération) est définie comme le regroupement, dans une entreprise, des activités économiques auparavant réparties, exerçant des fonctions différentes. Dans la théorie des organisations, c'est la coordination des organes et l'adhésion de ses membres à ses objectifs (Office de la langue française, 1996).

Dans un premier temps, nous décrirons le problème industriel. Dans cette partie, il sera question d'un état des lieux permettant d'introduire notre objet d'étude.

Ensuite, une revue de littérature montrera comment, dans le passé, la question d'un plan de production intégrant production et expédition a été traitée. Nous constaterons que dans les recherches, l'ordonnancement est réalisé suivant les contraintes d'une entité décisionnelle (maître) dictant à l'autre (esclave) la méthode de réalisation.

Par la suite, la troisième partie mettra en perspective la méthodologie de la recherche, qui s'est déroulée en quatre étapes :

- Recherche des scénarios de découpage
- Test des scénarios
- Choix de mise en œuvre
- Résultat sur le terrain

La quatrième partie sera consacrée à la réalisation de l'étude. En testant plusieurs modèles, nous avons intégré les contraintes de chaque service dans un seul outil d'aide à la décision. Nous avons ainsi pu minimiser le nombre de destinations planifiées par jour, optimiser le nombre de lancements en production des petites quantités de produits et lisser la charge sur les lignes de production.

En bref, le but poursuivi dans cette recherche est de développer un outil d'aide à la décision s'appuyant sur des algorithmes soumis aux contraintes de deux services.

# CHAPITRE 1 : LE CONTEXTE INDUSTRIEL

Nous avons considéré un milieu industriel dans le domaine de l'électroménager. L'entreprise où nous sommes intervenus a lancé plusieurs projets de réflexion sur la refonte de ces processus pour accroître sa performance industrielle et répondre aux exigences d'un statut de « classe mondiale ». Un des axes d'amélioration se basait sur l'échange et la gestion de l'information entre trois fonctions logistiques. Les dysfonctionnements nombreux entre les services matériel, production et expédition devenaient majeurs. Notre collaboration a naturellement trouvé sa place dans ce contexte. En effet, nous avons identifié immédiatement un besoin d'intégration inter-fonctionnel.

Nous décrirons dans cette première section le contexte d'étude par une brève présentation de l'entreprise. Puis après avoir éclairci la situation conflictuelle actuelle, nous présenterons les conclusions qui nous ont amenées à déterminer notre objet de travail.

## 1.1 Présentation de l'entreprise

L'entreprise est la plus importante manufacture d'appareils électroménagers au Canada. Elle fut fondée en 1977. Son usine de Montréal fut construite en 1940 et fabrique aujourd'hui des sécheuses pour les marchés nord-américain et international.

L'usine de Montréal produit en moyenne 5600 unités par jour, réparties sur 4 lignes de production. 80% de sa production est exportée aux États-Unis et au Mexique. Le reste de sa production est vendue sur le marché canadien. Une infime partie est aussi exportée vers des marchés en développement de l'Amérique du Sud, d'Europe, d'Asie et d'Océanie.

## 1.2 Description des dysfonctionnements

L'industriel faisait face à un problème d'inefficacité entre services. La problématique fut ainsi formulée : « les appareils fournis par la production à l'expédition sont différents de ceux attendus par celle-ci ». Après avoir pris connaissance du contexte, de la culture d'entreprise et de son fonctionnement, il a été possible de dresser un bilan récapitulatif des dysfonctionnements provoquant cet écart.

### 1.2.1 Situation actuelle

L'atelier étudié est constitué de 4 lignes de production. Ces lignes fournissent un poste de contrôle, qui alimente lui-même 4 lignes de déchargement. Les produits sont ensuite pris sur les lignes par paquet de 3 ou 6, par des caristes, pour être placés dans des camions. Il y a 5 lignes de camions ouvertes simultanément (cf. Figure 1.1). L'atelier de montage génère 5600 produits par jour, dans un panel de 173 références.

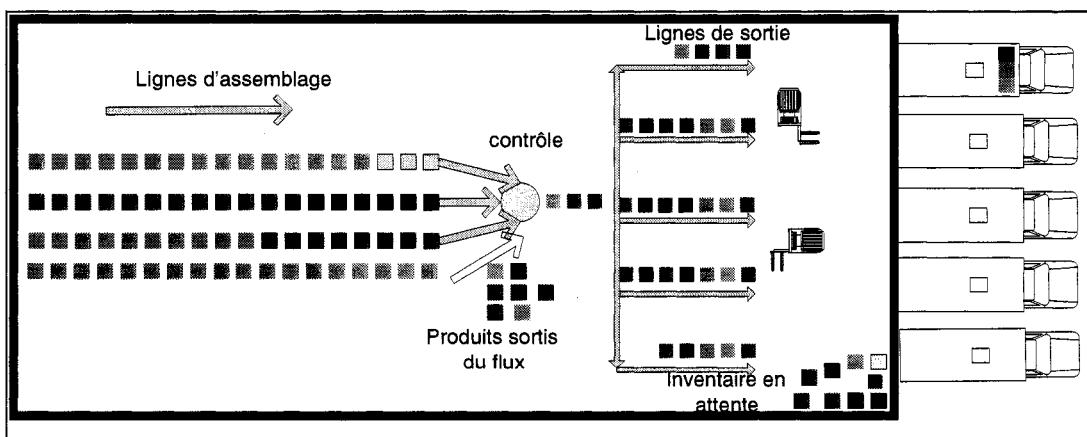


Figure 1.1 : Schéma du flux de production

Le processus global de création du plan de production comporte trois niveaux hiérarchiques fonctionnels (cf. Figure 1.2). Après avoir reçu les commandes clients, une personne (*le MS : Master scheduler*) est chargée de valider les volumes hebdomadaires. Dans une organisation conventionnelle en gestion de production, on peut appartenir cette fonction à la validation du plan directeur de production. Après avoir approuvé la quantité globale à produire, l'information est transmise au planificateur. Si des ajustements sont à effectuer, une négociation est faite et le MS modifie son plan prévisionnel. Intuitivement et avec l'aide des règles de production, le planificateur va répartir manuellement les quantités sur les lignes de production par destination. Nous avons constaté qu'un énorme travail est effectué à ce stade. Cette activité est une pierre angulaire dans le processus d'élaboration de la cédule. Le planificateur utilise une logique personnelle élaborée avec le temps et l'expérience. Même s'il est capable d'intégrer énormément de paramètres, une fois qu'il aboutit à une des solutions, il ne la remet pas en question, en cherchant une autre plus performante (ceci pour une question de temps). Il est impossible de prendre en considération l'ensemble des contraintes agissant sur le système et de les résoudre dans un temps acceptable. Une ressource humaine ne peut donc pas rationnellement le résoudre.

Pour poursuivre le processus, une fois que le planificateur a réalisé le canevas de production (durée de réalisation 3 à 4 heures par jour), l'information descend à un autre niveau. Une autre ressource est en charge d'ordonnancer les lignes de production. Cela signifie qu'il doit répartir les sous-lots à produire par ligne, au cours de la journée (séquencement). Cette étape est également manuelle.

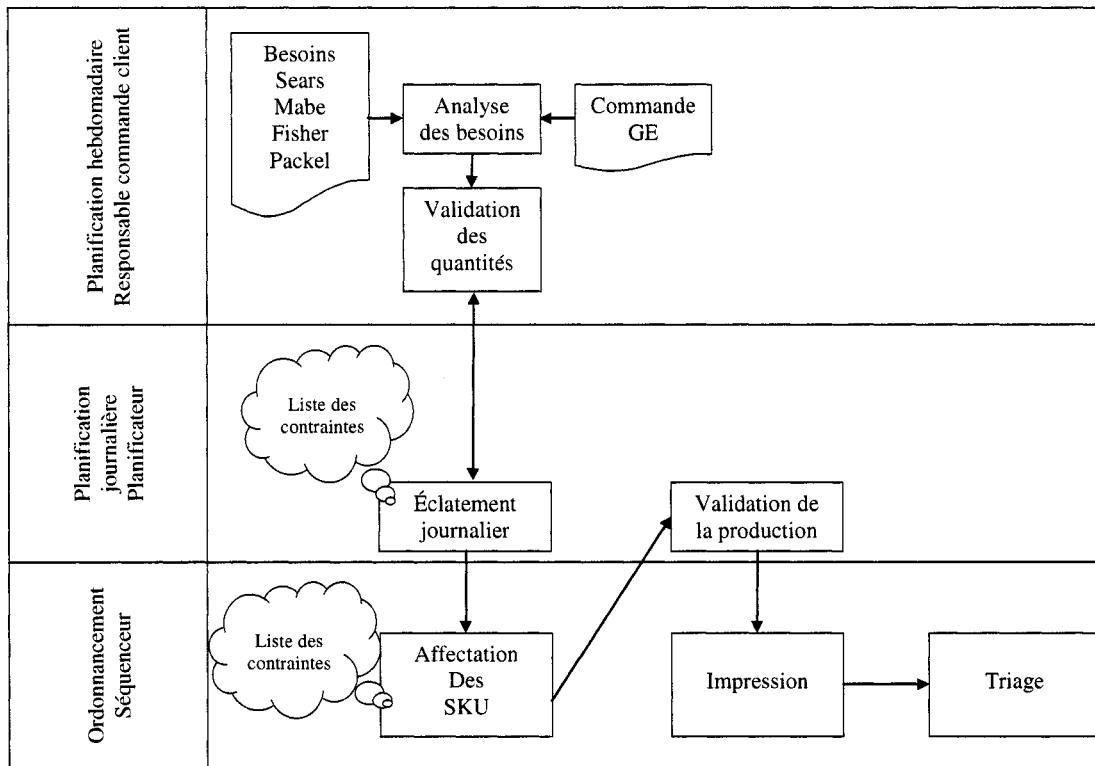


Figure 1.2 : Processus macro de création de la cédule de production

L’élaboration d’une cédule est longue et fastidieuse. Elle doit respecter l’ensemble des contraintes (Annexe 1). Lorsque l’information est transmise aux expéditions il n’y a plus de latitude pour d’éventuels changements. Les expéditions sont obligées de réagir rapidement et en situation d’urgence (cf. Figure 1.3). Les transporteurs sont avertis seulement la veille du plan de distribution. L’expédition ne dispose pas ou peu d’informations sur un prévisionnel de livraison et se retrouve contrainte de s’ajuster aux directives de la production. Il en résulte une situation de conflit perpétuelle entre la divergence d’objectifs (minimisation des coûts de transport et minimisation des coûts de production). Nous pouvons déjà noter ici, l’absence (cf. Figure 1.3) d’interaction et de ce fait d’interlocuteur dans la vision à long terme. L’information du découpage journalier des produits n’est pas transmise au service expédition. Il est alors facile de comprendre

que les expéditions n'ont pas de prévisionnel et ne peuvent alors pas anticiper l'organisation des transporteurs pour les livraisons

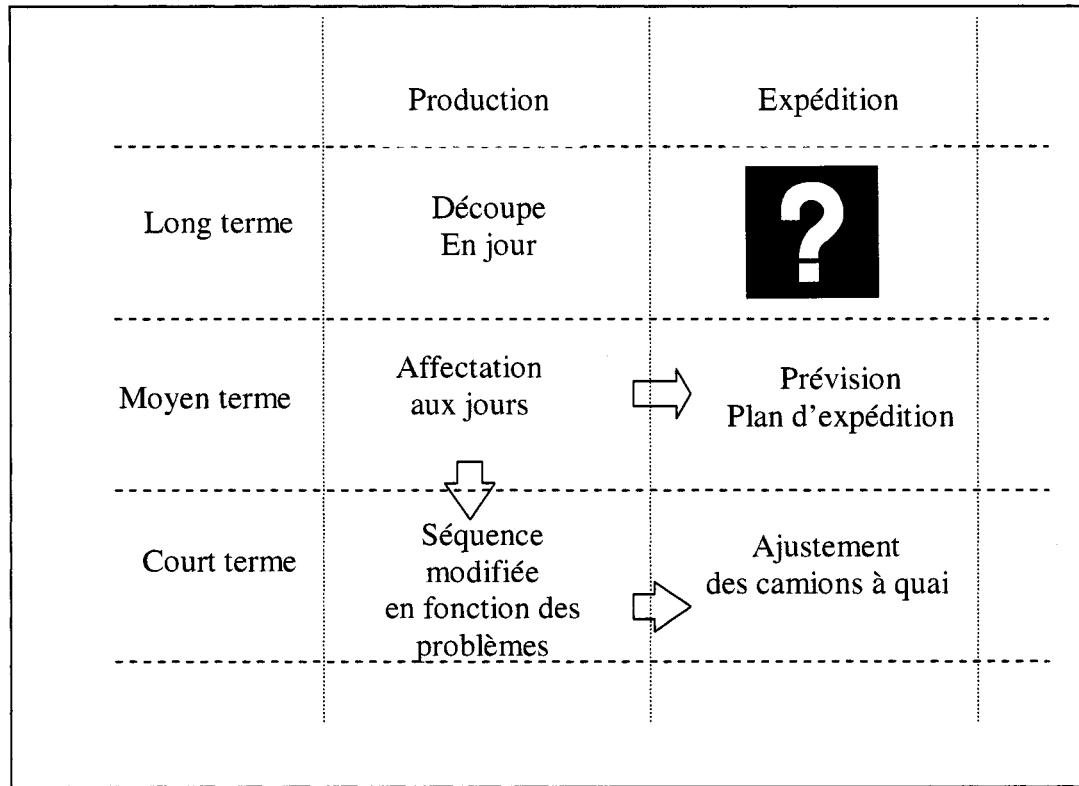


Figure 1.3 : Mécanismes actuels d'intégration

### 1.2.2 Problèmes rencontrés

Comme nous l'avons souligné dans la description du mode de création du plan de production (appelé cédule de production dans l'entreprise), nous avons constaté un manque de coordination entre la production et l'expédition au niveau long terme. Ainsi, lorsqu'à moyen terme l'information est transmise, la marge de manœuvre pour les expéditions est infime. De plus, il existe un écart entre la cédule et la fabrication réelle. Nous avons pu décliner l'origine de ces perturbations en trois sous-problèmes distincts :

un ordre d'arrivée des produits finis perturbé, des appareils manquants en sortie de chaîne de production et l'insertion dans le flux de production d'appareils non prévus dans la cédule de production. Nous allons détailler chacun d'entre eux et analyser les éventuelles causes dans la création de la cédule de production.

### **1.2.2.1 Un ordre d'arrivée perturbé**

Comme dans toute entreprise industrielle, il existe bien sûr un plan de production. Celui-ci permet au service en charge des expéditions de planifier son activité. Dans notre cas, l'entreprise fait appel à plusieurs sous-traitants de transport. Le plan de production journalier est, dans le meilleur des cas, transmis la veille au soir de sa mise en production. L'expédition se doit d'être réactive vis-à-vis des sous-traitants pour être efficace. De plus, les contractants ne sont pas équivalents, en terme de coûts et de lieux à desservir. Dans cet intervalle restreint, le moindre changement ou la moindre déviance entre le prévisionnel et le réel vient inévitablement perturber le bon fonctionnement du service.

