

COMMENT DECOUVRIR, COMPRENDRE ET INTERPRETER LES PERFORMANCES D'UN SYSTEME DE PRODUCTION UNE METHODE VISUELLE : «LE PLAN DES PREFERENCES »

David DAMAND¹, Marc BARTH², Roland DE GUIO³

Résumé. - Le contexte général de cette étude est le paramétrage du système de production. Il s'agit de réguler le flux physique en fonction d'objectifs, habituellement exprimés en valeurs d'indicateurs de performance. Le pilotage de la performance passe par la maîtrise des conséquences des choix effectués. Il devient alors crucial de comprendre les effets potentiels des différentes décisions. Les approches existantes pour résoudre ce problème supposent toutes disposer d'un moyen de simulation capable d'estimer la valeur des indicateurs de performance pour chaque configuration des paramètres d'action qu'on lui soumet. Sur la base de ce postulat, et privilégiant l'utilisateur, nous proposons une démarche multicritère de compréhension et de représentation des relations entre paramètres et indicateurs d'un système donné. La particularité de la démarche proposée est de combiner analyse de la situation et expertise de l'utilisateur. L'instrumentation de la démarche se nourrit d'outils d'analyse de données et d'aide à la décision pour donner naissance à une visualisation originale de la structure des performances dans un plan, appelé « *plan des préférences* ».

Mots clés : Gestion de production, indicateurs de performance, paramètres d'action, simulation, plan des préférences, visualisation, extraction de connaissances, analyse multicritère.

¹ Directeur logistique et organisation, ISRI France.

² Maître de conférence en génie industriel au LRPS de L'INSA de Strasbourg.

³ Professeur des universités en génie industriel au LRPS de L'INSA de Strasbourg.

LRPS (Laboratoire de Recherche en Productique de Strasbourg).

INSA (Institut National des Sciences Appliquées).

1. Introduction : le gestionnaire dans le processus de résolution de problème

Le contexte général de cette étude est le paramétrage du système de production. Il s'agit de réguler le flux physique en fonction d'objectifs habituellement exprimés en valeurs d'indicateurs de performance. Il incombe au gestionnaire d'élaborer les valeurs des paramètres d'action (PA) pour faire atteindre au système à piloter un degré de performance caractérisé par la valeur des indicateurs de performance (IP). Par exemple (Figure 1), en fonction des prévisions de production et de la taille du stock, le gestionnaire se pose la question de la valeur de la taille des lots de production et du stock de sécurité (PA) qui permettent de satisfaire le taux de service, tout en minimisant la valeur du stock (IP).

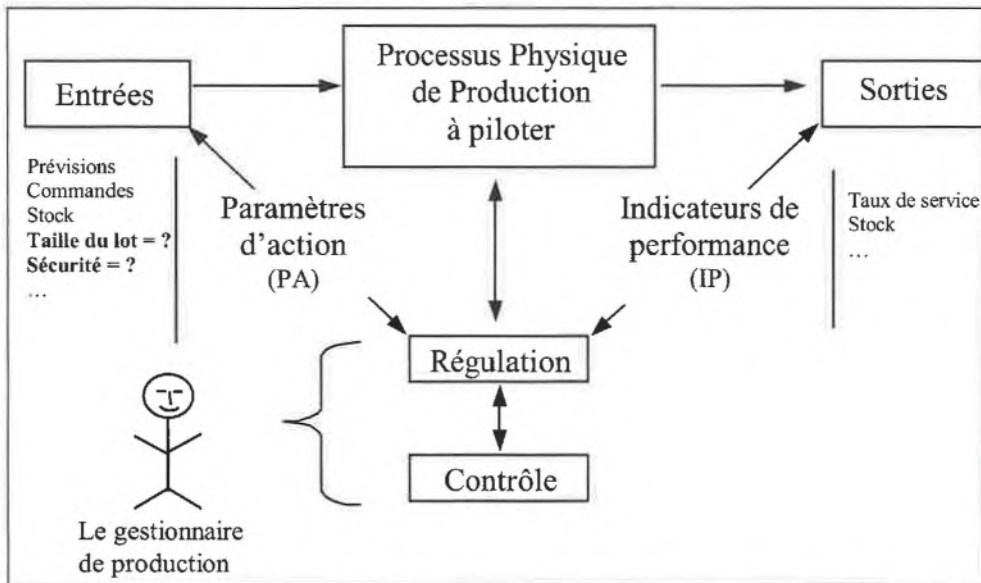


Figure 1 : Modèle de pilotage du processus de production

Les travaux bibliographiques relatifs à ce type de question se rangent en deux familles. Nous avons proposé une analyse détaillée de ces travaux dans [DAM 00] ; nous en livrons ici les principaux résultats.

