
Chapitre VI

TECHNIQUES DE PLANIFICATION DE LA PRODUCTION

On a vu au [chapitre I](#) (page 45) que la planification de la production est une décision tactique qui répond à un souci de régulation à moyen terme de la production et qu'elle constitue un lien entre les décisions opérationnelles du court terme et les décisions stratégiques du long terme. Cette problématique se retrouve principalement dans les systèmes productifs produisant pour stock ou assemblant à la commande. La principale technique disponible, très empirique dans ses fondements, est celle de la MRP à laquelle ce chapitre est consacré, à l'exception de la dernière section (qui présente une approche peu diffusée mais intéressante dans ses fondements, celle de la planification hiérarchisée). Les approches du Juste-À-Temps qui seront analysées au [chapitre VII](#) sont utilisées à la place de celles de la MRP dans des environnements bien particuliers et en complément de la MRP dans beaucoup d'autres. Le [chapitre VIII](#) traite également de problèmes de planification mais, pour ce faire, il utilise des techniques de recherche opérationnelles qui restent difficilement généralisables pour traiter des problèmes d'une certaine complexité; les différentes modélisations de problèmes de production qui seront alors proposées présentent l'intérêt d'une formalisation rigoureuse utilisable dans quelques cas et permettant de mieux cerner l'impact de simplifications retenues dans certaines démarches empiriques.

Table des
matières

Index
thématique

Coexistent sous l'appellation **PBC** ou **MRP**, plusieurs centaines de logiciels de natures bien différentes¹, ce qui conduit à une confusion sémantique regrettable et entretient une ambiguïté préjudiciable sur la portée exacte de la méthode et des logiciels qui s'en réclament. On peut distinguer, en gros, trois familles d'approche.

- La première, connue sous le vocable de MRP (**Material Requirement Planning**), cherche à établir une programmation de la production sans se poser le problème des capacités de production effectivement disponibles, ce qui revient à considérer que les propositions faites sont réalisables, tout comme si les capacités étaient infinies. Cette approche, qui est de très loin la plus répandue et la plus ancienne (elle remonte aux années soixante), sera quali-

1. Sur le plan technique, les meilleurs ouvrages sont sans doute ceux de Toomey (1996, [422]) et de Vollmann, Berry et Whybark (1997, [433]). Le lecteur pourra aussi prendre connaissance de l'ouvrage de Petroff (1993, [335]), et l'excellent l'ouvrage collectif coordonné par Greene et l'APICS (1997, [335]), tous deux axés sur la certification de l'APICS (*American Production and Inventory Control Society*, www.apics.org). On peut aussi consulter l'ouvrage «fondateur» d'Orlicky (1975, [321]) et celui, considéré comme étant à l'origine de la MRP II, de Wight (1984, [446]). Le CXP (<http://www.cxp.fr/>) référençait en mars 2003, 53 logiciels de MRP ainsi que 248 logiciels d'ERP, disponibles en France et permet d'accéder directement aux sites de ces fournisseurs.

fiée ici de **MRP I** pour la différencier des méthodes plus élaborées qui lui ont succédé (elle est parfois notée «mrp» ou «little MRP» dans la littérature anglo-saxonne).

- La deuxième démarche, d'émergence plus récente (fin des années soixante-dix), est connue sous le nom de **MRP II**, le sigle signifiant alors **Manufacturing Resource Planning**, le 2 permettant, à la fois, de souligner la filiation avec la démarche antérieure et de noter le passage à une génération plus performante. Elle va plus loin que la précédente en cherchant à ajuster la charge souhaitée et la capacité disponible pour chaque centre de production.
- La troisième approche est la plus ambitieuse. Introduite dans les années soixante-dix par quelques entreprises de pointe, elle s'est concrétisée par des logiciels cherchant à contrôler toutes les ressources mobilisées directement ou indirectement par la production (hommes, machines, trésorerie, sous-traitance, etc.). De tels logiciels, mis au point pour résoudre les problèmes d'une entreprise, étaient difficilement réutilisables ailleurs en raison de la structuration des fichiers et de la contingence des procédures utilisées. L'arrivée des bases de données relationnelles¹ permettant une relative indépendance entre les données et les traitements a permis, depuis le début des années quatre-vingt-dix, le développement des ERP (*Enterprise Resources Planning*), appelés encore, de manière plus exacte, ERM (*Enterprise Resources Management*), qui proposent une architecture modulaire permettant de composer à la carte un système de gestion sur mesure, s'appuyant sur une base de donnée relationnelle partagée par tous. Ces ERP disposent tous de modules de MRP II. Cette intégration par les données ne constitue cependant pas, à proprement parler, une intégration fonctionnelle : chaque module permet une gestion autonome d'une fonction dans la mesure où il récupère des informations produites par les autres modules et en crée d'autres qui résultent des décisions prises dans le cadre du module utilisé. Une présentation de ces approches sera effectuée au **chapitre XIV (page 957)**.

Une fois précisée la famille à laquelle un progiciel appartient, la logique à laquelle il obéit est la même, ce qui implique qu'il est inutile de faire référence à un progiciel particulier. On représentera ici les bases de la seconde approche qui, contrairement à la première, fournit une programmation réalisable. Mais, ce faisant, on analysera implicitement la *MRP I* qui constitue la première étape de travail de la *MRP II*. La mise en œuvre de ces approches reste cependant une affaire de spécialistes, compte tenu de l'étendue des paramétrages possibles, ce qui justifie l'existence d'un poste de planificateur de MRP dans les entreprises utilisant efficacement cette classe de logiciels.

La *MRP* est une démarche simulatoire utilisant des heuristiques de résolution de problèmes que l'on anticipe au lieu de les subir, s'appuyant sur un système d'information informatisé relativement complet et visant à déterminer une programmation détaillée au plus tard de la production pour satisfaire l'ensemble des demandes finales définies sur un ensemble de périodes à venir. L'utilisation d'heuristiques (défini en **page 361**), plutôt que des méthodes optimales, s'explique

1. Une bonne présentation des fondements de ces approches, intelligible par des gestionnaires, peut être trouvée dans l'ouvrage de Flory et Laforest (1996, [152]).

par la taille du problème posé (programmation de quelques centaines à plusieurs centaines de milliers de références, le tout sur au moins une dizaine de périodes). Cette simulation porte sur une hypothèse centrale ou des variantes de celle-ci qui permettent de répondre à la question «que se passerait-il si?», lorsque l'on envisage la possibilité de modifier sensiblement l'importance des moyens productifs mis en œuvre et/ou les ventes prévisionnelles dans les mois à venir.

Cette démarche s'est largement répandue sous la triple conjonction de l'amélioration sensible du rapport coût/performances de l'outil informatique, de l'arrivée sur le marché de nombreux progiciels adaptables et commodes d'utilisation et, enfin, d'une généralisation de la compréhension des fondements de la démarche (bien qu'il y ait encore beaucoup à faire dans ce domaine!). La MRP part d'un constat, celui de l'inadéquation des politiques «classiques» au cas des stocks à étages de fabrication. Pour sa mise en place, elle exige la réunion d'un certain nombre de conditions (section II, page 460). La mise en œuvre de la MRP I (qui est également la première étape de la MRP II) repose sur une démarche très simple dans ses principes (section III, page 470). Nous terminerons (section IV, page 489) par quelques remarques sur le champ d'application de la MRP et par une présentation rapide de l'approche de planification hiérarchisée (section V, page 498).

Un programme de calcul de la planification de production de type MRP II est disponible en cliquant sur cette icône (fichier Excel MRP.xls). Il permet de traiter des problèmes de complexité limitée (moins de 4 niveaux de nomenclature, moins de 10 références, etc.) semblables à ceux traités ici. Les exemples numériques présentés feront l'objet d'une illustration à l'aide de ce programme, accessible en cliquant sur les icônes mises en marge du texte en face de ces exemples. L'aide en ligne de ce logiciel comporte des boutons qui assurent le retour sur le logiciel MRP.xls qui comporte en exemple celui du § III-3 (mais vous pouvez traiter vos propres exemples et les enregistrer). L'illustration d'autres problèmes est assurée par des fichiers de noms différents; il convient alors, en cas d'utilisation de l'aide, de ne pas utiliser ces boutons de retour.¹



Table des
matières

Index
thématique

SECTION I L'INADÉQUATION DES POLITIQUES «CLASSIQUES» DE GESTION DES STOCKS AU CAS DES STOCKS DE FABRICATION

Pour Orlicky (1975, [321]), les politiques classiques de gestion des stocks du type «quantité économique de commande – point de commande»² ou du type «période fixe de commande – niveau de reapprovisionnement»³ ne sont pas appropriées pour traiter de façon satisfaisante le cas des stocks de fabrication (matières premières, composants de base, sous-ensembles), pour deux raisons essentielles. Tout d'abord, ces politiques postulent que les différentes références peuvent être gérées indépendamment parce que les demandes sont indépendantes (§ I-1) et d'autre part, parce qu'elles supposent que la demande est régulière (§ I-2, page 459).

1. Voir avertissement de la note du bas de la page 8.

2. Qui à la question «combien commander?» répond «toujours une même quantité fixe de commande q que l'on détermine par le calcul économique» et à la question «quand commander?» répond «lorsque la position de stock devient inférieure à un seuil appelé point de commande s »; cette politique d'approvisionnement est encore notée « q, s », c'est-à-dire par la désignation des variables de commande (voir chapitre XI).

3. Qui à la question «combien commander?» répond «en reapprovisionnant le stock à un niveau appelé niveau de reapprovisionnement, noté S , que l'on détermine par le calcul économique» et à la question «quand commander?» répond «avec une périodicité fixe de commande, notée T , appelée encore période calendaire de réapprovisionnement». Cette politique d'approvisionnement est encore notée « T, S » (voir chapitre XII).

I-1 Dépendance des demandes des composants dans les stocks de fabrication

Dans les stocks de distribution, la demande d'un article émane d'un nombre suffisant de demandeurs pour pouvoir être appréhendée statistiquement et, de ce fait, l'appel à des distributions statistiques pour modéliser la demande est possible. Dans le cas d'un composant, deux types de demande coexistent en général : une demande externe du composant comme pièce détachée (demande d'une boîte de vitesses, par exemple), et une demande interne de ce composant pour être monté sur un produit final (engin de manutention, par exemple) dont la mise en fabrication a été décidée antérieurement.

En règle générale, l'essentiel de la demande du composant est d'origine interne. Laissons momentanément de côté la demande externe ; la demande interne doit être considérée comme certaine si l'on raisonne dans le cadre d'un horizon inférieur à quelques mois, car elle découle directement du **Plan Directeur de Production** (*Master Production Schedule* selon la terminologie américaine en usage dans certains logiciels et que l'on notera ici **PDP**) qui fixe une programmation de la mise à disposition des produits finis, aux Services Commerciaux. Ce plan est établi en réponse à une demande prévisionnelle (les différents modèles d'une gamme d'engins de manutention, par exemple) qui peut être connue en partie avec certitude (carnet de commandes) mais ce, d'autant moins que la période considérée est éloignée.

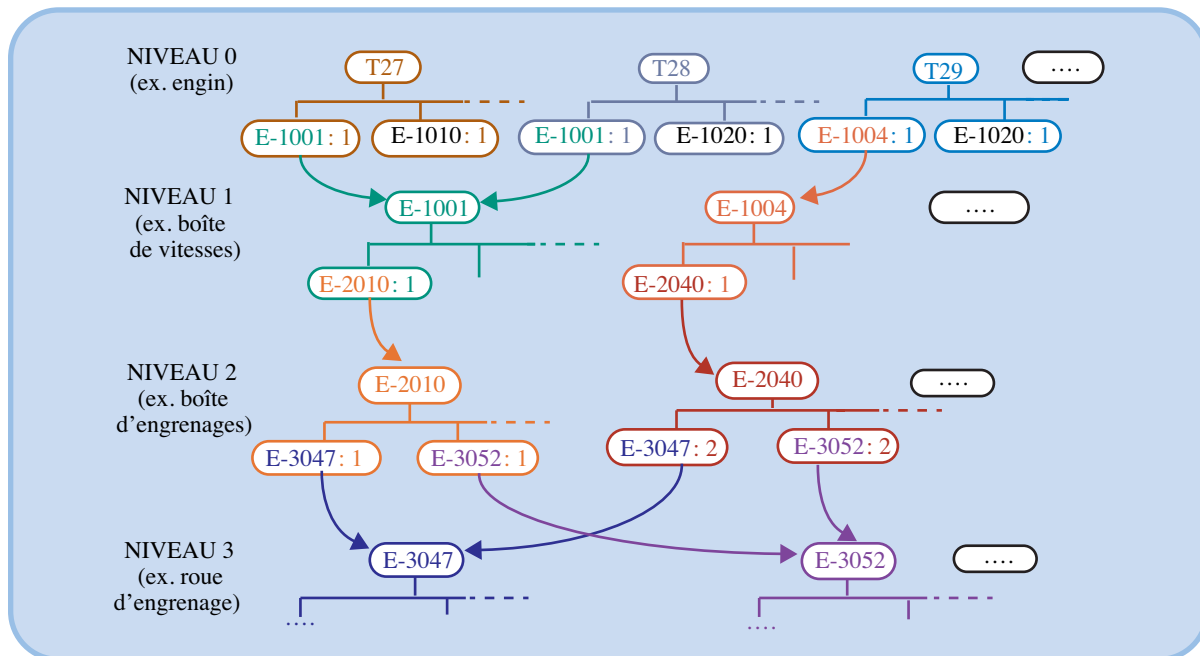
Un même composant, par exemple la boîte de vitesses, peut être utilisé par plusieurs modèles de produits finis. La demande interne de boîtes de vitesses découle directement du plan directeur de production, il en est de même de tous les autres composants (moteurs, roues, etc.). Une prévision indépendante de la demande interne de ces composants n'a donc aucun sens.

Mais le problème de prévision ne s'arrête pas à la détermination de ces composants primaires, correspondant à des sous-ensembles utilisés dans la phase finale d'assemblage (moteur, embrayage, etc.), car eux-mêmes sont constitués de composants fabriqués ou achetés : par exemple, une boîte de vitesses comporte une boîte d'engrenages, composant que nous qualifierons de secondaire. Cette boîte d'engrenages comporte principalement un boîtier, des roues d'engrenage et des axes. Ces composants de niveau trois, tout comme ceux de niveau deux (composants secondaires), peuvent entrer dans la composition d'autres composants primaires ou secondaires. Leur demande se calcule donc « en cascade », en suivant les mêmes principes que ceux qui ont présidé aux calculs de la demande de composants primaires à partir de celle des produits finis. Elle s'effectue sans difficulté s'il est possible de structurer sous forme arborescente les composants des différents niveaux, à partir des nomenclatures et gammes d'assemblage.

La **figure 137**, illustre ce type de structuration ; la référence utilisée est suivie du nombre d'unités utilisées (par exemple la référence E-2040 utilise 2 unités de la référence E-3047). Elle illustre bien le fait que l'on est en présence de **stocks à étages**, appelés encore **stocks multi-échelons** mais on peut noter que si un composant de niveau i comporte implicitement un stock de composants de niveau supérieur à i (c'est-à-dire pour un niveau de détail plus grand), ces derniers ne sont plus directement utilisables parce qu'ils font maintenant partie intégrante de la

référence considérée du niveau i . On peut ajouter que les stocks à étages de fabrication diffèrent des stocks à étages de distribution où une même référence peut être physiquement stockée en différents endroits (nous reviendrons sur les stocks de distribution au § IV-4, page 496).

FIGURE 137
Exemple de nomenclature arborescente



Supposons, en nous appuyant sur les nomenclatures de la figure 137, que l'on décide de produire 5 engins T-27, 9 engins T-28 et 3 engins T-29. Il en résultera qu'il faudra préalablement fabriquer 14 composants E-1001 et E-2010, 3 composants E-1004 et E-2040, 20 composants E-3047 et 20 composants E-3052, à moins que des stocks suffisants de ces composants ne soient disponibles.

La dépendance des demandes a une autre conséquence importante : la notion de qualité de service n'a plus de sens pour une référence donnée. En effet, le coût de rupture consécutif à l'arrêt d'une chaîne de production doit être supporté lorsque l'un quelconque des composants utilisés dans l'assemblage d'un sous-ensemble (c'est-à-dire d'un composant d'un niveau inférieur) vient à manquer. Si, par exemple, ce sous-ensemble comporte 12 composants et si chacun d'entre eux est géré de façon indépendante, afin de n'avoir qu'une probabilité de rupture de 5 %, la probabilité que les 12 composants soient simultanément disponibles est de $0,95^{12} = 0,54$, c'est-à-dire qu'il y a en définitive près d'une chance sur deux pour que le sous-ensemble considéré ne puisse être fabriqué.

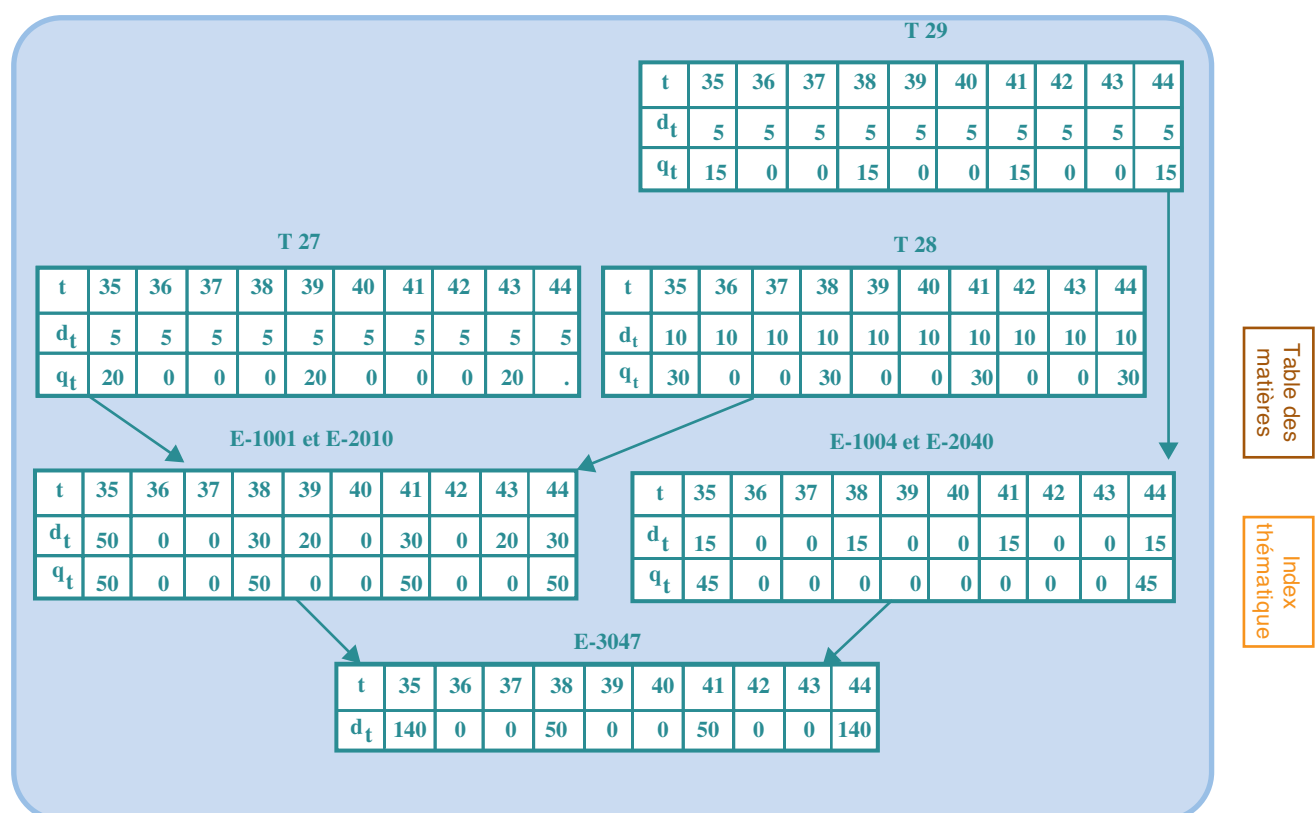
I-2 Irrégularité de la demande

Les modèles utilisés dans les politiques de gestion des approvisionnements du type «q, s» ou «T, S» supposent que la demande (qu'elle soit de nature discrète ou continue) soit relativement constante dans le temps. Cette hypothèse n'est guère acceptable dans le cas de stocks de fabrication, même si la demande finale est régulière, du fait du lancement de la fabrication des composants par lots (on parle encore de **lotissement** pour désigner le processus de définition des lots à lancer en fabrication). Illustrons ce point par les échéanciers suivants (figure 138)

où les demandes finales sont constantes pour chaque période. La détermination des lots mis en fabrication puis livrés résulte d'un arbitrage entre des coûts de lancement et de possession, que nous n'explicitons pas ici pour ne pas alourdir l'exposé (les «regroupements proposés» ici sont tous supposés résulter d'un calcul économique de taille de lot). On reviendra sur les techniques disponibles au § IV-1.2, page 491.

La période retenue pour cet exemple est la semaine et le plan directeur de production est défini pour les semaines 35 à 44. On supposera, pour simplifier ici l'exposé, que les délais d'obtention sont nuls (hypothèse qu'il sera facile de lever ultérieurement). Les demandes seront notées d_t , et les livraisons q_t , dans les tableaux de la figure 138.