Après avoir effectué une étude sur trois jours de production représentatifs, il s'est avéré que près de 40% des chargements n'étaient pas faits correctement. Les appareils n'arrivant pas à l'expédition dans l'ordre attendu, les remorques mises à quais ne peuvent être remplies entièrement. Le problème n'est pas entièrement imputable à la production. Elle essaye de s'écartez le moins possible de la séquence initialement prévue. Elle cherche, de son point de vue, à garder un taux de production optimal. Du côté des expéditions, ce n'est pas réellement l'écart entre la séquence de production prévisionnelle et la séquence fabriquée qui pose problème. L'intérêt de ce service est de pouvoir, quelque soit le produit, remplir des remorques pour une destination donnée. Ici on peut remarquer que ce point est primordial. C'est cet objectif non formalisé qui est au cœur de la problématique.

### **1.2.2.2 Des appareils manquants**

Au-delà des appareils n'arrivant pas dans l'ordre préétabli, le service expédition constate également la non réalisation d'appareils attendus, ce qui est pénalisant dans le cas de figure particulier où un client impose des coûts de retard supplémentaires si les livraisons journalières ne sont pas satisfaites. Ce problème est induit par deux causes principales.

Toute la production (les 4 lignes de fabrication) passe par un poste de contrôle (cf. Figure 1.1). Cette centralisation du contrôle final des produits, du fait de la non qualité des produits, engendre environ 15 % de retards. Les produits ne passant pas les tests d'inspection sont déchargés des convoyeurs pour une inspection plus approfondie ou une réparation si nécessaire.

D'autre part, il existe aussi un problème d'approvisionnement. En effet, une étude sur deux semaines a révélé qu'en moyenne près de 1800 sur 11200 appareils ne peuvent pas être assemblés. Le manque de composants est fréquent. Pourtant, les lancements en production font l'objet d'une déclinaison des besoins nets, chaque nuit. Mais le volume total d'une seule journée de production est tel que les stocks ne sont pas suffisants pour y répondre. Dans ces conditions, la gestion des livraisons fournisseurs a une très grande importance et peut être sujet à des dysfonctionnements.

### **1.2.2.3 Des appareils imprévus**

L'expédition peut recevoir des sécheuses non planifiées des lignes de montage. En effet, quand une commande ne peut être fabriquée, la ligne de production concernée peut, en accord avec le service planification, produire des commandes prévues normalement pour la semaine suivante. L'expédition doit alors trouver en urgence des transporteurs, sous peine de devoir entreposer temporairement les appareils imprévus.

Une lacune d'interaction entre les deux services est directement mise en cause. L'information qui transite entre le service planification et la production n'est pas répercutée.

### **1.3 Analyse de la logique de création de la cédule**

Voici comment, aujourd'hui l'ordonnancement est structuré. La planification ordonne globalement la fabrication en fonction de trois facteurs : produits, destination, quantité. Les produits sont répartis sur les lignes pour les cinq jours de la semaine. Le service planification tient compte des approvisionnements et de la disponibilité de la main d'œuvre. Chaque journée est équilibrée en quantité, en nombre de camions par destination. Les deux sections suivantes présentent les deux problèmes modélisés auxquels est confronté l'ordonnancement.

#### **1.3.1 Problème 1 : répartir des commandes sur les lignes par jour**

Ce problème consiste à découper la production en jours et les jours en lignes, de telle sorte que l'ensemble des contraintes soit satisfait.

Indices :

i	indice des produits	(1..ni)
j	indice des destinations	(1.. nj)
k	indice des lignes	(1.. nk), ici k=4
t	indice des journées	(1.. nt) ici t=5

Variables :

- $x_{i,j}$  quantité de produit i à expédier pour la destination j
- $x_{i,t}$  quantité de produit i fabriqué le jour t
- $x_{i,j,k,t}$  quantité de produits i fabriqués le jour t sur la ligne k pour la destination j
- $n_{j,t}$  nombre de camions pour la destination j le jour t

Paramètres :

- $min_i$  quantité minimale de produit i par jour
- $n$  nombre de produits par camion
- $m_k$  capacité par ligne

Contraintes :

$$\forall i, \forall t \quad min_i \leq \sum_{j=1}^n x_{j,t}$$

Cohérence des données

$$\forall i, \forall t \quad x_{i,t} \in \left( \left[ min_i \sum_{j=1}^n x_{j,t} \right] \cup \{0\} \right)$$

Respect des quantités minimales

$$\forall i, \forall j \quad \sum_{t=1}^{nt} \sum_{k=1}^{nj} x_{i,j,k,t} = x_{i,j}$$

Respect des quantités par destination

$$\forall t, \forall j \quad n_{j,t} * N \geq \sum_{i=1}^{ni} \sum_{k=1}^{nk} x_{i,j,k,t}$$

Respect du volume des camions

$$\forall t, \forall k \quad \sum_{i=1}^{ni} \sum_{j=1}^{nj} x_{i,j,k,t} \leq M_k$$

Contrainte de capacité

### Fonction objectif

$$\text{Min} \left[ \sum_{j=1}^{n_j} \sum_{t=1}^{m_t} n_{j,t} \right]$$

La fonction objectif ne tenant compte que du nombre par camions, on s'assure de remplir au mieux tous les camions. Évidemment, l'entreprise n'utilise pas ce modèle de programmation linéaire, mais la connaissance et l'habitude du personnel en charge de cette tâche manuelle permettent de trouver une solution satisfaisante.

### 1.3.2 Problème 2 : Optimisation des transporteurs

Plusieurs transporteurs peuvent aller dans différentes directions. Ils disposent d'un nombre maximum de transporteurs chaque jour.

Variables :

$l$  indice du transporteur

$n_{j,t}$  nombre de camions le jour  $j$  pour la destination  $k$

$m_{l,t}$  nombre maximum de remorques du transporteur  $l$  le jour  $t$

$c_{l,j}$  coût global du transporteur  $l$  sur la destination  $j$

$x_{l,j,t}$  nombre de camions du transporteur  $l$  utilisés le jour  $t$  sur la destination  $k$

### Contraintes

$$\forall l, \forall t \quad \sum_{j=l}^{nj} x_{l,j,t} \leq m_{l,t} \quad \text{Contrainte du nombre maximal de remorques}$$

$$\forall t, \forall j \quad \sum_{l=l}^{nl} x_{l,j,t} \geq n_{j,t} \quad \text{Contrainte de la charge}$$

### Fonction objectif

$$\text{Min} \left[ \sum_{l=l}^{nl} \sum_{j=1}^{nj} \sum_{t=1}^{nt} x_{l,j,t} * c_{l,t} \right]$$

Ce modèle peut être facilement solutionné par l'utilisation d'un outil de type solveur. Pour l'instant, il ne peut pas être exploité dans l'entreprise, à cause d'une transmission de l'information trop tardive. En effet, la durée de création de la cédule implique une gestion de la flotte des transporteurs de manière réactive. Le plan de production est transmis la veille et l'appel des sous-traitants se fait la plupart du temps dans l'urgence. Il sera utilisé dans notre étude, jour par jour, pour affecter les transporteurs aux destinations. Ainsi l'automatisation de la tâche d'affectation permettra un gain temporel, qui donnera une marge de manœuvre plus large.

## 1.4 Bilan

La nature de l'intégration entre la fonction de production et d'expédition peut alors être établie. La production a un rôle de décideur vis-à-vis de l'expédition. C'est elle qui prend la décision des destinations ouvertes par jour. Elle tient compte de certaines contraintes de l'expédition, comme par exemple la minimisation du nombre de ces destinations ouvertes par jour (environ une quinzaine), ou encore le regroupement des destinations similaires par produits hétérogènes. Mais malgré cette prise en compte, l'expédition n'est pas à même d'appliquer ses propres objectifs. En effet, l'information des perturbations arrive dans le court terme (cf. Figure 1.3), ce qui provoque une gestion réactive et non proactive de la flotte des camions.

Suite à cette mise en perspective des dysfonctionnements, il est possible d'établir un premier bilan. On constate que les faits (problèmes énumérés) ne reflètent pas vraiment la véritable cause de l'intégration. Ils nous aident à mieux la cerner. La production à une forte influence sur le mode de création de la cédule de production. Elle se permet également de s'écartier du plan prévu pour satisfaire son objectif de productivité. De ce fait, la séquence de fabrication prévue s'écarte souvent de celle réellement réalisée. Mais ceci n'est pas un problème pour les expéditions. L'objectif premier de celles-ci est de pouvoir remplir des remorques à quai indépendamment des types de produit. Si la production ne respecte pas le plan mais que l'écart réalisé prend en compte cette contrainte, c'est-à-dire qu'un produit soit remplacé par un autre, ayant la même destination, l'expédition ne rencontrera aucune perturbation. Pour agir sur ce problème d'intégration nous avons identifié que le problème pivot entre les deux fonctions est la cédule de production. Elle doit d'une part répondre aux contraintes de la production et celles de l'expéditions mais aussi fonctionnellement, être réalisé plus en amont pour qu'au niveau du long terme un échange entre les deux service puisse être réalisé (optimisation du temps de création).

## 1.5 Objet de la recherche

Nous souhaitons donc intégrer les deux systèmes de décision, de manière la plus étroite possible. Notre étude porte sur le couplage des stratégies dans un organe pivot de la chaîne de la valeur : la cédule de production.

L'objet de cette recherche est de pouvoir doter matériellement une entreprise d'un outil d'aide à la décision, pour la réalisation du planning de production. Dans la section qui va suivre, nous allons voir ce qu'il a été réalisé dans le passé à ce sujet.

## CHAPITRE 2 : ÉTUDE DE LA LITTÉRATURE

Dans cette section, nous présenterons des travaux d'orientations diverses appliqués aux problèmes d'ordonnancement de la production. Nous essayerons de répondre à la question : comment, dans la littérature, un plan de production (cédule) peut-il répondre face à l'intégration des stratégies de la production et de l'expédition.

Après avoir présenté ce qu'est l'intégration industrielle, nous définirons le terme cédule de production. Ensuite, nous aborderons les différentes approches de résolutions. Puis nous nous arrêterons sur les principes d'influence de contraintes dans la réalisation de l'ordonnancement. Enfin, une dernière partie sera consacrée à l'innovation de notre recherche.

### 2.1 Intégration

Depuis une dizaine d'années les entreprises ont concentré leurs efforts sur le décloisonnement des fonctions qui les composent. Jusqu'à l'heure actuelle, ces fonctions représentaient autant de silos interdépendants. Leur fonctionnement autarcique entrave la bonne performance de l'ensemble de la chaîne de valeur. La notion de chaîne logistique a été définie comme étant « la coordination systématique, stratégique des fonctions opérationnelles classiques et de leurs tactiques respectives à l'intérieur d'une même entreprise et entre partenaires au sein de la chaîne logistique, dans le but d'améliorer la performance à long terme de chaque entreprise membre de la chaîne » (MENTZER et al., 2001).

Pour mieux cerner la nécessité d'intégration dans les industries, voici un bref récapitulatif chronologique de son évolution. Les besoins d'intégration ont pris naissance avec l'organisation scientifique du travail (OST). Les premières formulations

de ces règles de gestion de la division des tâches ont été faites en 1776 par Adam Smith (SANTAREK, 1998). C'est au début du XXième siècle, que ce concept fut repris par Frederick.W Taylor. L'OST fut alors légitimée. Plus tard, cette organisation trouva aussi place dans les activités administratives. Au fil du temps, la complexité résultant de l'évolution des structures fut telle qu'il devint extrêmement complexe de pouvoir les gérer globalement. Incapables de formaliser les processus, les structures ont du faire face à des dérives. Elles se répercuteurent sur les coûts, la flexibilité de production, le cycle de production, l'innovation, etc. La coordination de toutes les composantes (intégration) fut une réponse logique pour retrouver le chemin de la performance (ANWAR et NAGI, 1998).

Dans un premier temps, l'approche globale a permis de réorganiser les structures organisationnelles. La vision par processus a donné lieu à des changements radicaux de conception d'outil de production. Généralement, en production, la tendance était aux job shops (regroupement de moyens identiques) pour avoir des sections homogènes. Ce type d'organisation est générateur de complexité. Une augmentation de flux physiques induit une perte de temps et une perte de contrôle. L'aménagement en cellules de production autonomes permet une diminution des files d'attente (*work in process*) dans une disposition de proximité. De plus, le regroupement d'individus responsabilisés dans une cellule induit une réponse accélérée lorsque des problèmes de qualité surgissent. En d'autres termes, une bonne application de cette technologie de groupe conduit généralement à l'amélioration de la flexibilité, à la rapidité de réponse, à la qualité des produits et donc un gain de productivité. Après avoir porté leur attention sur les ateliers, les gestionnaires ont ouvert leur recherche d'optimisation sur l'organisation globale. Cette nouvelle recherche de performance s'est portée sur les strates décisionnelles internes.

Dans ce cadre, plusieurs axes ont alors été développés pour coordonner et faire coopérer cet ensemble hétérogène. Les processus dit « opérationnels » ont été étudiés, analysés et optimisés dans l'objectif de réduire leur division et d'obtenir une plus grande rationalité de travail.

Les décisions opérationnelles consistent à organiser dans le temps et sur les moyens nécessaires, les différentes opérations à effectuer de manière à respecter les décisions aux niveaux stratégique et administratif (THIERRY, 2003). Pour avoir une vision plus complète de l'amélioration des processus internes de la chaîne, on peut définir les processus opérationnels comme des processus grâce auxquels les entreprises amènent leurs produits et leurs services jusqu'aux clients. (POIRIER et REITER, 2001). Des modèles représentatifs comme le modèle *Supply-Chain Operations Reference* (SCOR) ont été proposés (cf. Figure 2.1). Ce modèle permet de préciser les processus internes des entreprises. Grâce à une représentation fine des processus, il est possible d'obtenir une vue claire et transversale de la chaîne logistique. Mais cette représentation se limite à une entreprise et son environnement. Ainsi, elle fait référence à la définition : « Une chaîne logistique est le système grâce auquel les entreprises amènent leurs produits et leurs services jusqu'à leurs clients. » (THIERRY, 2003).

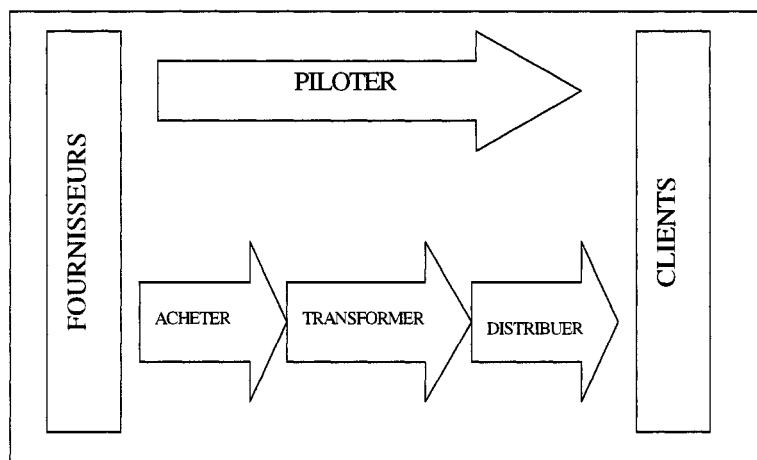


Figure 2.1 : Modèle SCOR niveau 1

Le concept du pilotage interne des processus a été transposé dans la gestion d'un réseau de partenaires. Dans une recherche perpétuelle de coordination, des micro-usines ont vu le jour. Dans ce type d'organisation, au sein d'une entreprise, ce sont des équipes

multifonctionnelles qui sont en charge de la gestion complète du centre de profit. La conception n'est plus délocalisée, elle est au centre de la micro-usine et permet une ingénierie simultanée par exemple.