La première famille de travaux illustrée (Figure 2) utilise un simulateur pour définir à partir d'une situation de production particulière (prévisions, commandes, PAs, données techniques, etc.), des lois de comportement caractérisant un système de production particulier. Un plan d'expériences composé d'une combinaison de PAs sert de base à la simulation.

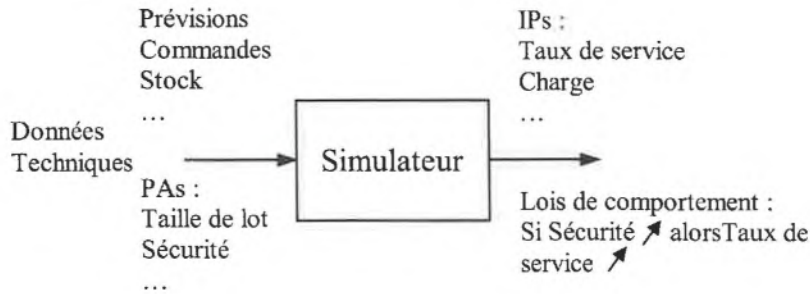


Figure 2 : Recherche de lois de comportement

Des lois de comportement sont mises à jour dans de nombreux travaux comme par [SRI 87], [SRI 88], [ZHA 93], [MIN 85], [MIN 86], [DAM 97], [ZHA 97], [KER 96], [GAR 95], [HO 95]. La connaissance de ces lois aide le gestionnaire à mieux piloter son système de production sans utiliser le simulateur lors d'une nouvelle situation de décision de paramétrage. L'analyse de ces travaux a mis à jour le caractère circonstanciel des lois de comportement des systèmes étudiés. Les conclusions d'une étude sont très liées aux hypothèses sur les variables du cas d'étude. Deux études très similaires peuvent mener à des conclusions différentes :

- Sridharan et al. [SRI 87], [SRI 88] ont montré que sur un système MRP dont les produits avaient une nomenclature mono-niveau que « *La règle de lotissement n'a pas d'effet significatif sur le coût du stock et l'instabilité du système* » ;
- Zhao et Lee [ZHA 93] ont repris l'expérience et ont infirmé la règle précédente en étudiant un système de production avec des produits à nomenclature multi-niveaux.

Comme les lois de comportement formalisées dans les différents travaux recensés sont très dépendantes des valeurs d'autres paramètres constants, leur application comme lois de comportement général à tous les systèmes est délicate. Compte tenu de la complexité des systèmes étudiés, il est fort probable que chaque paramètre soit directement ou indirectement susceptible d'influencer chaque indicateur. Ainsi, si le gestionnaire décide d'appliquer un paramétrage escomptant un comportement donné de son système, il devrait, en toute rigueur, vérifier si les paramètres réels, constant dans le modèle de simulation lors de la génération des lois de comportement, n'ont pas changé. Cela paraît difficile, voire impossible en pratique, car la majorité des systèmes de production comporte couramment des dizaines de paramètres et un nombre de données techniques ne permettant pas cette vérification en temps réel. Une étude bibliographique représentative de travaux récents, recensés dans une trentaine d'articles [DAM00], montre que la nervosité d'un système MRP dépend de 49 paramètres, influence 37 indicateurs de performance et permet de découvrir une centaine de lois de comportement. Ces lois s'expriment sous la forme : si $\{PA_i, \dots, PA_n\}$ sont modifiés alors $\{IP_j, \dots, IP_m\}$ subissent ou

non un effet. On peut remarquer dans ces travaux que chaque loi comporte, dans la plupart des cas, un seul paramètre et un seul indicateur. Malgré ces limites, les lois de comportement, issues de ces travaux, sont appliquées en entreprise, faute de pouvoir proposer une démarche plus rigoureuse. Face à ce constat, d'autres travaux tentent d'apporter une réponse.