FIGURE 138
Effets du lotissement



Cet exemple illustre le fait que les fluctuations de la demande d'un composant ne tiennent pas à la nature aléatoire de la demande (du moins lorsque celle-ci est exclusivement interne) mais à la programmation de lots de production décidée pour les références d'un niveau inférieur utilisant ce composant, phénomène qui se répercute en cascade depuis le niveau de produits finis. Il est évident qu'une demande irrégulière ne peut qu'amplifier ces fluctuations.

SECTION II LES CONDITIONS PRÉALABLES DE LA MISE EN PLACE D'UNE MRP

La MRP repose sur l'exploitation d'un système informatisé d'information qui, en règle générale, existe plus ou moins dans les entreprises envisageant d'implanter cette approche. Un certain nombre de tentatives se sont soldées par un

échec, faute de n'avoir pas porté une attention suffisante à ces conditions préalables d'utilisation. Les informations requises pour la *MRP I* sont de quatre types ; il faut en ajouter deux autres pour passer à la *MRP II* qui prend en compte les problèmes «charge – capacité». ***Il est conseillé de lire les parties balisées en marge par une trame claire des sections II et III, après avoir lu une première fois les parties non balisées.***

II-1 Existence d'un plan directeur de production

Nous avons rapidement défini le *PDP* (Plan Directeur de Production) au § I-1, page 458. Un certain nombre de compléments doivent être apportés.

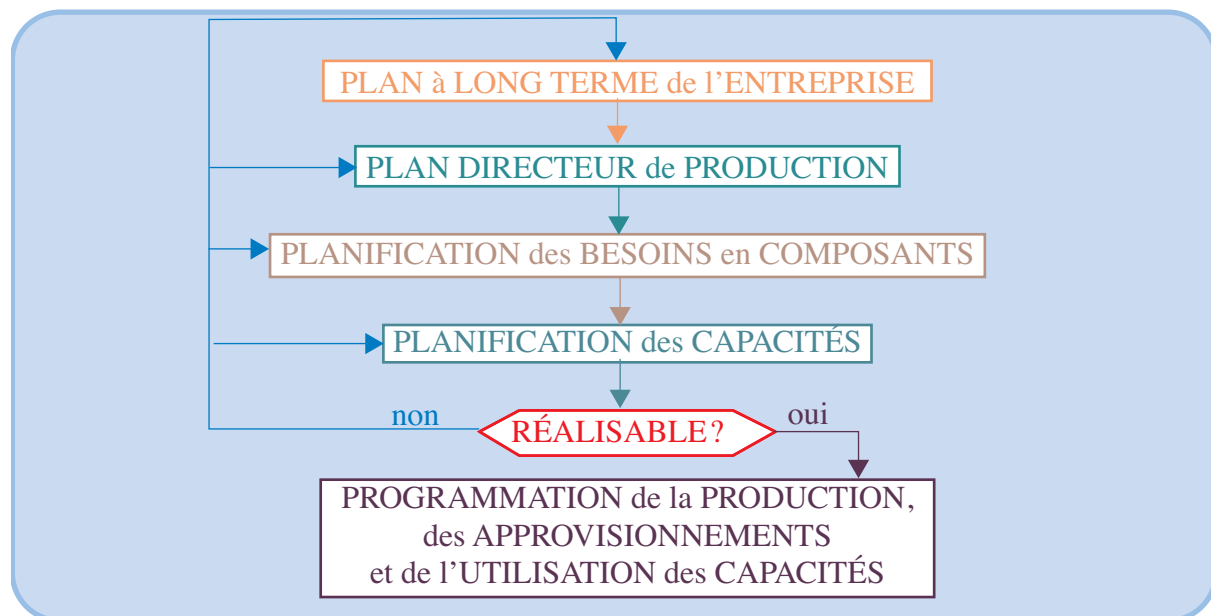
L'établissement du *PDP* ne relève pas de la direction de la production, mais d'un groupe de travail faisant participer au moins la direction commerciale et celle de la production. Il s'agit, en effet, de définir un programme de mise à disposition de produits finis et de pièces détachées qui tient compte des souhaits du service commercial tout en restant techniquement réalisable, ce qui implique nécessairement une intervention de la Production. La définition d'un tel programme ayant des conséquences sur le plan financier et celui de la gestion du personnel, il peut être hautement souhaitable que ces directions soient également impliquées. De nos jours, le périmètre retenu est plus large et la réflexion de la définition du *PDP* s'effectue en prenant en compte toute la chaîne logistique (voir § I-2, page 895, du chapitre XIII).

Assez souvent, le *PDP* se «greffe» sur un *plan à long terme de production* (voir figure 139, page 462). Celui-ci est généralement établi sur une base mensuelle, pour les 12 à 24 mois à venir, et détermine les taux de production souhaités pour chaque famille de produits, en tenant compte des positions de stock prévisionnelles et des variations saisonnières de la demande. Ce plan à long terme est parfois établi en reprenant exactement la logique de la *MRP* mais sur une base agrégée, c'est-à-dire utilisant des macro-nomenclatures et des macro-gammes (ce qui peut se traduire par la création de profils moyens de chargement sur lesquels on reviendra en page 469) ; cette approche du problème étant censée faciliter les problèmes d'ajustement «charge – capacité» qui, nous le verrons, sont loin d'être triviaux. On trouve également de très nombreuses entreprises pour lesquelles le *PDP* tient lieu de plan à long terme. Enfin, les résultats obtenus sont généralement valorisés dans des états financiers de synthèse¹ sur la production, les stocks, les achats, les livraisons, etc.

Le *PDP* part du plan à long terme pour éclater la programmation par famille en une demande finale de références élémentaires, c'est-à-dire les produits finis et les pièces de rechange, lorsque l'on est en présence d'une production pour stock, ou encore de sous-ensembles destinés à l'assemblage final lorsque l'entreprise assemble à la commande des produits finis. Un grand nombre d'entreprises travaillent à la fois à la commande et pour stock. Elles sont alors amenées à utiliser

1. L'APICS distingue la «closed loop» *MRP*, qui est une approche en volume, de la *MRP II* qui complète cette dernière par une valorisation des résultats dans des états financiers. Cette distinction a plus un intérêt historique que réel car les logiciels, et l'usage qui en est fait, complètent pratiquement toujours l'approche physique de ce problème de planification par l'édition d'états financiers plus ou moins détaillés, au point que cette distinction est tombée en désuétude. Ces mécanismes de valorisation étant triviaux, ne seront pas développés dans ce chapitre.

FIGURE 139
Principe de fonctionnement de la MRP II



un panachage des deux conceptions de *PDP*. Certaines caractéristiques liées à la nomenclature utilisée seront évoquées au § II-2, page 463.

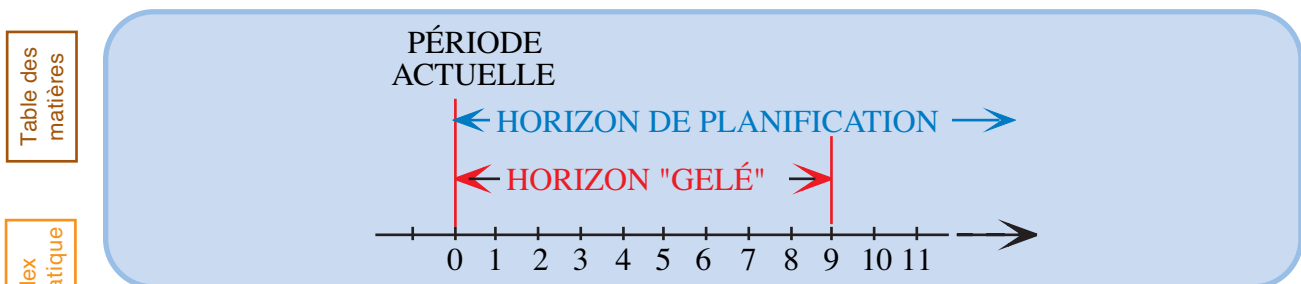
Le *PDP* inclut souvent les stocks de sécurité souhaités pour chaque référence pour la première période, ainsi que leurs variations pour les périodes suivantes. La détermination des stocks de sécurité (et leurs variations) est l'une des principales difficultés rencontrées dans la mise en œuvre des techniques de *MRP*, ce qui s'explique par l'interaction entre les règles de pilotage du système productif (et plus particulièrement celles de lotissement) et la « variabilité » des besoins à couvrir par ces stocks de sécurité (voir § IV-1.1, page 489). Par ailleurs, certains logiciels permettent de distinguer dans le *PDP* les **commandes fermes** passées par les clients, des prévisions : en règle générale, pour la première période, on retient comme besoins bruts les commandes fermes de cette période, tandis que pour les périodes suivantes, on retient les prévisions si elles sont supérieures aux commandes et, dans le cas contraire, les commandes. Il est évident que l'importance relative prise par les commandes fermes est généralement d'autant plus faible que la période considérée est éloignée.

Le *PDP* est souvent établi pour des périodes de deux semaines et révisé sur la base de cette périodicité ; cela étant, un certain nombre d'entreprises travaillent sur la base de la semaine ou du mois et quelques-unes, plus ambitieuses, sur une base quotidienne. Dans ce dernier cas, la périodicité de révision ne coïncide plus avec le découpage temporel. Cette diminution de l'amplitude de la période de référence conduit progressivement à passer d'une planification basée sur un repérage temporel discret, à une planification basée sur un repérage temporel continu ou presque (qualifiée de *bucketless system* par les Anglo-Saxons), permettant de cerner plus fidèlement la réalité.

L'utilisation d'un calendrier industriel facilite le travail en permettant l'utilisation de périodes comportant le même nombre de jours ouvrables. Par ailleurs, le *PDP* est établi pour un horizon de planification au moins égal au plus grand des

cumuls des délais d'obtention des composants primaires et de leurs constituants (composants de niveaux supérieurs, jusqu'au niveau des matières premières). La détermination de ce chemin critique s'effectue en partant du graphe de la nomenclature d'un produit final : ces relations d'inclusions de composants dans une référence peuvent être interprétées aussi comme des relations d'antériorité, dans la mesure où la production de la référence est conditionnée par la production préalable des composants qu'elle intègre. En traitant chaque référence comme une tâche à laquelle on associe un délai, il suffit d'utiliser les techniques de détermination du chemin critique en ordonnancement de projet¹ (voir [chapitre IV](#), [page 259](#)). Par exemple, cet horizon minimal sera supérieur à 9 semaines pour l'engin de manutention T-27, durée égale à la somme de 2 semaines pour la phase d'assemblage des composants de niveau 1, d'une semaine pour le délai d'obtention de la boîte de vitesses, de 3 semaines pour celui de la boîte d'engrenages, de 1 semaine pour celui de la roue d'engrenage et de 2 semaines pour l'approvisionnement à l'extérieur de l'entreprise des matières premières nécessaires à la fabrication de cette roue d'engrenage (ce composant de niveau 4 n'apparaissant pas sur la [figure 137 de la page 459](#)). La [figure 140](#) illustre ce point, en supposant qu'aucun cycle de production observé pour les autres références de niveau 0, n'excède 9 semaines.

FIGURE 140
Horizons de la MRP



On verra ultérieurement ([page 488](#)) comment ce plan directeur de production peut être modifié en cas de problème de capacité de production insuffisante.

II-2 Existence d'une nomenclature complète des composants utilisés

Cette **nomenclature**² est une codification exhaustive et non ambiguë de tous les composants. L'utilisation conjointe de cette nomenclature et de gammes de fabrication et d'assemblage permet d'indiquer de façon précise les composants du niveau $i + 1$ qui rentrent dans la fabrication d'un composant de niveau i , ainsi que leur nombre, ce qui permet d'établir le schéma arborescent de la [figure 137 de la page 459](#). Il est essentiel que les mises à jour de ces informations soient immédiates.

La MRP doit s'adapter aux caractéristiques de volume et de différenciation des produits finis (production pour stock, production à la commande, assemblage à la

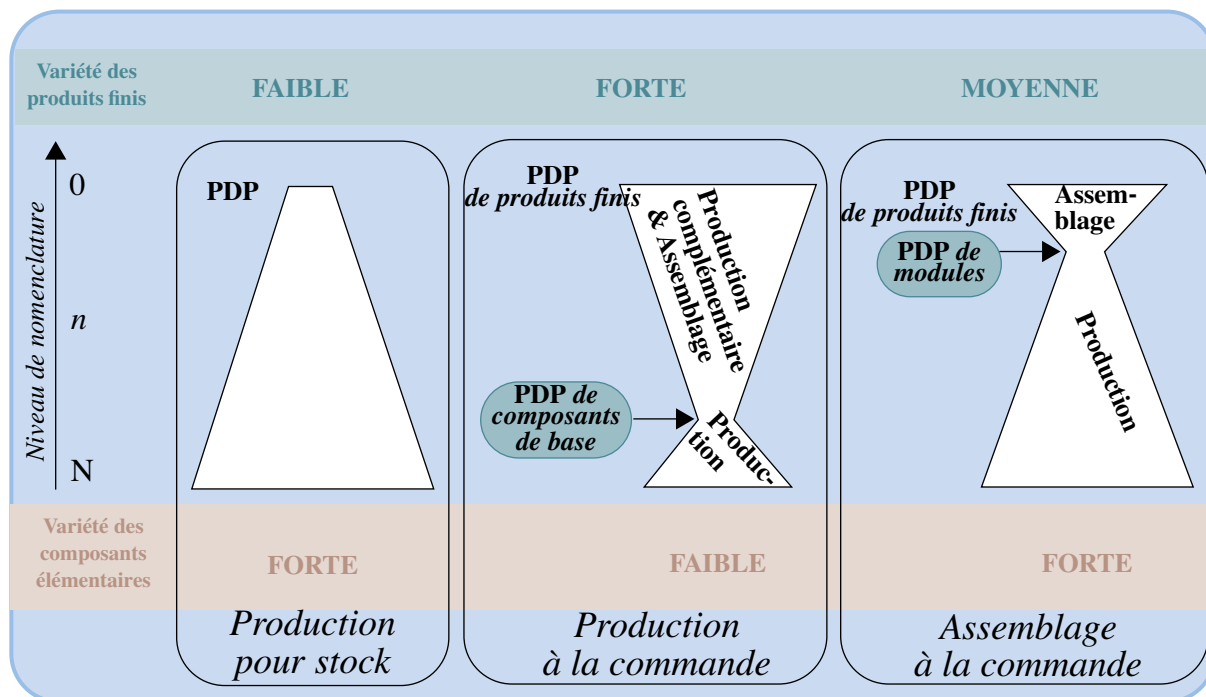
1. On peut ajouter, pour rester sur ce rapprochement avec l'ordonnancement de projet, que la MRP s'efforce d'atteindre une programmation au plus tard dans la production des composants, en s'efforçant d'éviter la constitution inutile de stocks d'encours et, lorsque cela devient inévitable, en cherchant à en minimiser la valeur.

2. Les ouvrages cités dans la note du bas de la [page 455](#) peuvent être complétés sur ce point par celui de Garwood (1997, [168]).

commande) tant dans l'organisation de sa nomenclature que dans celle de son plan directeur de production. Trois situations doivent être distinguées et sont illustrées par la figure 141.

FIGURE 141

Nomenclature de production et organisation de la production en fonction du marché



Pour les entreprises travaillant pour stock (voir chapitre I, page 47), il n'y a pas de problème particulier parce que les produits finis sont en nombre restreint et vendus en quantités importantes et que cette organisation a été retenue en raison de la possibilité d'effectuer des prévisions suffisamment fiables de la demande.

À l'inverse, les entreprises travaillant à la commande pour produire des objets très faiblement standardisés sont dans l'incapacité d'effectuer une prévision ; deux cas de figure doivent alors être distingués :

- Si la clientèle s'accommode de la longueur du cycle de production, on est dans une situation voisine de celle de la production pour stock, à ceci près que la pyramide tronquée de la figure 141, doit être inversée, la variété des produits finis étant plus grande que celles des composants de base.
- Si la clientèle ne s'accommode pas de cette longueur, en particulier parce, sur le marché, on trouve des industriels capables de faire plus vite à un coût et une qualité comparable, la solution passe par une fabrication pour stock de composants rentrant dans la majorité des produits finis, les composants spécifiques étant fabriqués au fur et à mesure des besoins. Cette situation de **production à la commande** est illustrée par le second schéma de la figure 141 ; on distingue alors :
 - un premier étage de planification de composants de base correspondant à une production pour stock (d'où un premier PDP)
 - et un second étage de planification de produits finis déterminant la fabrication de composants spécifiques et le processus d'assemblage progressif,

utilisant ces composants spécifiques et les composants de base du premier étage (d'où un second PDP).

- Enfin, les entreprises travaillant à la commande pour fabriquer une large gamme de produits finis standardisés, dont la variété résulte d'une combinaison d'options permettant de personnaliser chaque produit en fonction de la demande, ne sont pas en mesure de prévoir la demande des produits finis mais doivent néanmoins, en cas de production de masse, avoir une forte réactivité incompatible avec la longueur du cycle de fabrication. La solution est celle de l'**assemblage à la commande** qui s'appuie sur une conception modulaire de certains sous-ensembles associés à une différenciation perceptible du produit final pour le client (moteur, par exemple); chacun de ces modules fait l'objet de variantes – ou options – respectant le principe d'interchangeabilité aisée au montage¹. Le nombre de variantes d'un module est faible et c'est la combinatoire des options offertes par tous les modules qui conduit à un très grand nombre de produits finis différents généralement très supérieur à la production mensuelle, ce qui rend illusoire toute tentative de prévision à ce niveau. La parade trouvée repose sur le constat habituel d'une assez grande stabilité de la part prise par chaque variante d'un module dans la production finale. On adapte alors la démarche décrite pour les entreprises travaillant à la commande pour produire des objets très faiblement standardisés et devant avoir un cycle de production court:
 - Le premier étage de planification, correspondant à une production pour stock, porte alors sur les variantes de chaque module (et non sur des composants plus basiques comme dans le cas précédent). Le *PDP* part d'une prévision sur le produit, toutes options confondues, ce qui n'est pas trop difficile pour un produit de grande consommation. On s'appuie ensuite sur la répartition observée sur le passé, consignée dans une **nomenclature de planification**, pour calculer le *PDP* des options de chaque module. Pour en expliquer le principe, il est plus facile de s'appuyer sur un exemple: si pour les variantes du module *P* du produit *A* on a la répartition suivante: 10 %, 15 %, 30 %, 5 %, 40 %, la nomenclature de planification dira que, pour fabriquer 1 unité de *A*, il faut 0,1 unité de *P*₁, 0,15 unité de *P*₂, etc. Il s'ensuit que pour pouvoir fabriquer 500 unités du produit fini *A*, il faut inscrire au *PDP* des modules: 50 *P*₁, 75 *P*₂, 150 *P*₃, 25 *P*₄ et 200 *P*₅, en application du mécanisme classique de la *MRP*. On peut ajouter que, pour éviter que l'assemblage final ne soit retardé par la fabrication des autres composants, cette nomenclature de planification comporte également, pour chaque produit fini personnalisable par combinaison d'options, une référence fictive rassemblant l'ensemble des composants communs utilisés dans l'assemblage final, avec les modules.
 - Le second étage de planification part du *PDP* de produits finis individualisés² et correspond au processus d'assemblage final qui puise dans les stocks créés par le premier étage de planification. L'articulation entre les

1. On trouve cependant quelques modules (toiture d'un véhicule, par exemple) pouvant comporter, parmi les options, l'option «pas d'option» (dans notre exemple, on peut avoir l'option «avec toit ouvrant» et l'option «sans toit ouvrant»), ce qui complique la conception de la ligne d'assemblage mais ne retire rien à la généralité du propos. Ce problème de la conception modulaire a été présenté au [chapitre II](#), page 464.

deux étages passe par la mise à jour, à chaque régénération de *MRP*, des positions de stock des options des modules (et de la référence fictive évoquée ci-dessus). Pour renforcer la fiabilité de ce « montage de planification », il faut tenir compte du caractère non certain des informations consignées dans la nomenclature de planification et introduire des stocks de sécurité pour contrer les aléas (voir § IV-1.1, page 489).

Les décisions stratégiques de standardisation (qui limite le nombre de composants et en facilite la gestion) et de conception modulaire des produits (qui permet de passer sur une approche d'assemblage à la commande) conditionnent donc très fortement la façon dont les techniques de *MRP* peuvent être utilisées ainsi que la réactivité et la flexibilité du système productif. Par ailleurs, plus le « goulot d'étranglement » de cette structure en X de la nomenclature est élevé dans le schéma de la figure 141, page 464, plus la mise en œuvre du principe de différenciation retardée¹ est forte. Ajoutons enfin que la chrono-compétition (voir page 67), conduit de nombreuses entreprises à travailler en flux poussés sur les références du premier étage de cette nomenclature, et à flux tirés sur le second étage (voir page 509).

Quatre remarques complémentaires doivent être faites pour préciser les implications de l'environnement de gestion, sur la définition de la nomenclature.