Ce recentrage de fonction a fait tâche d'huile. L'ampleur de la prise de conscience des flux d'informations a été telle qu'elle en est devenue le centre d'intérêt premier. Ces flux ont été améliorés par l'avènement des logiciels de type workflow. Le workflow peut être défini comme étant un modèle représentant un processus de travail. On distingue plusieurs aspects au sein de la notion de workflow. La première est l'approche informelle qui représente le travail coopératif d'acteurs devant accomplir des tâches articulées autour d'un processus défini (objectif global). La seconde est l'approche outil, où le workflow. Elle est supporté par un outil logiciel. Cet outil est un objet de formalisation et d'échange (transfert d'informations). A titre d'exemple dans une approche *Business Process Reengineering* (BPR), le workflow est utilisé pour mettre en place l'organisation préalablement définie. La mise en œuvre du workflow répond à un besoin d'optimisation des processus de travail et des ressources face à l'évolution des processus composant l'entreprise.

Depuis une dizaine d'années, l'avènement des progiciels de gestion intégré (PGI ou ERP en anglais) a poussé les industriels à réfléchir sur l'intégration de leurs services. Massivement implantés, les projets ERP ont imposé une remise à plat des processus informationnels. La contrainte majeure est de se calquer sur le format imposé par l'outil pour être le plus proche d'une bonne gestion de l'organisation.

Les caractéristiques d'un PGI sont :

- Garantir l'unicité de l'information,
- Assurer la mise à jour en temps réel de l'ensemble des modules concernés par la modification de l'information,
- Garantir la traçabilité et le contrôle des tâches,
- Et enfin, couvrir l'ensemble du système d'information de l'entreprise.

Aujourd’hui, il est possible de faire un bilan des efforts effectués. Étrangement toutes les démarches mises en œuvre n’ont pas résolu complètement la problématique. Les entreprises subissent toujours le manque d’articulation entre les diverses fonctions. Malgré les efforts axés sur le décloisonnement des fonctions, il existe toujours des « silos » interdépendants.

Après avoir cadré le cheminement au sujet de l’intégration, recentrons notre discourt sur les approches étudiées pour optimiser l’ordonnancement.

## **2.2 Ordonnancement et méthodes de résolutions**

Notre étude fait référence à une cédule de production. Cette cédule représente l’ordonnancement, mais il faut clarifier ce terme. Un ordonnancement constitue une solution au problème d’ordonnancement. Il décrit l’exécution des tâches et l’allocation des ressources au cours du temps, et vise à satisfaire un ou plusieurs objectifs. On parle d’ordonnancement quand on doit déterminer une date de début et de fin d’une tâche. Le terme de séquençage est réservé au problème qui s’attache à chercher seulement un ordre relatif entre les tâches. On peut alors voir que l’ordonnancement induit un ensemble unique de relations de séquencement. (LOPEZ et ROUBELLAT, 2001)

La résolution du problème d’ordonnancement peut prendre deux aspects. D’une part une méthode qualifiée « d’exacte ». Ce terme signifie qu’elle garantit l’optimalité des solutions trouvées. L’autre sera dite d’heuristique lorsqu’on observe empiriquement qu’elle fournit de « bonnes » solutions. Dans notre cas, notre méthode a pour objectif de respecter les contraintes. Si une telle méthode se base sur la propagation des contraintes elle sera dite « exacte ou saine » si la solution trouvée satisfait toutes les contraintes du problème. (LOPEZ et ROUBELLA, 2001).

Des approches s’appuient sur l’analyse mathématique pour répondre aux problèmes d’ordonnancement. (ZHAO et al., 1997). Les métahéuristiques (méthode suffisamment générales pour être appliquées à plusieurs problèmes d’optimisation

combinatoire) sont également efficaces dans ce cadre de recherche (VENTRESCA et OMBUKI, 2002) (XU et al., 2000). Elles regroupent trois classes principales d'heuristiques : les méthodes constructives, celles dites de recherche locale et enfin celles considérée comme évolutives.

Il est possible également de coupler les deux approches ce qui permet d'améliorer la performance (T'KINDT et al., 2000). Mais face aux perturbations que subissent les ateliers, ces hybrides ne sont pas fiables en environnement industriel. Pour contrecarrer ces phénomènes d'autres solutions d'optimisation d'ordonnancement ont été mises en œuvre. Un groupe nommé « robustesse et flexibilité » travaille sur la génération d'un planning de production intégrant ces perturbations. Il utilise la recherche opérationnelle et l'intelligence artificielle (SANLAVILLE et al., 2002).

L'approche la plus utilisée est la recherche opérationnelle mais d'autres complémentaires sont proposées pour résoudre des problèmes d'ordonnancement. Les approches déterministes s'intéressent principalement à la conception des chaînes de production et à la détermination d'un ordonnancement. Les approches simulatoires stochastiques s'intéressent elle à la prévision du comportement d'un système productif dans un environnement donné. Voici le récapitulatif de ces approches :

- approche déterministe d'un problème d'ordonnancement : cette méthode de résolution exacte ou heuristique a été élaborée pour répondre aux problématiques de conception et d'équilibrage de ligne de fabrication. Leur but est d'affecter des tâches à des postes dans lesquels on désire optimiser le temps de cycle de production (DANJOU et al., 1999). Des études proches se sont penchées sur le lissage de la charge et la prise en compte de contraintes additionnelles (RACHAMADUGU et YANO, 1994) (THOMOPOULOS, 1967).
- approche stochastique de l'ordonnancement : cette méthode s'appuie sur des approches analytiques des problèmes d'ordonnancement sur des lignes d'assemblage (DALLERY et GERSHWIN). On trouve aussi des approches qualifiées d'empiriques des simulateurs. Elles analysent l'incidence des

perturbations sur l'ordonnancement de lignes d'assemblage via des simulateurs industriels, faciles d'utilisation (RACHAMADUGU et YANO, 1994).

Il existe aussi des algorithmes génétiques qui utilisent des analogies avec des phénomènes naturels. Adapté au problèmes d'optimisation dans les années soixante dix, ils s'appuient sur l'analogie entre un individu dans une population et une solution dans un ensemble de solutions. (LOPEZ et RABOULLET, 2001) (XU, 2000).

Toutes ces approches cherchent à optimiser l'ordonnancement. Elles prennent en compte des contraintes appartenant à diverses fonctions, mais ne se penchent pas véritablement sur l'agencement fonctionnel de celles-ci. En effet il est important de prendre conscience du principe d'influence.

## **2.3 Principes d'influences**

Voici maintenant le classement de différentes sortes d'intégration des décisions logistiques. Nous les rappelons ici très rapidement (AKBARI JOKAR, 2001) :

### **Stockage - Stockage (S-S) :**

Ici, on cherche à trouver la politique qui minimise le coût de commande et de stockage entre deux sites de stockage.

### **Stockage – Production (S-P ou P-S) :**

Ici, le site de stockage peut stocker soit les matières premières (site amont), soit les produits finis (site aval).

### **Stockage – Transport (S-T) :**

Ici on s'intéresse à trouver une stratégie de transport et la quantité à transporter pour minimiser les coûts de transport, et de stockage des produits finis.

**Production – Transport (P-T) :**

Dans cette relation, on veut déterminer un programme de production en considérant le système de transport.

**Production – Production (P-P) :**

Dans cette relation on s'intéresse à une affectation optimale des pièces à produire dans les sites de production pendant une ou plusieurs périodes de temps.

Les relations qui nous intéressent plus particulièrement en rapport avec notre sujet d'étude sont : P-T et PP. Mais il est fort de constater que l'intégration n'est pas évidente à mettre en œuvre. Il s'exerce entre les fonctions un jeu d'acteurs. L'influence de l'une vis-à-vis de l'autre prend souvent le dessus au dépend d'une coopération.

D'une part la production peut influencer le mode d'ordonnancement. L'intégration de la logistique dans les systèmes de production industriels s'attache à la minimisation des retards. Certains axent leur recherche sur la modélisation de la chaîne de production selon la perspective de système complexe adaptatif (ARMETTA et al., 2004). L'étude en question considère une chaîne de production dans le domaine de l'électronique. Elle vise : la maximisation des ressources, la linéarisation des sorties du système avec un système de retour d'information basé sur les exigences de la production (disponibilité des ressources) et une minimisation du temps de cycle de production moyen en mettant un nombre moyen de produits en cours. L'approche se base sur l'utilisation du paradigme multi-agents situé géographiquement dans l'atelier, exploitant un dynamique de combat entre tâches à réaliser (proie / prédateur). Dans ce cadre c'est la production qui s'auto organise. L'ordonnancement n'est pas figé, il est évolutif dans le temps en fonction de l'utilisation de ses ressources.

Toujours dans la recherche de minimisation des délais de la réalisation des tâches, d'autres heuristiques ont été réalisées (NAHMIAS, 2001). Ils s'intéressent aux retards ou à l'avance des tâches selon leur date promise (*due date*). Ci-dessous les notions sur lesquelles ces approches se focalisent :

- retard (*tardiness*): différence positive de temps qu'il existe entre la date promise d'une tâche et la date de fin des opérations.
- avance (*earliness*): différence négative entre la date promise d'une tâche et la date de fin des opérations.
- délai (*lateness*): différence entre la date promise d'une tâche et la date de fin des opérations, positive ou négative

D'autre part, il arrive que l'expédition influence le séquençage de la production. La date de livraison peut tirer la production dans un système de type KANBAN. La date de fabrication est supplantée par la date de livraison. Il est alors compréhensible que ce type de pilotage de flux nécessite une refonte des systèmes d'information opérationnels pour faire intervenir les dates promises et les moyens de planification et d'ordonnancement propres à respecter les engagements pris en dépit des perturbations de production. Le flux tiré en distribution implique l'interdépendance entre la programmation des usines de production et la programmation des transporteurs. En effet, la logistique doit alors composer d'une part avec la séquence de fabrication et de l'autre avec les aléas de toutes natures. Dans ce cadre, il est important de doter les entreprises d'outil d'ordonnancement et de suivi en temps réel. Cela nécessite une planification dynamique et de prévision à court terme (BALLOT et MOLET, 2001).

Le domaine de l'automobile a toujours été précurseur dans l'innovation industrielle. Voyons comment logistiquement ce problème a été abordé dans ce cadre.

## 2.4 L'intégration assemblage et *routing*

La logistique a un rôle crucial pour augmenter la réactivité de l'entreprise. Au niveau opérationnel, le programme de livraison et de transport, l'allocation des moyens de transport aux sites, la sélection d'itinéraire, etc. influent sur le délai de livraison et donc la réactivité de l'entreprise. Au niveau tactique, les modalités d'allocation des fournisseurs aux sites de production, des produits aux sites de production et aux sites de stockage, des sites de stockage aux clients et également le choix des niveaux de stockage et le choix des modes de transport, etc. sont déterminants pour la réactivité de l'entreprise face à la demande. Au niveau stratégique, une stratégie optimale d'externalisation, le choix d'un fournisseur réactif, la mise en place d'un système électronique intégré de communication et de planification, un déploiement optimal des différents sites de production, de stockage, etc. diminuent les délais et augmentent la réactivité de l'entreprise. (AKBARI JOKAR, 2001)

La logistique associée à la distribution automobile évolue d'une fonction support vers un rôle stratégique, notamment dans le contexte du *built and delivery to order*, déjà utilisé dans le domaine de l'informatique (constructeurs) (BALLOT et MOLET, 2001).

Mais, aujourd'hui le modèle de production et de distribution semble être limités. Dans l'automobile cela se matérialise, en fin de cycle, par des rappels des véhicules pour causes de non conformités, des délais de livraison longs, etc. Après la perte du monopole de distribution par les constructeurs (évolution de la consommation) c'est le modèle productif qui est pointé du doigt (TRAN, 2002).

## 2.5 Discussion

Nous avons fait un bref récapitulatif non exhaustif des modèles dans la littérature. Ils ont été élaborés pour minimiser les retards, ordonner la production sous contraintes. Ils concernent aussi bien les activités de production que de distribution. Cependant la majorité d'entre eux traite les problématiques séparément. Ils ne prennent pas en compte les stratégies de chacune des fonctions. L'analyse qui suit ouvre le champ sur la cohésion et la coopération (via un outil d'aide à la décision) dans l'intégration des fonctions.

## CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE

L'ordonnancement de la production est le résultat d'un processus complexe. Il consiste à organiser dans le temps les tâches nécessitant des ressources. Techniquelement, l'ordonnancement doit prendre en compte deux types de ressources : humaines et machines. Mais avant d'arriver à la fabrication même des produits, il faut déterminer le plan de production (cédule).

Notons tout d'abord que cette étude fait référence à une cédule globale. Cette notion ne se cantonne pas aux problématiques propres à la fonction en charge du montage des produits finis. Cette cédule concerne tout autant la production que l'expédition.

L'ordonnancement est donc, nous l'avons souligné, l'outil d'intégration charnière entre les différentes fonctions. Aujourd'hui dans l'entreprise où nous avons évolué, il est fait par la production ; l'expédition n'intervenant qu'au travers de contraintes, qui ne sont pas tout le temps respectées (cf. Annexe 1 ; Listing exhaustif des contraintes liées à l'élaboration du plan de production). A titre d'exemple, la contrainte de devoir planifier plus de 10 destinations par jour n'est pas honorée. Les cédules réalisées aujourd'hui regroupent en général entre 15 et 18 destinations par jour. Plus le nombre de destinations est important et plus la gestion à quai des camions sera difficile.

Comme nous l'avons souligné dans la partie précédente, l'optimisation des niveaux d'inventaire a fait l'objet d'un nombre important d'études dans le domaine de la gestion de production. Ce champ d'études nous l'avons vu, indique qu'il est possible de déterminer des marges entre les deux fonctions. Mais l'introduction de dates prévues (due dates), peut permettre aux deux fonctions d'appliquer leurs propres objectifs (découplage des fonctions). Malheureusement, avec plus de 700 sécheuses par heure et un tiers de mètre cube par sécheuse, les volumes de stocks nécessaires ne sont pas disponibles. Nous avons donc recherché une structure décisionnelle permettant de respecter les objectifs des deux partenaires.

Nous définissons alors l'ordonnancement comme l'action qui consiste à agencer tous les produits (sécheuses) à fabriquer dans une semaine donnée à une ligne de production. L'activité s'attache à positionner les items (SKU) dans le temps (jour et heure) et à les mettre à disposition des expéditions (distribution dans les camions par destination).