La seconde famille de travaux illustrée (Figure 3) est nettement moins abondante dans la littérature que la précédente. Elle propose une démarche de calcul des PAs par optimisation pour faire atteindre une valeur, éventuellement idéale ou optimale, à des Ips.

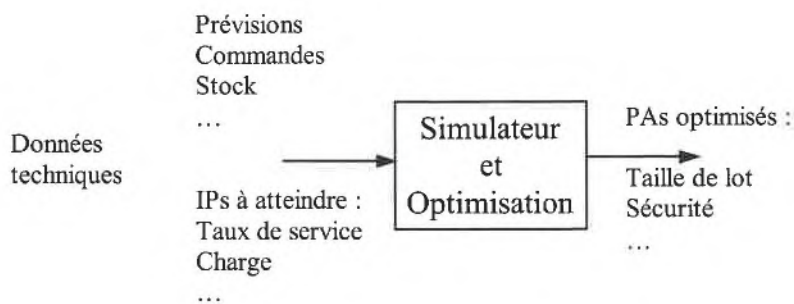


Figure 3. Calcul des PAs par optimisation

Un certain nombre d'exemples sont donnés pour :

- déterminer le nombre de Kanban [MAR 98], [PAR 95], [CHA 94], [HUR 97] ;
- ordonnancer des machines [TAD 95], [LEE 97], [KUR 95], [BAD 91] ;
- ordonnancer des ordres de fabrication [BRA 92], [FLE 98], [AYT 94], [LIN 94] ;
- calculer la taille des lots [KUI 93], [SAL 93] ;
- choisir de gammes d'opérations alternatives [BOW 96] ;
- choisir un niveau de stock [BUL 94].

Les problèmes traités sont formalisés sous la forme de problèmes d'optimisation combinatoire. Le simulateur joue le même rôle que dans les plans d'expériences de l'approche précédente, mais la séquence des simulations n'est pas prédéfinie, elle dépend d'une stratégie et d'objectifs d'optimisation. Un certain nombre de logiciels d'application (logiciel d'ordonnancement, Advanced Planification System) utilisent ces techniques d'optimisation combinatoire.

L'objectif majeur de la deuxième famille de travaux consiste à trouver une solution optimale, c'est-à-dire « la combinaison de paramètres » permettant d'atteindre « la meilleure combinaison d'indicateurs ». Le gestionnaire a ainsi la maîtrise d'une solution particulière du

fonctionnement de son système ce qui lui permet de répondre aux questions suivantes relevant d'une problématique d'optimisation :

- comment caractériser la performance de mon système ?
- comment tenir compte de mes préférences pour modéliser une performance acceptable ?
- mon système a-t-il atteint la meilleure performance ?

La qualité des réponses aux questions précédentes dépend de la qualité des modèles utilisés dans les problèmes d'optimisation que nous ne discutons pas ici. Cette connaissance, utile en pratique, doit être complétée par des connaissances plus générales. Des études et nos expériences de terrain montrent qu'un décideur est inquiet et hésitant devant l'avenir, qu'il n'a confiance que dans son expérience [KEE 77]. Cette idée est renforcée par le constat d'Anderson J.R. [AND 81] qui a mis en évidence le caractère hésitant du comportement du décideur dans la réalisation de tâches non familières guidées par des préférences. Pour accorder du crédit et faire confiance à une solution issue d'une démarche d'optimisation, il faut que le décideur puisse « juger au moins grossièrement » la qualité de la solution en la situant par rapport aux autres [JON 96] et en utilisant un nombre restreint de concepts de représentation [MIL56].

Le gestionnaire se pose alors d'autres questions que l'on peut classer en plusieurs catégories.

Questions relevant de la compréhension de l'ensemble des solutions :

- existe-t-il d'autres paramètres permettant d'atteindre la meilleure combinaison d'indicateurs ?
- existe-t-il des paramètres qui n'ont pas d'impact sur la performance ?
- où se situe la performance actuelle de mon système, par rapport à une très bonne solution ?