- Normalement la détermination des composants de cette *nomenclature dépend fortement des processus productifs*. Lorsque le processus productif est modifié et conduit à réaliser le composant de niveau n et celui de niveau $n - 1$ sans passer par un stock intermédiaire, on doit adapter la nomenclature en supprimant le composant de niveau n et en adaptant, si nécessaire, la liste des composants de niveau n . Parmi les exemples de ces causes de transformation, on peut citer: la fabrication d'une pièce peinte immédiatement sur place dans la couleur désirée et non ultérieurement après un passage en stock; l'exécution sur un même poste d'une opération de fabrication d'un composant et de son montage dans un sous-ensemble; la transformation de la conception de l'assemblage d'un composant de niveau $n - 1$, en partant directement de l'ensemble nécessaire des composants de niveau $n + 1$ et en supprimant les composants intermédiaires de niveau n , désormais sans objet (les composants de niveau $n + 1$ passant alors au niveau n).
- Les références de la *nomenclature* font l'*objet de décisions* de production ou d'approvisionnement et d'un *stockage effectif*. Ce principe général souffre de quelques exceptions:
 - On intègre à la nomenclature, des références, comme les emballages, ne faisant pas véritablement l'objet de décision de production mais qui sont intégrées au système à des fins d'approvisionnement et de calcul de coûts.
 - On exclut de la nomenclature, les articles à forte consommation et faible valeur (la visserie, par exemple). Ces références ne sont donc pas gérées par la *MRP* mais, le plus souvent, par des politiques du type « q, s », en utili-

2. Note de la page précédente. Dans la littérature spécialisée, on distingue le Plan Directeur d'Assemblage, connu sous l'acronyme FAS (pour *Final Assembly Schedule*) dans les logiciels de *MRP*, du Plan Directeur de Production (ou MPS) pour dissocier les deux étages qui obéissent à des logiques productives différentes.

1. Voir également la discussion de ce principe à la page 105 et certaines de ses implications à la page 620.

sant la *technique des deux casiers*¹. Ce choix se justifie par le fait que l'accroissement du coût de traitement des informations de cette catégorie d'articles est supérieur aux économies induites par une informatisation totale du système.

- Certaines références ne faisant jamais l'objet d'un stockage, parce que directement fabriquées dans un centre de production et techniquement utilisées immédiatement après dans un autre centre de production, peuvent être incluses dans la nomenclature, le sous-ensemble concerné étant qualifié de **nomenclature fantôme**. Cette exception se justifie par la nécessité d'une gestion distincte des capacités de ces deux centres. Pour ces références, le problème de la taille du lot ne peut pas se poser et le délai d'obtention de la référence de niveau n est, par convention, nul (parce qu'inclus dans celui la référence de niveau $n - 1$).
- Certaines entreprises travaillant à la commande doivent faire coexister plusieurs nomenclatures d'un même produit final lorsque le cycle de fabrication est long. Ceci s'explique par le fait que plusieurs unités de cette référence ont été mises en fabrication à des dates différentes, entre lesquelles des ordres de modification des gammes et/ou nomenclatures ont été donnés, sans que ces ordres puissent prendre effet sur la totalité des unités en cours de fabrication.
- Le plus souvent, les logiciels de *MPR* ne «savent» traiter que les nomenclatures de type arborescent (un composant - père possède un ou plusieurs composants - fils). Cette restriction peut être gênante pour certaines entreprises qui, travaillant à la commande, assemblent des composants (d'où une nouvelle référence), testent l'ensemble puis les «désassemblent» pour rectification ou réglage de certains composants posant un problème.

Table des matières

Index thématique

II-3 Existence d'un système d'information fiable sur l'état des stocks

La *MRP* nécessite une connaissance correcte² de l'état du stock d'un composant (stock disponible, livraisons attendues, etc.) au début ou à la fin de chacune des périodes constitutives de l'horizon de planification retenu. Si cet inventaire n'est pas permanent, il a une périodicité minimale fixée. Ce système d'informations peut difficilement être manuel car le traitement numérique qu'implique un système de *MRP* pour des applications concrètes est tel que seul un traitement informatique peut être envisagé, ce qui conduit nécessairement à une tenue informatisée de l'état des stocks. Ceci n'exclut pas, rappelons-le, qu'il soit nécessaire de procéder périodiquement à un inventaire pour rectifier les écarts entre le disponible effectif et le disponible «informatique», à la suite de problèmes divers (évoqués au [chapitre X, page 628](#)).

1. Technique utilisée pour des articles de faible valeur, comme des clous; il se traduit par l'usage de deux casiers: un casier de réserve contenant un nombre d'unités connu et qu'il est interdit d'utiliser tant qu'il reste de la marchandise dans le second casier; le prélèvement de la première unité du casier de réserve correspond au franchissement d'un point de commande d'une politique «q, s» et conduit au déclenchement d'un réapprovisionnement.

2. La littérature (et certains logiciels) regroupe les informations élémentaires relatives à une référence, utilisées dans la *MRP* (position de stock, règle de priorité, délai d'obtention, taille de lot) dans un fichier appelé *Item Master File*.

II-4 Existence d'un fichier des délais d'obtention

Ce fichier des délais d'obtention est essentiel pour définir les périodes de lancement en fabrication d'un lot de composants ou de passation d'une commande d'approvisionnement auprès d'un fournisseur.

Le **délai d'obtention** se définit comme la somme de temps opératoires (incluant le temps de lancement), et de temps inter-opératoires (temps administratif de gestion des flux, temps de transit entre les centres de production et, surtout, temps d'attente). Dans la plupart des systèmes existants, le temps opératoire retenu est un temps standard, c'est-à-dire calculé pour un lot d'une taille donnée (mais les lots effectivement lancés pourront être d'une taille différente). Les temps inter-opératoires sont également des temps standards et ne tiennent donc aucun compte de la charge réelle du centre de production. Ils représentent généralement au moins 80 % du délai d'obtention. On peut également inclure une marge de sécurité, ce **délai de sécurité** jouant un rôle similaire à celui d'un stock de sécurité¹; on peut cependant se demander comment, en pratique, dissocier celui-ci des temps inter-opératoires (surtout compte tenu de l'importance habituelle de ces derniers).

Certaines entreprises traitent ce délai d'obtention non seulement comme un paramètre nécessaire au fonctionnement de la *MRP* mais également comme une contrainte à respecter: lorsque le délai s'avère plus long que prévu, des moyens sont alors prélevés sur d'autres centres de production pour permettre un retour à l'équilibre souhaité; à l'inverse, si le délai s'avère trop court, les moyens correspondants du centre de production visé sont transférés ailleurs. Cette pratique, d'autant moins critiquable que l'amplitude de la période de référence est faible, trouve sa justification dans le désir de maîtriser le processus productif conformément aux prévisions, dans la mesure où des écarts importants par rapport à ces valeurs invalident les résultats de la simulation et conduisent progressivement à une absence d'information sur le comportement futur du système.

Table des
matièresIndex
thématique

II-5 Existence de gammes et de données sur les capacités des centres de production

La mise en œuvre de procédures d'ajustement, pour chaque centre de production, entre la charge de travail souhaitée et la capacité disponible nécessite de pouvoir calculer la charge de travail impliquée par le plan de production souhaité, ce qui passe par l'utilisation de gammes, ainsi qu'une connaissance des capacités disponibles.

Les capacités sont définies pour chaque période de l'horizon de planification. Elles sont habituellement exprimées en heures de travail (et parfois dans une autre unité, le plus souvent un produit de référence ou un produit-type fictif). Habituellement l'hypothèse d'une disponibilité de la main-d'œuvre appropriée est implicitement faite, ce qui permet de définir la capacité sur les seuls équipements. En cas de problème d'ajustement «charge – capacité», il est possible d'envisager la modification de la capacité de certains centres de production (comme l'illustre la

1. Le lecteur intéressé trouvera dans Vollmann, Berry et Whybark (1997, [433]), p. 455-462, une discussion du rôle respectif du stock de sécurité et du délai de sécurité, ainsi qu'une présentation d'études expérimentales comparatives.

figure 139, page 462) par un transfert de main-d'œuvre polyvalente inutilisée dans d'autres centres, par un appel à des heures supplémentaires ou aux possibilités d'accroissement du temps de travail (en cas d'accord d'annualisation du temps de travail permettant une certaine modulation du temps de travail hebdomadaire ou quotidien), par un appel à de la main-d'œuvre intérimaire ou, enfin, par une sous-traitance partielle. La planification de ces adaptations est l'un des objectifs de la MRP. Notre présentation de la MRP se focalisera sur l'adaptation par lissage de charge qui, contrairement aux décisions d'ajustement de la capacité (qui seront rapidement analysées à la page 486), pose quelques difficultés méthodologiques; ceci ne doit pas induire le lecteur à ne considérer que cette catégorie d'ajustement.

Les gammes de fabrication et d'assemblage fournissent les temps opératoires nécessaires à la réalisation de chaque référence, sur chaque centre de production concerné. Les gammes utilisées en atelier comportent des informations supplémentaires (consignes diverses de travail telles que les réglages des machines). Les gammes utilisées en planification sont beaucoup plus grossières, elles peuvent même aller jusqu'à se résumer à un **profil moyen de chargement** associé à chaque référence du niveau 0. Un profil moyen de chargement indique, pour chaque centre de production et chaque période précédant la « mise à disposition de produits finis au service commercial », le temps moyen d'utilisation des centres impliqués par la fabrication de la référence de niveau 0 et celle de toutes les références qu'elle comporte; ces informations tiennent compte des délais d'obtention (ce qui conduira, par exemple, à indiquer que la fabrication d'une unité en période t de la référence i du niveau 0 conduit à l'utilisation de 0,7 heure du centre j au cours de la période $t - 4$ et 1,2 heure de ce même centre j , au cours de la période $t - 3$; 3,6 heures du centre k au cours de la période $t - 2$; etc.). Il est évident que cette gamme très grossière que constitue le profil moyen de chargement suppose implicitement que les problèmes de capacité ne se posent pas. De telles gammes ne peuvent donc pas être utilisées dans les procédures d'ajustement « charge – capacité ». Elles sont plutôt utilisées dans les procédures de négociation entre le souhaitable et le possible, qui président à l'élaboration du PDP. Cet ajustement grossier de la charge à la capacité (connu sous le nom de *rough cut planning*) ne permet pas de prendre en compte des mécanismes d'ajustement que seule l'approche détaillée peut prendre en compte et qui seront détaillés par la suite (voir page 481). Ajoutons enfin qu'en règle générale, les informations fournies reposent implicitement sur une longueur moyenne de série, dans la mesure où les temps utilisés intègrent une valeur standardisée de temps de lancement.

Table des
matièresIndex
thématique

II-6 Existence de fichiers nécessaires à la détermination des priorités

Lorsque, pour une période, la charge souhaitée résultant du PDP excède la capacité disponible, on cherche à adapter la capacité ou à anticiper la production d'une partie de ce que l'on avait programmé pour cette période. La sélection de ce qui devra être transféré s'effectue par l'utilisation implicite ou explicite de règles de priorité.

Le choix s'effectue sur la base de règles empiriques dont la justification est bien souvent sommaire. Dans le premier cas, on calcule les règles de priorité sur la base de critères tels que celui de la minimisation de la valeur des encours constitués lors

de ce transfert. Supposons, par exemple, que pour une période donnée, il faille soulager de 100 heures un atelier produisant les références *A* et *B* qui utilisent respectivement 50 € et 10 € de composants et dont les temps unitaires de production sont 1 heure (pour *A*) et 2 heures (pour *B*); si le coût standard horaire est de 80 €, ce qui conduit à des coûts unitaires de $50 + 80 \times 1 = 130$ € pour *A* et $10 + 80 \times 2 = 170$ € pour *B*. Une heure transférée sur *A* conduit à une création d'encours de 130 €, tandis que si ce transfert s'effectue sur *B*, il n'y a que $170 / 2 = 85$ € d'encours à transférer. Pour calculer la valeur d'encours générée par l'anticipation d'une heure de production pour les différentes alternatives possibles et en déduire des priorités de transfert, il faut donc disposer, d'une part, de fichiers de coûts standards d'utilisation de chaque centre de production ainsi que des composants et matières premières achetés et, d'autre part, d'un programme de calcul des coûts standard de fabrication des références produites.

Si l'application de ces règles ne conduit pas à une solution réalisable, le plan directeur de production doit être révisé (voir [figure 139 de la page 462](#)). Cette remise en cause s'effectue par un retard de livraison de certaines références par rapport à ce qui était initialement voulu (ce retard n'affectant pas normalement les ordres fermes). Elle doit avoir pour conséquence de soulager la tension s'exerçant sur les centres de production critiques. Il faut alors «pister» les références utilisées dans un produit final ainsi que leur période de production. Ce **pistage** (connu aussi sous le nom de **traçage** ou de **couplage** ou encore sous son nom américain de **pegging**) est indispensable si l'on souhaite mettre en place des règles de priorité permettant une remise en cause «astucieuse» du *PDP*.

SECTION III LES PRINCIPES DE BASE DE FONCTIONNEMENT DE TOUTE MRP

La MRP s'appuie sur une logique élémentaire de calcul très simple (§ III-1) qui est utilisée en cascade (§ III-2, [page 474](#)) pour simuler les conséquences qui résulteraient de la mise en œuvre du plan directeur de production en faisant abstraction des problèmes de capacité. Si l'on souhaite aller plus loin, il faut alors calculer la charge résultant du programme de fabrication proposé (§ III-3, [page 475](#)). Si le progiciel utilisé suit la logique *MRP II*, il faut, le plus souvent, procéder à un ajustement «charge – capacité» pour aboutir à un programme de fabrication réalisable (§ III-4, [page 481](#)).

III-1 Description du mécanisme élémentaire de calcul de la MRP

La démarche suivie par la MRP s'appuie sur une détermination des besoins nets d'un composant (§ III-1.1) puis de la manière de les couvrir (§ III-1.2, [page 472](#)) avant de recommencer cette séquence d'opérations pour les composants de niveau supérieur (§ III-1.2, [page 472](#)).

III-1.1 Détermination des besoins nets d'un composant

Pour un composant donné, par exemple la boîte d'engrenages *E-2010*, on part d'un échéancier de **besoins bruts**¹, c'est-à-dire d'un échéancier de demandes de

1. *Gross Requirement*, dans la littérature spécialisée et les logiciels de MRP.

cette référence pour chacune des périodes constitutives de l'horizon de planification. Cette demande émane :

- soit des composants du niveau inférieur; on peut voir à la [figure 137 de la page 459](#) que la boîte d'engrenages *E-2010* est un composant de niveau 2 dont la demande émane de composants du niveau 1, ici, la seule boîte de vitesses *E-1001*;
- soit d'une demande finale au titre de pièces détachées (ce qui est le cas pour la boîte de vitesses) ou parce que l'on est en présence d'un produit fini.

Supposons, par exemple, que l'échéancier des besoins bruts de la boîte d'engrenages *E-2010* soit celui du [tableau 104](#).

TABLEAU 104
Étape 1 – détermination des besoins bruts (ici supposés connus)

Période t	15	16	17	18	19	20	21	22
Besoins Bruts (BB _{t}) du <i>E-2010</i>	-	30	10	20	26	14	20	15

Ces besoins bruts ne correspondent pas à ce qu'il est nécessaire de lancer en production, compte tenu du stock initial disponible pour cette référence et des quantités éventuellement en attente de livraison. Il faut alors passer de la notion de besoins bruts à celle de besoins nets.

La détermination des **besoins nets**¹ du composant *E-2010* s'effectue en partant de l'échéancier des demandes brutes et du stock disponible initialement (que l'on suppose, par exemple, être de 12 unités) et des **livraisons attendues**, c'est-à-dire correspondant à des commandes en cours d'exécution (respectivement 22 et 13 pour les périodes 16 et 17). On conviendra que ces livraisons seront effectuées en début de période², afin de pouvoir couvrir tout ou partie des besoins de la période.

Pour déterminer ces besoins nets, on calcule dans un premier temps la position prévisionnelle de stock puis, dans un second temps, les besoins nets. La **position de stock** à la fin d'une période donnée est égale à la position de stock à la fin de la période précédente, diminuée des demandes de la période considérée et augmentée des livraisons de cette période; on retrouvera l'usage de ce concept dans l'analyse des politiques d'approvisionnement ([page 731](#)). La position de stock des tableaux de présentation des mécanismes de la MRP (à l'exception du [tableau 107 de la page 474](#)) est établie en supposant qu'aucune nouvelle décision de production (livraisons programmées, cf. infra) n'est prise. Ajoutons qu'une position de stock négative s'analysant comme le cumul des demandes non satisfaites différées, les besoins nets d'une période correspondent à l'accroissement des demandes non satisfaites différées. Le [tableau 105 de la page 472](#), qui calcule les besoins nets, intègre la période 15, à la fin de laquelle la programmation de la production est refaite, pour pouvoir indiquer la position de stock de *début* de période 16, par définition identique à celle de la *fin* de la période 15.

1. *Net Requirement*, dans la littérature spécialisée et les logiciels de MRP.

2. Quelques rares logiciels adoptent la convention d'une livraison en fin de période. Ce changement de convention est sans incidence sur le raisonnement suivi qui s'adapte immédiatement en remarquant que l'on se ramène à la convention retenue ici puisque la disponibilité des produits livrés est la même.

TABLEAU 105
Étape 2 – détermination des besoins nets

Période t	15	16	17	18	19	20	21	22
Besoins Bruts (BB_t) du E-2010	-	30	10	20	26	14	20	15
Livraisons attendues (Q_t) du E-2010 (effectuées en début de période)	-	22	13	0	0	0	0	0
Position de Stock (PS_t) du E-2010 (définie en fin de période, en l'absence de décision de nouvelles livraisons)	12	4	7	-13	-39	-53	-73	-88
Besoins Nets (BN_t) du E-2010	-	0	0	13	26	14	20	15

Il est facile de formaliser la démarche que l'on vient de décrire (c'est, du reste, nécessaire pour une programmation informatique). Notons pour une référence donnée :

- PS_t : la position de stock à la fin de la période t (après livraison et satisfaction de la demande), cette information peut être encore considérée comme la position de stock au début de la période $t + 1$ (avant livraison),
- SD_t : le stock physiquement disponible à la fin de la période t ,
- Q_t : la livraison attendue (en début de période t),
- BB_t : les besoins bruts de la période t ,
- BN_t : les besoins nets de la période t .

En l'absence de stocks de sécurité (qui seront introduits au § IV-1.1, page 489), on peut alors écrire les **relations récurrentes générales** 73 et 74.

$$PS_1 = SD_0 + Q_1 - BB_1, \text{ pour } t = 1 \quad \text{Position de stock}^1 \quad \text{relations 73}$$

$$PS_t = PS_{t-1} + Q_t - BB_t, \text{ pour } t > 1$$

$$BN_t = 0 \text{ pour } t \leq \theta, \text{ où } \theta \text{ est la durée du délai d'obtention} \quad \text{Besoins nets}^2$$

$$BN_t = \text{Max} [0, (BB_t - \{Q_t + \text{Max}(0, PS_{t-1})\})], \text{ pour } t > \theta$$

relations 74

III-1.2 Détermination de la couverture des besoins nets

La philosophie de la *MRP* implique que les besoins nets d'un composant soient connus suffisamment à l'avance pour qu'une rupture de stock ne puisse pas se produire. Les besoins nets d'une période seront donc couverts soit par une

1. $t = 1$ est la première des périodes futures; dans ces conditions, la position de stock initiale est celle de la fin de la période 0.

2. La première relation ($BN_t = 0$ pour $t \leq \theta$) revient à dire qu'il est trop tard pour couvrir des besoins imprévus et implique que si PS_t est négatif sur l'une de ces θ premières périodes, la totalité des besoins bruts de ces θ premières périodes ne peut être couverte et que le *PDP* (ou certaines décisions de production antérieurement prises et jouant sur la détermination des besoins bruts de ces périodes) doit être révisé avant de poursuivre les calculs. $\text{Max}(0, PS_{t-1})$ correspond au stock physiquement disponible avant livraison (nul si PS_{t-1} est négatif et égal à PS_{t-1} , dans le cas contraire); $\{Q_t + \text{Max}(0, PS_{t-1})\}$ correspond alors au «disponible après livraison» et si celui-ci est inférieur aux besoins bruts BB_t , alors les besoins nets de la période correspondent à la différence à couvrir et, dans le cas contraire, les besoins nets sont nuls, les besoins bruts étant couverts par le «disponible après livraison». Ces relations ne tiennent pas compte de l'existence possible de stocks de sécurité (voir page 489).

livraison au début de la même période (on admet qu'une livraison puisse être plus tardive au cours de la période si cela ne se traduit pas par une rupture de stock), soit par une livraison antérieure calculée pour couvrir les besoins de plusieurs périodes consécutives. La technique la plus simple est la **technique du «lot pour lot»** qui consiste à livrer systématiquement en début de période de quoi couvrir les besoins nets de la période.

Supposons arbitrairement que, dans notre exemple, le calcul des tailles de lot retenu ait conduit à la programmation des livraisons du **tableau 106**. On qualifiera cette nouvelle décision de **livraison programmée** pour la distinguer de la décision prise antérieurement (et donc sur laquelle on ne peut plus revenir parce qu'elle est en cours d'exécution), que l'on a désignée par le nom de **livraison attendue**.

