

## PARAMETRAGE DE LA METHODE MRP EN ENVIRONNEMENT INCERTAIN : UNE REVUE DE LA LITTERATURE

David DAMAND\*, Marc BARTH\*\*, Abdellatif DKHIL\*\*\*

---

Résumé. - Ce papier est une revue de la littérature sur le thème « MRP (Material Requirement Planning) en environnement incertain ». Depuis les années 70, de nombreuses recherches ont été menées pour l'amélioration de la performance des systèmes MRP. Cette performance est affectée par les incertitudes endogènes et exogènes du système de production. Privilégiant la résolution de problème du paramétrage du système de production, cette revue combine les contextes de décision, les paramètres d'action et les effets induits sur les indicateurs de performance. Sur cette base, 78 articles et 7 états de l'art ont été recensés, s'étalant de 1976 à 2010. Donnant un point de départ aux chercheurs et praticiens en gestion de production, cette revue se propose de construire, de représenter et d'analyser la liste exhaustive des paramètres d'action (PA), des indicateurs de performance (IP) et des relations PA-IP étudiés. La nature, les limites des résultats des travaux bibliographiques et la généralisation potentielle de ces résultats sont également discutées. Enfin, une nouvelle direction de recherche est proposée.

Mots-clés : MRP ; Simulation ; Plan d'expériences ; Indicateurs de performance.

---

\* Enseignant-chercheur en génie industriel au laboratoire HuManiS (Humans and Management in Society) de l'EM Strasbourg – Université de Strasbourg.

\*\* Maître de conférences HDR en génie industriel au LGECO (Laboratoire de Génie de la Conception) de l'INSA de Strasbourg.

\*\*\* Doctorant en génie industriel au LGECO de l'INSA de Strasbourg.

## 1. Introduction

MRP est une méthode de gestion de production introduite dans les années 60 par Joseph Orlicky [ORL 75]. Avec l'évolution de l'informatique, les principes MRP se sont imposés dans les systèmes de production des entreprises. MRP est devenu une méthode incontournable et représente le cœur de la gestion de production dans les progiciels de gestion intégrée. Le schéma de la Figure 1 positionne le rôle de la gestion de production au sein du système de production. Gérer un système de production consiste à concevoir ce système, à le contrôler et à le réguler afin d'atteindre des objectifs de productivité (coût, qualité, délai, quantité, diversité). Seuls la régulation et le pilotage de la performance du système de production sont concernés dans cette revue. La régulation et le pilotage sont assurés par le gestionnaire de production. Il élabore la valeur des Paramètres d'Action (PA : stock de sécurité, règle de lotissement, etc..) du système de production pour faire atteindre au système un degré de performance caractérisé par la valeur des Indicateurs de Performance (IP : taux de service, quantité en stock, etc..). La relation PA-IP ("si PA=... alors IP = ...") constitue notre modèle d'étude.

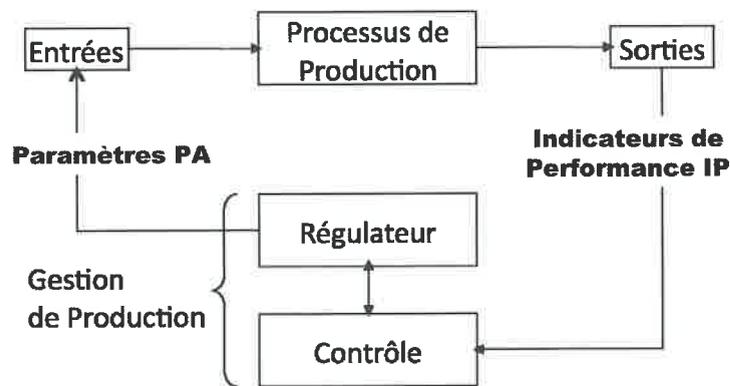


Figure 1 : Système de production.

L'activité de paramétrage décrite ci-dessus est relative à deux interrogations consécutives et fréquentes chez les gestionnaires : le système de production dont nous disposons permet-il de répondre aux nouveaux besoins de l'entreprise ? Dans l'affirmative, comment y répondre au mieux ? Ces questions peuvent être reformulées en utilisant le modèle d'étude PA-IP : peut-on par action sur les PA faire atteindre au système de production une valeur acceptable des IP ? Si oui, quelles sont les valeurs à donner aux PA ? La réponse à ces questions suppose qu'on sache modéliser la relation PA-IP. Les travaux entrepris sur le sujet utilisent un simulateur du système de production capable d'évaluer la valeur des IP pour chaque configuration des PA [MUL 06]. Ils exploitent les résultats issus du simulateur pour définir des propriétés liant les PA aux IP. La connaissance de ces propriétés reliant les PA aux IP est censée aider le gestionnaire à mieux piloter le système de production réel sans utiliser un simulateur sur son propre système. Cette

aide est cruciale dans un environnement caractérisé par des incertitudes comme : les variations de la demande, les pannes, l'absentéisme ou les ruptures d'approvisionnement. Dans la réalité d'une entreprise, le système n'est pas déterministe. Le système est sujet aux incertitudes caractérisant l'environnement de travail et affectant le paramétrage du système. Ce phénomène, également connu sous le terme de « MRP Nervousness » [STE 76], [MAT 77], [MIN 85], [MIN 86] se caractérise par l'apparition d'une baisse de la performance suite à l'évolution de certains paramètres du système. Ces paramètres ne sont pas nécessairement des paramètres d'action du gestionnaire [COX 98] comme les révisions des prévisions de vente ou les modifications dans la nomenclature d'un produit. Blackburn [BLA 85] soutient que des changements continuels conduisent à la non-confiance dans le système. D'une période de planification à l'autre, les impacts sont directement perceptibles comme les variations en charge [CAR 79], les besoins lancés devenus non-nécessaires [MET 99], les fluctuations dans l'utilisation de la capacité, la non-disponibilité des machines, les coûts de replanification, les coûts de stock ou le taux de service client. Des impacts d'un point de vue managérial sont également possibles [INM 97] : présence soutenue sur le terrain compte tenu de l'état de confusion dans l'atelier [CAM 71], [HAY 85] et dans le programme de livraison [HO 92]. La régulation du système de production est donc délicate. De plus, certaines situations néfastes ci-dessus sont difficiles à détecter et sont complètement contre-intuitives. Vollman [VOL 97] préconise de s'enrichir du maximum de connaissances sur le comportement des relations PA-IP. « C'est l'investissement le plus profitable ! », souligne-t-il.

Le nombre d'articles de la littérature relatif à la thématique « MRP nervousness » est significatif. Ces articles ont été recensés dans sept états de l'art : [CHU 88], [MUR 91], [YEU 98], [GUI 00], [KOH 00], [KOH 02], [DOL 07]. La première étude PA-IP citée dans [CHU 88] date de 1976 [WHY 76]. La dernière étude citée dans [DOL 07] date de 2002 [BAI 02]. Différents types d'incertitudes sont abordés, examinés et leurs effets sont discutés. Des approches pour pallier les incertitudes sont proposées (par exemple : Buzacott [BUZ 94] suggère la mise en place d'un stock de sécurité lorsque la demande est incertaine ou Zhao [ZHA 97] propose d'introduire une zone de planification gelée). Les sept états de l'art abordent trois familles d'approches. Il s'agit respectivement de l'étude des PA liés au stock [CHU 88], [YEU 98], [GUI 00], à la méthode de planification [MUR 91] et simultanément au stock et à la méthode de planification [DOL 07], [KOH 00], [KOH 02].

L'étude de ces sept états de l'art suscite cinq questions :

L'instabilité du système MRP est au centre de notre problématique.

- Q1 : Comment est-elle définie et mesurée ?

La bibliographie relative à l'étude des relations PA-IP s'étend de 1976 à 2002.

- Q2 : Y a-t-il des travaux après 2002 ?

Les états de l'art considèrent l'étude des PA liés au stock et à la méthode de planification.

- Q3 : Y a-t-il d'autres relations PA-IP étudiées que celles spécifiées dans les sept états de l'art ?

Les PA et IP sont présentés et décrits.

- Q4 : Toutes les relations possibles entre PA et IP ont-elles été étudiées ?

Les relations PA-IP sont présentées, décrites et analysées.

- Q5 : Les propriétés entre PA et IP déduites sont-elles généralisables ?

Ce papier est une revue de la littérature sur le thème « MRP Nervousness ». L'objectif est d'apporter des réponses aux cinq questions ci-dessus. La revue est structurée en 6 sections. La section 2 présente le champ d'application. Il apporte un éclairage sur les principes de base MRP et « MRP Nervousness ». La section 3 présente une actualisation de la bibliographie relative à notre thématique (réponse à la question Q2). La section 4 présente un dénombrement et une caractérisation des PA, des IP et des relations PA-IP de cette bibliographie (réponses aux questions Q1, Q3 et Q4). La section 5 présente l'interprétation des caractéristiques des relations PA-IP (réponse à la question Q5). Enfin, nous concluons et discutons des perspectives de recherche dans la section 6.

## 2. La méthode MRP

### 2.1 *Les principes de base*

MRP [ORL 75] a comme vocation de répondre aux questions suivantes :

1. De quels matériaux et composants a-t-on besoin ?
2. Quand et comment démarrer une production pour satisfaire un besoin ?