Questions relevant de la robustesse de l'analyse des solutions :

- quel est le degré d'impact sur les solutions de paramétrage si je change mes préférences ?
- Question relevant de la stratégie d'évolution des paramètres :
- à partir d'une bonne solution de paramétrage, existe-t-il des changements de paramètres, même minimes, qui dégradent rapidement le système de production ?
- quels sont les combinaisons de paramètres qui dégradent la performance du système et que je ne dois jamais activer ?
- quelles sont les paramètres que je dois modifier pour améliorer la performance ?
- dans quel ordre modifier les paramètres ?

Ces questions ne relèvent plus d'une problématique d'optimisation mais de l'aide à la décision multicritère dont les fondements ont été posés par Simon dans son « modèle de la rationalité limitée » [SIM 55]. A la question « quelle est la meilleure solution ? » le gestionnaire

préfère « comment fonctionne mon système, c'est-à-dire, quelles sont toutes les performances atteignables de mon système ? ». La métaphore du « pilote d'avion » permet d'illustrer ce changement de problématique : un pilote lors de sa formation apprend à déterminer des paramètres de vol optimaux (altitude, distance, etc.) afin de diminuer sa consommation de kérosène. La formation est complète si le pilote connaît l'ensemble des capacités de son avion, appelées « le domaine de vol », qui comporte non seulement les zones optimales, mais aussi toutes les zones à risques que le pilote doit envisager pour maîtriser son avion (plafond maximum, vitesse de décrochage, incidence maximum, taux de montée maximum, etc.) et qu'il ne souhaite pas explorer lors d'un vol commercial ! A partir de cette connaissance, le pilote comme le gestionnaire ont la maîtrise du système complet. Ils peuvent envisager des solutions satisfaisantes au quotidien, mais aussi envisager les modifications de leur système leur permettant de franchir les limites actuelles de performance. L'aide à la décision multicritère renvoie aussi à la notion d'intelligibilité de la représentation des relations PA-IP. Avant de prendre en charge une représentation, le décideur doit d'abord l'accepter. La confiance du décideur dans un système est souvent liée à la compréhension qu'il en a [BRO 85], [BUC 87], [NAR 88], [WAL 75]. Plus le décideur comprend et approuve les représentations, plus il a confiance dans l'outil.

L'ensemble de ces questions posées par le gestionnaire et les difficultés de représentation inhérentes à la représentation des relations PA-IP nous ont incités à rechercher une démarche de compréhension et de représentation du comportement d'un système particulier. En effet, l'interactivité entre des outils d'exploration de la relation PA-IP et le gestionnaire doit lui permettre de progressivement « découvrir, comprendre et interpréter » ses préférences. Les préférences ne sont généralement pas stabilisées ; elles dépendent de la tâche à réaliser et de l'environnement de la décision. Elles doivent alors pouvoir s'exprimer dans un processus évolutif avec des hésitations, des retours en arrière, une réflexion progressive et économique de la décision, autrement dit une exploration heuristique mais convergente. Nos efforts se sont donc concentrés sur l'analyse multicritère et la représentation de l'ensemble des performances et des actions en tenant compte des préférences subjectives du décideur ; ils ont donné lieu à l'introduction de la représentation des relations PA-IP par un « **plan des préférences** » en deux dimensions. La contribution présentée dans cet article ne propose pas une méthode permettant de trouver « la meilleure solution » par une technique d'optimisation ou une méthode permettant de générer une loi de comportement particulière. L'effort de recherche porte essentiellement sur un mode de représentation permettant de **comprendre simultanément un ensemble de relations** PA-IP, en tenant compte des préférences du décideur. Il peut alors, élaborer un choix en étant rassuré sur sa prise de décision car elle repose sur une représentation assimilée.

La suite de cet article comporte trois parties. La première partie présente le plan des préférences. La deuxième partie illustre son utilisation sur un cas industriel. Enfin, la troisième partie conclut par des perspectives de recherche engendrées par ce travail.

2. Le plan des préférences

La construction du plan des préférences est le résultat d'une démarche qui est présentée ci-après en cinq étapes à l'aide d'un exemple académique simplifié : 1) Simuler le système, 2) Rangement relatif des solutions, 3) Rangement absolu des solutions, 4) Représenter le plan des préférences, 5) Sélectionner et décrire les solutions. Le lecteur désirant approfondir cette construction pourra se rapporter à la bibliographie citée en référence dans ce chapitre et dans [DAM00].