TABLEAU 106
Étape 3 – détermination du lotissement et des livraisons programmées

Période t	15	16	17	18	19	20	21	22
Besoins Nets (BN _t) du E-2010	-	0	0	13	26	14	20	15
Livraisons programmées du E-2010 (effectuées en début de période)	-	0	0	53	0	0	35	0

Une fois déterminées les livraisons programmées, il faut tenir compte des délais d'obtention séparant la décision de lancement d'une série (ou d'approvisionnement s'il s'agit d'un composant acheté), de la livraison. Supposons que le délai d'obtention soit de deux semaines, on obtient alors l'échéancier de **lancements** du **tableau 107**. Cette étape est souvent appelée **absorption des délais**. Trois remarques peuvent être faites :

- Seul le lancement de la *première période* (en début de période 16), ici 53, et donc la livraison programmée correspondante (en début de période 18) correspond à une *décision irréversible* ; les lancements des périodes suivantes (et les livraisons programmées correspondantes) pourront être révisés dans le cadre de la planification glissante (voir § IV-2, page 494).
- Les lancements correspondent à des ordres de fabrication (approvisionnement interne) ou à des ordres d'achat (approvisionnement externe) ; dans ce dernier cas et pour des références fortement consommées, les relations de partenariat qui prévalent souvent de nos jours conduisent à des commandes exécutées dans le cadre de contrats globaux impliquant un engagement annuel des quantités achetées contre une grande souplesse dans la définition du calendrier de livraison et des quantités livrées.
- Le mécanisme d'absorption des délais conduit mécaniquement à avoir, au niveau des lancements, un nombre de périodes égal à celui des livraisons programmées, diminué du nombre de périodes définissant le délai d'obtention (ici 2, d'où une absence d'information pour les périodes 21 et 22 imputable à une absence d'information sur les livraisons programmées des périodes 23 et 24, inconnues par hypothèse).
- On a ajouté en dernière ligne du **tableau 107 de la page 474** une ligne retraçant l'évolution prévisionnelle de la position de stock en tenant compte des décisions irréversibles (parce que prises avant la fin de la période 16) et

les décisions nouvelles proposées (dont seule la première sera mise en œuvre, conformément à la première des trois remarques).

TABLEAU 107

Étape 4 – lancement en production (absorption des délais)

Période t	15	16	17	18	19	20	21	22
Livraisons programmées du <i>E-2010</i> (effectuées en début de période)	-	0	0	53	0	0	35	0
Lancements en fabrication du <i>E 2010</i> (effectués en début de période) délai $L = 2$ semaines	-	53	0	0	35	0	-	-
Position de stock (fin de période) intégrant les livraisons programmées et les livraisons attendues	12	12 + 22 - 30 = 4	4 + 13 - 10 = 7	7 + 53 - 20 = 40	40 + 0 - 26 = 14	14 + 0 - 14 = 0	0 + 35 - 20 = 15	15 + 0 - 15 = 0

III-2 Utilisation «en cascade» du mécanisme élémentaire de calcul

Cet échéancier de lancement permet de calculer l'échéancier de demandes brutes des composants de niveau supérieur (c'est-à-dire pour un niveau de détail plus grand). Par exemple, si la roue d'engrenage *E-3047*, composant de niveau 3, n'est utilisée que dans les boîtes d'engrenages *E-2010* et *E-2040*, composants de niveau 2, on obtient alors le [tableau 108](#), dans lequel on suppose connus les lancements du *E-2040* (selon un processus similaire à celui du *E-2010* développé précédemment). Ce tableau repose sur l'hypothèse qu'il n'y a aucun rebut dans la confection de cette boîte d'engrenages et tient compte de la nomenclature (voir [figure 137, page 459](#)) qui stipule qu'il faut 2 composants *E-3047* pour fabriquer 1 composant *E-2040*.

TABLEAU 108

Explosion des nomenclatures \Rightarrow définition des besoins bruts

Période t	15	16	17	18	19	20	21	22
Lancements en fabrication du <i>E-2010</i> (effectués en début de période)	-	53	0	0	35	0	-	-
Besoins Bruts du <i>E-3047</i> impliqués par le lancement du <i>E-2010</i> et la nomenclature (1 <i>E-3047</i> par <i>E-2010</i>)	-	53	0	0	35	0	-	-
Lancement en fabrication du <i>E-2040</i> (calcul effectué par ailleurs)	-	10	15	25	15	18	12	15
Besoins Bruts du <i>E-3047</i> impliqués par le lancement du <i>E-2040</i> et la nomenclature (2 <i>E-3047</i> par <i>E-2040</i>)	-	20	30	50	30	36	24	30
Besoins Bruts du <i>E-3047</i> impliqués par les lancements du <i>E-2040</i> et du <i>E-2010</i>	-	73	30	50	65	36	Calculs inutiles	

Cette détermination en cascade du programme de production, pour toutes les références du niveau 0 (produits finals), puis pour celles du niveau 1, puis pour celles de niveau 2, etc., jusqu'aux approvisionnements externes, est souvent

appelée **explosion des nomenclatures**. La figure 142 résume ce processus de base de la MRP qui sera illustré de manière plus complète au § III-3, page 475.

FIGURE 142
Le mécanisme de base de la MRP

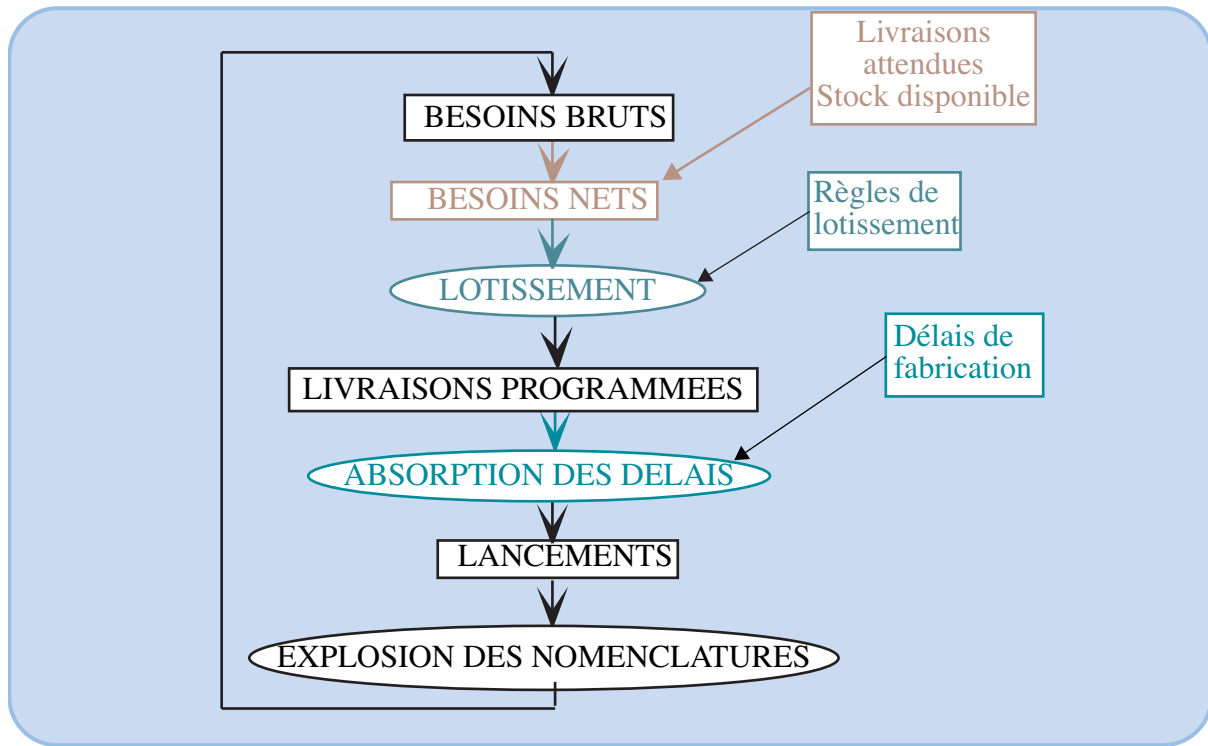


Table des matières

Index thématique

Les problèmes de qualité rencontrés en production font que l'on peut avoir une partie de la production à mettre au rebut. Supposons qu'il y ait en moyenne 5 % de roues rebutées dans le montage d'un engrenage, il faudra alors multiplier les demandes brutes de l'échéancier ci-dessus par $1/0,95$, pour retrouver, après abattement de 5 %, les roues effectivement montées dans une boîte d'engrenages. Dans ce cas, et compte tenu du caractère aléatoire des rebuts, il est préférable de coupler ce dispositif de majoration des besoins avec la création de stocks de sécurité (voir § IV-1.1, page 489).

L'incidence de la MRP sur les approvisionnements mérite d'être soulignée. En fournissant des besoins exacts de matières premières et de composants à acheter à l'extérieur, la MRP donne à la Direction de la Production une crédibilité vis-à-vis du service des approvisionnements dont elle ne jouissait pas toujours jusqu'alors. En outre, en soulageant ce service du calcul de la date de passation des commandes ainsi que des quantités à demander, les acheteurs peuvent consacrer une part plus importante de leur temps à la négociation de la qualité et à la recherche d'autres sources d'approvisionnement plus fiables et/ou moins onéreuses.

III-3 Détermination des charges découlant du programme de production

Les conséquences du programme de fabrication proposé sur la charge des divers postes de travail doivent nécessairement être abordées pour que la simulation proposée par la MRP puisse servir de guide pour l'action. Presque tous les logiciels

calculent ces charges de travail et les comparent aux capacités disponibles mais seuls les logiciels de type *MRP II* vont plus loin dans la recherche d'une programmation réalisable, avec des options d'ajustement «charge – capacité» (ce que nous ferons au § III-4, page 481). Le problème de la capacité d'un centre de production ne se pose que lorsque l'on considère toutes les références produites par ce centre. Aussi, lorsque l'on effectue les calculs de la charge induite par une seule référence, néglige-t-on le problème de la capacité et parle-t-on souvent de «calcul à capacité infinie».

Partons d'un nouvel exemple numérique (voir tableaux 109 à 111) pour illustrer la démarche de calcul suivie. Dans ce paragraphe, seul le calcul des charges des niveaux 1 et 2 de la nomenclature sera présenté car, pour simplifier ici, on supposera qu'aucun problème de capacité ne se posera dans le centre d'assemblage final où sont produites les références du niveau 0. Par contre, on verra que des problèmes de capacité se posent dans les centres d'assemblage intermédiaire où sont produites les références du niveau 1. Il est bien évident qu'*il est alors parfaitement inutile de poursuivre l'explosion des nomenclatures tant que ce problème d'insuffisance de capacité pour certaines périodes n'a pas trouvé de solution* (par une modification du programme de fabrication de ces références de niveau 1). Lorsque cet ajustement «charge – capacité» aura été achevé, le processus d'explosion de nomenclature pourra se poursuivre sur les références de niveau 2.

L'entreprise étudiée assemble 3 produits, référencés par A, B et C, dans un atelier d'assemblage final (références du niveau 0). Cette production s'effectue à partir de sous-ensembles référencés par F, G et H qui sont fabriqués dans un atelier d'assemblage intermédiaire et font appel à des composants référencés par V, W, X et Y. Le composant X est acheté à l'extérieur tandis que les autres sont fabriqués dans un atelier d'usinage. Par ailleurs :

- le [tableau 109](#), donne le Plan Directeur de production (les prévisions relatives aux sous-ensembles et composants correspondent à des demandes de pièces détachées);
- la nomenclature simplifiée (l'entreprise travaillant avec des milliers de références) est fournie à la [figure 143](#);

FIGURE 143
Nomenclature

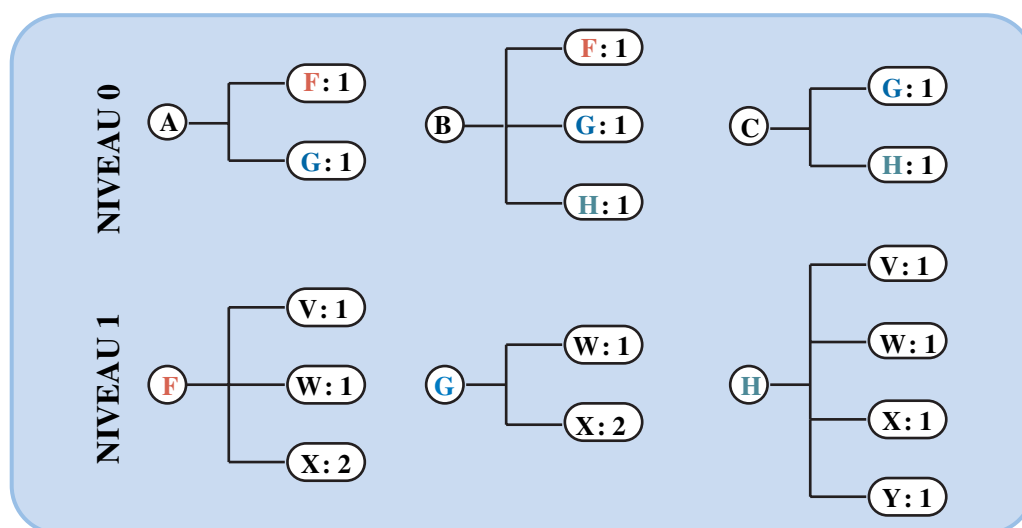


TABLEAU 109
Prévisions du plan directeur de production

Références		PÉRIODES											
		Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001	Juin 2001	Juillet 2001	Août 2001	Septembre 2001	Octobre 2001
Produits finis	A	10300	12800	9700	10500	9700	10000	10600	11000	13000	10000	10000	10000
	B	12600	13400	12000	10700	10100	11500	12000	11600	11200	11000	11000	11000
	C	17400	20100	16300	17500	18000	19000	21500	20900	20100	19000	19500	19500
Sous-ensembles	F	1500	1400	1500	1600	2100	1800	1800	2000	1600	1400	1600	1600
	G	1700	1200	1700	1600	1800	1500	1400	1300	1200	1400	1800	1700
	H	2000	2300	1800	1900	2100	2000	2100	2000	2000	2000	2000	2000
Composants	V	4000	3500	3800	3100	3600	3600	3500	3400	3500	3500	3500	3500
	W	700	1000	1100	900	1100	1300	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	X	3000	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
	Y	1600	1700	1100	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

- le **tableau 110** fournit les livraisons attendues, les positions de stock de fin de période, les gammes (temps opératoires), les délais d'obtention ;

TABLEAU 110

Données diverses : livraisons attendues, positions de stock, temps opératoires, délais d'obtention, coûts unitaires des matières utilisées

Références		Livraison attendue (en début de mois)		Position de stock (en fin de mois)	Temps Opérateur Unitaire (en heure/unité)	Délai d'obtention (en mois)	Coût unitaire des matières utilisées (en dollars lidu- riens/unité)
		Novembre 2000	Décembre 2000	Octobre 2000			
Produits finis	A	10000	0	300	0,020 heure	1 mois	5,00 \$
	B	12500	0	100	0,010 heure	1 mois	6,00 \$
	C	17300	0	100	0,020 heure	1 mois	6,00 \$
Sous-ensembles	F	27400	23000	500	0,005 heure	2 mois	1,00 \$
	G	48200	0	700	0,010 heure	1 mois	2,00 \$
	H	31400	0	4800	0,020 heure	1 mois	1,00 \$
Composants	V	56600	55500	500	0,005 heure	2 mois	0,50 \$
	W	91200	0	500	0,010 heure	1 mois	0,75 \$
	X	154000	0	1000	0 heure (achat)	1 mois	2,00 \$
	Y	31800	0	300	0,010 heure	1 mois	1,00 \$

- le **tableau 111**, page 478, fournit les capacités (par hypothèse, ici, aucun problème ne se pose dans l'atelier d'assemblage final, ce qui rend inutile la

fourniture d'informations sur les capacités de cet atelier) et les coûts standards horaires d'utilisation de chaque atelier (coût variable direct); on notera que les capacités ne sont pas fournies pour les périodes pour lesquelles la charge de travail *complète* ne peut être calculée du fait des décalages engendrés par les délais d'obtention de certaines références fabriquées par le centre de production¹.

TABLEAU 111
Capacités de production (en heures) et coûts horaires d'utilisation des ateliers (en dollars liduriens)

ATELIERS	PÉRIODES									COÛT HORAIRE (en dollars liduriens)
	Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001	Juin 2001	Juillet 2001	
Assemblage final	capacité suffisante (\Rightarrow pas de problème d'ajustement «charge – capacité»)									90 \$
Assemblage intermédiaire	1 150	1 150	1 150	1 250	1 250	1 280	1 250	1 200	1 200	100 \$
Usinage	1 630	1 600	1 700	1 650	1 650	1 700	1 600			150 \$

Pour simplifier, nous supposons que les quantités lancées obéissent à la technique du «lot pour lot» présentée au § III-1.2, page 472. Ce choix implique que la *livraison programmée est, par hypothèse, égale au besoin net de la période*; la ligne *livraison programmée* disparaît donc du tableau de calcul.

Le [tableau 112](#), détaille les calculs de la MRP pour le niveau 0. On fera l'hypothèse ici que ce niveau *Assemblage Final* ne connaît pas de problème de capacité. Il s'ensuit que les productions programmées correspondent exactement aux besoins nets, en tenant compte bien sûr du décalage induit par les délais d'obtention (12 800 A, 13 400 B et 20 100 C feront l'objet d'un assemblage final en novembre 2000, pour être disponible au début du mois de décembre). On peut noter que le calcul des positions de stock ne présente pas d'intérêt pratique à partir du mois de janvier 2001, parce que c'est la technique du «lot pour lot» qui est retenue; dans le cas contraire, l'utilisation des relations générales 73 ([page 472](#)) et 74 ([page 472](#)) implique le calcul systématique de la position de stock.

Les calculs du niveau 1 sont un peu plus compliqués car, pour certaines périodes, la charge requise par l'application d'une programmation au plus tard est supérieure à la capacité disponible. Le travail est effectué en deux étapes, pour vérifier si la capacité requise reste ou non toujours inférieure à la capacité disponible.

- La première étape consiste à opérer l'explosion de la partie de nomenclature concernée puis à calculer les lancements en production sans se préoccuper d'éventuelles limitations de capacité; ce travail est effectué dans le [tableau](#)

1. Par exemple, en août, on lancera dans l'atelier d'assemblage intermédiaire la fabrication de sous-ensembles F qui seront livrés deux mois plus tard pour être montés en octobre dans les produits finis qui seront achevés à la fin du mois d'octobre pour être livrés au début du mois de novembre, afin de satisfaire les besoins de ce mois pour lequel le PDP ne fournit aucune information.

TABLEAU 112
Lancement du niveau « assemblage final » (à capacité infinie)

		PÉRIODES												
		Octobre 2000	Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001	Juin 2001	Juillet 2001	Août 2001	Septembre 2001	Octobre 2001
Référence A	Besoins Bruts (PDP)		10300	12800	9700	10500	9700	10000	10600	11000	13000	10000	10000	10000
	Livraisons attendues		10000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock	300	0	-12800	-22500	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées		0	12800	9700	10500	9700	10000	10600	11000	13000	10000	10000	10000
	Lancements		12800	9700	10500	9700	10000	10600	11000	13000	10000	10000	10000	
Référence B	Besoins Bruts (PDP)		12600	13400	12000	10700	10100	11500	12000	11600	11200	11000	11000	11000
	Livraisons attendues		12500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock	100	0	-13400	-25400	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées		0	13400	12000	10700	10100	11500	12000	11600	11200	11000	11000	11000
	Lancements		13400	12000	10700	10100	11500	12000	11600	11200	11000	11000	11000	
Référence C	Besoins Bruts (PDP)		17400	20100	16300	17500	18000	19000	21500	20900	20100	19000	19500	19500
	Livraisons attendues		17300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock	100	0	-20100	-36400	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées		0	20100	16300	17500	18000	19000	21500	20900	20100	19000	19500	19500
	Lancements		20100	16300	17500	18000	19000	21500	20900	20100	19000	19500	19500	

Table des matières

Index thématique

114, page 481 ; il est repris en partie au [tableau 113, page 480](#), avec une explication des calculs que l'on va commenter :

- au mois de novembre 2000, compte tenu du fait que seuls les produits A et B comportent chacun un (et un seul) sous-ensemble F, les besoins *bruts* de F provenant du niveau 0 sont donc de 12800 + 13400 ; il faut y ajouter les 1500 unités requises par le plan directeur de production ; les besoins *bruts* de F pour novembre sont donc de 27700 unités ;
- à la fin du mois d'octobre 2000, la position de stock pour F s'élevait à 500 unités, valeur qu'il convient d'ajouter à la livraison attendue pour le mois de novembre (27400), pour connaître le total disponible (27900) duquel il faudra défalquer les besoins *bruts* du mois (27700) pour déterminer la position de stock de la fin de ce mois de novembre (200) ;
- un calcul similaire en décembre 2000 conduit à des besoins *bruts* de 9700 + 12000 + 1400 = 23100 ; la position de stock de fin de mois s'élève alors à : 23000 (livraison attendue) + 200 (position de stock à la fin du mois précédent) – 23100 (besoins *bruts*), ce qui donne 100 ;
- aucune livraison n'étant attendue pour janvier 2001 (ni pour les mois suivants) et les besoins bruts de janvier dépassant la position de stock de fin décembre, la position de stock de fin janvier devient négative, ce qui conduit, pour janvier, à des besoins *nets* positifs de 22600 qui, compte tenu du délai d'obtention de F, devront être couverts par un lancement deux mois plus tôt (novembre 2000) ;

- pour les mois suivants, toujours pour la référence F, l'absence de livraisons attendues fait que la position de stock de fin de mois est égale à celle du mois précédent, diminuée des besoins bruts du mois ; ce calcul ne présente cependant pas d'intérêt (d'où les points de suspension du tableau) et les relations récurrentes 73 (page 472) et 74 (page 472) sont inutiles car les besoins nets sont alors nécessairement égaux aux besoins bruts ;

TABLEAU 113

Explication des calculs du lancement du niveau « Assemblage intermédiaire » (à capacité infinie)

			PÉRIODES					
			Octobre 2000	Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001
Référence F	Besoins Bruts venant de	A ^a		12800	9700	10500	9700	10000
		B ^b		13400	12000	10700	10100	11500
		PDP		1500	1400	1500	1600	2100
		Σ		27700	23100	22700	21400	23600
	Livraisons attendues			27400	23000	0	0	0
	Position de stock		500	200	100	-22600	-44000	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées			0	0	22600	21400	23600
	Lancements			22600	21400	23600	24400	24400

a. Les lancements de A (niveau 0) deviennent, après multiplication par 1 (Il faut 1 A pour fabriquer 1 €), les besoins bruts de F venant de A.

b. Les lancements de B (niveau 0) deviennent, après multiplication par 1 (Il faut 1 B pour fabriquer 1 €), les besoins bruts de F venant de B.