MRP génère deux types de résultats. D'une part, MRP émet des propositions d'ordres (article, quantité, date de début et fin d'ordre). Ce premier type de résultats est le plus fréquent. Il correspond à une valeur dans la ligne "Ordres Planifiés" de l'échéancier du Calcul des Besoins (Figure 3). D'autre part, MRP propose des messages d'anomalies. Ce deuxième type de résultats

est destiné au gestionnaire afin de l'aider à prendre des décisions anticipées sur des problèmes potentiellement détectés. Les messages d'anomalies courants sont "avancer " ou "reculer" un ordre lancé ou un ordre ferme. Un message plus rare propose d'annuler un ordre car le besoin n'existe plus. L'exemple suivant décrit le calcul MRP. Soit un article fini M, deux articles M1 et M2 achetés et une phase d'assemblage (Figure 2). Le système étudié est multi-niveaux et multi-articles.

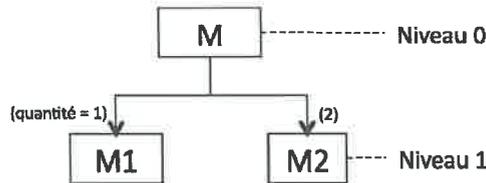


Figure 2 : Nomenclature M.

Pour exécuter le calcul MRP, il est nécessaire de fixer les valeurs des PA. Selon l'effet recherché, telle ou telle valeur est attribuée aux PA du calcul MRP. Les valeurs de PA liées à chaque article doivent être déterminées avec précision et mises à jour fréquemment. La Figure 3 décrit un exemple de calcul MRP correspondant aux articles M et M1. Le calcul se décline en cascade, transmettant les besoins de niveau en niveau. L'équation 1 et 2 ci-après décrit le calcul du besoin net (BN) et du stock disponible (SD).

$$SD_p = SD_{p-1} + OL_p - BB_p \quad (1)$$

$$BN_p = BB_p - SD_{p-1} + OL_p + SS \quad (2)$$

Avec p : période, OL : ordre lancé, BB : besoin brut, SS : stock de sécurité.

Article M		Période [semaine]							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Niveau 0									
Délai = 2 semaines									
Besoins bruts		1	25	5	6	0	4	3	55
Ordres ouverts (réceptions prévues)									
stock disponible		28	27	2	13	7	7	3	0
Besoin nets				3	6	0	4	3	55
Règle de lotissement = groupage 5 semaines									
Ordres planifiés									
		début		fin					
		16		16		55			

Article M1		Période [semaine]							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Niveau 1									
Délai = 4 semaines									
Besoins bruts		16					55		
Ordres ouverts (réceptions prévues)		15							
stock disponible		3	2	2	2	2	0	0	0
Besoin nets							53		
Règle de lotissement = groupage 5 semaines									
Ordres planifiés									
		début		fin					
				53					

Figure 3 : Tableau MRP – Articles M et M1.

## 2.2 MRP-Nervousness

Deux principales sources d’incertitudes affectent le calcul MRP : l’incertitude de la demande (répercutée sur le besoin brut) et l’incertitude du besoin. La demande et le besoin sont aussi les deux principales composantes de l’équation 1. Les incertitudes sont des modifications potentielles bidimensionnelles : [quantité] et [temps]. Whybark [WHY 76] met en évidence quatre catégories d’incertitudes. Ces dernières combinent les sources et les dimensions (Figure 4).

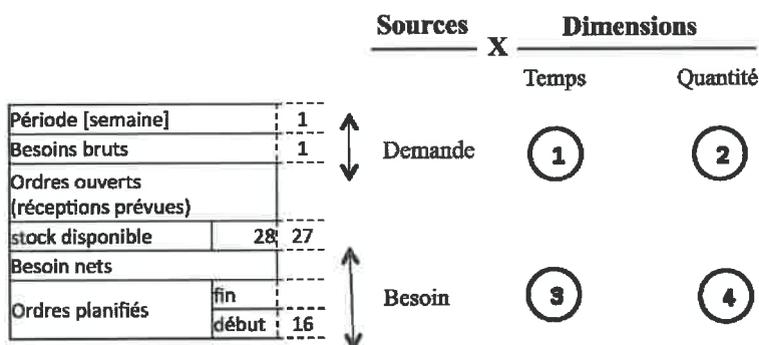


Figure 4. Les 4 principales catégories d’incertitudes.

La catégorie 1 représente une modification des dates d’exigibilité client [XIE 03]. La catégorie 2 représente une modification en quantité des besoins bruts dont l’origine provient par exemple d’erreurs de prévision [XIE 03]. La catégorie 3 représente des modifications du délai fournisseur ou du délai de production [KAD 95-a]. Enfin, la catégorie 4 représente une modification de la taille des lots de production causée par exemple par des surproductions ou des ruptures de stock [STE 76], [WHY 76], [MAT 77].

L’exemple de la Figure 5 simule une mise à jour de la demande (incertitude de catégorie 2). Une diminution du besoin brut de M de 3 unités induit un changement significatif des ordres planifiés du composant M1. L’ajustement positionne l’entreprise dans une situation de retard. Aussi certaines charges doivent être retardées et le délai initialement prévu pour ces produits doit être redéfini (incertitude de catégorie 3). La révision des ordres planifiés et ouverts est inévitable. A priori, il est difficile de comprendre qu’une diminution de la demande de 3 unités provoque une rupture de stock en M1 (ordre de fabrication à terme échu). Un changement quantitatif du carnet de commande client (incertitude de catégorie 2) peut avoir un impact significatif dans la mesure où la modification se répercute sur l’ensemble des composants de la nomenclature [MIN 85], [MIN 86].

Article M Niveau 0  Délai = 2 semaines Règle de lotissement = groupage 5 semaines	Période [semaine]		1	2	3	4	5	6	7	8
	Besoins bruts planifiés		1	25	5	6	0	4	3	55
	Besoins bruts mis à jour		1	25	2	6	0	4	3	55
	Ordres ouverts (réceptions prévues)									
	stock disponible	28	27	2	0	62	62	58	55	0
	Besoin nets					6	0	4	3	55
	Ordres planifiés	fin				68				
		début		68						
-50-										
Article M1  Niveau 1 Délai = 4 semaines Règle de lotissement = groupage 5 semaines	Période [semaine]		1	2	3	4	5	6	7	8
	Besoins bruts			68						
	Ordres ouverts (réceptions prévues)		15							
	stock disponible	3	18	-50						
	Besoin nets									
	Ordres planifiés	fin								
		début								

Figure 5 : MRP-Nervousness – Exemple.

L'instabilité ci-dessus est due à l'interaction entre la règle de lotissement et la distribution de la demande. Ce comportement est difficilement prévisible, surtout si l'on considère les centaines d'articles contenus dans le fichier article d'une entreprise. Quel est l'effet de telle ou telle règle de lotissement dans le cadre des incertitudes caractérisant l'environnement de travail ? Cet exemple simple montre que la réponse n'est pas triviale. Blackburn [BLA 80], [BLA 85] décrit la notion de sensibilité des PA comme une autre source d'incertitude.

### 3. Actualisation de la bibliographie

Notre revue bibliographique considère les travaux disposant d'un simulateur du processus de production. Ils traitent des situations de problème rencontrées lors de l'utilisation de MRP et attribuées à son instabilité. Les moteurs de recherche bibliographique utilisés sont : Scopus, Science Direct et Business Source Premier. Le nombre de travaux recensés est de 78 articles et 7 états de l'art (Figure 6) soit un total de 85 travaux dans 20 journaux internationaux. Les 4 premiers journaux (Production Research, Planning and Control, Production Economics et Management Science) représentent 20 % du nombre de journaux et rassemblent 68 % des travaux. Ces derniers se répartissent de manière continue de 1976 à 2010 (Figure 7).

N°	Source	Nombre de références	% Total
1	International Journal of Production Research	28	33
2	International Journal of Planning and Control	13	15
3	International Journal of Production Economics	10	12
4	International Journal of Management Science (OMEGA)	7	8
5	International Journal of Operations Management	6	7
6	International Journal of Decision Sciences	5	6
7	International Journal of Computers & Operations Research	2	2
8	International Journal of Operations Research	2	2
9	Academy of Management Review	1	1
10	Annual Reviews in Control	1	1
11	IIE Transactions	1	1
12	International Journal of Business Logistics	1	1
13	International Journal of Computers & Industrial Engineering	1	1
14	International Journal of Computers & Operations Research	1	1
15	International Journal of Logistics Information Management	1	1
16	International Journal of Operations & Production	1	1
17	International Journal of Production and Inventory Management	1	1
18	International Journal of Production and Operations Management	1	1
19	International Journal of simulation	1	1
20	International Journal of Systems Science	1	1
Total		85	100

Figure 6 : Source des 78 articles et 7 états de l'art.

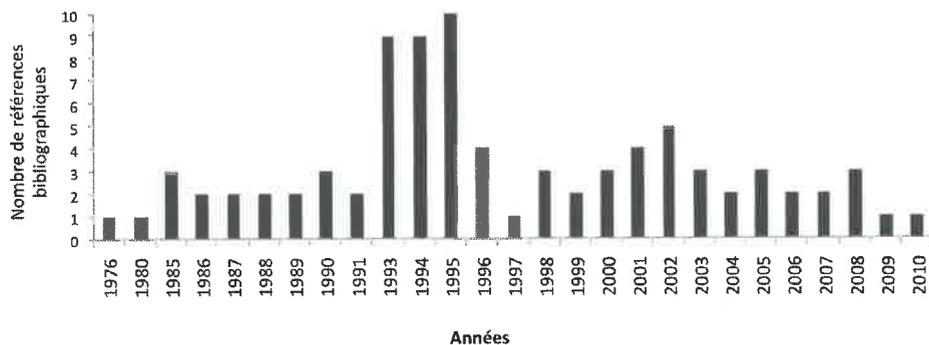


Figure 7 : Répartition des 78 articles et 7 états de l'art.