2.1 Simuler le comportement du système de production

Modélisation et choix d'un simulateur. La première étape consiste à simuler le système de production. Un modèle de production est construit à l'aide des données techniques et de flux utilisées classiquement en gestion de production (articles, postes et gammes, stock, prévisions et commandes). Le simulateur retenu peut être un simulateur de flux ou un logiciel de gestion de production assisté par ordinateur (GPAO).

Création du plan d'expérience. Le gestionnaire définit les paramètres et les indicateurs propres à son étude. Dans notre exemple, nous retenons 2 paramètres, chacun à deux niveaux, une règle de lotissement (RL) par groupage de 1 ou de 2 jours et un stock de sécurité (SE) de 10 ou de 20 articles. Dans notre cas, le nombre d'expériences à simuler est de quatre (2^2) comme le montre la Figure 4. Des méthodes de définition d'un plan d'expériences permettent de construire des plans en fonction du nombre de paramètres et du nombre de niveau de chaque paramètre. Le choix des indicateurs de performance est conditionné par le but de l'analyse souhaitée par le gestionnaire. Les deux indicateurs retenus sont : le niveau du stock moyen (ST valorisé en euro) et le taux de service (TS = nombre de commandes livrées à temps / nombre de commandes totales) sur l'horizon de simulation.

Simulation. Le résultat de la simulation est présenté sur la Figure 4. Est appelée « solution » une ligne de ce tableau, c'est-à-dire un couple de type (paramètres, indicateurs). Le simulateur calcule à partir des paramètres d'une solution, le stock et le taux de service de chaque solution. Pour la solution S1, la valeur des paramètres pour la règle de lotissement (RL) et le stock de sécurité (SE) sont respectivement de deux jours et 10 articles. Le stock et le taux de service induits par le comportement du système de production sont respectivement de 16 500 euros et de 96 %.

Solution	Paramètres		Indicateurs	
	RL (jour)	SE (article)	ST (minimum)	TS (maximum)
S1	2	10	16 500	96
S2	1	20	16 000	95
S3	2	20	15 500	80
S4	1	10	17 500	70
Somme des poids de préférences = 1			0,3	0,7

Figure 4 : le plan d'expérience

2.2 Rangement relatif des solutions

Le rangement relatif consiste à ordonner les solutions de la « meilleure » à la « moins bonne » en utilisant des préférences propres à chaque IP. La méthode PROMETHEE II utilisée à ce dessein est illustrée de manière simplifiée à l'aide de notre exemple. Le lecteur désirant approfondir cette méthode pourra se référer, par exemple, à la référence [POM93].

Choix des poids de préférences. Le gestionnaire détermine un poids relatif qu'il affecte aux indicateurs. Dans notre exemple, il décide de privilégier le taux de service (TS) par rapport au stock moyen (ST) en affectant respectivement un coefficient de 0,3 et de 0,7 aux deux indicateurs comme le précise la Figure 4. La somme des poids des préférences est égale à un.

Calcul des indices de préférences par indicateur. Le gestionnaire détermine le sens d'optimisation des indicateurs ; le stock doit être minimisé et le taux de service maximisé :

- ST(Si) est meilleur que ST(Sj) si $ST(Si) \leq ST(Sj)$,
- TS(Si) est meilleur que TS(Sj) si $TS(Si) > TS(Sj)$.

Les Figure 5 et Figure 6 illustrent le calcul des indices de performances respectivement pour ST et TS en comparant deux à deux toutes les solutions avec :

si ST(Si) est meilleur que ST(Sj) alors $ST(Si, Sj) = 0,3$ sinon $ST(Si, Sj) = 0$

et

si TS(Si) est meilleur que TS(Sj) alors $TS(Si, Sj) = 0,7$ sinon $TS(Si, Sj) = 0$.

Pour ST, on constate sur la Figure 4 que la solution S2 est meilleure que S1 ($16\ 000 < 16\ 500$). Pour TS, la solution S1 est meilleure que S2 ($96 > 95$). Les matrices sont orientées : la relation « est meilleure que » se lit d'une ligne vers une colonne.