- à ce niveau du raisonnement, ce lancement ne tient nullement compte des possibilités physiques de production (capacités de production implicitement infinies); la démarche restant la même pour les autres mois et les autres références, on ne commentera donc pas les autres calculs.
- La seconde étape consiste à calculer la charge induite par la proposition de lancement faite au [tableau 114](#). Pour ce faire, il faut utiliser les gammes¹ données au [tableau 110, page 477](#). Par exemple, en novembre 2000, le lancement en production de 22600 unités de F (voir [tableau 114](#)) conduit à une charge de travail de $22600 \times 0,005 = 113$ heures, puisque le temps opératoire

1. Certains logiciels permettent d'ajouter un temps de lancement en production, au temps opératoire directement productif, seul pris en compte ici. Par ailleurs, le mécanisme de calcul de la charge de travail retenu ici, pour les références ayant un délai d'obtention supérieur à une période (ici F qui a un délai de 2 mois), considère implicitement que le travail est à exécuter au cours de la dernière période du délai d'obtention. Ceci revient à considérer les dernières périodes du délai d'obtention comme improdutive (délai d'attente, etc.). Cette hypothèse n'est pas réaliste lorsque le temps de production requis pour la référence au cours d'une période excède la durée de cette période et/ou que le travail ne peut être fractionné entre plusieurs ressources. Cette hypothèse a donc d'autant moins de chances d'être acceptable que le découpage temporel est fin. L'alternative, non illustrée dans ce chapitre, consiste à calculer la charge induite par une référence dont le délai d'obtention est de plusieurs périodes, en répartissant le travail à effectuer suivant une logique de profil moyen de chargement, et à intégrer cette répartition temporelle dans les mécanismes d'ajustement «charge – capacité».

TABLEAU 114
Lancement du niveau « Assemblage intermédiaire » (à capacité infinie)

			PÉRIODES											
			Octobre 2000	Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001	Juin 2001	Juillet 2001	Août 2001	Septembre 2001
Référence F	Besoins Bruts venant de	A		12800	9700	10500	9700	10000	10600	11000	13000	10000	10000	10000
		B		13400	12000	10700	10100	11500	12000	11600	11200	11000	11000	11000
		PDP		1500	1400	1500	1600	2100	1800	1800	2000	1600	1400	1600
		Σ		27700	23100	22700	21400	23600	24400	24400	26200	22600	22400	22600
	Livraisons attendues			27400	23000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock		500	200	100	-22600	-44000	...	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées			0	0	22600	21400	23600	24400	24400	26200	22600	22400	22600
	Lancements			22600	21400	23600	24400	24400	26200	22600	22400	22600		
Référence G	Besoins Bruts venant de	A		12800	9700	10500	9700	10000	10600	11000	13000	10000	10000	10000
		B		13400	12000	10700	10100	11500	12000	11600	11200	11000	11000	11000
		C		20100	16300	17500	18000	19000	21500	20900	20100	19000	19500	19500
		PDP		1700	1200	1700	1600	1800	1500	1400	1300	1200	1400	1800
		Σ		48000	39200	40400	39400	42300	45600	44900	45600	41200	41900	42300
	Livraisons attendues			48200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock		700	900	-38300	-78700	...	...	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées			0	38300	40400	39400	42300	45600	44900	45600	41200	41900	42300
Référence H	Besoins Bruts venant de	B		13400	12000	10700	10100	11500	12000	11600	11200	11000	11000	11000
		C		20100	16300	17500	18000	19000	21500	20900	20100	19000	19500	19500
		PDP		2000	2300	1800	1900	2100	2000	2100	2000	2000	2000	2000
		Σ		35500	30600	30000	30000	32600	35500	34600	33300	32000	32500	32500
	Livraisons attendues			31400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock		4800	700	-29900	-59900	...	...	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées			0	29900	30000	30000	32600	35500	34600	33300	32000	32500	32500
	Lancements			29900	30000	30000	32600	35500	34600	33300	32000	32500		

unitaire de F est de 0,005 heure (temps lu sur le [tableau 110](#)). De même pour G , on aboutit à $38\,300 \times 0,01 = 383$ heures et, pour H , à $29\,900 \times 0,02 = 598$ heures. La charge de travail qui découle du plan directeur de production s'élève donc en novembre à $113 + 383 + 598 = 1094$ heures. Étant donné que la capacité disponible s'élève à 1 150 heures, l'entreprise dispose d'un excédent de 56 heures. Un calcul similaire pour les autres mois conduit à observer un excédent pour tous les mois sauf pour le mois de mars 2001 pour lequel on a un dépassement de 38 heures; le résultat de ces calculs est donné dans le [tableau 115](#) (on ne se préoccupera pas, pour l'instant, des six dernières lignes de ce tableau).

III-4 L'ajustement «charge – capacité»

Continuons l'examen de notre exemple, ce qui nous permettra de mettre en évidence un ajustement possible par la constitution de stock la moins onéreuse et

la plus tardive possible (§ III-4.1). On examinera ensuite rapidement (§ III-4.2, page 486) un ajustement par adaptation de la capacité, avant de faire quelques remarques complémentaires (§ III-4.3, page 487).

TABLEAU 115

Ajustement « charge – capacité » de l'atelier d'assemblage intermédiaire

		PÉRIODES								
		Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001	Juin 2001	Juillet 2001
Heures d'assemblage intermédiaire demandées	F	113	107	118	122	122	131	113	112	113
	G	383	404	394	423	456	449	456	412	419
	H	598	600	600	652	710	692	666	640	650
	Σ	1094	1111	1112	1197	1288	1272	1235	1164	1182
Heures disponibles		1150	1150	1150	1250	1250	1280	1250	1200	1200
Dépassement initial		0	0	0	0	38	0	0	0	0
Excédent initial		56	39	38	53	0	8	15	36	18
Heures à reporter		0	0	0	0	38	0	0	0	0
Excédent final		56	39	38	15	0	8	15	36	18
Heures programmées		1094	1111	1112	1235	1250	1272	1235	1164	1182
Productions programmées	F	22600	21400	23600	24400	24400	26200	22600	22400	22600
	G	38300	40400	39400	42300	45600	44900	45600	41200	41900
	H	29900	30000	30000	34500	33600	34600	33300	32000	32500

$22600 \times 0,005 =$

III-4.1 Ajustement par les stocks

Si l'on refuse, a priori, de remettre en cause le plan directeur de production, il faut transférer l'excédent de charge de 38 heures de travail du mois de mars 2001 à une période antérieure. Ce report de production implique la constitution d'un stock qu'il faudra bien financer d'une manière ou d'une autre. C'est pourquoi il est judicieux de retarder le plus possible cette constitution de stock (principe de fabrication au plus tard sans compromettre le PDP). Comme en février on observe un excédent de 53 heures, la totalité du transfert de charge de travail excédentaire de mars est réalisable en février (des cas plus complexes seront abordés avec l'ajustement « charge – capacité » de l'atelier d'usinage). Cette décision prise, il ne reste plus qu'à déterminer lequel des trois sous-ensembles *F*, *G* ou *H* fera l'objet de ce transfert d'activité.

Ce choix doit être cohérent avec la logique économique sous-jacente à la constitution la plus tardive possible d'encours : il faudra que l'anticipation des 38 heures de travail se traduise par la création d'un stock ayant la plus faible valeur possible, parce que l'on fait l'hypothèse que la possession de cet encours a un coût de détention proportionnel à sa valeur (on reviendra sur l'explicitation de ce raisonnement en page 487). Il faut donc calculer le coût de revient des produits fabriqués et de leurs composants, ce que l'on fera à partir des informations du tableau 110 (page 477), en partant des composants les plus élémentaires (niveau de nomenclature le plus élevé) pour terminer par les produits finis (niveau 0 de la nomenclature), puisqu'il n'est pas possible de calculer le coût d'un ensemble sans connaître celui de ses constituants.

Prenons, par exemple, le cas du composant V. Ce composant utilise 0,50 \$ de matières premières et son usinage nécessite 0,005 heure à 150 \$; son coût de revient unitaire est donc $0,5 + 0,005 \times 150 = 1,25$ \$. On établit de même que les composants W et Y (X étant acheté à l'extérieur) coûtent respectivement 2,25 \$ et 2,50 \$:

- coût unitaire de V: $0,5 + 0,005 \times 150 = 1,25$ \$
- coût unitaire de W: $0,75 + 0,010 \times 150 = 2,25$ \$
- coût unitaire de X: acheté à 2 \$
- coût unitaire de Y: $1 + 0,010 \times 150 = 2,50$ \$

Il est alors possible de calculer les coûts de revient unitaires du niveau 1. Par exemple, le sous-ensemble F utilise 1 \$ de matières premières, 0,005 heure de l'atelier d'assemblage (coût horaire : 100 \$), une unité du composant V (à 1,25 \$), une unité du composant W (à 2,25 \$) et deux unités du composant X (à 2 \$) ; il s'ensuit que le coût de revient unitaire de F s'élève à 9 \$. On calcule de même pour G et H, des coûts de revient unitaires respectivement égaux à 9,25 \$ et 11 \$:

- coût unitaire de F: $1 + 0,005 \times 100 + (1 \times 1,25 + 1 \times 2,25 + 2 \times 2 + 0 \times 2,5) = 9$ \$
- coût unitaire de G: $2 + 0,010 \times 100 + (0 \times 1,25 + 1 \times 2,25 + 2 \times 2 + 0 \times 2,5) = 9,25$ \$
- coût unitaire de H: $1 + 0,020 \times 100 + (1 \times 1,25 + 1 \times 2,25 + 1 \times 2 + 1 \times 2,5) = 11$ \$

Un calcul similaire (mais sans objet ici) pour les références du niveau 0 donne: 25,05 \$ pour A, 36,15 \$ pour B et 28,05 \$ pour C.

Ensuite, il faut calculer, à partir des gammes, les productions horaires en volume puis en valeur, pour chaque référence. S'il faut 0,005 heure pour assembler un sous-ensemble F, c'est que l'on produit $1/0,005 = 200$ sous-ensembles F à l'heure. La valeur de cette production horaire est donc $9 \times 200 = 1800$ \$. Un calcul similaire pour les sous-ensembles G et H conduit à des valeurs de 925 \$ et 550 \$:

- valeur de la production horaire de F: $9 \times (1/0,005) = 1800$ \$
- valeur de la production horaire de G: $9,25 \times (1/0,010) = 925$ \$
- valeur de la production horaire de H: $11 \times (1/0,020) = 550$ \$

En définitive, bien qu'ayant le coût de revient unitaire le plus élevé, le sous-ensemble H est la référence la plus économique à stocker.

Les 38 heures de production de H que l'on anticipe correspondent à $38/0,02 = 1900$ unités, le temps opératoire unitaire de H étant de 0,02 heure. Il convient dès lors de retrancher 1900 à la production initialement décidée (35500) pour mars 2001 (ce qui donne une production programmée de 33600) et d'ajouter cette même valeur à la production initialement décidée (32600) pour février 2001 (ce qui donne une production programmée de 34500). À l'issue de cet ajustement, on obtient la programmation définitive des références du niveau, données dans les dernières lignes du [tableau 115 de la page 482](#).

La programmation définitive du niveau 1 étant fixée, il est alors possible de poursuivre le processus d'éclatement des nomenclatures en s'attaquant maintenant au niveau 2 (voir [tableau 116](#)). Sur le plan méthodologique, il n'y a rien de nouveau par rapport à ce qui vient d'être vu, la seule remarque complémentaire à faire concerne la procédure d'ajustement «charge – capacité».



TABLEAU 116
Lancement du niveau « usinage » – à capacité infinie

			PÉRIODES									
			Octobre 2000	Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001	Juin 2001	Juillet 2001
Référence V	Besoins Bruts venant de	F		22600	21400	23600	24400	24400	26200	22600	22400	22600
		H		29900	30000	30000	34500	33600	34600	33300	32000	32500
		PDP		4000	3500	3800	3100	3600	3600	3500	3400	3500
		Σ		56500	54900	57400	62000	61600	64400	59400	57800	58600
	Livraisons attendues			56600	55500	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock		500	600	1200	-56200	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées			0	0	56200	62000	61600	64400	59400	57800	58600
	Lancements			56200	62000	61600	64400	59400	57800	58600		
Référence W	Besoins Bruts venant de	F		22600	21400	23600	24400	24400	26200	22600	22400	22600
		G		38300	40400	39400	42300	45600	44900	45600	41200	41900
		H		29900	30000	30000	34500	33600	34600	33300	32000	32500
		PDP		700	1000	1100	900	1100	1300	1000	1000	1000
		Σ		91500	92800	94100	102100	104700	107000	102500	96600	98000
	Livraisons attendues			91200	0	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock		500	200	-92600	...	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées			0	92600	94100	102100	104700	107000	102500	96600	98000
Référence X	Besoins Bruts venant de	F		45200	42800	47200	48800	48800	52400	45200	44800	45200
		G		76600	80800	78800	84600	91200	89800	91200	82400	83800
		H		29900	30000	30000	34500	33600	34600	33300	32000	32500
		PDP		3000	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
		Σ		154700	156100	158500	170400	176100	179300	172200	161700	164000
	Livraisons attendues			154000	0	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock		1000	300	-155800	...	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées			0	155800	158500	170400	176100	179300	172200	161700	164000
Référence Y	Besoins Bruts venant de	H		29900	30000	30000	34500	33600	34600	33300	32000	32500
		PDP		1600	1700	1100	1500	1500	1500	1500	1500	1500
		Σ		31500	31700	31100	36000	35100	36100	34800	33500	34000
	Livraisons attendues			31800	0	0	0	0	0	0	0	0
	Position de stock		300	600	-31100	...	...	...	...	...	...	...
	Besoins Nets = Livraisons programmées			0	31100	31100	36000	35100	36100	34800	33500	34000
	Lancements			31100	31100	36000	35100	36100	34800	33500	34000	

Table des
matièresIndex
thématique

En effet, au niveau de l'atelier d'usinage, des dépassements sont enregistrés sur deux mois consécutifs (voir [tableau 117](#)), à savoir les mois de mars (78 heures) et février (70 heures).

La démarche à suivre est de *type rétrograde*, dans la mesure où l'on s'attaque d'abord aux problèmes des périodes les plus éloignées pour, progressivement, revenir sur les périodes les plus proches. Cette démarche se justifie par le lissage

TABLEAU 117
Ajustement « charge – capacité » de l'atelier d'usinage

		PÉRIODES						
		Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001
Heures d'assemblage intermédiaire demandées	V	281	310	308	322	297	289	293
	W	926	941	1021	1047	1070	1025	966
	Y	311	311	360	351	361	348	335
	Σ	1518	1562	1689	1720	1728	1662	1594
Heures disponibles		1630	1600	1700	1650	1650	1700	1600
Dépassement initial		0	0	0	70	78	0	0
Excédent initial		112	38	11	0	0	38	6
Cumul d'heures à reporter C_t		0 ^a	99 ^b	137 ^b	148 ^b	78	0	0
Variation Δ_t d'heures de la période ^c		+ 99	+ 38	+ 11	- 70	- 78	0	0
Heures programmées ^d		1617	1600	1700	1650	1650	1662	1594
Excédent final		13	0	0	0	0	38	6
Productions programmées	V	56200	62000	61600	64400	59400	57800	58600
	W	102500 ^e	97900	103200	97700	99200	102500	96600
	Y	31100	31100	36000	35100	36100	34800	33500

a. 0 parce que $112 > 99$, ce qui conduit à un excédent final de 13 pour cette période.

b. $99 = 137 - 38$; $137 = 148 - 11$; $148 = 78 + 70$.

c. $\Delta_t = C_{t+1} - C_t$, sauf pour la dernière période: $99 = 99 - 0$; $38 = 137 - 99$; $11 = 148 - 137$; $-70 = 78 - 148$; $-78 = 0 - 78$; $0 = 0 - 0$; pour la dernière période, la variation est nulle en cas d'excédent initial et, dans le cas contraire, égale au dépassement initial.

d. «Heures programmées de période t » = «Heures demandées de période t » + Δ_t : $1617 = 1518 + 99$; $1600 = 1562 + 38$, $1700 = 1689 + 11$; ... ; autre méthode de calcul: «Heures programmées de période t » = «Heures disponibles de période t » - «Excédent final».

e. $102500 = 92600 + 99 / 0,01$; $97900 = 94100 + 38 / 0,01$; etc.

de la charge qui provoque un transfert des dépassements sur les périodes antérieures, comme nous l'avons déjà vu.

- En février 2001, le cumul des reports s'élève à $70 + 78 = 148$ heures.
- En janvier 2001, on dispose d'un excédent de 11 heures, ce qui ramène le report cumulé à $148 - 11 = 137$ heures.
- En décembre 2000, l'excédent initial d'heures s'élève à 38 heures qui permettent de diminuer d'autant le report cumulé qui tombe à $137 - 38 = 99$ heures.
- Enfin l'excédent de 112 heures initialement enregistré pour novembre 2000 sera utilisé à concurrence de 99 heures pour résorber le reliquat de charge et il restera 13 heures inutilisées en novembre 2000.

L'ajustement par une anticipation de la production étant possible, il ne reste plus qu'à décider de la référence pour laquelle le transfert de production doit être opéré. Le calcul des valeurs de productions horaires de V, W et Y donne:

- valeur de la production horaire de V: $1,25 \times (1/0,005) = 250$ \$
- valeur de la production horaire de W: $2,25 \times (1/0,010) = 225$ \$
- valeur de la production horaire de Y: $2,50 \times (1/0,010) = 250$ \$

ce qui conduit à classer dans l'ordre W puis V et Y (les ex-aequo étant départagés arbitrairement). Comme au niveau de l'assemblage intermédiaire, il ne sera nécessaire, ici, de faire appel qu'à une seule référence (ici W) pour ajuster l'offre et la demande. On ne peut éviter de faire appel à plusieurs références lorsque, pour une période quelconque, la diminution désirée de la production de la référence retenue est supérieure au lancement initialement calculé; il convient alors dans ce cas de compléter le transfert en prélevant dans le lancement initialement calculé de la référence classée en deuxième position (et de poursuivre ce raisonnement sur les références suivantes, si cela ne suffit pas). Dans notre exemple, il faut modifier ainsi la production de l'atelier d'usinage et donc la production de W :

- en mars 2001 : 0 (report cumulé d'avril) – 78 heures (report cumulé de mars), soit une diminution de 7800 unités de W et une programmation finale de $107000 - 7800 = 99200$ unités de W en mars 2001 ;
- en février 2001 : 78 heures (report cumulé de mars) – 148 heures (report cumulé de février égal à $78 + 70 = 148$ heures), soit une diminution de 70 heures et une programmation finale de $104700 - 7000 = 97700$ unités de W en février 2001 ;
- en janvier 2001 : 148 heures (report cumulé de février) – 137 heures (report cumulé de janvier: $148 - 11 = 137$ heures), soit une augmentation de la production de W de 1100 unités, d'où une programmation finale de $102100 + 1100 = 103200$ unités de W en janvier 2001 ;
- en décembre 2000 : on obtient une augmentation de $(137 - 99 =) 38$ heures et donc 3800 unités de W et en novembre une augmentation de 99 heures correspondant à une augmentation de production de 9900 unités de W et une programmation finale de $92600 + 9900 = 102500$.

On peut pousser l'analyse économique de la solution retenue en calculant, dans le [tableau 118 de la page 487](#), la position prévisionnelle de stock de la référence W ainsi que la valeur de l'encours qui en résulte. Si l'on suppose que le coût de possession mensuel unitaire d'une référence se calcule¹ comme 1 % de son coût de revient, le coût de possession des encours se calcule comme étant 1 % du montant de l'encours mensuel (dernière ligne du [tableau 118](#)), ce qui conduit à un coût total de l'ajustement réalisé s'élevant à 1055,25 dollars liduriens.