#### 4. Dénombrement et caractérisation

Cette partie présente l'analyse des 78 articles recensés dans la bibliographie. Tous les articles sont structurés selon la même démarche scientifique :

1. Sélection des PA et IP à étudier.
2. Elaboration d'un plan d'expériences et d'une table de réponses des IP.
3. Simulation du système étudié.

4. Interprétation statistique des résultats à l'aide d'une analyse de la variance des IP.
5. Déduction de propriétés PA-IP.

Les résultats se déclinent de la manière suivante : la liste des PA, la liste des IP, les IP de mesure de l'instabilité du système, la liste des relations PA-IP par article, le type de propriétés déduit dans les articles.

#### 4.1 Les PA et IP recensés

Les Figure 8 et Figure 9 présentent respectivement 58 PA et 61 IP recensés. Il est important de souligner que les incertitudes sont des PA du modèle de simulation.

PA	Désignation	PA	Désignation
PA1	Borne de planification	PA30	Structure du produit
PA2	Capacité	PA31	Taille du lot de production
PA3	Capacité des stocks d'encours	PA32	Taux de rebut
PA4	Date d'exigibilité	PA33	Taux de rebut des produits finis
PA5	Délai de production	PA34	Temps de changement de série
PA6	Délai de sécurité	PA35	Temps d'exécution
PA7	Temps alloué	PA36	Temps gamme
PA8	Fréquence de planification	PA37	Règle d'ordonnancement
PA9	Fréquence des changements techniques	PA38	Coût de lancement et de possession
PA10	Fréquence des pannes	PA39	Coût de lancement
PA11	Gamme de fabrication	PA40	Demande moyenne
PA12	Horizon de planification	PA41	Ecart type de la demande
PA13	Horizon gelé de planification	PA42	Encours de production
PA14	Lissage de charge	PA43	Erreur de prévision
PA15	Méthode de calcul des stocks de sécurité	PA44	Incertitude de la demande
PA16	Méthode de prévision	PA45	Volume des demandes
PA17	Mixte de produit	PA46	Type de demande
PA18	Niveau du stock en produits finis	PA47	Prévision de vente
PA19	Nombre de postes de travail	PA48	Coût de rupture
PA20	Nombre de références d'articles	PA49	Ecart type des erreurs de prévision
PA21	Nombre d'ordres gelés de fabrication	PA50	Coût retard de livraison
PA22	Période gelée de planification	PA51	Coût de préparation
PA23	Procédure de replanification	PA52	Coût de lancement/Coût possession
PA24	Procédure pour le calcul des quantités gelées	PA53	Méthode de réservation des composants
PA25	Proportion gelée	PA54	Moyenne des erreurs de prévision
PA26	Quantité à replanifier	PA55	Cycle de vie du produit
PA27	Règle de lotissement	PA56	Coût de main-d'œuvre
PA28	Stock de sécurité	PA57	Horizon pour le calcul de la couverture de stock
PA29	Stratégie pour réduire l'instabilité du système	PA58	Nombre de jours de couverture de stock

Figure 8 : 58 PA recensés.

IP	Désignation	IP	Désignation
IP1	Coût (planification, lancement, possession)	IP32	Temps annuel de changement de série
IP2	Coût du lot de fabrication	IP33	Temps de cycle
IP3	Délai global du programme directeur de production	IP34	Temps de cycle maximum
IP4	Délai moyen de fabrication pour chaque produit fini	IP35	Temps gamme
IP5	Délai moyen de production	IP36	Temps de production d'un lot de fabrication
IP6	Dispersion des délais de fabrication pour chaque produit	IP37	Coût de possession
IP7	Encours de production	IP38	Retour sur investissement
IP8	Encours moyen de production	IP39	Variabilité des ordres de fabrication (fréquence, quantité)
IP9	Heures supplémentaires	IP40	Taux de replanification (demandé/réalisé)
IP10	Maximum des ordres de fabrication en retard	IP41	Coût (lancement, possession, détérioration)
IP11	Moyenne des ordres de fabrication en retard	IP42	Coût (rupture, possession, préparation)
IP12	Instabilité du système	IP43	Coût (possession, préparation)
IP13	Niveau du stock de produits finis	IP44	Nombre de sorties de stock
IP14	Nombre de lancements	IP45	Capacité main-d'œuvre
IP15	Nombre de replanifications	IP46	Niveau moyen de stock
IP16	Nombre de retards en produits finis	IP47	Valeur en stock
IP17	Nombre de ruptures en composants	IP48	Quantité sortie du stock
IP18	Nombre d'ordres de fabrication en retard	IP49	Couverture de stock
IP19	Nombre d'ordres de fabrication gelés	IP50	Poids des messages de replanifications
IP20	Nombre moyen d'ordres de fabrication en file d'attente	IP51	Nombre de messages de replanifications demandées
IP21	Perte de vente	IP52	Nombre de messages de replanifications réalisées
IP22	Quantité produite	IP53	Coût de préparation
IP23	Réserve de capacité	IP54	Coût de rupture
IP24	Retard de production	IP55	Délai de production cumulé
IP25	Retard moyen de production	IP56	Erreur décalage délai de production moyen
IP26	Somme des coûts de revient produit	IP57	Erreur décalage délai de production variance
IP27	Somme des temps de changement d'outil	IP58	Coût (lancement, possession, replanification, rupture)
IP28	Taux de rebut	IP59	Coût de replanification
IP29	Taux de service	IP60	Coût (assemblage, possession, heures supplémentaires)
IP30	Taux d'utilisation des machines	IP61	Charge (quantité moyenne à assembler)
IP31	Taux moyen d'utilisation des machines		

Figure 9 : 61 IP recensés

L'IP12 représente l'ensemble des IP d'instabilité recensé. Afin de répondre à la question Q1, l'IP12 est décrit ci-après.

#### 4.2 Les IP de mesure de l'instabilité du système

Huit méthodes de mesure de l'instabilité de MRP sont répertoriées et classées en deux familles. Elles opèrent respectivement sur les deux résultats du calcul MRP (cf. § 2.1) : famille 1 (proposition d'ordres), famille 2 (proposition de messages d'anomalies). Les deux familles et la fréquence d'utilisation des huit méthodes sont décrites ci-après.

#### 4.2.1 Famille 1 - Proposition d'ordres

Blackburn [BLA 85], [BLA 86] est le premier à proposer un indicateur de mesure de l'instabilité. Il effectue un comptage des ordres non-planifiés et des ordres modifiés (quantité et/ou délai) dans la première période (p=1) de l'horizon de planification (HP) (Figure 10). Il considère un HP glissant et le cas mono-niveau, mono-article et sans contrainte de capacité. Ne considérer que la période 1 de l'HP est inadéquat [SRI 88]. Des modifications d'ordres peuvent survenir sur l'ensemble de l'HP. Dans la première période les changements sont dits critiques compte tenu du délai de réaction et d'adaptation à court terme. Plus on s'éloigne de la période 1, plus l'effet des changements sur la performance du système s'atténue.

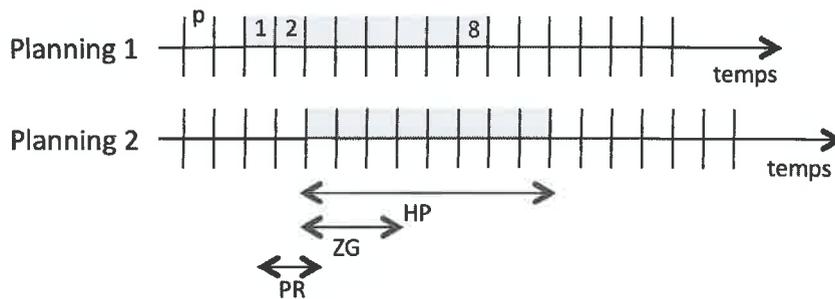


Figure 10 : Planning à horizon glissant

Dans la figure 10, HP est l'Horizon de Planification, ZG est la Zone Gelée et PR est la Période de Replanification.

Sridharan [SRI 88] définit l'instabilité comme une moyenne pondérée des changements en quantité par ordre. Dans son indicateur de mesure I, appelé "SBU métrique", tout changement est pondéré par un degré de criticité (poids selon la période)  $\alpha$  et s'exprime comme suit (3) :

$$I = \frac{\sum_{\forall k > 1} \sum_{p=M_k}^{M_k+N-1} |Q_p^k - Q_p^{k-1}| (1-\alpha)^{p-M_k}}{S} \quad (3)$$

Avec p= numéro de période ;  $Q_p^k$  = quantité planifiée en période p du planning k ;  $M_k$  = première période du planning k ; N = longueur du planning ;  $\alpha$  = poids pour la période p ; S = nombre total d'ordres du planning

D'autres travaux s'appuient sur la métrique SBU. Certains ne tiennent pas compte de la procédure de pondération [XIE 03], [ZHA 97], [ZHA 95], [KAD 95-a] et d'autres l'adaptent à leur problème. Pujawan [PUJ 04] considère trois types de changements : la date de début d'ordre, la spécification du produit, la quantité planifiée respectivement associée à trois degrés de criticité. Bai [BAI 02] base son indice sur la modification de délai des ordres. Kadipasaoglu [KAD 97] étend la métrique SBU à la métrique appelée "KS métrique". Il considère le cas multi-articles,

multi-niveaux. Pour prendre en compte le degré de criticité des modifications en fonction du niveau de nomenclature, il introduit un deuxième indice de criticité (poids selon le niveau). Finalement, il définit l’instabilité comme la somme pondérée des modifications en quantité d’ordre par période et par niveau de nomenclature. Kabak [KAB 09], plus récemment, cumule toutes les caractéristiques des approches ci-dessus et propose une métrique qui tient compte à la fois des modifications en quantité et en délai.