ST	S1	S2	S3	S4
S1	0,0	0,0	0,0	0,3
S2	0,3	0,0	0,0	0,3
S3	0,3	0,3	0,0	0,3
S4	0,0	0,0	0,0	0,0

Figure 5 : indice de préférence de ST

TS	S1	S2	S3	S4
S1	0,0	0,7	0,7	0,7
S2	0,0	0,0	0,7	0,7
S3	0,0	0,0	0,0	0,7
S4	0,0	0,0	0,0	0,0

Figure 6 : indice de préférence de TS

Calcul des puissances normalisées de chaque solution. La Figure 7 présente le cumul des indices de préférence de ST et de TS et permet de calculer le flux sortant (F⁺) et le flux entrant (F⁻) de chaque solution en cumulant respectivement les indices de préférence en lignes et en colonnes. F⁺ représente la dominance d'une solution par rapport à toutes les autres.

Pour S1, $F^+ = 0,0 + 0,7 + 0,7 + 1,0 = 2,4$.

La ligne F⁻ représente la dominance des autres solutions sur une solution.

Pour S1, $F^- = 0,0 + 0,3 + 0,3 + 0,0 = 0,6$.

ST+TS	S1	S2	S3	S4	F ⁺
S1	0,0	0,7	0,7	1,0	2,4
S2	0,3	0,0	0,7	1,0	2,0
S3	0,3	0,3	0,0	1,0	1,6
S4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F ⁻	0,6	1,0	1,4	3,0	

Figure 7 : indice de préférence de ST et de TS

	Puissance = F ⁺ -F ⁻	Puissance normalisée	Ordre
S1	1,8	0,6	1
S2	1,0	0,33	2
S3	0,2	0,07	3
S4	-3,0	-1,00	4

Figure 8 : calcul de la puissance normalisée

La puissance d'une solution est calculée en retranchant F⁻ de F⁺, comme le montre la Figure 8. Elle correspond à la valeur de domination globale d'une solution. Pour S1, la puissance normalisée est de $2,4 - 0,6 = 1,8$ (F⁺-F⁻). Cette puissance est normalisée entre un minimum de « -1 » et un maximum de « +1 ». Le facteur de normalisation est la valeur absolue de la puissance maximale d'une solution correspondant à « 3 » dans notre exemple (3 dominances pondérées à 0,7 + 3 dominances pondérées à 0,3). Il correspond au cardinal du nombre de solutions moins un ($3 = 4 - 1$). La puissance normalisée de S1 est de $1,8 / 3 = 0,6$.

La dernière colonne « Ordre » de la Figure 8 donne le rang de classement des solutions de la puissance normalisée maximum à la puissance normalisée minimum.

Le rangement relatif des solutions, suivant les valeurs de puissance normalisée, est fonction des préférences définies par le décideur. D'autres préférences peuvent s'exprimer avec des seuils d'indifférence ou de préférence stricte. PROMETHEE II est une méthode robuste, c'est-à-dire que le rangement est peu affecté par les taux de préférences. J.C. Pomerol et S. Barbara-Romero [POM 93] (page 213) précisent cette propriété en comparant PROMETHEE II aux autres méthodes et en indiquant les différentes évolutions de la méthode.

L'ordre des solutions ainsi proposé s'obtient en comparant les solutions les unes par rapport aux autres. Dans notre cas, on obtient $S1 > S2 > S3 > S4$. Cet ordre ne donne pas au gestionnaire une indication sur la qualité d'une solution par rapport à des valeurs de référence pour chaque IP. Dans notre exemple, le TS de S2 et S3 (respectivement 95 % et 80 % cf. Figure 4) peuvent être jugées acceptables pour le gestionnaire. Il devient nécessaire de ranger les solutions suivant des critères de préférences absolues.

2.3 Rangement absolu des solutions

Le gestionnaire définit arbitrairement (Figure 9) les bornes à partir desquelles il valorise qualitativement suivant sa propre perception les solutions en terme de « mauvaise », « moyenne » ou « bonne » pour chaque indicateur.

Par exemple ST est défini comme :

- « mauvais » si sa valeur est supérieure à 17 000,
- « moyen » si sa valeur est comprise entre 15 000 et 17 000,
- « bon » si sa valeur est inférieure à 15 000.

En comparant les valeurs de ST et de TS de la Figure 4 à ces bornes, TS de S1 est classé comme « bon », car sa valeur (96 %) est supérieure à 95 %.