Dans cette vision de l'ordonnancement, il apparaît une multitude de questionnements. Nous proposons ci-dessous un recensement des sous-problèmes identifiés dans ce que nous avons appelé la cellule globale :

- lotissement (découpage des lots en sous lots),
- affectation (des sous lots aux lignes de production),
- affectation des sous lots aux camions (aux destinations),
- séquencement des sous lots sur les lignes,
- séquencement des camions sur les quais de chargement.

Pour pouvoir répondre aux différents sous-problèmes de la cédule globale nous avons mis en place un plan d'action. Le but de cette méthodologie est la recherche d'un mode de découpage de la « décision cédule » en permettant à chaque acteur (services) d'exercer ses propres optimisations. Nous avons opté pour un processus alternant d'un acteur à l'autre l'intégration de leur stratégie (cf. Figure 3.1). Nous allons décliner ci-dessous les quatre étapes de notre méthodologie.

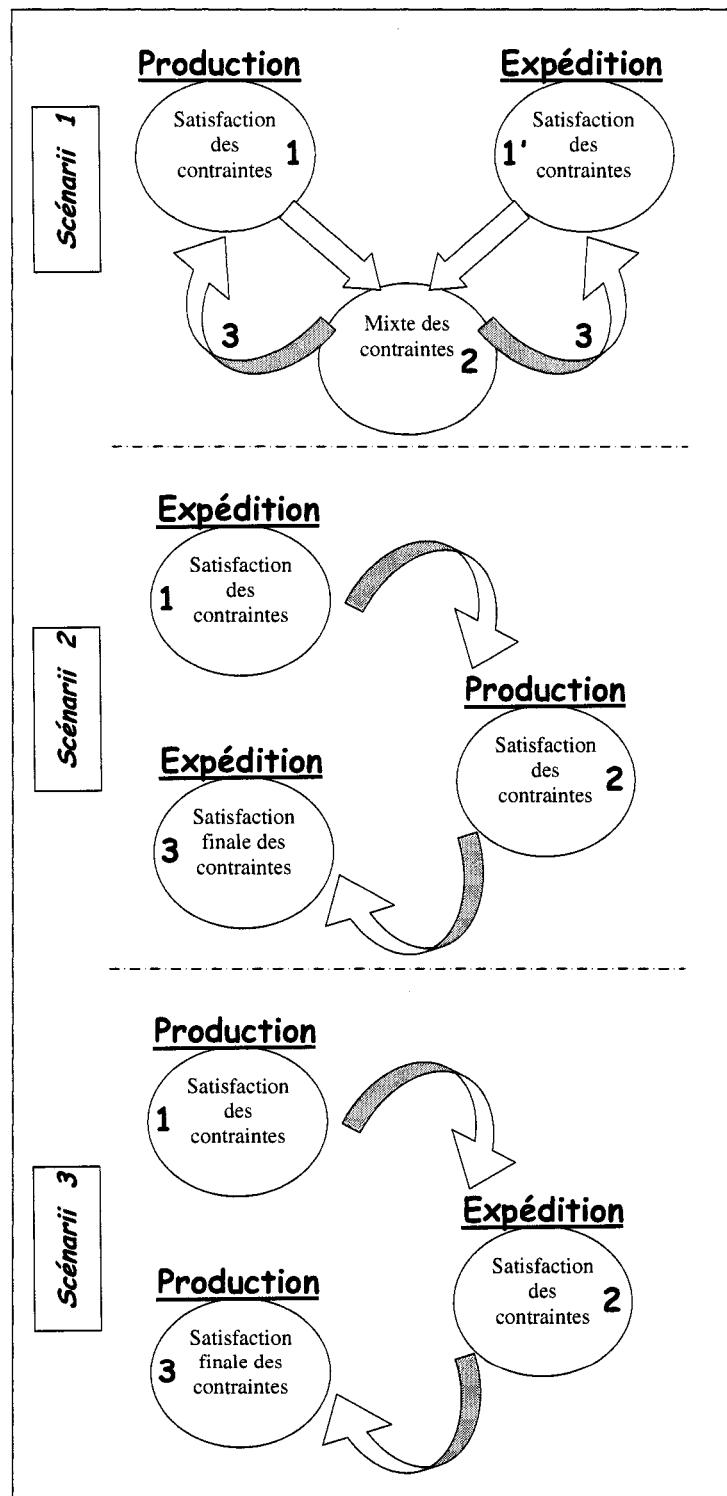


Figure 3.1 : Schéma des trois scénarii de découpage

### 3.1 Recherche et test des scénarios

Nos premières réflexions et investigations nous ont amené à attaquer le problème par une approche globale. Mais très vite nous nous sommes rendus compte de l'impossibilité de résolution, dans la volonté de traiter simultanément la répartition des commandes sur les lignes et la gestion des camions. Le nombre de données et de variables sujettes à des contraintes disjointes nous a poussé à reconsidérer l'angle d'approche. Après réflexion, nous pouvons maintenant proposer une stratégie de résolution séquencée en deux phases, correspondant à deux niveaux de décisions :

1. partitionner les camions et les produits hebdomadairement (5 journées ouvrables) ;
2. affecter les produits sur les lignes de montage et les ordonner.

Ce n'est pas parce que nous prenons le parti de diviser la problématique qu'il n'est plus question d'intégration. Cette séparation n'est en aucun cas fonctionnelle. Ce découpage correspond à deux niveaux de décision. L'optimisation successive de ces deux problèmes intégrera les stratégies de la production et de l'expédition. Dans notre travail, nous nous sommes uniquement concentrés sur le premier niveau de décision.

L'étude du cas n° 1 est sujette à plusieurs approches (scénarii) d'intégration :

- approche par optimisation séparée de l'expédition et de la production, pour un couplage ultérieur des résultats ;
- approche quantitative dirigée par la construction de camions hétérogènes (produits) ;
- approche par niveaux de criticités de taille de lot à lancer en fabrication (considérer d'abord les cas à problème avant de considérer les cas réguliers).

Les approches ci-dessus ont été les différentes voies que nous avons explorées. Dans un premier temps, nous nous sommes penchés sur une séparation qui consiste à traiter indépendamment production et expédition. L'objectif étant par la suite de les fédérer. Nous avons alors considéré une deuxième approche recherchant la constitution de camions en mettant en avance les besoins de l'expédition. Enfin, la troisième qui a été mise en œuvre est basée sur la classification de produits. Il est à noter que ces deux dernières approches se distinguent de la première en mettant en valeur ce que nous appelons le périmètre des produits "à problèmes".

Pour mieux comprendre l'ensemble du problème global, prenons un exemple simple. On cherche à découper un lot constitué de 150 produits. Ces produits sont le regroupement de dix commandes clients différentes. Cela indique que la distribution devra gérer 10 destinations distinctes. Sachant que le découpage en 2 sous lots impose une ouverture de chaque destination de la journée où le lot sera fait, quelle règle peut être instaurée pour atteindre l'intégration (cf. Figure 3.2).

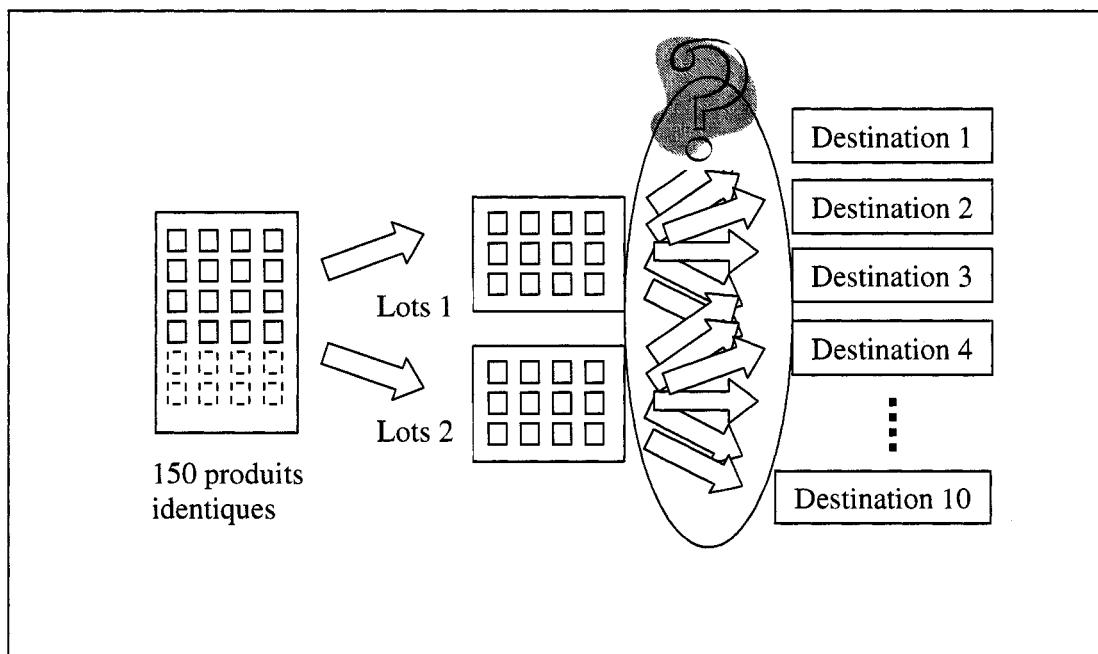


Figure 3.2 : Exemple du problème global

L'exemple ci-dessus ouvre le questionnement sur le modèle possible à formaliser.  
Nous pouvons ainsi déterminer la problématique comme suit :

#### Données d'entrée

- quantité  $x_{i,j}$  de chaque produit  $i$  à expédier dans une destination donnée  $j$  ;
- coût  $C_{j,k}$  d'un transport vers  $j$  par le transporteur  $k$ .

#### Contraintes

- nombre de transporteurs par jour ;
- produits pré affectés à des jours ou à des lignes ;
- nombreuses contraintes de non simultanéité sur les lignes ;
- nombreuses règles ayant pour but de minimiser les réglages.

#### Variables recherchées

- la séquence de chaque ligne de production ;
- partition de l'ensemble «  $i$  » ;
- ordre total de chaque partie ;
- l'affectation de chaque sécheuse à un camion ;
- l'affectation des camions aux transporteurs ;
- la séquence des camions sur chaque quai.

## Objectifs

- minimiser les coûts de transport ;
- minimiser les attentes entre production et expédition.

Cette mise en perspective nous a poussé ne pas prendre de front le problème global. C'est pourquoi nous avons proposé une hiérarchisation dans la résolution (partition et affectation). L'ordonnancement global de cet atelier fait intervenir deux directions fonctionnelles différentes (production et logistique) et pose trois problèmes distincts :

- l'ordonnancement de la production (dépendant de la production) ;
- l'ordonnancement du «picking» des produits sur les lignes de sortie (logistique/expédition) ;
- l'ordonnancement des camions sur les quais (logistique/expédition).

La cohésion des différents besoins fonctionnels entremêlés nous a semblé complexe. Le découpage, de l'ordonnancement en affectation journalière et séquençage sur les lignes de production, nous est apparu comme étant une simplification considérable. En s'appuyant sur les différents constats de dysfonctionnements (§ 1.2), nous avons pu élaborer plusieurs stratégies d'approches.

### 3.2 Étude des potentialités

La partition en journées consiste à équilibrer l'ensemble des références commandées par les clients, dans une semaine donnée. Cette action d'affectation doit optimiser les critères des fonctions à intégrer. Cette étape ne prend pas en compte le facteur « destination ». Elle recherche l'équilibrage des charges de fabrication. Il existe deux besoins distincts de chaque fonction dans le partitionnement en journée (cf. Figure 3.3). Les enjeux sont respectivement le nombre d'items et les destinations pour la production et l'expédition. À l'inverse de ce que nous aurions pu croire, l'expédition ne s'attend pas vraiment à recevoir le bon produit pour la bonne destination. Elle cherche plus à combler des destinations en fonction des camions mis à quai, indépendamment des items. Ses objectifs se focalisent sur la détermination des transporteurs tout en optimisant le nombre de destinations par jour.

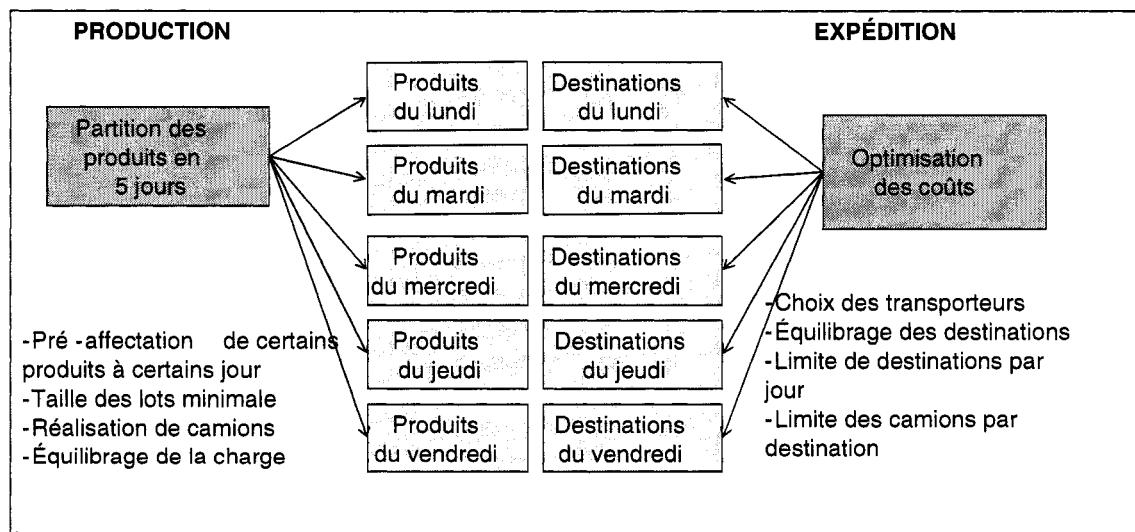


Figure 3.3 : Partition en journée

De prime abord, la production n'a pas de critères à optimiser. Ce service a converti, dans son fonctionnement, ses objectifs en contraintes. Cela arrive dans le cas où une fonction est prépondérante par rapport aux autres (appuyée par le directoire). La transformation va alors, dans le temps, mêler les objectifs de la fonction, à la culture et à la politique de l'entreprise. De ce fait, ses objectifs sont légitimés aux yeux de toute la structure. Dans le cas de conflits internes, il n'y a plus la possibilité de faire des compromis tactiques car les pratiques sont ancrées. Cela ne laisse aucune possibilité à l'intégration entre les services de la chaîne de la valeur.

Il est intéressant de constater que l'optimisation globale doit prendre en compte deux optimisations. Ces deux optimisations sont dépendantes l'une vis à vis de l'autre :

- Optimisation des coûts de transport.

Cette action se définit comme l'affectation judicieuse des destinations aux jours, pour bénéficier des meilleurs coûts de transport. Elle permet également de planifier dans le temps les destinations dites « sensibles ». Car certains clients imposent des livraisons rigoureuses. En expédiant les produits commandés pour ces destinations en début de semaine, l'entreprise se garantit un moindre risque de pénalité de retard.

- Optimisation des produits par jours.

- La main-d'œuvre.