**4.2.2 Famille 2 - Proposition de messages d’anomalies**

Une autre mesure de l’instabilité de MRP consiste à exploiter la liste des messages d’anomalies. Comme dans la famille 1, un indice de criticité ( $\alpha$ ) est pris en compte. Ho [HO 89], [HO 02] définit l’instabilité comme une somme pondérée des messages entrants d’anomalies et messages sortants de replanifications. L’instabilité  $I$  est calculée comme suit (4) :

$$I = \alpha (\text{Nombre total de messages entrants}) + (1 - \alpha)(\text{Nombre total de messages sortants}) \quad (4)$$

avec  $(0 \leq \alpha \leq 1)$  (4)

**4.2.3 Fréquence d’utilisation des 8 méthodes de mesure de l’instabilité**

Sur l’ensemble des 78 articles recensés, 30% des articles considèrent l'IP 12 (mesure de l’instabilité). La fréquence d’utilisation des 8 méthodes est décrite par la Figure 11.

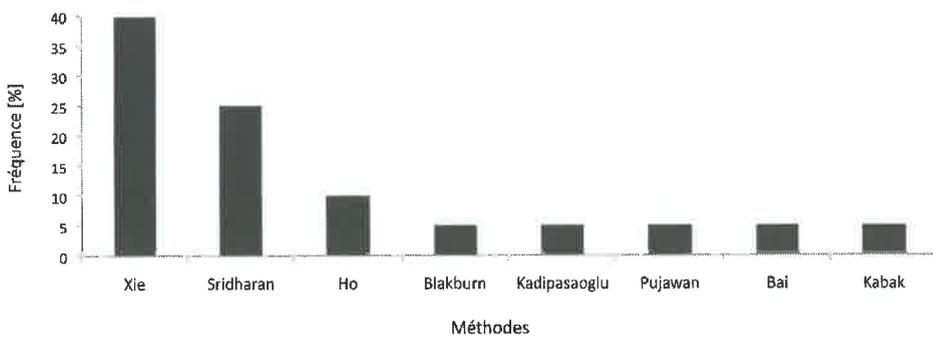


Figure 11 : Fréquence d’utilisation des méthodes de mesure de l’instabilité.

**4.3 La liste des relations PA-IP**

La Figure 12 décrit les PA et IP étudiés pour chacun des 78 articles de la bibliographie.

Référence de l'étude	Relation PA-IP	
	PA	IP
1 [AGA 94]	PA2,PA27	IP3,IP20,IP30
2 [BAR 03]	PA2,PA14,PA56,PA57,PA58,PA27	IP29,IP60,IP9,IP61,IP49
3 [BIG 80]	PA27,PA52,PA2	IP14,IP46,IP43,IP44,IP45

4	[BIG 85]	PA27,PA3	IP44,IP14,IP47,IP48
5	[BLA 86]	PA13,PA12,PA27,PA28,PA47,PA51,PA30	IP12,IP43
6	[BRA 99]	PA31,PA53,PA5,PA12	IP29,IP49
7	[BRE 93]	PA46,PA30,PA27,PA5,PA39	IP1
8	[BUZ 94]	PA28,PA6,PA37	IP13,IP29
9	[BYR 94]	PA47,PA11,PA7,PA2,PA6	IP4,IP6,IP13,IP30
10	[CAM 95]	PA15,PA43,PA37	IP13,IP29
11	[DOL 02]	PA6	IP1
12	[ENN 01]	PA5,PA27	IP24,IP25,IP7,IP13
13	[ENN 02]	PA28,PA5,PA43,PA44	IP1
14	[GAL 94]	PA10	IP28,IP33,IP35,IP36
15	[GAR 93-a]	PA44,PA27,PA37,PA46	IP10,IP11,IP12,IP18,IP32
16	[GAR 93-b]	PA44,PA27,PA30,PA46	IP7,IP26,IP27
17	[GAR 95]	PA44,PA27,PA46	IP7,IP10,IP11,IP12,IP26,IP27
18	[GEN 08]	PA38,PA50,PA56	IP1
19	[GUN 93]	PA2,PA12,PA18,PA20	IP29
20	[GUP 93]	PA4,PA35,PA37	IP5,IP25,IP31
21	[GUP 95]	PA30,PA27,PA5,PA52	IP42
22	[HNA 09]	PA5	IP29,IP37
23	[HO 01]	PA5,PA44,PA27	IP1,IP15,IP50
24	[HO 02]	PA43,PA44,PA5,PA27,PA52	IP50,IP51,IP12
25	[HO 05]	PA32,PA12,PA27,PA2,PA23	IP1,IP42
26	[HO 07-a]	PA27,PA47,PA51,PA27	IP41
27	[HO 07-b]	PA32,PA12,PA27,PA2,PA23	IP40,IP42
28	[HO 89]	PA23,PA27,PA44,PA2,PA37	IP1,IP12,IP24
29	[HO 93-a]	PA46,PA30,PA27,PA5,PA38	IP1,IP15,IP32
30	[HO 93-b]	PA46,PA30,PA27,PA43,PA5,PA38	IP1
31	[HO 94-a]	PA27,PA5,PA38,PA9	IP1,IP15
32	[HO 94-b]	PA27,PA5,PA38	IP1,IP15
33	[HO 95-a]	PA46,PA27,PA5,PA38,PA37	IP1
34	[HO 95-b]	PA44,PA27,PA5,PA52	IP1
35	[HO 96]	PA32,PA12,PA27,PA2,PA23	IP40,IP51,IP52
36	[HO 98]	PA43,PA44,PA5,PA27,PA52	IP50
37	[HO 99]	PA27,PA5,PA44,PA38,PA39	IP1
38	[HSU 91]	PA28,PA27,PA43,PA52,PA30	IP43
39	[JEU 00]	PA27	IP37
40	[JEU 06]	PA5,PA43,PA27	IP37
41	[KAD 95-a]	PA30,PA29,PA27,PA44,PA37	IP1,IP12,IP29
42	[KAD 95-b]	PA46,PA37	IP1,IP29
43	[KER 96]	PA1,PA14,PA16,PA46,PA2	IP12,IP13,IP21
44	[LEE 86]	PA27,PA30,PA54,PA49	IP42,IP37,IP53,IP54,IP24,IP16
45	[LIN 94-a]	PA13,PA30,PA8,PA37	IP1
46	[LIN 94-b]	PA38,PA3,PA19,PA36	IP1,IP33
47	[LUC 85]	PA44,PA55,PA8,PA9,PA27	IP1
48	[MAH 09]	PA27	IP3
49	[MEI 05]	PA30,PA39,PA2	IP12
50	[MEL 85]	PA27,PA5	IP54,IP37,IP29,IP56,IP57
51	[MIN 90]	PA27,PA26,PA22,PA12,PA37	IP13,IP14,IP16,IP17
52	[MOH 05]	PA30,PA44,PA5	IP29,IP24,IP13
53	[MOL 98]	PA44,PA27,PA52	IP55
54	[PUJ 04]	PA27,PA44	IP1,IP12,IP39,IP29
55	[RAM 01]	PA8,PA23,PA43	IP29,IP33,IP38
56	[SAH 08]	PA12,PA13,PA8,PA5,PA46,PA44	IP1,IP12
57	[SEL 06]	PA5,PA44,PA50,PA2	IP1

58	[SHO 93]	PA33,PA27,PA37	IP1
59	[SRI 87]	PA24,PA25,PA12	IP43
60	[SRI 88]	PA25,PA12	IP12
61	[SRI 89]	PA12,PA27,PA41,PA44	IP2,IP12,IP29
62	[SRI 90-a]	PA27,PA28,PA13,PA12,PA8,PA37	IP1,IP12
63	[SRI 90-b]	PA38,PA8,PA12,PA24,PA27,PA46	IP2,IP1
64	[SRI 94]	PA40,PA41,PA28,PA31,PA37	IP19,IP29
65	[STE 95]	PA17,PA31,PA34,PA45	IP8,IP24,IP34
66	[VEN 96]	PA8,PA27	IP9,IP13,IP23,IP27
67	[WHY 76]	PA28,PA6,PA44	IP13,IP29
68	[XIE 03]	PA44,PA17,PA2,PA5,PA48,PA12,PA25,PA8	IP29,IP12,IP1
69	[XIE 04]	PA2,PA5,PA48,PA43,PA49,PA12,PA8,PA25	IP1,IP12,IP49
70	[BAI 02]	PA12,PA13,PA28,PA27,PA43,PA5	IP29,IP12,IP1
71	[YAN 87]	PA5,PA44,PA28,PA8	IP43,IP29
72	[YAV 95]	PA42,PA44	IP7,IP22,IP31,IP11
73	[YEU 03]	PA30,PA36,PA43,PA49	IP37,IP53,IP54,IP58,IP59
74	[ZHA 01]	PA28	IP29,IP12,IP1
75	[ZHA 93]	PA46,PA30,PA27,PA25,PA24,PA16,PA12,PA8,PA6,PA37	IP1,IP12,IP30,IP29
76	[ZHA 95]	PA46,PA30,PA27,PA24,PA16,PA13,PA12,PA8,PA6,PA37	IP1,IP12,IP30,IP29
77	[ZHA 96]	PA12,PA25,PA8,PA24,PA30,PA44,PA5,PA27	IP12,IP43
78	[ZHA 97]	PA46,PA30,PA27,PA24,PA13,PA12,PA8,PA6,PA21,PA37	IP1,IP12

Figure 12 : Liste des relations PA-IP par référence bibliographique.