III-4.2 Ajustement par adaptation de la capacité

Cet ajustement par les stocks qui a été privilégié n'est pas le seul possible. Une modulation des capacités peut être envisagée par transfert de personnel entre unités productives (si les centres de production sont «sur-capacitaires» en équipements) ou par un appel à des heures supplémentaires ou à une sous-traitance. Là encore, un raisonnement économique s'impose. Dans notre exemple, la valeur de la production horaire de W s'élevant à 225, le coût de possession mensuel d'une heure de production sur cette référence s'élève à 2,25 \$. Si le coût de l'heure supplémentaire s'élève à 180 \$², il devient plus intéressant de décaisser une heure supplémentaire que d'anticiper une heure de production sur plus de 80 mois (point mort à $180 / 2,25 = 80$ mois), ce qui fait, dans cet exemple, que l'appel aux heures supplémentaires est exclu économiquement.

1. Pour une discussion approfondie de ce coût, voir le [chapitre X, § II-2.2.3.1, page 655](#).

TABLEAU 118
Évolution prévisionnelle de la position de stock de W et coût de possession des stocks

	PÉRIODES								
	Octobre 2000	Novembre 2000	Décembre 2000	Janvier 2001	Février 2001	Mars 2001	Avril 2001	Mai 2001	Juin 2001
Besoins Bruts de W		91 500	92 800	94 100	102 100	104 700	107 000	102 500	96 600
Livraisons attendues de W (cf. tableau 116)		91 200							
Livraisons programmées de W (cf. tableau 118)			102 500	97 900	103 200	97 700	99 200	102 500	96 600
Position de stock de W (fin de période)	500	200	9 900	13 700	14 800	7 800	0	0	0
Valeur du stock (de fin de période)	1 125	450	222 75	308 25	333 00	175 50	0	0	0
Coût de possession (de la période)	11,25	4,50	222,75	308,25	333,00	175,50	0	0	0

III-4.3 Remarques

Les possibilités d'ajustement par les stocks peuvent être contraintes par les capacités de stockage. Dans ce cas, le raisonnement économique doit être adapté : la référence jugée, dans l'absolu, comme la plus intéressante peut être aussi l'une de celles qui a le plus fort encombrement unitaire. Dans ces conditions, on est amené à lui préférer, au moins partiellement, une référence moins volumineuse permettant de satisfaire la contrainte (au prix d'une valeur d'encours créé plus élevée). Prenons l'exemple (voir [tableau 119, page 488](#)) d'un ajustement «charge - capacité» conduisant, sans tenir compte d'une contrainte de stockage de 108 unités, à reporter 20 heures de travail sur le produit P_3 . Le volume de production de P_3 correspondant à 120 unités de stockage, cette solution n'est pas réalisable.

On se rend compte alors ($a_i \frac{20}{t_i}$) que si l'ajustement s'effectue en totalité sur la référence P_1 ou la référence P_2 (ce qui correspond au volume de production à transférer $20/t_i$), la contrainte de capacité est non seulement respectée mais il reste même un reliquat de 8 unités de stockage, si l'ajustement est effectué sur P_2 et 28, si l'ajustement est effectué sur P_1 . Dans ces conditions, il est évident que la solution optimale panachera une production de P_3 avec une production de la référence P_1 ou la référence P_2 , tout en cherchant à saturer les contraintes d'heures à reporter et de stockage. Pour savoir si l'attention doit se porter sur la référence P_1

2. *Note de la page précédente.* Si ce standard intègre un amortissement de l'équipement et un forfait de dépenses annexes (énergie...). Il convient alors de n'intégrer que le coût direct de main-d'œuvre qui, seul, correspond à un supplément de charges effectif. Par ailleurs, dans la mesure où il existe des possibilités d'anticipation de la production «en heures normales», permettant d'ajuster la charge à la capacité sans dépense supplémentaire de personnel, le raisonnement économique doit s'appuyer sur le coût de l'heure supplémentaire et non sur la différence entre le coût de l'heure supplémentaire et celui de l'heure normale. En effet, dans ces conditions, l'appel à des heures supplémentaires conduit à accroître les charges du compte de résultats d'un montant égal au coût des heures supplémentaires et non à l'accroissement de coût.

ou la référence P_2 , il suffit de constater qu'à une unité de P_3 se substitue dans le stock :

- soit $1,2 / 0,8 = 1,5$ unité de P_2 , correspondant à $0,16 \times 1,5 = 0,24$ heure de travail (en échange de 0,2 heure effectuée sur P_3), ce qui correspond à une valeur d'encours de $0,24 \times 937,5 = 225$;
- soit $1,2 / 0,5 = 2,4$ unités de P_1 , correspondant à $0,125 \times 2,4 = 0,3$ heure de travail, ce qui correspond à une valeur d'encours de $0,3 \times 960 = 288$.

Il est donc plus intéressant de travailler sur la référence P_2 . Dans la mesure où la référence P_2 peut, à elle seule, satisfaire les deux contraintes (contrairement à P_3), la solution optimale est obtenue en résolvant le système des 2 équations à 2 inconnues correspondant aux contraintes¹, ce qui donne ici : 40 unités de P_3 et 75 unités de P_2 . La valeur d'encours créée s'élève alors à 16450, contre 13000 en l'absence de contrainte de stockage.

TABLEAU 119
Ajustement charge - capacité avec contraintes de stockage

Référence i	Temps opératoire t_i	Coût unitaire	Valeur de la production horaire	Encombrement unitaire a_i^a	$a_i \frac{20}{t_i}$
P_1	0,125	120	960,0	0,5	80
P_2	0,160	150	937,5	0,8	100
P_3	0,200	130	650,0	1,2	120

a. exprimé en unité moyenne de stockage.

Il peut ne pas être possible d'ajuster la charge découlant de l'application du *PDP* et la capacité disponible par la constitution de stocks (ce qui était le cas dans notre exemple). Si la technique de lotissement retenue n'est pas du type «lot pour lot», on cherchera tout d'abord à diminuer la taille des lots, sans provoquer de ruptures de stock. Ensuite, et ce quelle que soit la technique de lotissement retenue, on cherchera à faire varier le niveau des ressources «critiques» : transfert sur les postes critiques de ressources affectées initialement à des postes non critiques, appel aux heures complémentaires, appel au personnel intérimaire, appel à la sous-traitance.

Si ces diverses solutions de lissage ne suffisent pas (ou ne sont pas possibles), on devra différer la demande excédentaire. L'appel aux techniques de traçage, évoquées au § II-6, page 469, permet de faciliter les arbitrages. Dans ce cadre, on jouera d'abord sur la partie du plan directeur de production correspondant à la satisfaction d'une demande de pièces détachées. Si ce type de problème se pose trop souvent, il y a intérêt à adapter les capacités (appel au travail posté en deux ou trois équipes pour les centres de production critiques, investissements nouveaux, etc.) ou à chercher à ajuster la demande (notamment par les prix si cela est possible).

1. $0,16x_2 + 0,2x_3 = 20$ et $0,8x_2 + 1,2x_3 = 108$. En réalité on est en présence d'une simplification du problème d'optimisation suivant : $Min(120x_1 + 150x_2 + 130x_3)$, sous contraintes : $0,125x_1 + 0,16x_2 + 0,2x_3 \geq 20$ et $0,5x_1 + 0,8x_2 + 1,2x_3 \leq 108$, qui relève de la programmation linéaire qui sera présentée au chapitre XVI.

Il n'est peut-être pas inutile de faire remarquer que plusieurs de ces procédures d'ajustement entre les charges et les capacités disponibles peuvent être utilisées pour opérer le même type d'arbitrage à un niveau plus agrégé (plan à long terme, par exemple), en utilisant des regroupements de produits (macro-nomenclatures) et de ressources (macro-gammes), ainsi qu'un découpage temporel différent¹. Certains outils, comme l'*algorithme de Land* (qui sera présenté au [chapitre VIII](#), § II-3.1, page 576 et qui est d'une programmation et d'une utilisation particulièrement aisée), sont utilisables pour effectuer un premier arbitrage « grossier » entre charge et capacité dans la définition du Plan Directeur de Production ; pour une formulation plus complexe du problème, faisant notamment intervenir des embauches ou des licenciements du personnel, il faut faire appel à des formulations de programmation linéaire du type de celles qui seront présentées au [chapitre VIII](#).

SECTION IV REMARQUES COMPLÉMENTAIRES

Après avoir présenté quelques compléments techniques (§ IV-1), on examinera trois types de remarques pouvant être faites sur l'usage de ce type d'approche. Tout d'abord (§ IV-2, page 494) se pose le problème de la fréquence et de l'utilisation dynamique de la MRP, dans le cadre d'un processus de planification glissante. Ensuite (§ IV-3, page 496) se pose le problème des liens qui existent entre le programme de fabrication proposé par la MRP et l'ordonnancement. Enfin (§ IV-4, page 496), se pose le problème de la possibilité d'amélioration de cette démarche, notamment en cherchant à utiliser les apports de la recherche opérationnelle et des techniques de hiérarchisation.

Table des
matières

IV-1 Améliorations des techniques de base de la MRP

On verra successivement la prise en compte de l'incertitude par le biais de stocks de sécurité dans la MRP (§ IV-1.1) et les règles de lotissement utilisables et proposées par les principaux logiciels (§ IV-1.2, page 491).

Index
thématique

IV-1.1 Introduction d'un stock de sécurité

La MRP se situe volontairement en univers certain. Cette hypothèse de travail est irréaliste. La prise en compte de variations possibles de délais d'obtention peut se contrer par le biais de délai de sécurité, comme on l'a déjà évoqué [page 468](#). La prise en compte de variations possible des besoins bruts peut s'effectuer par le biais d'un stock de sécurité, assez facilement calculable si l'on travaille avec la technique du « lot pour lot » (voir [page 491](#)) car il y a alors coïncidence entre livraisons programmées et besoins nets.

Reprenons l'exemple des besoins bruts du [tableau 104 \(page 471\)](#), et supposons maintenant que l'on veut travailler avec un stock de sécurité de 20 % des besoins bruts de la période, ce qui revient à dire que la position de stock de fin de période doit être égale à 20 % des besoins bruts de la période puisqu'il s'agit de se prémunir avec ce stock résiduel, d'éventuelles variations des besoins bruts². Cette

1. Voir en particulier les chapitres IV et VI de Vollmann, Berry et Whybark (1997, [433]).

2. Une technique, souvent utilisée, consiste à définir le stock de sécurité à un niveau « moyen » constant (et donc indépendant des besoins bruts). La simplification de traitement numérique que cette technique implique a pour contrepartie une couverture du risque variable d'une période à l'autre.

valeur est portée sur la ligne SS_t du **tableau 120**.

L'erreur à ne pas commettre est d'ajouter ce stock de sécurité aux besoins bruts car il est évident que ces stocks de sécurité se cumuleront dans la position de stock, si l'on se situe en univers certain.

- Partons de la position de stock de 12 unités à la fin de la 15^e période et de livraisons de 22 au début de la période 16, le disponible s'élève $12 + 22 = 34$ et, les besoins bruts étant de 30, le stock de fin de période observable (en univers certain) est alors de 4 unités ($= 12 + 22 - 30$), valeur inférieure aux 6 unités souhaitées (20% de 30); la protection est trop faible mais il est trop tard car elle résulte d'une décision prise en période 13.
- À l'inverse, le stock observable (en univers certain) à la fin de la 17^e période est de 7 unités ($= 4 + 13 - 10$), valeur supérieure aux 2 unités souhaitées (20% de 10) mais là encore il est trop tard pour réagir puisqu'il s'agit de la livraison d'un lot lancé en production au cours de la période 14.
- La position de stock que l'on veut atteindre à la fin de la 18^e période est égale à 4; elle est égale à la position de stock de la fin de la 17^e période, augmentée de la livraison attendue (par définition égale aux besoins nets BN_{18} de la période) qui sera effectuée en début de période et diminuée des besoins bruts BB_{18} de la période 18. On peut écrire: $PS_{t-1} + BN_t - BB_t = PS_t$, d'où l'on tire $BN_t = BB_t + PS_t - PS_{t-1}$, où l'on remplace PS_t par la valeur que l'on désire assigner à la position de stock de fin de période ($PS_t = SS_t$). Bien évidemment, BN_t ne peut pas prendre de valeur négative et prendra donc la valeur 0 si $BB_t + SS_t < PS_{t-1}$ (la position de stock à la fin de la période t devenant $PS_{t-1} - BB_t$).

TABLEAU 120

Introduction des stocks de sécurité dans le calcul des besoins nets (E-2010)

Période t	15	16	17	18	19	20	21	22
Besoins Bruts BB_t	-	30	10	20	26	14	20	15
Livraisons attendues Q_t	-	22	13	0	0	0	0	0
Position de Stock PS_t (hors stock de sécurité et livraisons programmées)	12	$12 + 22 - 30 = 4^a$	$4 + 13 - 10 = 7^b$	$7 + 0 - 20 = -13$	$-13 + 0 - 26 = -39$	...	...	...
Stock de Sécurité SS_t	-	$30 \times 0,2 = 6$	$10 \times 0,2 = 2$	$20 \times 0,2 = 4$	$26 \times 0,2 \cong 5$	$14 \times 0,2 \cong 3$	$20 \times 0,2 = 4$	$15 \times 0,2 = 3$
Besoins Nets BN_t (= livraisons programmées)	-	0 (car $Q_t > 0$)	0 (car $Q_t > 0$)	$20 + 4 - 7 = 17$	$26 + 5 - 4 = 27$	$14 + 3 - 5 = 12$	$20 + 4 - 3 = 21$	$15 + 3 - 4 = 14$

a. $PS_{16} < SS_{16} \Rightarrow$ Protection insuffisante mais il est trop tard.

b. $PS_{17} > SS_{17} \Rightarrow$ Protection suffisante.

Pour résumer, trois situations sont possibles dans le cas du «lot pour lot» et sont résumées dans les relations 75:



- **Situation I**: $Q_t > 0$: livraison attendue \Rightarrow il est trop tard
- **Situation II**: $Q_t = 0 \Rightarrow$ on passe à livraison programmée ($= BN_t$ car «lot pour lot»)
2 cas de figure:
 - $BB_t + SS_t > PS_{t-1} \Rightarrow BN_t = BB_t + SS_t - PS_{t-1}$ et $PS_t = SS_t$
 - $BB_t + SS_t \leq PS_{t-1} \Rightarrow BN_t = 0$ et $PS_t = PS_{t-1} - BB_t$

relations 75

En cas d'utilisation d'autres techniques que celle du «lot pour lot», il convient d'adapter la démarche précédente, ce que l'on fera en [page 492](#).

IV-1.2 Présentation des règles de lotissement utilisables

La détermination de la quantité à livrer pour satisfaire les besoins d'une ou plusieurs périodes, devrait normalement reposer sur un arbitrage entre des coûts de lancement et de possession, mais il n'en est pas toujours ainsi. Les logiciels disponibles offrent jusqu'à une dizaine de règles de calcul des lots, parmi lesquelles on peut noter.

- La **technique du «lot pour lot»** consiste à programmer pour chaque période une quantité couvrant exactement les besoins nets. Cette technique est judicieuse si le coût de lancement est relativement faible par rapport au coût de possession. Dans cette appréciation, le découpage temporel retenu joue un rôle important, ce qui fait que cette technique peut s'avérer judicieuse pour une période de 15 jours ouvrables et ne pas l'être pour un découpage par périodes de 5 jours.
- La **quantité fixe de commande**, qui est déterminée de façon exogène ou par le calcul (quantité économique de Wilson, présentée en détail au [chapitre XII, page 771](#)), est à déconseiller parce que l'hypothèse de régularité de la demande n'est pas respectée (cf. [§ I-2, page 459](#)) et que cette quantité conduit à un stockage inutile sur la dernière période de consommation, dès lors que le reliquat disponible ne suffit pas à couvrir les besoins de la période (ce qu'illustre l'exemple du [tableau 121](#), qui reprend les données du [tableau 106 de la page 473](#)).

TABLEAU 121

Incidence de l'usage d'une quantité fixe de commande

t	18	19	20	21	22
BN_t	13	26	14	20	15
Q_t	50	0	50	0	0
PS_t	37	11	47	27	12

Stock inutile car en $t = 20$: obligation de réapprovisionnement

- La quantité couvrant les besoins nets de la période considérée ainsi que d'un nombre fixe de périodes à venir constitue une solution qui peut être judicieuse si la demande n'est pas trop irrégulière et si ce nombre de périodes est bien choisi. Les approches suivantes visent à déterminer rationnellement ce nombre de périodes (lequel peut varier selon l'approche retenue).
- La **quantité économique périodique** combine les deux approches précédentes en proposant l'utilisation du nombre fixe de périodes correspondant à

celui séparant approximativement deux commandes consécutives dans le modèle de Wilson.

- L'application de l'**algorithme de Wagner et Whitin**, présenté au **chapitre VIII, § II-4.1, page 582**, requiert un temps de calcul plus important que celui des autres méthodes présentées ici.
- La quantité découlant de l'application de l'**heuristique de Silver et Meal** (1973, [386]) cherche la valeur n qui minimise le quotient de la somme du coût de lancement et de possession sur les n périodes de consommation de la quantité livrée, par le nombre n de périodes. Cette heuristique fournit des résultats presque aussi bons que ceux obtenus avec l'algorithme précédent, mais au prix de calculs nettement moins importants. Illustrons rapidement l'application de cette heuristique à partir d'un coût de commande de 100 € et d'un coût de possession de 2 € par unité et par période. L'approvisionnement proposé consiste à livrer, au début de la période $t = 18$, une quantité $Q_{18} = 53$, qui couvre les besoins des périodes 18, 19 et 20. On s'intéressera ensuite à la livraison Q_{21} à effectuer en début de période 21, en réitérant la démarche.

TABLEAU 122

Application de l'algorithme du coût moyen minimal par période et de celui du coût moyen unitaire minimal (sans stock de sécurité)

Solutions possibles de livraison en début de période $t = 18$	Coût moyen par période minimal (Silver & Meal)	Coût moyen unitaire minimal
$Q_{18} = 13 \Rightarrow C_{18} = 100$	$100/1 = 100$	$100/13 = 7,69$
$Q_{18} = 13 + 26 = 39 \Rightarrow C_{18} = 100 + 26 \times 2 \times 1 = 152$	$152/2 = 76$	$152/39 = 3,90$
$Q_{18} = 39 + 14 = 53 \Rightarrow C_{18} = 152 + 14 \times 2 \times 2 = 208$	$208/3 = 69,3$	$208/53 = 3,92$
$Q_{18} = 53 + 20 = 73 \Rightarrow C_{18} = 208 + 20 \times 2 \times 3 = 328$	$328/4 = 82$	$328/73 = 4,49$

Table des matières

Index thématique

- La quantité résultant d'un calcul de **minimisation de coût unitaire** suit une logique similaire à celle de Silver et Meal mais en retenant la quantité livrée comme dénominateur (voir dernière colonne du **tableau 122**).
- La quantité conduisant à une valeur sensiblement identique du coût de lancement et du coût total de possession associés au lot livré (ce qui donne ici $Q_{18} = 53$, le coût de possession étant alors de 108 et donc approximativement égal au coût de lancement).

L'existence d'un stock de sécurité conduit à une adaptation de ces algorithmes. On suppose maintenant que le stock de sécurité souhaité s'élève à 20 % des besoins bruts, que les besoins bruts de la période 18 sont de 43 (ce qui diffère de l'exemple initial) et que la position de stock en fin de période 17 est de 30 (ce qui conduit aux mêmes besoins nets pour la période 18).

- Le stock de sécurité désiré pour la période 19 est alors de $43 \times 0,2 = 9$, ce qui conduit à une première possibilité consistant à livrer $Q_{18} = 13 + 9 = 22$, pour un coût de 100, augmenté du coût de détention du stock de sécurité, par hypothèse inutilisé, ce qui donne $100 + 9 \times 2 \times 1 = 118$.

- La deuxième possibilité conduit à satisfaire les besoins nets des périodes 18 et 19 (39) en y ajoutant un stock de sécurité. Plusieurs définitions peuvent être retenues pour ce stock de sécurité; on considérera ici que le stock de sécurité est calculé sur le cumul des besoins bruts (ici 43 + 26), ce qui conduit à un stock de sécurité de 14, une quantité commandée de (39 + 14 = 53) et le coût de 152, précédemment trouvé (tableau 122), doit être augmenté du coût du stock de sécurité détenu (14) pendant 2 mois (14 x 2 x 2), ce qui donne 208.
- La troisième possibilité à étudier porte sur une quantité commandée correspondant à la somme des besoins nets des 3 premières périodes (53) et du stock de sécurité calculé sur le cumul des besoins bruts de ces trois périodes (17). Le coût de 208, précédemment trouvé (tableau 122), doit être augmenté du coût du stock de sécurité détenu (17) pendant 3 mois (17 x 2 x 3), ce qui donne 310.
- La quatrième possibilité à étudier porte sur une quantité commandée correspondant à la somme des besoins nets des 4 premières périodes (73) et du stock de sécurité calculé sur le cumul des besoins bruts de ces trois périodes (21). Le coût de 328, précédemment trouvé (tableau 122) doit être augmenté du coût du stock de sécurité détenu (21) pendant 4 mois (21 x 2 x 4), ce qui donne 496.