L'entreprise rencontre des difficultés en ce qui concerne la stabilité de son effectif. Le taux de présence est en dessous de la normale en début et fin de semaine. Ne pouvant pas agir sur la motivation au travail, qui est en dehors de notre mandat, il faut donc prendre en compte cette baisse de productivité induite par le manque de ressources. La répartition des produits n'est pas équitable chaque jour de la semaine.

- Le respect des technologies.

Les produits ne sont pas tous issus de la même technologie (modèles de sécheuses à gaz ou électrique). Suivant le type de modèle, les lignes de productions doivent s'adapter et se configurer différemment. Les modifications ne sont pas des refontes complètes de l'agencement de la ligne de montage, mais imposent des ajout ou des retraits de personnels. Comme l'entreprise gère un nombre constant d'employés, s'il y a trop de produits d'un type gourmand en capacité cédulés par jour, les gestionnaires se retrouvent face à un manque de ressources.

- La minimisation du nombre de réglages.

Le besoin de ne pas avoir trop de sous lots vient de deux causes principales. La disposition physique des lignes de production est telle que leur approvisionnement en composants implique beaucoup de déplacements. Les responsables de ligne qui sont chargés de contrôler le bon approvisionnement des composants se trouvent surchargés si le nombre de produits des sous-lots n'est pas significatif. De plus, si les sous-lots ont une taille trop petite, les gênes provoquées par le passage d'un type à un autre se répercutent directement sur le taux de productivité. Comme ce taux est, pour la direction, l'indicateur premier reflétant le bon fonctionnement de l'ensemble de la structure, cette contrainte a un poids non négligeable.

### **3.3 Choix de mise en oeuvre**

Synthétiquement, notre démarche s'est déroulée en trois phases (cf. Figure 3.1). La première optimisait distinctement les fonctions de production et d'expédition. Nous avons utilisé une méthode de résolution linéaire en nombres entiers. Le but de cette approche est, une fois les optimums de chaque fonction trouvé, de les recentrer dans un modèle commun. Cependant, cette première piste n'a pas permis d'atteindre

l'intégration des deux fonctions. Les résultats obtenus dans la mise en commun remettaient totalement en question les solutions de la première étape.

La deuxième approche s'est basée sur des heuristiques. L'objectif de cette démarche est de partir des besoins de l'expédition par la constitution de camions hétérogènes. Les résultats obtenus servaient ensuite de source pour prendre en compte les besoins de la production. Mais là encore, l'impossibilité de revenir vers une solution commune n'a pas permis d'exploiter cette voie.

La dernière, qui s'appuie aussi sur une résolution linéaire en nombres entiers, nous a permis de trouver un outil d'aide à la décision permettant l'intégration des fonctions. Nous partons des besoins de la production (produits critiques), puis nous intégrons dans le modèle ceux des expéditions (ouverture des destinations) pour enfin revenir à un ensemble satisfaisant les deux fonctions. C'est sur cette dernière que notre choix c'est porté.

### **3.4 Réalisation sur le terrain**

Notre recherche se concrétise par l'élaboration d'un outil d'aide à la décision (que l'on qualifie de maquette). Il se base sur le troisième scénario.

Cette maquette utilise comme données d'entrée les SKU à fabriquer et les quantités à livrer dans chaque destination, pour une semaine. En sortie, elle délivre une proposition de répartition des SKU sur les lignes pour chaque journée.

L'intérêt de cet outil se concrétise dans la :

- minimisation du nombre de destinations ouvertes par jour ;
- éviter de produire des petites quantités d'un SKU ou plus exactement de concentrer sur une seule journée les différentes destinations d'un SKU commandé en petite quantité ;
- équilibrer au mieux la charge sur les lignes et les jours ;
- et bien évidemment dans un gain de temps dans l'élaboration de la cédule.

Cette maquette n'est pas un logiciel d'ordonnancement d'atelier. Elle n'a pas la prétention de pouvoir résoudre l'ensemble des problèmes. C'est un outil d'aide à la décision qui fait appel à une intervention humaine. Il permet de créer un point de départ sur la répartition des SKU par jour. Par différentes simulations, le planificateur pourra réfléchir aux meilleures stratégies à adopter.

## CHAPITRE 4 : RÉALISATION ET RÉSULTATS

Cette section va détailler chacun des trois modèles testés. Les résultats obtenus seront aussi présentés lors de la mise en œuvre de la maquette.

### 4.1 Scénario 1 : Découplage par fonction

Ce premier modèle cherche à optimiser séparément l'affectation des destinations aux journées (pour optimiser les transports) et l'optimisation de la production (placement optimal des produits sur des journées pour optimiser la production). Ces deux solutions optimales devront faire ensuite l'objet d'une négociation. L'examen d'une cohésion entre les stratégies de chacune permettra un compromis (cf. Figure 4.1). L'étude a débuté par des tests sur l'optimisation des transports (1) (cf. Tableau 4.1). Cette étape ignore les produits comme tels. Nous avons pris en compte les quantités globales par lieu d'expédition. Nous avons réalisé une maquette sur Excel pour expérimenter la faisabilité. L'utilisation d'un simplexe disponible sur le marché, à moindre coût est aussi une prérogative dictée par la direction. Nous nous sommes appuyés sur les modèles vus dans les paragraphes 1.3.1 et 1.3.2.

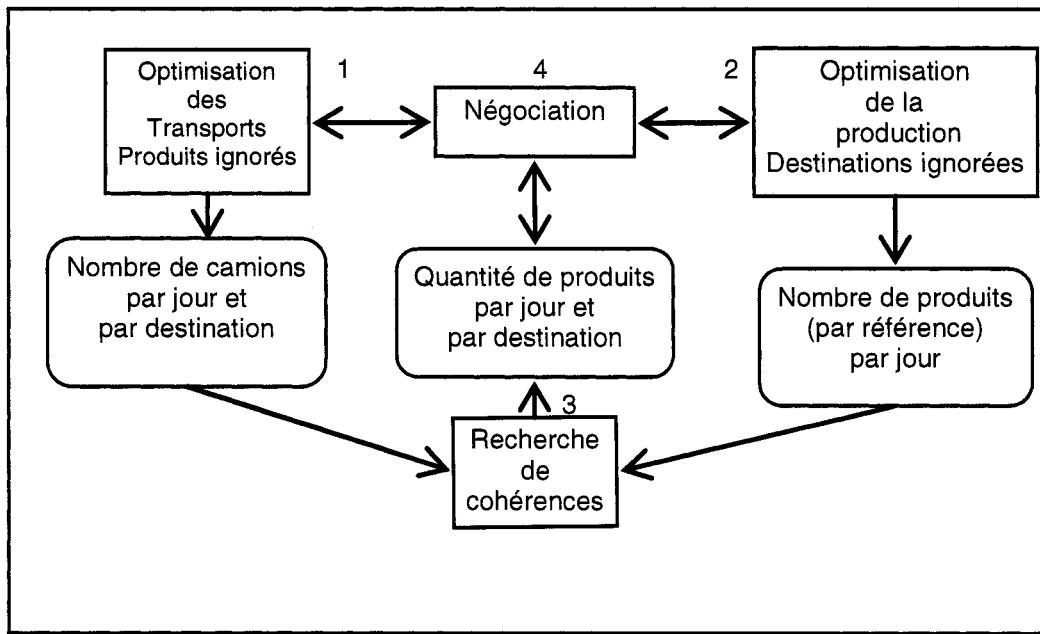


Figure 4.1 : Schéma d'une approche coopérative entre fonction

Données d'entrée :

- $y_j$       nombre de produits à expédier dans une destination donnée  $j$  ;
- $c_{j,k}$       coût d'un transport vers  $j$  par le transporteur  $k$  ;
- $n_{k,t}$       nombre de camions  $k$  pour le jour  $t$ .

Contraintes :

- nombre maximal de destinations par jour ;
- nombre maximal de camions par transporteur.

Tableau 4.1 : Résultat de l'optimisation des transporteurs

Destinations	Nombre de destination pour lundi	Nombre de destination pour mardi	Nombre de destination pour mercredi	Nombre de destination pour jeudi	Nombre de destination pour vendredi	Quantité total en nombre de produits	Nombre total de destination	
College Park	0	8	5	0	5		1	
College Park(T)	0	0	0	0	6		6	
Denver	0	0	0	0	6		6	
DOM	0	8	0	8	5		2	
F/P	1	0	0	8	2		1	
G.Prairies	8	0	2	8	0		1	
Jacksonville	8	0	4	0	0		2	
Kent	0	4	2	0	0		6	
Louisville	0	5	8	0	0		1	
Louisville(T)	0	0	8	0	8		6	
Munster	8	7	0	0	0		1	
Perryville	8	8	8	8	0		3	
Walnut	7	0	0	8	8		2	
Somme	40	40	37	40	40		3	
Capacité des lignes / jour	5018	5018	5018	5018	5018			

La deuxième phase de cette approche est l'optimisation de la production (2). En considérant uniquement le volume total par semaine des items commandés, nous avons réparti tout d'abord les volumes, en fonction des affectations famille vs ligne de production. Ensuite affecté les références aux ligne de production (cf. Tableau 4.2). N'ayant pas eu d'outil assez puissant pour traiter l'ensemble des variables, nous avons été contraints de passer par ces deux étapes successivement.

Tableau 4 2: Résultat de l'optimisation des SKU / Lignes de production

SKU	Taille	Famille	Fiche	Module A	Module J	Module K	Module L
DE08-CA	6			0			0
DE08-US	6			0			0
DG08-US	6			0		0	0
DBSR453EBCC	7	GBEP	102				
DBSR453EBWW	7	GBEP	102	100	3	119	0
DBXR463EDCC	6	GBEP	102	200	0	0	0
DBXR463EDWW	6	GBEP	102	447	0	0	0
DJXR433ECCC	6	GBEP	82	30	0		0
DJXR433ECWW	6	GBEP	82	1415	0		0
DS4500EBWW	7	GBEP	105	143	3		0
DWSR483EBCC	7	GBEP	80	144	0	1	0
DWSR483EBWW	7	GBEP	80	356	0	0	0
DWXR483EBCC	6	GBEP	80	160	0	0	0
DWXR483EBWW	6	GBEP	80	366	0	0	0
DX2300EBWW	6	GBEP	87	142			0
DX4500EAWW	6	GBEP	105	143			0
EED4500DWW	7	GBEP	99	144			0
NBXR463EBWW	6	GBEP	82	150	2		0
NWSR483EBWW	7	GBEP	80	143	0		0
DHDSR466EW	0	GBEP		0			0
DBLR333EECC	6	GBEP		0			0
DBLR333EEWW	6	GBEP		0	0		0
DVLR223EEWW	6	GBEP		0			0
DX2300EEWW	6	GBEP		0			0
DX4500EEWW	6	GBEP		0			0
NVLR333EECC	6	GBEP		0	0		0
NVLR333EEWW	6	GBEP		0	0		0
PBSR485EDWW	7	GBEP	115				0
66421	6	GBEP2	82		0		0
67431	7	GBEP2	111		0		0
67441	7	GBEP2	89				0
KBXR463EDWW	6	GBEP2	108				0
PBXR473EDWW	6	GBEP2	82		1		0
PCXR363EDWW	6	GBEP2	87		1		0
PVXR363EDWW	6	GBEP2	87		0		0
QNSR483EDWW	7	GBEP2	111		0		0
QNXR363EDWW	6	GBEP2	87				0
QNXR463EDWW	6	GBEP2	108				0
RBSR463EDWW	7	GBEP2	108				0
RBXR463EDWW	6	GBEP2	108				0
RVXR353EDWW	6	GBEP2	87				0
PWSR363EDWW	7	GBEP2	83				0
EED6500DWW	7	GBES	90	0	0	0	0
DRSR483EDCC	7	GBES	80	0	0	0	0
DRSR483EDWW	7	GBES	80	0	0	0	0
DQSR483EEWW	0	GBES		0	0	0	0
PBXR473GDWW	6	GBGP	64	0			0
PWSR363GDWW	7	GBGP	103	0			0
QNSR483GDWW	7	GBGP	207	0		0	5
RBXR463GDWW	6	GBGP	67	0			0
DJXR433GCC	6	GBGP	60	0			0
DJXR433CW	6	GBGP	60	0			0
DWSR483GBCC	7	GBGP	61	0			0
DWSR483GBWW	7	GBGP	61	0			0
DWXR483GBWW	6	GBGP	61	0			0
DX2300GBWW	6	GBGP	65	0			0
DX4500GAWW	6	GBGP	75	0			0
EGD4500DWW	7	GBGP	75	0			0
NBXR463GBWW	6	GBGP	60	0			0
NWSR483GBWW	7	GBGP	60	0			0
DHDSR46GEWW	0	GBGP		0			0
DBLR333GECC	6	GBGP		0			0
DBLR333GEWW	6	GBGP		0			0
DVLR223GEWW	6	GBGP		0			0
DX2300GEWW	6	GBGP		0			0

L'étape suivante est la recherche de cohérence (3) entre les deux solutions précédemment trouvées. Nous avons rajouté dans ce processus une étape finale de négociation (4). Elle laisse la possibilité aux fonctions de pouvoir, dans une situation délicate (Exemple : Problèmes en ressource main d'oeuvre rencontrés lors d'une semaine donnée), trouver un compromis autre que la solution de cohérence (3).

Très vite, l'approche c'est révélé infructueuse. Certaines destinations sont ouvertes que peu de jours. Cette concentration rend impossible la production des produits qui doivent aller dans 5 ou 6 destinations en quantités infimes en une seule journée.

Il faut traiter en priorité les facteurs de conflits plutôt que de chercher à traiter les deux problèmes indépendamment.

## 4.2 Scénario 2 : Constitution de camions hétérogènes

Actuellement, le chargement des remorques aux quais d'expédition, s'effectue avec la simple information des lieux de destination, apposée sur les boîtes d'emballage. Le principe est de résoudre les problèmes des petites quantités en donnant la priorité à l'expédition (prise en compte des petites quantités et création de camions hétérogènes). Ensuite, il suffit de placer ces camions dans des journées en essayant de ne pas avoir trop de destinations ouvertes chaque jour. Nous utilisons les camions homogènes comme moyen de lissage.

Nous ajoutons dès lors les notions de :

- camions hétérogènes : camions constitués de référence différentes pour une destination identique,
- camions homogènes "mono référence" : camions constitués de mono-références destinées à une destination identique.