Le nombre de PA et d'IP étudiés au sein d'un même article varie respectivement dans les intervalles [1..10] et [1..6]. Le nombre maximum de références de produits considéré dans les articles est de 18. Les données de la Figure 12 permettent également d'extraire la liste exhaustive des relations PA<sub>i</sub>-IP<sub>j</sub> (i : 1..58 ; j : 1..61) étudiées par article (présentée en annexe). La Figure 13 en représente un extrait. Pour permettre au lecteur une exploitation rapide, la liste est triée par ordre croissant respectivement pour les PA, IP et références d'articles. La liste permet par exemple de répondre aux questions ci-après.

- Dans quel article la relation PA1-IP12 a-t-elle été étudiée ? Réponse ☑: [KER 96]
- La relation PA2-IP1 a-t-elle été étudiée ? Réponse ☑ : oui.
- Combien de fois la relation PA2-IP1 a-t-elle été étudiée ? Réponse ☑ : 5 fois.
- Quels autres IP ont été étudiés avec PA2 ? Réponse ☑: IP3, IP4, IP6, IP9, ....

PA	IP	Article		PA	IP	Article
1	12	[KER 96]	☑	5	12	[XIE 03]
1	13	[KER 96]		5	12	[XIE 04]
1	21	[KER 96]		5	12	[ZHA 96]
2	1	[HO 05]	☑	5	13	[ENN 01]
2	1	[HO 89]	☑	5	13	[MOH 05]
2	1	[SEL 06]	☑	5	15	[HO 01]
2	1	[XIE 03]	☑	5	15	[HO 93-a]
2	1	[XIE 04]	☑	5	15	[HO 94-a]
2	3	[AGA 94]	☑	5	15	[HO 94-b]
2	4	[BYR 94]	☑	5	24	[ENN 01]
2	6	[BYR 94]	☑	5	24	[MOH 05]
2	9	[BAR 03]	☑	5	25	[ENN 01]

Figure 13 : Extrait de la liste en annexe des relations PA-IP étudiées par article.

La matrice de la Figure 14, construite sur la base de l'information de la Figure 13 et annexe, donne un autre éclairage aux relations PA-IP. Les entrées du tableau sont les PA en lignes et les IP en colonnes. La numérotation des PA et IP correspond respectivement à la numérotation des Figure 8 et Figure 9. Une cellule du tableau indique le nombre d'articles dans lesquelles le couple PA-IP est étudié. Afin d'isoler les relations PA-IP les plus étudiées, la matrice est triée (tri décroissant) par ligne (ligne T1) et par colonne (colonne T2). La ligne T1 et la colonne T2 représentent respectivement la somme des valeurs par colonne et par ligne. La ligne T3 et la colonne T4 représentent respectivement la somme cumulée [%] de T1 et T2. La ligne T5 et la colonne T6 représentent respectivement le nombre de cellules non-vides par colonne et par ligne.

PA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420	1421	1422	1423	1424	1425	1426	1427	1428	1429	1430	1431	1432	1433	1434	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441	1442	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	1456	1457	1458	1459	1460	1461	1462	1463	1464	1465	1466	1467	1468	1469	1470	1471	1472	1473	1474	1475	1476	1477	1478	1479	1480	1481	1482	1483	148
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----

L'analyse du tableau permet :

- De compter le nombre de relations PA-IP étudiées : 414 (somme de la ligne T5).
- De compter le nombre d'études PA-IP : 803 (somme de la ligne T1).
- De mesurer l'étendue des relations PA-IP étudiées. Seules 12 % (414 relations PA-IP / (58 PA \* 61 IP)) des cellules du tableau contiennent une valeur.
- D'apprécier le taux de recouvrement de la bibliographie citée respectivement dans les 7 états de l'art et dans cette revue. Le recouvrement est représenté par les cellules grisées de la Figure 14. Par exemple, la cellule ligne 1 (PA27) colonne 1 (IP1) est grisée. Cela signifie que la relation PA27-IP1 est commune à la bibliographie des 7 états de l'art et de cette revue. La 3<sup>ème</sup> ligne de la Figure 15 (complément) indique le complément [%] apporté par le travail de cette revue.

	Nombre de relations PA-IP étudiées	Nombre d'études PA-IP	Nombre d'IP	Nombre de PA	Nombre d'articles
Cette revue	414	803	61	58	78
Les 7 précédents états de l'art	177	344	24	33	35
<b>Complément</b>	<b>+57% (1-177/414)</b>	<b>+57%</b>	<b>+60%</b>	<b>+43%</b>	<b>+55%</b>

Figure 15 : Compléments.

- D'extraire les relations PA-IP les plus étudiées. La Figure 16 (extrait de la Figure 14) met en exergue les 13 premiers PA et IP. Ce groupe de relations représente 70 % des études (ligne T3 et T4). A noter qu'approximativement 20 % (13 PA / 58 et 13 IP / 61) des relations PA-IP sont représentées par (PA : la règle de lotissement, la variation de la demande, le délai de production et la règle d'ordonnancement) – (IP : coût total, instabilité du système, taux de service, niveau de stock). On observe également que l'incertitude sur la demande est celle qui a retenu la plus grande attention.

PA	IP													
	Coût (replanification, lancement, possession)	Insaisabilité du système	Taux de service	Niveau du stock de produits finis	Coût (possession, préparation)	Taux d'utilisation des machines	Retard de production	Coût (rupture, possession, préparation)	Couverture de stock	Nombre de replanifications	Coût (possession)	Poids des messages de replanifications	Encours de production	
	1	12	29	13	43	30	24	42	49	15	37	50	7	
Règle de lotissement	27	21	14	8	3	4	3	3	4	1	4	4	3	3
Incertitude de la demande	44	11	10	7	2	2	.	2	.	.	1	.	3	3
Délai de production	5	15	6	7	2	2	.	2	1	2	4	3	3	1
Horizon de planification	12	10	12	7	1	3	2	.	2	2	.	.	.	.
Structure du produit	30	8	7	4	1	3	2	2	2	.	1	2	.	1
Règle d'ordonnancement	37	10	7	7	3	.	2	1	.	.	.	.	.	.
Capacité	2	5	5	3	2	1	2	1	2	2	.	.	.	.
Type de demande	46	10	7	3	1	.	2	.	.	.	1	.	.	2
Fréquence de planification	8	10	8	5	1	2	2	.	.	1	.	.	.	.
Erreurs de prévision	43	4	3	3	1	1	.	.	.	1	.	2	2	.
Stock de sécurité	28	4	4	6	2	3	.	.	.	.	.	.	.	.
Délai de sécurité	6	4	3	4	3	.	3	.	.	.	.	.	.	.
Horizon gelé de planification	13	6	6	2	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.

Figure 16 : Relations PA-IP les plus étudiées.

#### 4.4 Le type de propriétés PA-IP

Dans chaque article de la bibliographie, la construction des propriétés PA-IP est basée sur l'interprétation statistique des résultats numériques d'un plan d'expériences. Le nombre de propriétés déduites est important. Par souci de concision, un extrait des propriétés est présenté ci-dessous : Ho [HO 93-b], Buzacott [BUZ 94] Kadipasaoglu [KAD 95-a].

[HO 93-b] :

- La distribution de la demande n'affecte pas le système MRP.
- L'incertitude du délai n'affecte pas le système MRP.
- Le système MRP est significativement affecté par la présence d'erreurs de prévision.

[BUZ 94] :

- Le délai de sécurité est généralement préférable au stock de sécurité si les prévisions sont respectées.

- Si les prévisions sont fréquemment modifiées alors un délai de sécurité est recommandé.
- Dans une production sur stock, il est recommandé de considérer un stock de sécurité plutôt qu'un délai de sécurité.

[KAD 95-a] :

- Parmi les stratégies de réduction de l'instabilité du système (geler une portion du programme directeur de production, mise en place d'un stock de sécurité, utilisation d'une règle de lotissement "lot-pour-lot" pour les produits finis), la stratégie consistant à geler une portion du programme directeur de production est la plus efficace.
- Si la demande est incertaine, le nombre de replanifications est important.
- La règle de lotissement est susceptible de neutraliser l'effet négatif des erreurs de prévision.

## 5. Interprétation des relations PA-IP

Les listes des Figure 8 et Figure 9 résument les 58 PA et 61 IP recensés dans la bibliographie. L'étude générale des comportements d'un système MRP comportant autant de variables semble à ce jour trop complexe et n'a pas été entreprise. Les divers auteurs ont limité leurs investigations à l'étude d'un nombre restreint de relations PA-IP. La plupart des PA sont fixés pour une étude donnée. Ces PA dont la valeur est fixée pour l'étude constituent des contextes d'étude ou des typologies de système de production. Par exemple :

- Demande et délai incertain [DOL 07].
- Nomenclature mono-niveau et demande déterministe [BAR 03].
- Nomenclature mono-niveau et demande stochastique [HO 93-a].
- Nomenclature multi-niveaux et demande déterministe [ZHA 97].
- Nomenclature multi-niveaux et demande stochastique [ZHA 93].
- Pas de contrainte de capacité [KAD 95-b].
- Pas d'erreurs de prévision [LIN 94-a].

La Figure 14 fournit une mesure de l'étendue du travail effectué et des connaissances accumulées pour étudier le comportement du système MRP. Une étude complète conduirait à renseigner l'ensemble des 3538 (58 PA\*61 IP) cases du tableau. Or, seules 12 % des cellules du tableau contiennent une valeur. Ce pourcentage paraît relativement faible au regard d'une hypothétique connaissance exhaustive sur le comportement d'un système MRP. Les obstacles à la constitution d'une telle connaissance de même que l'intérêt de cette information seront discutés d'ici quelques paragraphes.