Avec la méthode de Silver et Meal, l'approvisionnement proposé consiste à livrer au début de la période $t = 18$, une quantité $Q_{18} = 70$, qui couvre les besoins des périodes 18, 19 et 20. Avec la méthode du coût moyen unitaire minimal, l'approvisionnement proposé consiste à livrer, au début de la période $t = 18$, une quantité $Q_{18} = 53$, qui couvre les besoins des périodes 18 et 19.

TABLEAU 123

Application de l'algorithme du coût moyen minimal par période et de celui du coût moyen unitaire minimal (avec stock de sécurité)

Solutions possibles de livraison en début de période $t = 18$	Coût moyen par période minimal (Silver & Meal)	Coût moyen unitaire minimal
$Q_{18} = 13 + 9 = 22 \Rightarrow C_{18} = 100 + 9 \times 2 \times 1 = 118$	$118/1 = 118$	$118/22 = 5,36$
$Q_{18} = 39 + 14 = 53 \Rightarrow C_{18} = 152 + 14 \times 2 \times 2 = 208$	$208/2 = 104$	$208/53 = 3,92$
$Q_{18} = 53 + 17 = 70 \Rightarrow C_{18} = 208 + 17 \times 2 \times 3 = 310$	$310/3 = 103,3$	$310/70 = 4,43$
$Q_{18} = 73 + 21 = 94 \Rightarrow C_{18} = 328 + 21 \times 2 \times 4 = 496$	$454/4 = 113,5$	$454/94 = 4,83$

Ces techniques doivent être adaptées lorsque l'approvisionnement s'effectue avec des rabais sur quantités¹. L'obtention de la solution optimale implique un appel à la programmation linéaire si l'on cherche à traiter le cas général avec coût de lancement et rabais (voir chapitre VIII, § II-2, page 567). On peut toutefois traiter ce problème avec une efficacité suffisante en adaptant l'heuristique du coût moyen par période ou du coût moyen unitaire, en y intégrant la dépense d'acquisition.

1. Les rabais sur quantité sont présentés au chapitre XII, page 787.



Deux remarques peuvent être faites sur ces diverses techniques.

- La seule méthode optimale disponible est celle de l'algorithme de Wagner & Whitin, mais le problème à optimiser est celui du lancement en production sur un poste de travail, d'une référence unique, indépendamment des autres références utilisant ce même poste de travail et sans prise en considération ni des conséquences de la politique suivie sur les autres postes de travail (et, plus particulièrement, sur ceux sur lesquels seront produits les composants nécessaires au lancement du produit considéré), ni d'éventuelles contraintes de capacité. On ne dispose pas aujourd'hui de méthodes optimales de calcul de ces quantités pour traiter des problèmes réalistes dans une optique multi-échelons, multi-étages, avec capacités limitées (voir § IV-5, page 497).
- Il est bien rare qu'au départ le responsable, à qui ce travail de définition de la taille des lots à lancer en production est confié, ait une vision claire des problèmes posés, or la performance du système est étroitement fonction des choix opérés en la matière. On peut ajouter que le raisonnement qui consiste à transposer sans précaution des règles qui semblent avoir fait leurs preuves dans d'autres entreprises est dangereux, les caractéristiques du problème posé ayant de fortes chances d'être différentes.

IV-2 Utilisation périodique de la MRP – planification glissante –

La MRP peut être mise en œuvre sous deux modes d'utilisation. Une application périodique, toutes les semaines par exemple¹, des principes développés précédemment, sur l'intégralité des données d'un plan directeur de production (plan glissant portant sur plusieurs semaines) conduit à une **régénération périodique** du programme de production (ce traitement informatique dure généralement entre 20 et 30 heures, ce qui limite la réactivité de cette approche).

Illustrons cet usage de la **planification glissante** en nous appuyant sur un exemple simple utilisant les stocks de sécurité. Supposons que l'on s'intéresse à la référence X, pour laquelle un stock de sécurité de 10 % des besoins bruts est demandé, et que la règle du «lot pour lot» soit utilisée dans la définition du lotissement et que la référence soit fabriquée dans un atelier à capacité largement excédentaire (il n'y a donc pas de problème d'ajustement charge – capacité). Les données du PDP, de la livraison attendue en début de période 13 et de la position de stock en fin de période 12, sont données dans le **tableau 124**, qui est créé à la fin de la période 12, et dans lequel tous les calculs aboutissant aux lancements programmés sont effectués. Seul le lancement concernant la période 13 est exécuté, les lancements suivants étant virtuels.

Supposons maintenant que 40 pièces de la livraison de 700 unités (effectuée comme prévu en début de semaine 13) se sont avérées défectueuses, ce qui a obligé à entamer le stock de sécurité et qu'en outre les besoins bruts calculés pour la semaine 17 (connus seulement en fin de période 13) s'élèvent à 950 (le PDP restant toujours sur 4 périodes, dans cet exemple). Dans ces conditions :

- la position de stock en fin de semaine 13 s'élève à $70 - 40 = 30$ (au lieu de 70);

1. Cette périodicité doit être cohérente avec le découpage temporel du PDP (voir page 462).

TABLEAU 124
Données de MRP établi à la fin de la semaine 12

Semaine	12	13	14	15	16
Besoins Bruts de X pour la période		780	960	660	1060
Position de stock désirée pour X en fin de période		78	96	66	106
Livraison attendue pour X en début de période		700	0	0	0
Position de stock prévue pour X en fin de période	150	70	96	66	106
Besoins Nets de X pour la période = Livraison programmée pour X en début de période		0	986	630	1 100
Lancements programmés X en début de période		986	630	1 100	

- la position de stock prévisionnelle en fin de semaine 14 devient $30 + 986 - 960 = 56$ (au lieu de 96);
- les besoins nets de la semaine 15 deviennent $660 + (66 - 56) = 670$ (au lieu de 630);
- la position de stock prévisionnelle en fin de semaine 17 s'élève alors à $0,1 \times 950 = 95$;
- et les besoins nets de la semaine 17 sont égaux à $950 + (95 - 106) = 939$.

Le **tableau 125** décrit les calculs aboutissant aux nouveauxancements programmés. Les changements opérés par rapport au tableau précédent sont mis en caractères de plus grande taille; la seule décision prise est de lancer en production 670 unités au début de la période 14.

TABLEAU 125
Données de MRP établi à la fin de la semaine 13

Semaine	13	14	15	16	17
Besoins Bruts de X pour la période		960	660	1060	950
Position de stock désirée pour X en fin de période		96	66	106	95
Livraison attendue pour X en début de période		986	0	0	0
Position de stock prévue pour X en fin de période	30	56	66	106	95
Besoins Nets de X pour la période = Livraison programmée pour X en début de période		0	670	1 100	939
Lancements programmés X en début de période		670	1 100	939	

Mais on peut également faire une mise à jour plus fréquente des données et ne rentrer que les variations nettes du plan directeur de production pour chercher à en déterminer l'incidence sur le programme de production (*net change system*). Cette dernière approche est séduisante a priori, car elle va dans le sens d'une adaptation en temps réel des décisions de production. Cependant, elle se heurte pratiquement à des difficultés d'application dues à la forte instabilité du programme de production qu'elle induit généralement et que les spécialistes de MRP qualifient de **nervo-sité**. Cette instabilité peut être réduite en modifiant les règles de lotissement, en jouant sur les stocks de sécurité et en interdisant la modification automatique de certainsancements programmés qui sont alors qualifiés d'**ordres fermes** (à ne pas confondre avec les commandes fermes; voir [page 462](#)).

IV-3 Relations entre la MRP et l'ordonnancement

Il est tentant de vouloir passer de la programmation de la production à l'ordonnancement, mais une telle démarche est normalement vouée à l'échec.

En effet, comme nous l'avons vu au [chapitre V](#), un ordonnancement effectué sur une base déterministe devient rapidement inutilisable du fait des divers aléas rencontrés dans son application. Un tel couplage entre l'ordonnancement et la MRP impliquerait que le découpage temporel de la MRP (longueur de la période de base, précision des gammes) soit assez fin et que la périodicité de traitement de la MRP soit forte ; les implications en termes de temps de traitement et de coûts sont telles qu'un couplage efficace semble encore pour longtemps hors de portée. En outre, il faut noter que la MRP charge systématiquement au plus tard les postes de travail (contrairement aux usages en vigueur en ordonnancement), ce qui a pour effet de tendre à une sous-utilisation des capacités sur la première période.

Pour ces différentes raisons, il semble préférable de lier l'ordonnancement et le programme de production des premières périodes par le biais de dates de livraison. On peut ajouter que les systèmes d'ordonnancement en ateliers spécialisés tiennent compte «par construction» des capacités disponibles mais sont mal armés pour tenir compte de la nécessaire convergence des composants nécessaires à la fabrication d'une référence, sauf si l'on introduit cette cohérence par le biais des dates de livraison et que ces dates de livraison sont respectées (il est inutile de privilégier la fabrication d'un composant A à monter sur un composant B, si le composant C également utilisé par B a pris un retard de fabrication non rattrapable). La liaison entre la régulation du cours terme et celle du long terme passe donc par une «combinaison astucieuse» de différentes approches.

IV-4 Intégration de la distribution dans la MRP: la DRP

La gestion du réseau de distribution ne saurait être complètement déconnectée de la définition de la programmation de la production (avec ou sans intervention de la MRP). Quelle que soit la gestion des différentes unités du réseau de distribution, le système d'information doit répercuter le plus rapidement possible, à tous les échelons supérieurs, la connaissance de la demande finale afin de définir les ordres de réapprovisionnement de tous les échelons sur une base prévisionnelle correcte, au lieu d'attendre les répercussions observables de cette demande finale sur les stocks situés en amont pour décider «en myope» de la conduite à suivre (pratique qui conduit le plus souvent à «amplifier» la variation des stocks détenus, pour des raisons analogues à celles évoquées au paragraphe 1.2.1.2.). Cette transparence du système d'information des stocks de distribution a conduit certains partisans¹ de la MRP à pousser cette intégration au système de décision et à n'enviager qu'un système unique «production-distribution».

Pour réaliser cette intégration, dans le cadre d'une logique MRP, deux adaptations sont nécessaires. Il faut tout d'abord modifier les nomenclatures utilisées en considérant que le niveau zéro est celui des entrepôts «de base» (et, le cas échéant, de quelques clients pour lesquels une gestion intégrée est recherchée). Le niveau 1 repérera les entrepôts régionaux et le niveau 2, celui de la demande de produits finals s'exerçant sur les centres de production (et qui, jusqu'alors, relevaient du

1. Voir en particulier Martin (1993, [294]); voir aussi Vollmann et al. (1997, [433]), chap. XVIII.

niveau zéro). Cette modification revient à dire que l'on s'intéresse en final, non pas à l'article produit mais à l'article disponible dans un entrepôt. Dans ces conditions, la logique de la *MRP* assurera l'intégration de systèmes d'information jusqu'alors distincts, puisque la modification périodique du Plan Directeur, consécutive à l'introduction de nouvelles informations sur les demandes réelles et prévisionnelles du niveau 0 (entrepôts), se répercute immédiatement sur la définition de tous les besoins bruts de toutes les références, à tous les niveaux, à l'occasion du calcul périodique du programme de production (et de distribution). Mais il faut ensuite adapter, d'une part, les règles de lotissement au problème spécifique du transport (capacité des camions, organisation des tournées...) et, d'autre part, modifier les règles de déclenchement d'un réapprovisionnement de telle sorte que le stock disponible dans un centre de distribution ne tombe jamais en dessous d'un stock de sécurité. En outre, le découpage temporel utilisé doit être assez fin pour être compatible avec celui utilisé dans la logistique de distribution.

Cette intégration, connue sous le nom de *Distribution Requirement Planning (DRP)*, pose deux problèmes qu'il ne faut pas sous-estimer :

- Tout d'abord, le Plan Directeur de Production se définit pour chaque référence vendue par les entrepôts situés en fin de la chaîne de distribution (nouveau niveau zéro), ce qui non seulement multiplie de manière substantielle le volume d'informations à traiter, mais encore complique singulièrement le travail de prévision (la précision de prévisions faites sur des données agrégées étant bien meilleure).
- Ensuite, il faut bien voir que le calcul d'un lot à produire et celui d'un lot à transporter n'obéissent pas à la même logique, ce qui limite la portée de la *DRP*. En effet, si le coût de lancement en production est normalement indépendant de la taille du lot, il n'en est pas de même en matière de transport : un coût fixe est associé à la tournée d'un camion, mais le lot que celui-ci peut transporter est limité en poids ou en volume. D'autre part, la taille du lot en production influe directement sur le niveau des immobilisations à financer et, pour cette raison, un arbitrage est fait entre un coût de lancement et un coût de possession ; le problème est un peu différent en distribution, dans la mesure où le transport des marchandises ne fait que modifier la localisation et non le volume des immobilisations à financer.

Ces remarques n'excluent nullement le fait que les systèmes d'information et de décision en place déterminent, avec le marché, l'importance de ces immobilisations. La *DRP* n'est pas le seul système à reposer sur un système d'information «transparent», c'est-à-dire répercutant en temps réel les transactions enregistrées à un échelon (dépôt local, par exemple), à l'ensemble des échelons supérieurs (dépôts régionaux et usine, par exemple), au lieu d'assurer le couplage entre les différentes entités du réseau par le biais de commandes de réapprovisionnement (qui résultent de transactions antérieurement enregistrées). De tels systèmes permettent d'anticiper les besoins à satisfaire et donc de mieux organiser la production et les transports (voir Brown, 1981, [71]).

IV-5 Améliorations possibles de la démarche suivie par la *MRP*

La nature heuristique de la démarche présentée est évidente. S'il est possible de formaliser le problème par un programme linéaire en nombres entiers¹, la dimen-

sion du problème exclut, pour longtemps encore l'appel à des procédures optimales. Cette remarque n'implique pas que des améliorations de cette démarche ne puissent être tentées, dans deux directions.

Tout d'abord, il est possible d'améliorer dans certains cas les règles de lotissement en tenant compte du caractère multi-échelons du problème posé¹. Cela étant, cette amélioration possible ne doit pas faire oublier qu'il est très peu plausible que l'on obtienne par cette voie une solution optimale en fin de parcours.

Plus intéressant, dans l'immédiat, est l'appel aux techniques de planification hiérarchisée (section V) ou à certaines techniques de recherche opérationnelle (plus particulièrement celle de programmation linéaire qui sera présentée au chapitre XVI) pour améliorer la définition du plan directeur de production et certains arbitrages «charge – capacité». On a vu, en effet, que le plan directeur de production résultait d'un compromis entre le point de vue des services commerciaux et celui des services de production ; or la lourdeur des traitements de la MRP fait que l'on s'arrête pratiquement toujours à la première solution faisable. Pour que de telles procédures méritent vraiment le nom de procédures de planification, il est indispensable que puissent être examinées les conséquences de différentes alternatives «faisables». Cette exigence, même en tenant compte des progrès observés en informatique de gestion, ne peut être satisfaite avant longtemps sans une amélioration de ce type d'approche.

SECTION V TECHNIQUES DE PLANIFICATION HIÉRARCHISÉE

Un certain nombre d'approches alternatives de celle de la MRP ont été proposées pour résoudre des problèmes de planification. Quelques-unes² s'appuient sur la programmation linéaire ou quadratique. Le processus de production est alors décrit dans le cadre des formulations multi-périodes, multi-ressources présentées à la section I du chapitre VIII mais le niveau de détail retenu, en particulier au niveau des références, conduit à une impasse d'un point de vue opérationnel. Il est évident que la prise en compte de nomenclatures du type de celle utilisée en MRP, qui ne pose pas de problème de formulation, ne fait qu'accroître la complexité du problème à résoudre. Dans ces conditions, il faut soit travailler à un niveau de détail fin avec des démarches empiriques, soit rechercher une certaine optimisation avec un niveau de détail moindre. Une voie intermédiaire est cependant utilisée par certains logiciels de MRP qui offrent la possibilité de travailler à un niveau agrégé en termes de produits et de ressources, avec des profils moyens de chargement (voir page 469), pour essayer d'aider empiriquement à la définition du plan directeur de production.

La simplification retenue par la **planification hiérarchisée** consiste à travailler sur des regroupements homogènes d'un nombre plus ou moins important de références, en appliquant le principe selon lequel le niveau de détail requis pour

1. *Note de la page précédente.* Une analyse de la littérature disponible sur ce point peut être trouvée dans l'article de Billington, Mc Clain & Thomas (1983, [52]).

1. Le lecteur intéressé par ce point se reportera à l'ouvrage de Schwarz (1981, [377]).

2. Voir Vollmann; Berry et Whybark (1997, [433]), chapitre XV, Silver, Pyke et Peterson (1998, [387]) et Hax et Candea (1984, [224]), chapitre III.

prendre une décision est d'autant plus faible que la mise en application est éloignée. Cette manière de procéder conduit à la résolution successive de problèmes de dimension acceptable, où la solution du problème-amont devient une contrainte des problèmes-aval, pour aboutir à une solution finale ayant des performances très voisines de celles de l'optimum. L'application de ces idées a donné naissance à plusieurs tentatives de formalisation dont l'une des plus intéressantes est celle initialement proposée au MIT par Hax et Meal en 1975 (puis développées par de nombreux chercheurs travaillant dans l'orbite de Hax) et mise en œuvre dans plusieurs entreprises. Même peu diffusée¹, cette démarche est intéressante à connaître d'un point de vue méthodologique car elle offre des pistes exploitables d'amélioration des approches de planification dans un domaine qui relève largement d'un empirisme raisonné.

Les techniques de MRP visent à effectuer une programmation prévisionnelle de tous les composants, tandis que celles de la planification hiérarchisée ne s'intéressent qu'aux produits finals (niveau zéro de la nomenclature) et, par voie de conséquence, à l'élaboration du plan directeur de production. Cependant des extensions pour traiter les deux premiers niveaux de la nomenclature ont été proposées et testées². Le domaine d'application de la planification hiérarchisée est plutôt celui d'entreprises manufacturières produisant en masse et pour stock des produits ayant une nomenclature à peu de niveaux. On peut aussi envisager de l'appliquer dans des productions de masse d'assemblage à la commande dès lors que l'on a peu de chances d'être en rupture de stock en sous-ensembles. La démarche proposée se base sur trois niveaux d'agrégation des références et donc comporte trois grandes phases de calcul (traitées aux § V-2, page 502, § V-3, page 503 et § V-4, page 507), mais au préalable, nous examinerons les fondements de la planification hiérarchisée (§ V-1).

Table des matières

Index thématique

V-1 Les fondements de la planification hiérarchisée

La planification hiérarchisée repose sur une certaine structuration des produits finals, ce qui permet de raisonner à plusieurs niveaux d'agrégation possibles (§ V-1.1) et présente un certain nombre d'avantages décisifs (§ V-1.1, page 499).

V-1.1 La structuration des produits dans la planification hiérarchisée

Hax et Meal (1975, [223]) proposent une structure arborescente à 3 niveaux :

- La *référence* correspond au produit final acheté par le client. Certaines caractéristiques, mineures du point de vue de la production (couleurs par exemple), peuvent différencier une référence d'une autre référence.
- La *famille* de références réunit un ensemble de références qui partagent un même outillage et un même coût de lancement. Le plus souvent, les réf-

1. Une liste d'applications récentes de ces approches peut être trouvée dans Silver, Pyke et Peterson (1998, [387]), p. 546 - 547.

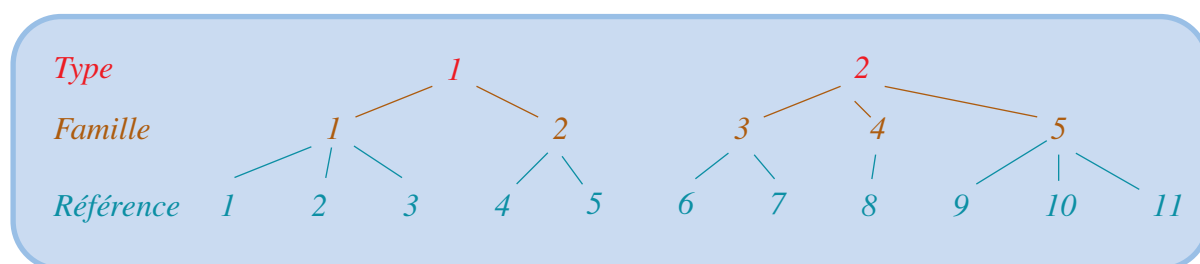
2. Voir Hax et Candea (1984, [224]), p. 429-440. Au début des années quatre-vingt, une approche voisine était développée, sous notre direction, par Nouhi (1984, [319]), pour le compte d'une grande entreprise française. Une optimisation par la programmation linéaire était effectuée à un niveau agrégé pour les deux premiers niveaux de nomenclature, un processus de désagrégation permettait ensuite de se «raccorder» à une MRP II. Il est alors possible d'étudier rapidement un certain nombre de variantes du plan directeur de production et, en particulier, de calculer le coût engendré par certaines demandes du service commercial ou du service financier.

rences d'une même famille sont produites en même temps. Aucune référence ne peut appartenir à plus d'une famille et toutes les références sont rattachées à une famille.