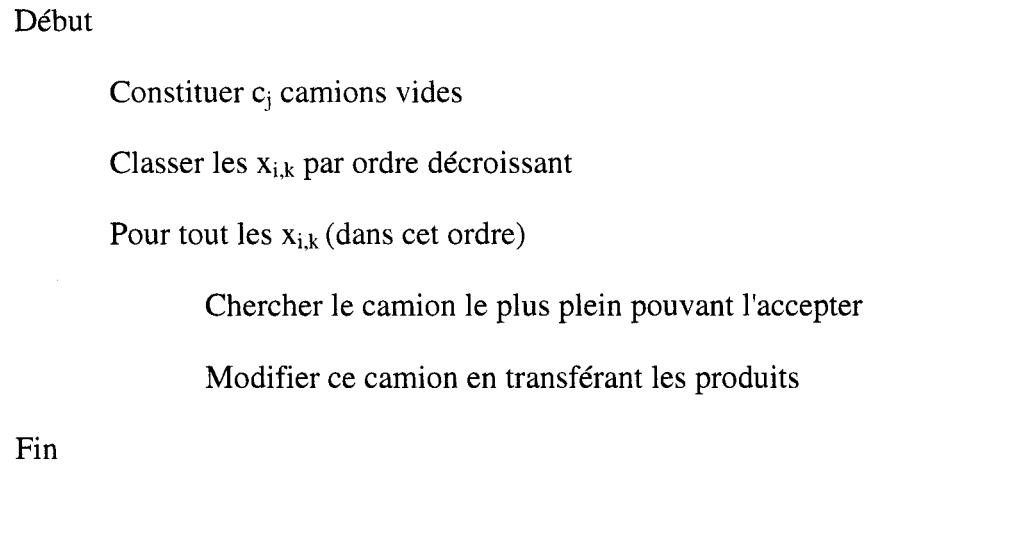
Voici une présentation de l'algorithme utilisé pour résoudre notre problématique de planification :

1. Identifier les  $T_{i,k}$  définis par le nombre de camions « pleins » qu'il est possible de réaliser en fonction du carnet de commandes et les  $x_{1i,k}$  qui est le nombre de produits restant qui constitueront les camions hétérogènes.  $x_{i,j}$  est la quantité totale de produit  $i$ , pour un jour  $j$ .  $v_i$  est la moyenne (constante), du nombre de produits pouvant être contenus dans les camions ( $c_k$ ). :  $x_{i,j} = t_{i,k} * v_i + x_{1i,k}$
2. Regrouper les  $x_{i,j}$  en camion  $c_k$ .

Cela consiste à prendre, pour une destination  $j$  donnée, l'ensemble des  $x_{i,k}$  à effectuer, puis à les placer dans les camions hétérogènes.

Il y a au moins  $K_j = \left\lceil \frac{\sum_i x_{i,k}}{v_i} \right\rceil + 1$  camions hétérogènes pour la destination  $k$ .

L'idée principale de cette résolution est d'essayer de ne pas éclater un produit sur plusieurs camions. Il faut prendre en considération que les  $x_{i,k}$  sont eux-mêmes des résidus. Ce problème est assimilable à un problème de « découpe en une dimension ». Il peut être résolu aisément et dans un temps raisonnable par l'algorithme simple suivant:



A titre de résolution numérique, nous avons réalisé un jeu d'essai sur une semaine donnée (environ 25000 articles commandés pour 15 destinations différentes).

Le résultat de cet algorithme donne la constitution de 87 camions hétérogènes. La plupart du volume des remorques chargées est exactement de 120 sécheuses.

3. Positionner les Camions  $C_k$  sur les journées de la semaine traitée. Nous n'avons pas de contrainte d'affectation de destinations un jour particulier. Cette liberté nous permet d'agencer suivant notre besoin les camions constitués où bon nous semble. L'objectif de la répartition des camions aux jours de la semaine est soumis à deux règles. Il ne faut pas ouvrir trop de destinations chaque jour afin de satisfaire la demande des expéditions et ainsi faciliter sa gestion. Également, il ne faut pas créer de trop petits sous-lots de pièces pour qu'il n'y ait pas, dans l'ordonnancement, trop de changements de série sur le plancher de production. Voici l'algorithme permettant de trouver la répartition des camions par jour :

Début

Tant qu'il reste des camions hétérogènes faire

Choix du camion à placer (premier camion hétérogène en volume minimal)

Chercher le meilleur jour pour ce produit (existe-t-il déjà un jour ouvert pour ce produit, sinon, le placer le jour contenant le moins de destinations ouvertes)

Corriger ce jour, en lui affectant la nouvelle quantité à produire

Fin tant que

Fin

Pour chaque produit, l'algorithme calcule le nombre de places restantes dans le camion hétérogène. Il cherche ensuite le produit ayant le plus petit volume (résidu) et va l'affecter au camion contenant ce produit. L'enchaînement de la logique effectue le choix du jour. Cette action se fait en fonction du profil de produit.

Puis, pour chaque jour, les camions sont positionnés de sorte qu'il n'y ait qu'un minimum de destinations ouvertes. Le positionnement d'un camion hétérogène entraîne un certain nombre de produits fabriqués. Comme il est question ici de petites tailles de lots, qualifiés : "à problèmes" (entre 18 produits, qui est le seuil minimum de fabrication, et la quantité totale à fabriquer dans la semaine), le jour choisi sera celui qui minimise ce nombre de types différents de produit.

Enfin, il faut corriger le jour. Cela consiste à considérer les nouveaux produits "à problèmes" induits par ce dernier placement. On corrige en testant s'il est possible de positionner des camions hétérogènes ou des camions homogènes, dans chaque jour de la semaine, pour obtenir une affectation finale optimisée.

Cette approche est intéressante. Les résultats montrent cependant une grande difficulté à corriger les journées (étape 3 de l'algorithme). Une des origines du problème est la priorisation. En effet, à la constitution des camions une priorité d'affectation est implicite. Si elle n'est pas respectée, la contrainte de production, voulant qu'un produit fabriqué en petite quantité le soit en une seule fois, ne sera pas prise en compte.

D'autre part, la constitution de camions hétérogènes surconstrait le problème. En effet, rien n'interdit de « couper » un ensemble de camions pleins pour répartir un camion hétérogène. Cette création de camion posera alors problème.

Voici un exemple numérique permettant de bien comprendre les limites de cette approche, pourtant prometteuse.

Exemple : Le tableau 4.3, ci-dessous représente une synthèse de l'ensemble des commandes pour une semaine donnée avec une gamme de 6 produits livrables dans 5 destinations.

Tableau 4.3 : Exemple de commande client pour une semaine donnée

	Destination a	Destination b	Destination c	Destination d	Destination e
Produit 1	140 SKU				
Produit 2	140 SKU				
Produit 3	140 SKU				
Produit 4	140 SKU				
Produit 5	20 SKU				
Produit 6	20 SKU				

Le premier calcul des camions « pleins » donne 1 camion plein par produit (comme nous prenons une capacité moyenne de 120 produits par camion). En terme de produits, la matrice suivante est générée (cf. Tableau 4.4). Elle fait l'état des restes par produit et par destination. Ces restes vont constituer les camions hétérogènes.

Tableau 4.4 : Reste à affecter après répartition des camions pleins

	Destination a	Destination b	Destination c	Destination d	Destination e
Produit 1	20 SKU				
Produit 2	20 SKU				
Produit 3	20 SKU				
Produit 4	20 SKU				
Produit 5	20 SKU				
Produit 6	20 SKU				

On constate que chaque camion hétérogène (un par destination) comportera exactement 20 produits de chaque type. Cela implique que le jour où l'un de ces camions hétérogènes devra être constitué, il faudra fabriquer tous les produits. Même si dans notre exemple le nombre minimum acceptable par la production n'est pas atteint, il est fort à parier que ce service sera très mécontent de la cédule de production. Le nombre de réglages sera important et l'activité de montage sera pénalisée.

On peut alors se demander si cette étape de création de camions hétérogènes est viable. Car en reprenant l'exemple ci-dessus il est très facile de percevoir manuellement une meilleure affectation. Cela nous permet de poser la solution, tableau suivant, qui reprend les données de la première matrice affectées à la destination (a) de l'exemple.

Tableau 4.5 : Solution d'affectation des restes pour la destination (a)

Destination a	Camion 1	Camion 2	Camion 3	Camion 4	Camion 5
Produit 1	100 SKU		40 SKU		
Produit 2		100 SKU			40 SKU
Produit 3			80 SKU	60 SKU	
Produit 4				60 SKU	80 SKU
Produit 5		20 SKU			
Produit 6	20 SKU				

L'exemple ci-dessus (cf. Tableau 4.5) doit être appliqué à l'ensemble des destinations. Mais si tel est le cas, il est remarquable que cette répartition permette de n'avoir que deux produits par remorque le jour où un de ces camions sera à faire.

Les limites de cette deuxième approche nous ont poussé à aller plus loin dans la réflexion.

### 4.3 Scénario 3 : partir des produits critiques

#### 4.3.1 Description du modèle

Nous avons dérivé vers une troisième et ultime proposition à partir des conclusions des deux premières. Celle-ci se séquence en trois étapes :

1. élaboration des squelettes (affectation non complète qui offre une base pour le reste de l'affectation) des jours à partir des produits critiques ;
2. compléter ces squelettes en répartissant les destinations voulues, par jour ;
3. affecter les produits non critiques aux journées constituées.

La phase 1 donne priorité à la production en minimisant le nombre de réglages. De cette étape, nous tirons des contraintes d'une affectation partielle des destinations et de l'affectation. C'est par le biais des produits critiques (cf. Annexe 2) que ces contraintes sont créées.

On entend par produits critiques des produits qui sont fabriqués en moins de K exemplaires. Ici, K correspond à la quantité minimale d'une série. Cette quantité est à déterminer par le planificateur. Elle est la limite qui va déterminer le nombre de produits critiques à prendre en compte dans le carnet de commande. Si  $K=70$  alors les produits critiques seront tous ceux dont la quantité  $x_{i,j}$  est inférieure à 70 unités (K). Ces produits dits critiques sont aussi caractérisés par la variable L. L représente le nombre de destinations à expédier ( $L \geq 2$ ), qui correspond au nombre maximum de destinations que l'on souhaite ouvrir à cette phase de l'algorithme.

Par le terme « squelette » de jour, nous définissons un ensemble de destinations qui seront ouvertes la même journée. En d'autres termes, pour chaque jour de la semaine, l'opérateur détermine, en fonction des informations qu'il a à disposition, quels vont être les lieux de distribution à affecter. À ce stade, la notion de SKU n'est pas prise en compte. Il est à noter que du point de vue culturel, cette étape change radicalement la logique des activités de la tâche du planificateur.

Certaines contraintes supplémentaires viennent s'insérer à ce niveau. Elles imposent, pour certains clients (ceux qui imposent des pénalités de retard), une production à un jour donné. Cette logique permet de mettre au plus tôt la mise en production de ces clients, pour pouvoir faire face à un aléa, ce qui ne pourrait être fait, si l'ordonnancement de leurs produits était réalisé en fin de période.

L'algorithme suivant correspond à l'affectation des produits critiques et à la création simultanément des journées affectées. Le choix a été pris de résoudre ce problème initial avec un algorithme « glouton ». Dans notre cas, la méthode gloutonne ne nous a conduit qu'à une solution sous-optimale.

Début Soit A {produits / (demande de la semaine) < K et 2 < Nb.  
destination < L+1}

Classer A par L décroissant

Tant que A n'est pas vide faire

Retirer le premier produit

Créer une nouvelle journée avec les destinations de ce produit

Affecter le produit à cette journée

Pour tout élément de A faire

Si A peut être fait la même journée (au total –  
de L destinations) faire

Début augmenter si nécessaire le nombre  
de destinations

Retirer le produit (l'élément)

L'affecter à la journée

Fin

FinSI

FinTantQue

Fin

À la fin de cette phase, si l'algorithme trouve une solution réalisable (cf. Annexe 4), elle est déterminée par :

- au plus les 5 journées ouvrées de la semaine ayant été affectées ;
- chacune de ces journées ayant au plus L destinations ;
- tous les produits « à problèmes » étant affectés à l'une de ces journées.

Remarquons que cette phase ne prend en considération ni la capacité journalière, ni la capacité des camions, ni l'ordre de remplissage des camions par jour. Mais comme ces produits représentent un faible volume, les contraintes de production ne sont jamais atteintes.

- Pour la phase 1 :

Il se peut que toutes les destinations ne soient pas prises en compte. En effet, certaines d'entre elles sont dédiées. Cela signifie que les produits qui leur sont livrés sont spécifiques. Nulle part, dans les autres destinations, nous ne retrouverons ces produits.

Il existe aussi de gros clients. Les destinations associées à ces clients ont, sauf cas exceptionnels, uniquement des grosses quantités à fournir. Dans l'exemple traité en annexe 4, toutes les destinations n'ont pas été traitées dans la phase 1. Mais dans les phases suivantes, toutes les affectations sont positionnées dans les jours. L'annexe 5 donne le résultat de cet algorithme sur la journée étudiée.

- Pour la phase 2 :

Cette étape consiste à optimiser le choix des destinations par jour, de la part de l'expédition, en vérifiant néanmoins que la production puisse se faire. Le modèle est celui proposé dans le problème 2 en tête de chapitre. Cependant, les contraintes sont à développer et certaines destinations ont été pré-affectées dans la phase 1. Cette étape a été laissée manuelle. En effet, l'outil reste une aide à la décision. L'ensemble des contraintes environnementales ne peut être recensé. Le choix doit appartenir à l'utilisateur qui, en fonction des partenaires internes et/ou externes, sera en mesure d'ajuster son plan de production. Il contribue à donner toutes les destinations des cinq journées. Une des contraintes du cahier des charges de la création de cet outil est la minimisation du nombre de destinations par jour (cf. Annexe 1, Contrainte expédition). En permettant de piloter ce nombre, en ayant une vision globale de la semaine, l'opérateur peut ainsi équilibrer la charge de destinations journalières à servir (si possible limitées à 9 ou 10).

- La phase 3 :

Comme les autres produits ne sont pas considérés comme critiques, ils sont utilisés pour combler les jours. Il convient tout de même de respecter les capacités des lignes de production et la capacité journalière. À ce titre, les produits sont regroupés par familles, en fonction de leurs caractéristiques technologiques. Chaque famille ne peut être réalisée sur l'ensemble des lignes de production pour des raisons de ressources insuffisantes. Le respect de cette règle est bien entendu obligatoire. L'annexe 3 indique la répartition par familles de la possibilité de fabrication sur les 4 lignes de production. C'est dans cette étape que seront implicitement prises les décisions de lotissement.

### 4.3.2 Fonctionnalités de la maquette

Nous allons présenter la fonctionnalité de base qui a justifié la réalisation de cette maquette (cf. Figure 4.2).

Pour avoir une vue générale de l'agencement fonctionnel de la maquette, se référer au Tableau 4.6. Dans un premier temps l'utilisateur doit renseigner la feuille « Données ». L'activation du bouton « tri des données » (cf. Figure 4.2) permet de créer la feuille de travail « Tri ». Cette feuille est le résultat du calcul qui détermine le nombre de Jobs (types d'unités différents) de la semaine. Cette action déclenche aussi le solveur (dont les résultats sont présentés dans la feuille « solvhebdo ») qui optimise le dépassement la répartition des quantités par unité sur les lignes de production autorisées. Une action manuelle peut être effectuée dans cette page, si la solution présentée ne satisfait pas l'utilisateur.

Figure 4.2 : Interface de la maquette livrée à l'entreprise

Le planificateur peut à présent renseigner les valeurs de « minimum des OF » et « maximum de destination », dans la feuille Saisie. La première valeur donne la quantité totale au-dessous de laquelle le SKU est considéré comme critique (devant être fabriqué et donc expédié en une seule journée). La seconde donne le nombre maximal de destinations ouvertes par jour pour couvrir les SKU critiques. Si la seconde valeur est trop grande, tous les produits critiques seront concentrés sur un petit nombre de jours. Si la seconde valeur est trop petite, il faudra plus de 5 jours pour absorber tous les SKU critiques. Si le seuil de définition des SKU critiques (minimum des OF) est trop grand, il y aura trop de SKU critiques et tous ne pourront pas se fabriquer sur une journée.