Les propriétés sont contextuelles. On notera le danger à exploiter les propriétés dans un contexte différent du contexte simulé. Ainsi dans l'exemple de Ho ([HO 93-b], § 4.4), les deux premières affirmations prises à la lettre hors contexte sont discutables. Les simulations effectuées ont mis en évidence l'influence de l'incertitude du délai et de la distribution de la demande sur le système simulé avec des valeurs fixées pour un grand nombre de PA. Il n'a pas été prouvé qu'en aucun cas l'incertitude du délai et la distribution de la demande n'affectaient le système MRP et pouvaient être la cause de l'apparition d'instabilités. De même, les autres affirmations font apparaître l'existence d'une influence de certains PA dans les situations simulées et rien ne démontre que l'influence reste vraie lorsqu'on fait varier simultanément d'autres PA du système.

Cependant, les expériences de ces travaux simulent des conditions de fonctionnement et de perturbation standard. Dans ce contexte, certains résultats renforcent l'intuition du gestionnaire. Ce sont des connaissances générales et répertoriées par exemple :

- Etude [ZHA 95] : geler à 100 % le programme directeur de production (PDP) est désastreux dans un système incertain. En revanche, geler une portion du PDP semble un bon compromis entre stabilité et perte au niveau du taux de service.
- Etude [HO 94-a] : des changements techniques influencent substantiellement le coût du stock (articles devenus obsolètes).

L'intégration d'éléments aléatoires (prévisions de vente), fait apparaître des comportements nouveaux :

- Etude [HO 94-b] : une règle de lotissement simple comme la règle de lotissement à couverture glissante peut-être aussi efficace qu'un algorithme de type Wagner-Within dans un système où les aléas sont inévitables.
- Etude [HO 94-a] : la sélection d'une règle de lotissement appropriée atténue l'impact des changements techniques.

Et d'autres résultats apportent des connaissances nouvelles souvent difficiles à soupçonner, voire contre intuitives comme une diminution de la demande peut provoquer une rupture de stock (cf. § 2.2).

Les résultats ci-dessus permettent, dans les limites de validité des modèles, d'orienter rationnellement l'action ou la démarche de choix des valeurs de PA. Toutefois, il convient d'en souligner certaines limites. La comparaison des propriétés entre elles est délicate. Tout d'abord ces propriétés sont qualitatives. Puis la formalisation des résultats n'est pas standard. Les propriétés sont énoncées par le radical : « est affecté par », « est significativement affecté par », « il y a une relation forte entre », « il est prudent de ». La comparaison des travaux montre également l'extrême sensibilité des résultats aux modèles simulés. Deux études quasi identiques peuvent mener à des conclusions différentes. Celles-ci sont très dépendantes des hypothèses sur les variables du cas d'étude. Les conclusions d'une étude faite avec une structure de produit mono-niveau seront certainement différentes d'une étude menée avec une structure multi-niveaux. Ainsi, Sridharan [SRI 87], [SRI 88] a montré sur un système MRP mono-niveau que « la règle de lotissement n'a pas d'effet significatif sur le coût du stock et l'instabilité du système ». Zhao [ZHA 93] a repris l'expérience et a infirmé la règle précédente en étudiant un système MRP multi-niveaux. Comme les propriétés formalisées dans les différents travaux recensés sont contingentes, leur application dans le cas général reste délicate. En effet, compte tenu de la complexité des systèmes étudiés, il est fort probable que chaque PA est indirectement susceptible d'influencer chaque IP. Mais, l'intensité des effets des PA sur les IP reste très liée au contexte d'étude.

A la lumière de ces interprétations, il apparaît que l'utilisation pratique des résultats des travaux disponibles demande au préalable une vérification scrupuleuse de l'adéquation des PA entre le système qu'on pilote et le système simulé. Cette adéquation est fort peu probable au vu de l'analyse des valeurs des paramètres de ces études pour les raisons suivantes :

- Trop de paramètres sont fixés ou non précisés dans les modèles étudiés.
- Beaucoup d'études considèrent un seul type d'incertitude : généralement la demande. Dans la réalité, il existe d'autres incertitudes : qualité, délai de mise à disposition, rebut, etc.
- Les conditions environnementales ne sont pas toujours très réalistes (structure de produit mono-niveau, prévision fiable, le nombre de produits finis est en général de l'ordre de 1 à 2 produits).
- Peu d'études tiennent compte des contraintes de capacité.

- Les modèles sont trop simples, seuls six travaux parmi les 78 sont inspirés de cas industriels.
- Certains contextes d'étude sont contradictoires comme par exemple le contexte d'étude considérant un horizon glissant et une demande déterministe.
- Peu d'études tiennent compte de la sensibilité des PA.

Les raisons probables de la simplicité des modèles sont certainement liées à des obstacles expérimentaux : la difficulté à réaliser des simulateurs rapides et réalistes de systèmes réels, la difficulté à interpréter les résultats d'un plan d'expériences faisant intervenir de nombreuses variables. Les plans d'expériences ne sont pas conçus pour comprendre des systèmes à très grand nombre de variables.

## 6. Conclusion et perspective de recherche

Le contexte général de cette revue de la littérature est l'étude de l'instabilité d'un système MRP en environnement incertain. Le modèle d'étude est la relation PA-IP. Les objectifs fixés dans cette revue sont les suivants : décrire clairement le champ d'application « MRP en environnement incertain », actualiser la bibliographie des sept états de l'art déjà existants, construire la liste exhaustive respectivement des PA, des IP et des relations PA-IP étudiés, interpréter les propriétés PA-IP déduites. Les résultats se traduisent par : une liste de 78 articles, de 58 PA, de 61 IP, de 803 études PA-IP (dont 414 relations PA-IP). Par rapport aux états de l'art existants, la contribution de cette revue se traduit par : + 55% articles, + 43% PA, + 60% IP, + 57% relations PA-IP. A noter que le tableau en annexe fournit un véritable point de départ aux chercheurs et praticiens. Il représente une liste exhaustive des 803 études PA-IP sur les 35 dernières années. L'organisation du tableau permet de plus une navigation et lecture rapide. L'interprétation des propriétés issues des travaux bibliographique montre le caractère circonstanciel des lois de fonctionnement des systèmes qui nous préoccupent. Il est peu probable qu'on puisse se contenter des résultats de ces études pour résoudre la problématique du paramétrage sur un système réel. En revanche, l'utilisation de la démarche de construction d'un ensemble de solutions PA-IP (plan d'expériences + simulation + table de réponses IP) sur des cas particuliers industriels est envisageable, mais sa mise en œuvre la rend parfois difficile.

La simulation peut être un outil approprié pour l'étude du comportement des systèmes de production. L'utilisation de cette technique se heurte au problème pratique, rarement évoqué dans la littérature de gestion et non-résolu à ce jour, de la durée de la simulation. Le nombre important de variables des systèmes étudiés limite actuellement le nombre de simulations réalisables. Pour de nombreux problèmes, il n'est pas actuellement concevable d'effectuer un

plan d'expériences dans lequel on fait varier toutes les variables du système. Le décideur est contraint de réduire le nombre de variables du plan en fonction de son expérience et du contexte général de l'étude.

Le dépouillement du plan est à la charge du décideur. Il doit notamment évaluer les solutions du plan en les comparant dans un cadre multicritère (nombre d'IP>1). La comparaison multicritère suppose également la capacité de la part du décideur à établir des préférences entre performances. Or, la technique standard de dépouillement des plans d'expériences se limite à fournir de l'information sur l'importance de l'effet des divers paramètres et ceci sur un indicateur de performance à la fois.

L'étude menée a mis en lumière un certain nombre d'obstacles pour répondre de manière systématique aux questions introductives de cette revue de la littérature. Le caractère particulier de chaque système ainsi que la nouveauté des situations de pilotage à traiter incitent à rechercher une démarche de compréhension et de représentation du comportement d'un système particulier plutôt que d'adopter une démarche d'accumulation de lois plus ou moins générales de comportement des systèmes de production. Ce type de représentation du comportement du système de production doit permettre à l'utilisateur de raisonner c'est-à-dire de comprendre la structure qui relie les données. La mise en exergue de la structure de données doit refléter des connaissances exploitables et utiles. Les études portées à notre connaissance [BEL 96], [BAR 03], [DAM 03] se sont fixées comme objectif d'apporter des éléments d'information par rapport aux quatre problématiques de référence d'aide à la décision [ROY 84] qui sont les problématiques de la sélection, du rangement, du tri et de la description des relations PA-IP. Ces études proposent un modèle interactif et visuel d'aide au choix des PA. La représentation ne dit pas ce qu'il faut faire, elle ne dit pas de manière certaine l'action optimale, mais elle aide à chercher et à définir un mode d'action.

## 7. Bibliographie

[AGA 94] Agarwal, G., Subash B. A., 1994. A simulation study of performance of MRP based systems under interaction effects. *International Journal of Production Planning and Control*, 5 (1), 30-46.

[BAI 02] Bai, X., David, J. S., Kanet, J. J., Cantrell, S., Patterson, J. W., 2002. Schedule instability, service level and cost in an material requirements planning system. *International Journal of Production Research*, 40 (7), 1725-58.

[BAR 03] Barth, M., Damand, D., De Guio R., 2003. How Can we Ascertain, Understand and Interpret the Performance Level of a Production System? A Visual Method: "the Plan of Preferences". *International Journal of Production Planning and Control*, 14 (3), 233-43.

[BEL 96] Belton, V., Elder, M.D., 1996. Exploring a multicriteria approach to production scheduling. *International Journal of the Operational Research Society*, 47 (1), 162-74.

[BIG 80] Biggs, J. R., Hahn, C. K., Pinto, P. A., 1980. Performance of Lot-Sizing Rules In an MRP System With Different Operating Conditions. *Academy of Management Review*, 5 (1), 89-96.

[BIG 85] Biggs, J. R., 1985. Priority rules for shop floor control in a material requirements system under various levels of capacity. *International journal of Production Research*, 23 (1), 33-46.