- Le *type* de familles réunit un ensemble de familles qui ont approximativement la même évolution tendancielle et saisonnière et ont approximativement le même taux de production, mesuré par la valeur des immobilisations produites par unité de temps. Aucune famille ne peut appartenir à plus d'un type et toutes les familles sont rattachées à un type.

La [figure 144](#) illustre ce type de structure par un exemple simplifié qui sera utilisé dans l'exemple numérique explicitant la démarche. Il convient de bien noter cette structure diffère de celle de la nomenclature de la [figure 137 de la page 459](#) dans laquelle toutes les références repérées aux nœuds du graphe sont des références réelles qui sont liées par des relations d'inclusion physique (relation «composant - composé»), visualisées par des niveaux de nomenclature. Ici, seules les références du niveau bas sont réelles, celles de niveau supérieur correspondent à des regroupements logiques sans rapport à une quelconque relation d'inclusion, puisque ces références du niveau bas sont toutes des références du niveau 0 (au sens de la nomenclature de MRP).

FIGURE 144
Nomenclature hiérarchisée



La phase 1 du traitement concerne les types de famille (§ V-2, [page 502](#)) ; la phase 2 désagrège les résultats trouvés en programmation par familles (§ V-3, [page 503](#)) et la dernière phase de traitement désagrège les résultats par familles en programmation par références (§ V-4, [page 507](#)).

V-1.2 Les avantages offerts par la planification hiérarchisée

Pour Hax et Golovin (1978, [222]), les principaux avantages présentés par la planification hiérarchisée sont au nombre de trois : faible coût de traitement, meilleure fiabilité des données et implantation facile du système.

L'inconvénient majeur, non évoqué par les promoteurs de cette approche, reste l'absence de prise en compte de la répercussion des décisions prises pour les références de niveau 0 sur la programmation des références de niveau supérieur. Si la variété des produits finis s'obtient par combinatoire d'options (voir [chapitre II](#)) et si la demande est assez régulière en volume et structure, il ne se pose guère de problème. Dans le cas contraire d'importants problèmes de cohérence peuvent se poser.

V-1.2.1 Faible coût de traitement

Par rapport aux approches non hiérarchisées, des économies importantes sont réalisées au niveau du volume de traitement d'informations :

- Les prévisions de demandes sont généralement effectuées au niveau des familles de références et non au niveau des références élémentaires (voir § V-1.2.2).
- Le modèle d'arbitrage intertemporel travaille au niveau le plus agrégé (type de famille).
- Le programme de production détaillé n'est calculé que pour la première période.

V-1.2.2 Meilleure fiabilité des données

L'utilisation de prévisions au niveau de la référence élémentaire conduit parfois à des résultats aberrants. D'un point de vue statistique, cela s'explique fort bien : à partir du moment où les variables étudiées sont indépendantes (ou très faiblement corrélées), la variance de la prévision faite sur la somme de ces variables est égale à la somme des variances de ces variables. L'intervalle de confiance d'une série agrégée est alors plus « restreint » que la somme des intervalles de confiance sur les composantes de cette série.

Les implications pratiques de cette observation conduisent à préférer les prévisions effectuées au niveau des familles d'articles, puis à éclater la prévision globale par des pourcentages. Ces derniers, présentant une assez grande inertie, peuvent être prévus à l'aide de techniques du type lissage exponentiel¹ (ou du lissage exponentiel adaptatif). Par exemple, un fabricant de fermetures du bâtiment aura donc intérêt à effectuer une prévision globale des ventes de persiennes (= famille) puis à désagréger ces prévisions par matériaux utilisés (fer, bois, plastique), en veillant à ce que la somme des pourcentages soit bien égale à 100 %.

V-1.2.3 Facilité d'implémentation

Le dernier argument invoqué en faveur de la planification hiérarchisée, important en pratique, est que la planification hiérarchisée fournit des résultats faciles à interpréter. L'analyse de sensibilité consécutive à la modification de telle ou telle donnée (appel possible à une sous-traitance de capacité, par exemple) est aisée dans le cadre de la planification hiérarchisée, alors que l'utilisation de procédures désagrégées conduit à analyser un trop grand nombre de modifications qui font que « les arbres cachent la forêt ».

Par ailleurs, les plans à moyen terme des responsables des différents services d'une entreprise se font toujours à un niveau agrégé : les prévisions commerciales sont faites par groupes de produits, et les décisions prises par lignes de produits ou qualifications d'emplois. Il est important que les variables décisionnelles et les analyses de sensibilité correspondent à celles dont les gestionnaires ont besoin. De ce point de vue, la planification hiérarchisée est une procédure facile à accepter par la direction, d'autant plus que la définition des regroupements de référence, ainsi que celle des moyens productifs, peuvent se faire en tenant compte des structures de responsabilité.

1. Voir le § II-3, page 1046, et § II-5.2.2, page 1069, du chapitre XV.

V-2 Phase 1 des traitements: programmation par type de références

Cette phase 1 est à la fois une programmation de la production à un niveau agrégé et une prévision à moyen terme des besoins en ressources. La démarche proposée par Hax et Meal privilégie le seul facteur travail (appréhendé à un niveau agrégé) pour effectuer principalement un arbitrage entre l'appel à des heures supplémentaires et la constitution d'un stock pour faire face à des pointes de la demande. L'instrument qu'ils préconisent est celui de la programmation linéaire (mais ce n'est pas la seule approche envisageable) dans le cadre d'une formulation assez fruste (compte tenu des possibilités offertes par la programmation linéaire, présentées à la [section I](#) du [chapitre VIII](#)).

Quelle que soit la technique de calcul retenue, la phase 1 effectue une programmation agrégée par type de références, en général sur un horizon d'un an pour tenir compte de l'existence de mouvements saisonniers, en partant de dotations en heures normales et en heures supplémentaires disponibles pour chacune des périodes. Cette programmation cherche à minimiser un coût de gestion sur l'horizon économique choisi, en satisfaisant la demande de chaque type de production. Ces demandes sont exprimées en heures de main-d'œuvre à partir d'une sommation des besoins nets des références d'un même type, pour tenir compte de l'existence de stocks disponibles au début de la première période de programmation (mais à la différence de ceux de la MRP ces besoins nets ne tiennent pas compte ici des livraisons attendues). Par ailleurs, la formulation du problème peut imposer un stock minimal (stock de sécurité) ainsi que le non-dépassement d'un stock maximum.

Les moyens de production sont calculés à partir des effectifs disponibles chaque période (et donc en tenant compte des vacances), du nombre d'heures ouvrables par période et d'un coefficient de présence effective (95 %, par exemple). Prenons l'exemple d'un plan directeur de production élaboré à la fin de la période 5, pour les 4 périodes suivantes ([tableau 126](#)).

TABLEAU 126

Phase 1 de la planification hiérarchisée: programmation de la production par type de familles de référence (unité: heure)

Période	Production prévisionnelle agrégée par type									Stock disponible de fin de période	
	Type 1			Type 2			Ensemble (Type 1 + Type 2)			Type 1	Type 2
	Heures normales	Heures sup.	Total Type 1	Heures normales	Heures sup.	Total Type 2	Heures normales	Heures sup.	Total		
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10910	4790
6	0	0	0	18480	4620	23100	18480	4620	23100	3060	15240
7	5012	0	5012	5108	2530	7638	10120	2530	12650	6020	4070
8	4000	0	4000	4800	2200	7000	8800	2200	11000	1020	1360
9	9820	0	9820	9530	4830	14360	19350	4830	24180	2080	3780

Le découpage temporel retenu conduit généralement à ce que le délai de production (depuis celui des composants élémentaires rentrant dans le produit

fini) soit de plusieurs périodes. Dans ces conditions, le travail d'optimisation de cette première phase ne prend pas en compte l'horizon gelé (cf. [page 463](#)) autrement que dans le calcul préalable des stocks disponibles à la fin de la dernière période de l'horizon gelé.

V-3 Phase 2 des traitements: désagrégation de la programmation par type de références en programmation par famille de références

Cette désagrégation n'est utile que pour la première période, afin de pouvoir préparer le travail du service du planning. Pour les périodes suivantes, ce travail ne présente guère d'intérêt parce que des ajustements devront être effectués compte tenu de ce qui se sera passé la première période. Bien entendu, pour être cohérente avec la programmation par type, il sera nécessaire que la somme des productions des références des familles d'un type donné soit égale à la production totale du type programmé (ces productions étant exprimées en heures de main-d'œuvre).

Plusieurs approches de ce problème sont envisageables¹ mais nous ne présenterons ici que la méthode de Hax et Meal, facile à mettre en œuvre, et qui donne, semble-t-il, de bons résultats. La procédure empirique préconisée calcule la production globale de chaque famille appartenant à un même type, en trois temps, et chaque groupe de références appartenant à un même type est traité isolément.

Table des
matières

V-3.1 Première étape: détermination des familles mises en production

Index
thématique

L'idée de base est très simple : il n'y a pas lieu d'approvisionner une référence j , si la différence constatée entre le stock de début de période R_j et le stock de sécurité S_j est supérieure à la demande prévisionnelle D_j de la période. Pour vérifier si cette condition est remplie, Hax et Meal proposent de calculer l'indicateur $\{R_j - S_j\} / D_j$ qui indique qu'un réapprovisionnement est nécessaire dès lors qu'il prend une valeur inférieure à 1.

Étant donné qu'on lance en fabrication toutes les références d'une famille, il suffit qu'il soit nécessaire de mettre en fabrication au moins une référence d'une famille, pour que l'on mette en fabrication toutes les références de cette famille.

L'application de ces principes à notre exemple numérique donne le [tableau 127 de la page 504](#), d'où l'on déduit que l'on fabriquera au cours de la période à venir les familles de références 3, 4 et 5. Les calculs effectués ici pour les références du type 1 semblent inutiles puisque l'on a vu, à la fin de la phase 1, que seules des références de type 2 étaient mises en production mais, en réalité, cette vérification est faite avant pour s'assurer qu'il est possible de ne produire aucune référence du type 1 (dans la négative, une légère transformation de la formulation du problème est nécessaire).

1. Une série de modèles de plus en plus sophistiqués ont été proposés entre 1975 et la fin des années quatre-vingt. On trouvera les principaux modèles proposés dans Hax et Candea (1984, [224]). Certains raffinements ont été proposés pour prendre en compte des critiques faites à cette approche, mais les complications généralement induites par l'accroissement de sophistication ne justifient que rarement cet effort. Mieux vaut limiter la portée de l'approche et la garder simple que de vouloir la généraliser à tout prix au risque d'aboutir à une instrumentation inexploitable en pratique.

V-3.2 Deuxième étape: détermination initiale du volume de production des familles de références retenues

Pour les références d'une même famille, on calcule les quantités économiques de commande en utilisant, par exemple, la technique des commandes groupées¹. Ces quantités u_j sont fournies dans le [tableau 128 de la page 505](#) sans justification numérique des valeurs proposées.

TABLEAU 127
Phase 2 de la planification hiérarchisée - étape 1 : détermination des familles mises en production

Type	Famille k	Référence j	D_j (demande prévisionnelle de la période 6)	R_j (stock disponible en début de période 6)	S_j (stock de sécurité)	$(R_j - S_j)/D_j$
1	1	1	250	575	45	2,12
		2	350	795	75	2,06
		3	900	1810	150	1,84
		Total	1500	3180	270	-
	2	4	2600	2920	280	1,02
		5	3750	4810	390	1,18
		Total	5200	7730	560	-
Total		6350	10910	670	-	
2	3	6	2430	1165	275	0,37
		7	5480	1750	520	0,22
		Total	7910	2915	795	-
	4	8	220	25	35	-0,05
		Total	220	25	35	-
	5	9	1130	295	165	0,12
		10	2620	585	330	0,10
		11	770	970	115	1,11
		Total	4520	1850	610	-
	Total		12650	4790	1440	-
Total		19000	15700	2110	-	

Table des matières

Index thématique

Cependant, nous avons vu qu'il est possible de lancer en fabrication une famille de références dans laquelle les besoins de la période à venir et éventuellement ceux de plusieurs des périodes suivantes sont couverts par les stocks disponibles. Pour éviter un sur-stockage inutile, il faut limiter le montant des commandes ; cette limite est fonction d'un stock maximal M_j de fin de période (avant satisfaction de la demande de la première période) qui peut être calculé de telle sorte, par exemple, qu'il ait 99 % de chances de couvrir les besoins des six ou neuf premiers mois. Étant donné qu'en début de période on dispose d'un stock R_j , la quantité

1. Voir le § I-2.3.3, page 826, du chapitre XII. Un certain nombre de formulations alternatives s'appuyant sur la programmation mathématique ont été proposées et sont présentées en détail dans Hax et Candea (1984, [224]) avec une bibliographie importante.

maximale que l'on pourra commander sera donc $(M_j - R_j)$ ou la quantité économique de commande si celle-ci est inférieure à $(M_j - R_j)$. Le [tableau 128](#) applique cette démarche (la détermination des M_j n'est pas explicitée ici).

TABLEAU 128

Phase 2 de la planification hiérarchisée - étape 2 : détermination du volume initial de production des familles mises en production

Type	Famille k	Référence j	R_j (stock disponible en début de période 6)	M_j (stock maximal en fin de période 6)	$M_j - R_j$	u_j (quantité de commande)	$q_j = \text{Min}(u_j; M_j - R_j)$
2	3	6	1 165	6 545	5 380	5 330	5 330
		7	1 750	8 460	6 710	6 980	6 710
		Total	2 915	15 005	12 090	12 310	12 040
	4	8	25	1 755	1 730	1 010	1 010
		Total	25	1 755	1 730	1 010	1 010
	5	9	295	5 260	4 965	1 910	1 910
		10	585	10 445	9 860	5 620	5 620
		11	970	4 720	3 750	2 160	2 160
		Total	1 850	20 425	18 575	9 690	9 690
	Total		4 790	37 185	32 395	23 010	22 740

Table des matières

Index thématique

V-3.3 Troisième étape: détermination définitive du volume de production des familles de références retenues

La deuxième étape de calcul ne conduit qu'exceptionnellement à un volume de production (ici **22 740**, cf. [tableau 128](#)) égal à celui décidé dans la première phase de la planification hiérarchisée (ici **23 100**, cf. [tableau 126](#), page 502), il y a donc lieu de procéder à un ajustement pour programmer effectivement 23 100 heures de travail pour la période à venir. Il se trouve qu'ici le volume initialement programmé est inférieur à celui décidé dans la première phase de la planification hiérarchisée, mais on aurait pu tout aussi bien obtenir le cas inverse. Examinons ces deux cas de figure.

V-3.3.1 Cas d'un volume insuffisant de production initialement programmée

La solution préconisée par Hax et Meal consiste à répartir entre les familles d'articles la dotation excédentaire (ici $23\,100 - 22\,740 = 360$ heures), au prorata des productions maximales possibles pour ces différentes familles.

Ce processus est illustré dans le tableau suivant dans lequel M_k (et R_k) correspondent à la sommation des M_j (et R_j) des références j appartenant à la même famille k . Cependant il ne saurait être question, pour une famille, de programmer une nouvelle quantité supérieure à la production maximale autorisée (ce qui se produit dans notre exemple pour la famille 3 pour laquelle la contrainte de stockage oblige à produire 84 heures de moins que souhaité). Dans un premier temps, la production prévue est celle donnée en dernière colonne du [tableau 129](#).

TABLEAU 129

Phase 2 de la planification hiérarchisée - étape 3 : détermination du volume définitif de production des **familles** mises en production
(cas d'un volume insuffisant - initialisation)

Type	Famille k	$M_j - R_j$		$360f_k$	q_j	$q'_k = q_k + 360f_k$	$q''_k = \text{Min}(q'_k ; M_j - R_j)$
		volume	%				
2	3	12090	37,32%	134	12040	12174	12090
	4	1730	5,34%	19	1010	1029	1029
	5	18575	57,34%	207	9690	9897	9897
	Total	32395	100,00%	360	22740	23100	23016

Les 84 heures qui restent à programmer seront réparties entre les familles restantes en suivant la même démarche, ce qui conduit au tableau de calcul 130.

TABLEAU 130

Phase 2 de la planification hiérarchisée - étape 3 : détermination du volume définitif de production des **familles** mises en production
(cas d'un volume insuffisant - calculs complémentaires)

Type	Famille k	$M_j - R_j$		$84f_k$	q''_k	$q'''_k = q''_k + 84f_k$
		volume	%			
2	4	1730	8,52%	7	1029	1036
	5	18575	91,48%	77	9897	9974
	Total	20305	100,00%	84	10926	11010

Table des matières

Index thématique

La désagrégation des 23 100 heures consacrées aux références de *type 2* conduit donc à la programmation suivante : 12090 heures pour la *famille 3*, 1036 heures pour la *famille 4* et 9974 heures pour la *famille 5*. Il ne reste plus maintenant qu'à désagréger les programmations par familles en programmation par références, mais auparavant il nous faut examiner ce qu'il aurait fallu faire si le volume d'heures, requis à la fin de la seconde étape de calcul, dépassait le montant imparti.

V-3.3.2 Cas d'un volume excessif de production initialement programmée

Supposons que le volume de production, décidé à la fin de la première phase de la procédure de Hax et Meal, soit de 19000 heures au lieu de 23 100 (tableau 126, page 502). Il n'est alors plus possible de réaliser la programmation des 22740 heures trouvées à la fin de cette deuxième étape de calcul. La procédure préconisée est simplement d'appliquer aux programmations prévues pour chaque famille, un même coefficient d'abattement, ici $19000 / 22740 = 0,836$. On obtient alors, pour la *famille 3*, une production de $12090 \times 0,835 = 10102$.

V-4 Phase 3: désagrégation de la programmation par famille de références en programmation par références

On se place ici dans la situation qui a conduit au § V-3.3.2. La phase 3, comme la phase 2, ne concerne que la période à venir. La technique de désagrégation proposée par Hax et Meal¹ est une adaptation de la technique des commandes groupées. En effet, si une famille de références est mise en production dès lors qu'on est obligé de produire l'une des références de la famille, on retardera au maximum le lancement de la famille, si le stock disponible de chaque référence, après production, c'est-à-dire la quantité $R_j + q_j - S_j$, permet de couvrir, pour chaque article, le même nombre de périodes de consommation. Ce principe, qui permet de minimiser le montant des stocks immobilisés, peut-être mis en œuvre assez facilement en ne travaillant qu'avec la demande D_j de la seule période à venir, puisque, par hypothèse, la part de la demande de la référence j dans la demande totale de la famille est à peu près stable au cours des périodes à venir. La quantité à mettre en œuvre est, pour chacune des références j d'une famille k pour laquelle on a décidé, à la fin de la phase 2, de produire un volume q_k , est donnée par la relation 76. Dans cette relation, l'expression entre crochets, quotient du volume de production disponible après production de la famille de référence, par le volume de demande de cette famille, représente le nombre moyen de périodes de consommation de chacune des références de la famille après décision de production.

$$q_j = \left[\frac{q_k + \sum_h (R_h - S_h)}{\sum_h D_h} \right] D_j - (R_j - S_j) \quad \text{relation 76}$$

TABLEAU 131

Phase 3 de la planification hiérarchisée : désagrégation de la programmation par famille en programmation détaillée par référence

Type	Famille k	Référence j	D_j (demande de la période 6)	R_j (stock disponible en début de période 6)	S_j (stock de sécurité)	q_k	$\frac{q_k + \sum_h (R_h - S_h)}{\sum_h D_h}$	q_j (relation 76)	$q_j + R_j$	M_j
2	3	6	2430	1165	275			3475	4640	6545
		7	5480	1750	520			8615	10365	8460
		Total	7910	2915	795	12090	1,796	12090	15005	15005
	4	8	220	25	35			1010	1035	1755
		Total	220	25	35	1010	-	1010	1035	1755
	5	9	1130	295	165			2674	2969	5260
		10	2620	585	330			5620	6205	10445
		11	770	970	115			2160	3130	4720
		Total	4520	1850	610	9974	2,481	9690	11540	20425
	Total		12650	4790	1440	23074	-	22740	27530	37185

1. D'autres formulations en programmation non linéaire ont été proposées. Sur ce point, voir Bitran & Hax (1977, [53]) et Hax & Candea (1984, [224]), chapitre VI.

Cette démarche est appliquée dans le [tableau 131 de la page 507](#). Les deux dernières colonnes de ce tableau permettent de s'assurer que la contrainte de stockage est toujours respectée, après décision de production. On constate ici que ce n'est pas le cas pour la référence 7. L'excédent de $10\,365 - 8\,460 = 1\,905$ doit être ventilé alors entre les autres références de la famille en utilisant la même logique de l'égalité du nombre de périodes de consommation. Dans notre exemple, comme il n'existe qu'une seule autre référence, le report des 1 905 heures de production s'effectue en totalité sur cette référence.

Pour être complet, il faut ajouter que le calcul initial de cette phase 3 peut non seulement conduire à une non-satisfaction de la contrainte de stockage, mais également à une valeur négative de q_j si le stock initial est trop fort. Lorsque ce dernier cas se produit, on recommence les calculs de désagrégation en excluant cette référence du calcul, après lui avoir donné la valeur zéro.

Le programme détaillé de production de la première période du plan directeur de production est donné au [tableau 132](#).

TABLEAU 132
PDP des références pour la période 6

Référence	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
Production	0	0	0	0	0	5380	6710	1036	2674	6245	1055	23100