Dès que les variables précédentes ont été déterminées, l'exécution du bouton « affecter les critiques » donnera une solution du nombre de jours ouverts pour les

critiques. Si la solution n'est pas satisfaisante (feuille « affectation critiques »), l'utilisateur peut revenir et modifier les paramètres pour relancer la simulation.

Tableau 4.6 : Explication des feuilles de la maquette

Feuille	Descriptif
Saisie	Interface graphique utilisateur Variables d'entrée à renseigner Destination à sélectionner Synthèse des résultats
Données	Liste des commandes clients en SKU
Jour 1	Répartition des SKU sur le jour 1
Jour 2	Répartition des SKU sur le jour 2
Jour 3	Répartition des SKU sur le jour 3
Jour 4	Répartition des SKU sur le jour 4
Jour 5	Répartition des SKU sur le jour 5
Affectation critiques	Réparation après calcul des SKU critiques
Tri	Feuille de calcul : tri en fonction du nombre de destination par SKU
Solv hebdo	Feuille de calcul utilisant le solveur pour la répartition des SKU sur les lignes en fonction de leurs familles
Répartition par lignes	Feuille de données des répartitions des SKU par ligne de production

La première affectation élaborée, l'utilisateur doit remplir à la main les affectations non faites dans la feuille « Saisie » (remplissage par la valeur « 1 » des destinations choisies pour un jour de la semaine). Toutes les destinations doivent être affectées à au moins une journée. La colonne « NB Dest » indique le nombre de destinations qui sont ouvertes à chaque journée. L'indicateur « somme max par jour », réinitialisable par le bouton « max par jour », montre pour chaque journée le nombre de SKU possibles. Plus ces nombres sont équilibrés, plus il y aura de chance de trouver une solution intéressante.

Enfin, par l'action sur le bouton « affectation », tous les SKU restants sont répartis et les résultats sont consignés sur les feuilles « jour 1 » à « jour 5 », ainsi qu'une synthèse sur la feuille « saisie ». Dans les feuilles « jour 1 » à « jour 5 », il est possible d'identifier les petits reliquats (SKU fait en trop petite quantité et pouvant être déplacés).

L'utilisateur peut alors les déplacer à la main, mais la relance de l'affectation fera disparaître automatiquement les modifications.

La fonction de cette maquette est d'être un système d'aide à la décision. On peut donc répéter (itérativement) les différentes étapes. Notons que le lancement des affectations réinitialise les feuilles « jour 1 » à « jour 5 » de telle sorte que toutes les modifications faites à la main seront perdues.

#### **4.3.3 Résultats**

Notre étude d'intégration des fonctions production et expédition s'est matérialisée dans une maquette de répartition des SKU par jour. Comme nous l'avons expliqué en tête de chapitre, les objectifs de cet outil d'aide à la décision étaient de minimiser le nombre de destinations ouvertes par jour, de concentrer sur une seule journée les différentes destinations d'un SKU commandé en petite quantité et d'équilibrer au mieux la charge sur les lignes et les jours. Les résultats obtenus et testés sur plusieurs semaines nous permettent de confirmer l'opérationnalité de l'outil.

Le nombre de destinations ouvertes est désormais déterminé par le planificateur. L'indicateur est dynamique et permet une vision instantanée à chaque modification. Auparavant lorsque l'affectation était manuelle, le nombre moyen de destinations par jour était environ de 16. De plus, ce nombre n'était connu qu'après avoir terminé l'opération.

La forte contrainte de production visant la réduction des lancements en production de petites quantités est respectée lors de l'affectation première des produits critiques. Les reliquats sont concentrés sur une journée et ne descendent pas en dessous d'une valeur préalablement établie par l'opérateur (« minimum des OF »).

En ce qui concerne le lissage de la charge, plusieurs tests ont démontré que celui-ci était relativement respecté (cf. Tableau 4.7, 4.8 et 4.9). La maquette ne donne pas la

solution. Il est nécessaire d'ajuster les résultats obtenus pour que la simulation puisse être réalisable.

Tableau 4.7 : Test de la maquette semaine 25

Tableau 4.8 : Test de la maquette semaine 26

Tableau 4.9 : Test de la maquette semaine 27

	<i>Nombre de références à produire dans ce jour</i>	<i>Somme Qté produits</i>	<i>ligne A</i>	<i>Ligne J</i>	<i>Ligne K</i>	<i>Ligne L</i>
<i>jour 1</i>	32	5502	1872	1129	1221	1280
<i>jour 2</i>	52	5455	1927	1105	1217	1206
<i>jour 3</i>	35	5780	1974	1269	1293	1244
<i>jour 4</i>	47	5548	1923	1038	1307	1280
<i>jour 5</i>	34	5336	1776	1074	1310	1176
<hr/>						
		<i>Moyenne</i>	1894	1123	1270	1237
		<i>Ecart Moyen</i>	47	51	34	31
		<i>Ecart type</i>	75	88	47	46
		<i>Coefficient de Dispersion</i>	<b>3,98%</b>	<b>7,88%</b>	<b>3,67%</b>	<b>3,71%</b>

On constate que le coefficient de dispersion pour les semaines 25, 26 et 27 sont respectivement, compris entre [2,31% et 5,35%], [2,02% et 4,17%] et [3,71% et 7,88%]. Ces tests sont nos propres jeux d'essais. Ils présentent des solutions possibles et envisageables. Nous voulons simplement montrer par là qu'après plusieurs simulations, il est possible d'obtenir des résultats, prenant en compte les contraintes de chaque fonction tout en gardant une cohérence dans la solution trouvée.

## CONCLUSION

L'intégration entre la production et les autres activités de la chaîne de la valeur s'est essentiellement faite autour de données, par le couplage des fonctions à l'aide de dates de début au plus tôt et au plus tard. Nous pensons que ce type de contraintes, loin de favoriser l'intégration, pousse au contraire à ne pas aborder le problème globalement. En effet, ceci tente de rendre les décisions de chaque fonction insensibles aux autres par la définition de marges de manoeuvre. Ce découplage, contournant le problème décisionnel de l'intégration, n'est plus viable lorsqu'un besoin de « juste à temps » minimise ces marges. Nous avons voulu, dans ce travail de recherche, étudier les possibilités de réaliser une réelle intégration de la production avec une autre fonction (l'expédition en l'occurrence).

Ces deux fonctions sont intimement liées. Dans notre cas, l'expédition dépend de la production, surtout dans une gestion en flux tendu. Pourtant, elles génèrent chacune des objectifs différents. La production recherche sans cesse des gains sur les temps de changement de séries, les approvisionnements, etc. par le rapprochement des demandes pour obtenir des tailles de lots suffisamment importantes. À l'inverse, les expéditions sont demandeuses de regroupement de produits hétérogènes afin d'obtenir le plus rapidement possible des colisages complets et ne pas avoir des stocks morts.

Cette étude s'est concentrée sur l'intégration des logiques fonctionnelles de la fonction production et de la fonction des expéditions. Nous nous sommes basés sur d'autres notions que les dates limites. Nous avons cherché à développer des structures organisationnelles et des outils techniques favorisant un dialogue basé sur des notions plus proches des préoccupations des acteurs (camions, destinations, longueurs de séries, nombre de réglages). Nous avons pu doter l'entreprise d'un outil d'aide à la décision réalisant la planification de la production sur une semaine. Cet outil, résultant d'une

heuristique, se base sur des algorithmes qui intègrent les contraintes de chaque fonction dans un objectif commun.

Nous nous sommes plus particulièrement intéressés au partitionnement du carnet de commandes hebdomadaire. Cette phase consiste à déterminer les destinations par jour. On peut d'ailleurs penser à une automatisation de cette phase à l'avenir.

L'ordonnancement (ou séquençage) est la suite logique de notre travail. Nous pensons que dans l'affectation des lots au jour, l'essentiel des contraintes a été pris en compte. La difficulté majeure pour le séquençage des produits sur les lignes de fabrication est la corrélation entre les destinations prévisionnelles ouvertes et le nombre acceptable de changement de série. Les lignes de production n'ayant pas le même rendement, leur synchronisation sera un point important.

Les contraintes les plus importantes de l'expédition ont été spécifiées dans le plan de production. Une première prévision de chargement peut être élaborée. Mais la cédule finale, résultant de l'ordonnancement, devra elle aussi être transmise à l'expédition. Cette information lui permettra une gestion plus fine dans l'organisation et l'agencement des remorques à mettre à quai. Le but final est d'avoir une parfaite synchronisation entre l'arrivée des produits en fin de ligne de production et le chargement des dits camions. Cela implique que l'ordonnancement devra avoir pour objectif de minimiser le nombre de remorques simultanément ouvertes (nombre de destinations). Mais il y a toujours la problématique du contrôle. Même si la production suit exactement la cédule, certains camions ne pourront être remplis. Rappelons que le contrôle final a, en moyenne, un taux de refus d'environ 15%. Pour stabiliser les aléas, un travail de fiabilisation du processus de production devra être fait.

Il nous semble intéressant d'ouvrir la recherche d'intégration sur un outil de post-marquage "intelligent". Cet outil pourrait dynamiquement "réordonner" les destinations. Les destinations ne seraient plus les seules et uniques contraintes. L'ajout de la notion de remorques "presque pleines", permettrait d'assigner les produits en fin de ligne d'emballage aux remorques physiquement présentes aux quais de chargement.

L'intégration passe par une coordination et la création d'un canal de communication entre le post-marquage (déjà en place) et l'expédition, afin d'utiliser le post marquage pour atténuer tous les aléas de la production et de l'expédition.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AKBARI JOKAR, M.R., (2001). Sur la conception d'une chaîne logistique. Thèse dans le cadre de l'école doctorale : Organisation Industrielle et Systèmes de Production de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.

ANWAR, M., NAGI, R., (1998). Integrated scheduling of material handling and manufacturing activities for JIT production of complex assemblies. International Journal of Production Research, Vol. 36, p 653-681.

ARMETTA, F., HASSAS, S., PIMONT, S., GONON E; (2004). Managing dynamic flow in production chains through self-organization. Engineering Self-organizing Systems: Methodologies and Applications, Vol. 3464.

BALLOT, E., MOLET, H., (2001). La distribution automobile à flux tiré. Neuvième rencontre internationale du GERPISA, 7 - 8 – 9 juin. Paris, Palais du Luxembourg.

DALLERY, Y., GERSHWING, S.B., (1992). Manufacturing flow system : a review of models and analytical results. Queuing systems, Vol. 12, p 3-94.

DANJOU, F., GIARD, V., LE ROY, E., (1999). Analyse de la robustesse des ordonnancement / réordonnancement sur ligne de production et d'assemblage dans l'industrie automobile. Troisième Congrès international de génie industriel. Montréal.

LEE, H.L., BILLINGTON, C., (1995). The evalution of supply chain management models and practice at Hewlet-Packard, Interfaces, Vol. 25, p 42-63.

LOPEZ, P., ROUBELLAT, F., (2001). Ordonnancement de la production. Hermes sciences publications.

MENTZER, J.T., DEWITT, W., KEEBLER, J.S., MIN S., NIX, N.W., Smith, C.D., NAHMIAS, S., (2001). Production et Opérations. Fourth edition, chapitre 8, p 413-502.

NAHMIAS, S., (2001). Production et operations analysis. Quatrième édition, McGraw-Hill Irwin. Disponible : <http://www.mhhe.com/business/opsci/nahmias4e> (Pages consultées le Mars 2005).

POIRIER, C., REITER, S. E., (2001). La supply chain. Édition Dunod.

RACHAMADUGU, R. M., YANO, C. A., (1994). Analytical tools for assembly line design and sequencing. IIE transaction, Vol. 2, No. 2, p 2-10.

SANLAVILLE, E., (2002). Flexibilité et robustesse en ordonnancement, Bulletin de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la décision, juin 2002.

SANTAREK, K., (1998). Organisational problems and issues of CIM systems design. Journal of materials processing technology, Vol. 76, p 219-226.

THERRY, C., (2003). Gestion de chaînes logistiques modèles et mise en œuvre pour l'aide à la décision à moyen terme. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université de Toulouse II, France.

THOMOPOULOS, N.T., (1967). Line balancing – sequencing for mixed model assembly. Management science, Vol. 14, No. b, p 59-75.

T'KINDT, V., MONMARCHE, N., LAUGT, D., TERCINET, F., (2000). Combing ants colony optimization and simulated annealing to solve a 2-machine flowshop bicriteria scheduling problem. 13<sup>th</sup> European chapter on combinatorial optimization (ECCO XIII), p 129-130.

TRAN, S., (2002). La coordination des compétences et des connaissances dans l'industrie automobile. Dixième rencontre internationale du GERPISA, 6 - 7 - 8 juin. Palais du Luxembourg, 15 rue Vaugirard, 75006 Paris, France.

VENTRESCA, M., OMBUKI, B., (2002). Local search genetic algorithms for the job shop scheduling problem, Applied Intelligence, Vol. 21, p 99-109. Disponible : <http://www.informatik.uni-trier.de/~ley/db/journals/apin/index.html> (Pages consultées le Mars 2005).

XU, Z.Y.X., BRENNAN, R.W., NORRIE, D.H., (2000). A genetic algorithm-based approach to holon virtual clustering. Proceedings of world multi-conference on systemics, cybernetics and informatics, Vol. 3, p 380-385., Orlando, Florida, USA, July 23-26.

ZHAO, X., WANG, J., LUH, P.B., (1997). An optimisation-based algorithm for job shop scheduling, Sadhana, Vol. 22, p 241-256.