[BLA 80] Blackburn J. D., Millen R. A., 1980. Heuristics lot-sizing performance in a rolling schedule environment. *Decision Sciences*, 11 (4), 691-701.

[BLA 85] Blackburn J. D., Kropp D. H., Millen, R. A., 1985. MRP system nervousness : Causes and cures. *Engineering Costs and Production Economics*, 9 (1-3), 141-46.

[BLA 86] Blackburn, J. D., Kropp, D. H., Millen, R. A., 1986. A comparison of strategies to dampen nervousness in MRP systems. *Management Science*, 32 (4), 413-29.

[BRA 99] Bragg, D.J., Duplaga, E.A., Watts, A., 1999. The effects of partial order release and component reservation on inventory and customer service performance in an MRP environment. *International Journal of Production Research*, 37 (3), 523-38.

[BRE 93] Brennan, L., Gupta, S.M., 1993. A structured analysis of material requirements planning systems under combined demand and supply uncertainty. *International Journal of Production Research*, 31 (7), 1349-62.

[BUZ 94] Buzacott, J.A., Shanthikumar, J.G., 1994. Safety stock versus safety time in MRP controlled production systems. *Management Science*, 40 (12), 1678-89.

[BYR 94] Byrne, M.D., Jackson, R.J., 1994. A study of bottlenecks in a MRP environment using simulation". *International Journal of Economics*, 35 (1-3), 115-120.

[CAM 71] Campbell, K.L., 1971. Scheduling is not the problem. *Journal of production and inventory management*, 12 (3), 53-77.

[CAM 95] Campbell, G.M., 1995. Establishing safety stocks for master production schedules. *International Journal of Production Planning and Control*, 6 (5), 404-12.

[CAR 79] Carlson, C. J., Jucker, J. V., Kropp, D. H., 1979. Less nervousness MRP systems: a dynamic economic lot sizing approach. *Management Science*, 25 (8), 754-61.

[CHU 88] Chu, C. H., Hayya J. C., 1988. Buffering decisions under MRP environment: A review. *Management Science (Omega)*, 16 (4), 325-31.

[COX 98] Cox J. F., Blackstone, J. H., 2005. *Apics Dictionary*, 9th (VA, USA: APICS, the Educational Society for Resource Management).

[DAM 03] Damand D., Barth M. De Guio R., 2003. Comment découvrir, comprendre, et interpréter les performances d'un système de production ? Une méthode visuelle : "Le plan des préférences", *Revue Française de Gestion Industrielle* 22 (4).

[DOL 02] Dolgui, A., Ould-Louly, M.-A., 2002. A model for supply planning under lead time uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 78 (2), 145-52.

[DOL 07] Dolgui, A., Prodhon, C., 2007. Supply planning under uncertainties in MRP environments: A state of the art. *Annual Reviews in Control*, 31 (2), 269-79.

[ENN 01] Enns, S. T., 2001. MRP performance effects due to lot size and planned lead time settings. *International Journal of Production Research*, 39 (3), 461-480.

[ENN 02] Enns, S. T., 2002. MRP performance effects due to forecast bias and demand uncertainty. *International Journal of Production Research*, 138 (1), 87-102.

[GAL 94] Galbraith, L., Standridge, C.R., 1994. Analysis in manufacturing systems simulation: a case study. *Simulation*, 63 (6), 369-76.

[GAR 93-a] Gardiner, S.C., Blackstone, J.H., 1993. The effects of lot sizing and dispatching on customer service in an MRP environment. *Journal of Operations Management*, 11 (2), 143-59.

[GAR 93-b] Gardiner, S.C., Blackstone, J.H., 1993. Impact of lot-sizing on the financial performance of dispatching techniques in an MRP-planned fabrication and assembly environment. *International Journal of Production Research*, 31 (7), 1595-610.

[GAR 95] Gardiner S.C., Blackstone, J.H., 1995. Setups and effective capacity: the impact of lot sizing techniques in an MRP environment. *Production Planning and Control*, 6 (1), 26-38.

[GEN 08] Genin, P., Lamouri, S., Thomas, A., 2008. Multi-facilities tactical planning robustness with experimental design. *International Journal of Production Planning and Control*, 19 (2), 171-82.

[GUI 00] Guide, V. D. R, Srivastava, R., 2000. A review of techniques for buffering against uncertainty with MRP systems. *International Journal of Production Planning and Control*, 11 (3), 223-33.

[GUN 93] Gunasekaran, A., Martikainen, T., Yli-Olli, P., 1993. Modelling the effect of demand variations on the performance of a production system. *International Journal of Systems Science*, 24 (7), 1349-62.

[GUP 93] Gupta, M.C., Gupta, Y.P., Evans, G.W., 1993. Operations planning and scheduling problems in advanced manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 31 (4), 869-900. Explaining observed productivity differentials between plants: implications for operations research

[GUP 95] Gupta, S. M., Brennan, L., 1995. MRP systems under supply and process uncertainty in an integrated shop floor control environment. *International Journal of Production Research*, 33 (1), 205-20.

[HAY 85] Hayes, R.H., Clark, K.B, 1985. Explaining observed productivity differentials between plants: implications for operations research. *Interfaces*, 15 (6), 3-14.

[HNA 09] Hnaïen, F., Delorme, X., Dolgui, A., 2010. Multi-objective optimization for inventory control in two-level assembly systems under uncertainty of lead times. *Computers & Operations Research*, 37 (11), 1835-43.

[HO 01] Ho, C. -J., Kim, S. -C., Koo, M., 2001. MRP system performance under lumpy demand environments. *International Journal of Planning and Control*, 12 (4), 316-25.

[HO 02] Ho, C. -J., 2002. Evaluating dampening effects of alternative lot-sizing rules to reduce MRP system nervousness. *International Journal of Production Research*, 40 (11), 2633-52.

[HO 05] Ho, C. -J., 2005. Examining dampening effects for alternative dampening procedures to cope with system nervousness. *International Journal of Production Research*, 43, (19), 4009-33.

[HO 07-a] Ho, C. -J., 2007. Exploring the compatibility of dampening procedures and lot-sizing rules in MRP systems under uncertain operating environments. *International Journal of Production Research*, 46 (18), 5097-120.

[HO 07-b] Ho, C. -J., Solis A. O., Chang Y. L., 2007. An evaluation of lot-sizing heuristics for deteriorating inventory in material requirements planning systems. *Computers & Operations Research*, 34 (9), 2562-75.

[HO 89] Ho, C. -J., 1989. Evaluating the impact of operating environments on MRP system nervousness. *Computers & Operations Research*, 27 (7), 1115-35.

[HO 92] Ho, C. J., 1992. An examination of a distribution resource planning problem: DRP system nervousness. *Journal of business Logistics*, 13, (2), 125-52.

[HO 93-a] Ho, C.J., 1993. Evaluating lot-sizing performance in multi-level MRP systems. A comparative analysis of multiple performance. *International Journal of Operations & Production*, 13 (11), 52-79.

[HO 93-b] Ho, C.J., Ireland T.C., 1993. A diagnostic analysis of the impact of forecast errors on production planning via MRP system nervousness. *Production Planning and Control*, 4 (4), 311-22.

[HO 94-a] Ho, C.J., 1994. Evaluating the impact of frequent engineering changes on MRP system performance. *International Journal of Production Research*, 32 (3), 619-41.

[HO 94-b] Ho, C.J., Lau H.S., 1994. Evaluating the impact of lead time uncertainty in material requirement planning systems. *European journal of operational research*, 75 (1), 89-99.

[HO 95-a] Ho, C. -J., Law, W.-K., Rampla, R., 1995. Uncertainty-dampening methods for reducing MRP system nervousness. *International Journal of Planning and Control*, 33 (2), 483-96.

[HO 95-b] Ho, C.J., 1995. Examining the impact of demand lumpiness on the lot-sizing performance in MRP systems. *International Journal of Production Research*, 33 (9), 2579-99.

[HO 96] Ho, C.J., Carter, L., 1996. An investigation of alternative dampening procedures to cope with MRP nervousness. *International Journal of Production Research*, 34 (1), 137-56.

[HO 98] Ho, C.J., 1998. Correlating MRP system nervousness with forecast errors. *International Journal of Production Research*, 36 (8), 2285-99.

[HO 99] Ho, C.J., 1999. Evaluating the effectiveness of using lot-sizing rules to cope with MRP system nervousness. *International Journal of Planning Control*, 10 (2), 150-61.

[HSU 91] HSU, J., 1991, Integrating safety stock and lot-sizing policies for multi-stage inventory systems under uncertainty. *Journal of Business Logistics*, 12 (2), 221-36.

[INM 97] Inman, R. R., Gonsalvez, D. J., 1997. The causes of schedule instability in an automotive supply chain. *Journal of Production and Inventory Management*, 38 (2), 26-32.

[JEU 00] Jeunet, J., Jonard N., 2000. Measuring the performance of lot-sizing techniques in uncertain environments. *International Journal of Production Economics*, 64 (1-3), 197-208.

[JEU 06] Jeunet J., 2006. Demand forecast accuracy and performance of inventory policies under multi-level rolling schedule environments. *International Journal of Production Economics*, 103 (1), 401-19.

[KAB 09] Kabak, K. E, Ornek, A.M., 2009. An improved metric for measuring multi-item multi-level schedule instability under rolling schedules. *Computers & Industrial Engineering*, 56 (2), 691-707.

[KAD 95-a] Kadipasaoglu, S.N., Sridharan, V., 1995. Alternative approaches for reducing schedule instability in multistage manufacturing under demand uncertainty. *Journal of Operations Management*, 13 (3), 193-11.