## **ANNEXES**

## ANNEXE 1: CONTRAINTES POUR LA CRÉATION DE LA CÉDULE DE PRODUCTION

Contraintes	Item	Détails	Raisons
Atelier 11 (Peinture)	Couleur Bisque	Il est possible de produire en même temps sur les lignes J, K, L S'il y a un lancement sur la ligne A, une seule autre ligne peut produire ce coloris.	Disponibilité des composants sur les convoyeurs aériens suffisante Disponibilité des composants sur les convoyeurs aériens insuffisante
	Cover unmatch (partie supérieure de la machine)	unmatch il ne faut pas dépasser 400/jour	Disponibilité des composants sur les convoyeurs aériens insuffisante.
Pour le secteur 29 (Sécheuses)	Pour les types HU (tambour machine à 2 bandes), +/HU(tambour machine à 1 bandes), -/HU (tambour machine à 2 bandes et 1 plaque)et DNCD450 (modèle de machine)	Il peut y avoir qu'une seule ligne à la fois qui réalise ces produits.	La main d'œuvre est insuffisante.
	Fisher Paykel	Pour ce client la quantité journalière produite sur la ligne J (toutes sécheuses confondues) doit être comprise dans : lundi de 0 à 132 mardi de 132 à 264 mercredi 132 à 264 jeudi de 132 à 264 vendredi de 0 à 132	La main d'œuvre est insuffisante (Début et fin de semaine plus influencés par le taux d'absentéisme). Mais il y a aussi une raison de dimensionnement de racks. Ils ont été conçus pour recevoir un nombre de composants multiples du nombre de camions (commandes)
	Les sous-assemblés pour Fisher Paykel	Ils peuvent être fait seulement quand la ligne L fait de l'électrique.	La main d'œuvre est insuffisante.
	Modèle Gaz	Les modèles gaz sont généralement cédulés sur la ligne L. Si des modèles gaz doivent être fait sur la ligne J, pour manque de capacité de la L, ils peuvent l'être uniquement si la L produit dans le même temps de l'électrique.	La main d'œuvre est insuffisante.
		Si la ligne J a fait du gaz, il faut s'assurer qu'elle soit vidée de ces modèles pour repartir une production de gaz sur la ligne L.	La main d'œuvre est insuffisante.
		S'il est nécessaire de produire sur la ligne L et J des modèles Gaz, il faut avertir la production 48h avant pour assurer la disponibilité de la main d'œuvre.	La main d'œuvre est insuffisante.
	Type Long Vent (Modèle de machine utilisant deux types de moteur différents)	Si il est nécessaire de faire les modèles gaz et électrique dans la même journée, les deux types doivent être cédulés l'un à la suite de l'autre en quantité totale.	Les changements de série sont, d'après la production, trop contraignant. Il faut déplacer deux types de palettes (moteurs) et reconfigurer les postes sous assemblés connexes à la ligne de production.
Expédition	Trailer	Ne pas avoir plus de 10 destinations/ jour	Cette contrainte n'en est pas une réellement elle vise à guider le planificateur à lisser sa charge en destination par jour
		Répartir les piggyback (intermodal ou container) et ADC (destination)	Lissage des cédules pour production et expédition
	Railcar	La production ne peut se faire que de	Pour CE qui est expédié par train et

		jour, car seulement un quart de travail à l'entrepôt de VIAU.	les chargements se font de nuit »
Pour le client SEARS		Les produits doivent être cédulés en début de semaine.	Pénalités de retard si les commandes ne sont pas réalisées pour la semaine prévue »
		Il est obligatoire de finir la production avant midi.	Facilitation du travail de la planificatrice expédition pour mise à disposition des trailers et de ne pas avoir de pénalité de retard.
	Entrepôt de GECP (GE customer product)	Il faut regrouper le plus possible par destination pour chaque ligne.	Facilité le remplissage des camions
Planification	La cédule	Vérifier la disponibilité des pièces	Utilisation du shortage report (outil récemment opérationnel, permettant de vérifier la disponibilité des composants en fonction des cédules)
		Planifier en priorité les Back-Orders	Mettre en priorité les commandes non complètes
		Les commandes de moins de 18 machines d'un même SKU ne seront pas produites. Il sera nécessaire d'attendre des commandes d'autre semaine pour les compléter.	Réduction des sets up (transport des composants des stocks vers les lignes de production)
		Une commande entre 18 et 36 d'un même SKU sera toute produite d'un batch, indépendamment du nombre d'ADC.	Réduction des set up (transport des composants des stocks vers les lignes de production)
		Une commande entre 36 et 72 d'un même SKU seront produites en une ou deux fois suivant le nombre de destinations. Si le choix est de la faire en deux fois le nombre minimum doit être 18 unités	Réduction des set up (transport des composants des stocks vers les lignes de production)
		Une commande de plus de 72 SKU sera à répartir dans la semaine selon les ADC.	Lissage de la cédule
		Pour ces clients les commandes sont prioritaires. Car ils nécessitent des Trailers et ou des conteneurs spécifiques.	Eviter les pénalités de retard. Les commandes sont produites à la machine près (volume du camion ou conteneur) pour ces trois clients.
Client	Fisher Paykel Mabe Sears		

## ANNEXE 2 : DONNÉES D'ENTRÉE POUR TRAITER HYPOTHÈSE 3

Liste des produits avec les destinations et la quantité à livrer.

SKU	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	SOM	NB Dest.
66421	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	1
67431	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	1
67441	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	1
67481	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	1
DE08-US	0	0	0	0	844	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	844	1
DG08-US	0	0	0	0	212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212	1
DLSR483EEWW	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	12	1
DLSR483GECC	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	12	1
DWSR483GBCC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12
DWXR483EBCC	0	0	0	0	0	168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	168	1
DWXR483GBWW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6	1
DX4500GAWW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	24	1
EED4500DWW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	0	0	0	0	54	1
EED6500DWW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	84	0	0	0	0	0	84	1
EGD6500DWW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0	0	48	1
GNSR465EBWW	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	1
GNSR465GBWW	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	1
GUSR465EBWW	0	0	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	1
GUSR465GBWW	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	1
GUSR493EBWW	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	1
GUSR493GBWW	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	1
GUSR495EBWW	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	1
NWSR483GBWW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	18	1
PBSR485EDWW	0	0	0	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	180	1
PBXR473GDWW	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	1
PCXR363EDWW	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	1
PDSR405EDWW	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	1
PDSR405GDWW	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1
PNXR455EDWW	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	1
PVXR363EDWW	0	0	0	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250	1
PWSR363EDWW	0	0	0	175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	175	1
QNSR483EDWW	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	1
QNSR483GDWW	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1
QNXR363EDWW	0	0	0	225	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	225	1
QNXR463EDWW	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	1
QUXR455ECWW	0	0	0	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	85	1
QUXR473EBWW	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	1
QUXR473GBWW	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	1
RBSR463EDWW	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	1
RBXR463EDWW	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	1
RBXR463GDWW	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1
RUXR453EBWW	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	1
RVXR353EDWW	0	0	0	175	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	175	1
SEA1145PCCC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108	0	0	108	1
SEA1145PCWW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	324	0	0	324	1
SGE1158PCCC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	108	0	0	108	1
UPSR405EDWW	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	1
UPSR485EDWW	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	1
DPSB613GDCC	0	0	3	0	0	3	6	0	0	12	0	0	12	12	0	48	6
DPSB620ECCC	0	0	0	0	0	12	0	0	6	18	0	0	18	18	6	78	6
DPSR469GDCC	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	3	3	12	24	5
DRSR483EDCC	0	0	3	0	0	3	24	0	0	6	0	0	6	0	0	42	5
DJXR433GCC	0	0	3	0	0	0	0	0	0	6	0	0	6	3	18	4	

DWXR485EBCC	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	9	3	18	4	
DWSR405EBCC	0	0	0	0	0	3	0	0	9	0	0	0	12	6	30	4	
DNCD450EAWC	0	0	12	0	0	12	6	0	0	6	0	0	0	0	36	4	
DX2300GBWW	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	6	6	6	42	4	
DWXR483EBWW	0	0	0	0	0	12	6	0	0	35	0	0	12	0	0	65	4
DPSB620GCC	3	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	3	0	0	12	3
DX4500EAWW	0	0	18	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	24	3	
DIXR433ECCC	0	0	0	0	0	6	23	0	0	0	0	6	0	0	35	3	
NBXR463GBWW	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	12	21	0	36	3
DBSR453EBCC	0	0	0	0	0	12	41	0	0	6	0	0	0	0	59	3	
DWXR485GBWW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	6	2		
DBSR453GBCC	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	2		
DLSR483GEWW	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	6	2	
DISR33FTWW	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	6	0	12	2	
DRSR483GDCC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	12	2	
DWSR405GBCC	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	6	12	2	
DNCD450GAWC	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	18	2
DPSB619GDWW	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	12	0	18	2
DWSR405GBWW	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	58	0	64	2	
DWSR483GBWW	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	37	0	85	2	
NWSR483EBWW	0	0	12	0	0	30	6	0	0	42	0	0	12	12	0	114	6
DISR473CWW	0	0	0	0	66	0	0	0	0	0	0	0	0	66	132	2	
DRSR483GDWW	15	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	24	57	42	144	5	
DBXR463GDCC	0	0	0	0	0	0	156	0	0	0	0	0	12	12	6	186	4
DX2300EBWW	36	0	54	0	0	48	18	0	0	0	0	0	6	0	30	192	6
DISR473DTWW	0	0	0	0	102	0	0	0	0	0	0	0	0	36	66	204	3
DIXR433GCWW	0	0	0	0	0	18	0	0	0	24	0	0	12	36	132	222	5
DS4500EBWW	90	0	0	0	0	78	12	0	0	0	0	0	30	0	54	264	5
DPSB613GDWW	0	0	12	0	0	6	6	0	0	0	0	0	6	72	204	306	6
DBXR463GDWW	0	0	6	0	0	54	0	0	0	120	0	0	84	224	324	812	6
NBXR463EBWW	18	0	0	0	0	12	30	0	6	23	0	0	30	60	0	179	7
DWSR405EBWW	78	0	12	0	0	0	24	0	0	84	0	0	24	166	30	418	7
DIXR433ECWW	162	0	78	0	0	342	216	0	0	216	0	0	78	198	126	1416	8
DPSB619EDWW	12	0	6	0	0	6	24	0	0	12	0	0	24	60	12	156	8
DBXR463EDCC	0	0	6	0	0	6	114	0	6	78	0	0	24	30	36	300	8
DPSB613EDCC	6	0	6	0	0	12	12	0	0	6	0	0	12	18	60	132	8
DWSR483EBCC	12	0	6	0	0	6	30	0	3	9	0	0	0	66	12	144	8
DBSR453EBWW	0	486	198	0	0	588	0	324	300	0	780	0	198	###	330	4290	9
DRSR483EDWW	48	0	42	0	0	90	189	0	60	174	0	0	48	54	69	774	9
DBSR453GBWW	48	0	30	0	0	90	18	0	18	150	0	0	282	342	564	1542	9
DPSB620ECWW	18	0	6	0	0	30	42	0	6	48	0	0	24	108	30	312	9
DPSB613EDWW	312	0	12	0	0	30	120	0	18	150	0	0	72	372	54	1140	9
DPSB620GCWW	12	0	6	0	0	12	12	0	6	30	0	0	36	60	42	216	9
DWSR483EBWW	84	0	18	0	0	48	162	0	12	0	300	0	54	65	66	809	9
DBXR463EDWW	###	216	120	0	0	300	0	144	180	0	756	0	600	426	300	4122	10

On distingue 3 zones :

- La première, des produits expédiés sur une seule destination. Ils peuvent être placés sans problème ;
- la seconde, les produits critiques ;
- la troisième, on a suffisamment de destinations et de volume pour partager sur deux jours, cela peut être délicat, mais faisable.

**ANNEXE 3 : CONTRAINE DE PRODUCTION PAR LIGNE ET PAR FAMILLE DE PRODUIT**

	Type	Famille	Modèle	A	J	K	L
GE et Domestic	Sensor	GSGP	Gaz	Non	Oui	Non	Oui
		GSEP	Electrique	Non	Oui	Non	Non
		GSGS	Gaz	Non	Non	Non	Oui
		GSES	Electrique	Non	Non	Non	Oui
		GSES1	Electrique	Non	Oui	Non	Non
	Electronique	GEGP	Gaz	Non	Oui	Non	Non
		GEPS	Gaz	Non	Non	Non	Oui
		GEEP	Electrique	Non	Oui	Non	Non
		GEES	Electrique	Non	Non	Non	Oui
	Boutons	GBGP1	Gaz1	Non	Oui	Non	Non
		GBGP2	Gaz2	Non	Oui	Non	Oui
		GBEP1	Electrique1	Non	Oui	Non	Non
		GBEP2	Electrique2	Oui	Oui	Non	Non
		GBEP3	Electrique3	Oui	Oui	Oui	Non
		GBEP4	Electrique4	Oui	Oui	Oui	Oui
		GBEP5	Electrique5	Oui	Oui	Non	Oui
		GBEP6	Electrique6	Oui	Non	Oui	Non
	Long Vent	GBGS	Gaz	Non	Non	Non	Oui
		GBES	Electrique	Non	Non	Non	Oui
		GLGP	Gaz	Non	Non	Non	Oui
		GLEP	Electrique	Non	Non	Non	Oui
	Int'l	GIGP	Gaz	Non	Oui	Non	Non
		GIEP	Electrique	Non	Oui	Non	Non
Fisher/packel	Sensor	FSGP1	Gaz	Non	Oui	Non	Non
		FSEP	Electric	Non	Oui	Oui	Non
Mabe	Electronique	MEGP	Propane	Non	Oui	Non	Non
		MBGP1	Propane	Non	Oui	Non	Non
		MBGP2	Propane	Non	Oui	Non	Oui
		MBGS		Non	Non	Non	Oui
	Boutons	MBEP	Electrique	Oui	Oui	Non	Non
		MIEP	Gaz/Electr.	Non	Oui	Non	Non
Unmatch	Boutons	UBGP	Gaz	Non	Oui	Non	Non
		UBEP	Electrique	Non	Oui	Non	Non
Sahara		SSGP	Gaz	Non	Oui	Non	Oui
		SSEP1	Electrique	Non	Oui	Non	Non
		SSEP2	Electrique	Non	Oui	Non	Oui
		SSES	Electrique	Non	Non	Non	Non

## ANNEXE 4 : AFFECTATION DES PRODUITS CRITIQUES

SKU	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	SOMME	NB Dest.	J
DPSB613GDCC	0	0	3	0	0	3	6	0	0	12	0	0	12	12	0	48	6	1
DRSR483EDCC	0	0	3	0	0	3	24	0	0	6	0	0	0	6	0	42	5	1
DNCD450EAWC	0	0	12	0	0	12	6	0	0	6	0	0	0	0	0	36	4	1
DWXR483EBWW	0	0	0	0	0	12	6	0	0	35	0	0	12	0	0	65	4	1
DX4500EAWW	0	0	18	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	24	3	1
DJXR433ECCC	0	0	0	0	0	6	23	0	0	0	0	0	6	0	0	35	3	1
DBSR453EBCC	0	0	0	0	0	12	41	0	0	6	0	0	0	0	0	59	3	1
DPSB619GDWW	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	12	0	18	2	1
DWSR405GBWW	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	58	0	64	2	1
DPSB620ECCC	0	0	0	0	0	12	0	0	6	18	0	0	12	18	0	78	6	2
DWXR485EBCC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	4	2
DWSR405EBCC	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	4	2
DX2300GBWW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	6	6	6	42	4	2
DWXR485GBWW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	6	2	2
DLSR483GEWW	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2	2
DRSR483GDCC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6	12	2	2
DPSB619GDCC	0	0	0	0	0	12	0	0	6	0	0	0	0	0	12	24	5	3
NBXR463GBWW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	21	0	36	3	3
DWSR405GBCC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	12	2	3
DJXR433GCC	0	0	3	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6	3	18	4	4
DBSR453GBCC	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	2	4
DPSB620GCC	3	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	3	0	0	12	3	5
DISR333FTWW	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	12	2	5
DNCD450GAWC	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	18	2	5

Résultats de l'algorithme du tri par journée, sur la partie concernée par cet algorithme, c'est-à-dire les produits fabriqués en moins de 70 exemplaires, de 2 à 6 destinations.

## ANNEXE 5 : RÉSULTAT DE LA MAQUETTE POUR LE JOUR 1