[KAD 95-b] Kadipasaoglu, S.N., 1995. The effect of freezing the master production schedule on cost in multilevel MRP systems. *International Journal of Production and Inventory Management Journal*, 36 (3), 30-6.

[KAD 97] Kadipasaoglu, S. N., Sridharan, S. V., 1997. Measurement of instability in multi-level MRP systems. *International Journal of Production Research*, 35 (3), 713-37.

[KER 96] Kern, G.M., Wei, J.C., 1996. Master production rescheduling policy in capacity-constrained just-in-time make-to-stock. *Decision Sciences*, 27 (2), 365-87.

[KOH 00] Koh S.C., Jones, M. H., Saad, S. M., Arunachalam, S., Gunasekaran, A., 2000. Measuring uncertainties in MRP environments. *International Journal of Logistics Information Management*, 13 (3), 177-83.

[KOH 02] Koh, S. C., L. Saad S., M., Jones, M. H., 2002. Uncertainty under MRP-planned manufacture: review and categorization. *International Journal of Production Research*, 40 (10), 2399-421.

[LEE 86] Lee, T. S., Everett, E., Adam, J. R., 1986. Forecasting error evaluation in material requirements planning (MRP) production inventory systems. *Management Sciences*, 32 (9), 1186-205.

[LIN 94-a] Lin, N-P, Krajewski, L., Leong, G.K., Benton, W.C., 1994. The effects of environmental factors on the design of master production scheduling systems. *Journal of Operations Management*, 11 (4), 367-84.

[LIN 94-b] Lin, C., Madu, C.N., Kuei, C.H., 1994. Experimental design and regression analysis in simulation: an automated flowline case study. *Microelectronics and Reliability*, 34 (5), 845-61.

[LUC 85] Luc, G. Chalmet, De bodt, M., Van Wassenhove, L., 1985. The effect of engineering changes and demand uncertainty on MRP lot sizing: a case study. *International Journal of Production Research*, 23 (2), 233-51.

[MAH 09] Mahdavi, I., Shirazi, B., Solimanpur, M., Sahebjamnia, N., 2009. Lot size approximation based on minimising total delay in a shop with multi-assembly products. *International Journal of Production Research*, 47 (10), 2685-703.

[MAT 77] Mather, U., 1977. Reschedule the reschedules you just rescheduled – Way of the life for MRP? *Production and Inventory Management*, 18 (1), 60-79.

[MEI 05] Meixell, J. M., 2005. The impact of setup costs, commonality, and capacity on schedule stability: An exploratory study. *International Journal of Production Economics*, 95 (1), 95-107.

[MEL 85] Melnyk, S. A., Piper, C. J., 1985. Lead time errors in MRP: the lot-sizing effect. *International Journal of Production Research*, 23 (2), 253-64.

[MET 99] Metters, R. D., Vargas, V., 1999. A comparison of production scheduling policies on costs, service levels, and schedule changes. *Production and Operations Management*, 8 (1), 76-91.

[MIN 85] Minifie, J.R., Heard, E., 1985. On the generalizability of MRP simulation results. *Engineering Costs and Production Economics*, 9 (1-3), 211-17.

[MIN 86] Minifie, J.R., Davis, R.A., 1986. Survey of MRP nervousness issues. *International Journal of Production and Inventory Management*, 27 (3), 111-20.

[MIN 90] Minifie, J.R., Davis, R.A., 1990. Interaction effects on MRP nervousness. *International Journal of Production Research*, 28 (1), 173-83.

[MOH 05] Mohebbi, E., Choobineh, F., 2005. The impact of component commonality in an assemble-to-order environment under supply and demand uncertainty, *International Journal of Management Science*, 33 (6), 472-82.

[MOL 98] Molinder, A., Olhager, J., 1998. The effect of MRP lot sizing on actual cumulative lead times in multi-level systems. *International Journal of Production Planning*, 9 (3), 293-302.

[MUL 06] Mula, J., Poler, R., Garcia, S., Lario F. C., 2006. Models for production planning under uncertainty: A review. *International Journal of Production Economics*, 103 (1), 271-85.

[MUR 91] Murthy, D.N.P., Ma, L., 1991. MRP with uncertainty: a review and some extensions. *International Journal of Production Economics*, 25 (1-3), 51-64.

[ORL 75] Orlicky, J., 1975. *Material requirements planning*, McGraw-Hill, New York.

[PUJ 04] Pujawan, I. N., 2004. The effect of lot sizing rules on order variability. *European Journal of Operational Research*, 159 (3), 617-35.

[RAM 01] Ram, G., Boone, T., Stenger, A. J., 2001. The impact of inventory and how planning parameters on supply chain performance: An exploratory study. *International Journal of Production Economics*, 71 (1-3), 111-118.

[ROY 84] Roy, B., Vincke, P., 1984. Relational systems of preference with one or more pseudo-criteria: some new concepts and results. *Management Science*, 30 (11), 1323-35.

[SAH 08] Sahin, F. E., Robinson, P., Gao L.-L., 2008. Master production scheduling policy and rolling schedules in a two-stage make-to-order supply chain. *International Journal of Production Economics*, 115 (2), 528-41.

[SEL 06] Selçuk, B., Fransoo, J. -C., De Kok, A.G., 2006. The effect of updating lead times on the performance of hierarchical planning systems. *International Journal of Production Economics*, 104 (2), 427-40.

[SHO 93] Shoshana, A., 1993. Single machine lot-sizing with uniform yields and rigid demands: robustness of the optimal solution. *IIE Transactions*, 27 (5), 625-33.

[SRI 87] Sridharan, V., Berry, W.L., Udayabhanu, V., 1987. Freezing the master production schedule under rolling planning horizons. *Decision Sciences*, 33 (9), 1137-49.

[SRI 88] Sridharan, V., Berry, W. L., Udayabhanu, V., 1988. Measuring master production schedule stability under rolling planning horizons, *Decision Sciences*, 19 (1), 147-66.

[SRI 89] Sridharan, V., LaForge, R.L., 1989. The impact of safety stock on schedule instability, cost and service. *International Journal of Operations Management*, 8 (4), 327-47.

[SRI 90-a] Sridharan, V., Berry, W.L., 1990. Master production scheduling make-to-stock products: a framework for analysis. *International Journal of Production Research*, 28 (3), 541-58.

[SRI 90-b] Sridharan, V., Berry, W.L., 1990. Freezing the master production schedule under demand uncertainty. *Decision Sciences*, 21 (1), 97-120.

[SRI 94] Sridharan, V., LaForge, R.L., 1994. A model to estimate service levels when a portion of the master production schedule is frozen. *Computers & Operations Research*, 21 (5), 477-86.

[STE 76] Steele, D. C., 1976. The nervous MRP system. How to battle? *Production and Inventory Management*, 16 (4), 83-89.

[STE 95] Steele, D.C., Berry, W.L., Chapman S.N., 1995. Planning and control in multi-cell manufacturing. *Decision Sciences*, 26 (1), 1-34.

[VEN 96] Venkataraman, R., Yuehwern, Yih, Chang-Yung, Liu, 1996. Frequency of replanning in a rolling horizon master production schedule for a process industry environment: a case study. *International Journal of Production and Operations Management*, 5 (3), 255-65.

[VOL 97] Vollmann, T. E., Berry, W. L., Whybark, D. C., 1997. *Manufacturing Planning and Control Systems*, ISBN 0-256-13899-0.

[WHY 76] Whybark, D. C., Williams, J., 1976. Material requirements planning under uncertainty. *Decision Science*, 7 (4), 595-606.

[XIE 03] Xie, J., Zhao, X., Lee, T.S., 2003. Freezing the master production schedule under single constraint and demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 83 (1), 65-84.

[XIE 04] Xie, J., Lee, T.S., Zhao, X., 2004. Impact of forecasting error on the performance of capacited multi-item production systems. *Computers & Engineering*, 46 (2), 205-19.

[YAN 87] Yano, C. A., Carlson, R. C., 1987. Interaction between frequency of rescheduling and the role of safety stock in material requirements planning systems. *International Journal of Production Research*, 25 (2), 221-32.

[YAV 95] Yavuz, I.H., Satir, A., 1995. A kanban-based simulation study of a mixed model just-in-time manufacturing line. *International Journal of Production Research*, 33 (4), 1027-48.

[YEU 03] Yeung, J. H. Y., Ma, L., Law, J. S., 2003. The impact of using multiple freeze fences on costs in MRP systems. *International Journal of Production Research*, 41 (10), 2201-28.

[YEU 98] Yeung, J. H. Y., Wong, W. C. K., Ma, L., 2000. Parameters affecting the effectiveness of MRP systems: a review. *International Journal of Production Research*, 36 (2), 313-331.

[ZHA 01] Zhao, X., Lai, F., Lee, T. S., 2001. Evaluating of safety stock methods in multilevel material requirements planning (MRP) systems. *International Journal of Planning and Control*, 12 (8), 794-803.

[ZHA 93] Zhao, X., Lee, T.S., 1993. Freezing the master production schedule for material requirements planning systems under demand uncertainty. *Journal of Operations Management*, 11 ( 2), 185-205.

[ZHA 95] Zhao, X., Goodale, J.C., Lee, T.S., 1995. Lot-sizing rules and freezing the master production schedule in material requirements planning systems under demand uncertainty. *International Journal of Production Research*, 33 (8), 1678-89.

[ZHA 96] Zhao, X., Lee, T. S., 1996. Freezing the master production schedule in multilevel material requirements planning systems under deterministic demand. *International Journal of Planning and Control*, 7 (2), 144-161.

[ZHA 97] Zhao, X., Kokin, L., 1997. Lot-sizing rules and freezing the master production schedule in material requirements planning systems. *International Journal of Production Economics*, 53 (3), 281-305.