		ST	TS
		Moyen	Bon
		Moyen	Bon
		Moyen	Mauvais
		Mauvais	Mauvais

ST (euro)	TS (%)
Bon < 15 000	Bon \geq 95
15 000 \leq Moyen < 17 000	85 \geq Moyen > 95
Mauvais \geq 17 000	Mauvais < 85

Figure 9 : Classement qualitatif des solutions

Chaque solution peut ainsi être rangée dans 6 classes différentes (Figure 10). Dans notre exemple :

S1 est rangée dans la classe n° 2 car un indicateur (ST) est « moyen », et un indicateur (TS) est « bon »,

S4 est rangée dans la classe n° 6 car deux indicateurs (ST et TS) sont jugés « mauvais ».

Le nombre de classes possibles (N_c) est fonction du nombre d'indicateurs (m).

N_c est calculé par la formule suivante :

$$N_c = 1 + m + m(m + 1) / 2,$$

$$N_c = 1 + 2 + 2(2 + 1) / 2 = 6 \text{ dans notre exemple.}$$

macro-classe		III		II		I
Classe n°	6	5	4	3	2	1
Nombre d'IP « bon » : a	0	0	1	0	1	2
Nombre d'IP « moyen » : b	0	1	0	2	1	0
Nombre d'IP « mauvais » : c	2	1	1	0	0	0

Figure 10 : Classes pour le rangement des solutions

Les classes sont ordonnées de la « meilleure » (n° 6) à la « moins bonne » (n° 1) à l'aide de la règle suivante.

Soient deux classes X et Y définies respectivement par les triplets (a_x, b_x, c_x) et (a_y, b_y, c_y) . Les valeurs a_x, b_x, c_x représentent respectivement le nombre d'indicateurs dont la valeur est jugée « bon », « moyen » et « mauvais » pour la classe X.

Pour S1, par exemple, $a_x = 1, b_x = 1, c_x = 0$.

La relation de préférence ($>$) entre les classes se définit de la manière suivante :

$$X < Y \text{ si } \{ (c_x > c_y) \text{ ou } (c_x = c_y \text{ et } a_x < a_y) \}.$$

Cette règle génère trois familles de macro-classes (I, II, III, Figure 11) :

- la famille I (classe n° 6) est composée uniquement d'indicateurs jugés « bon » ;
- la famille II (classe n° 4 et n° 5) ne comporte pas d'indicateur jugé « mauvais », mais tous les indicateurs ne sont pas bons ;
- la famille III (classe n° 1, n° 2 et n° 3) comporte au moins un indicateur jugé « mauvais ».

Cette méthode de rangement est basée pour chaque indicateur sur trois niveaux de préférence « bon », « moyen » et « mauvais » communément admis par les décideurs [MOS77]. Le choix du nombre de niveaux n'est pas définitif. Il peut être augmenté dans des proportions relativement faibles (très bon, bon, etc.) sous peine de difficultés de jugement. L'augmentation du nombre de niveaux augmente le nombre de classes et discrimine davantage les solutions. En appliquant cette méthode de rangement à un cas, chaque gestionnaire peut suivant ses préférences obtenir des rangements différents. Ceci ne constitue pas un problème en soi, bien au

contraire. L'objectif visé est atteint : comment représenter le système de production à l'aide des préférences choisies subjectivement par le gestionnaire.

2.4 Représenter le plan des préférences

Chaque solution est ainsi rangée suivant deux points de vues différents. Le premier compare les solutions entre elles, c'est le « rangement relatif », le deuxième affecte chaque solution par rapport à des valeurs de préférences pour chaque indicateur, c'est le « rangement absolu ». Afin de comparer ces points de vues, ces deux rangements absolus et relatifs sont représentés simultanément sur le plan des préférences de la Figure 11 respectivement sur l'axe des abscisses et des ordonnées. La solution S1 a pour ordonnée une puissance normalisée de 0,6 (Figure 10) et une abscisse correspondant à la classe n° 2 (Figure 9). L'axe de « rangement relatif » coupe arbitrairement l'axe de « rangement absolu » de manière à séparer les classes ne possédant pas d'indicateurs jugés « mauvais » des autres classes.

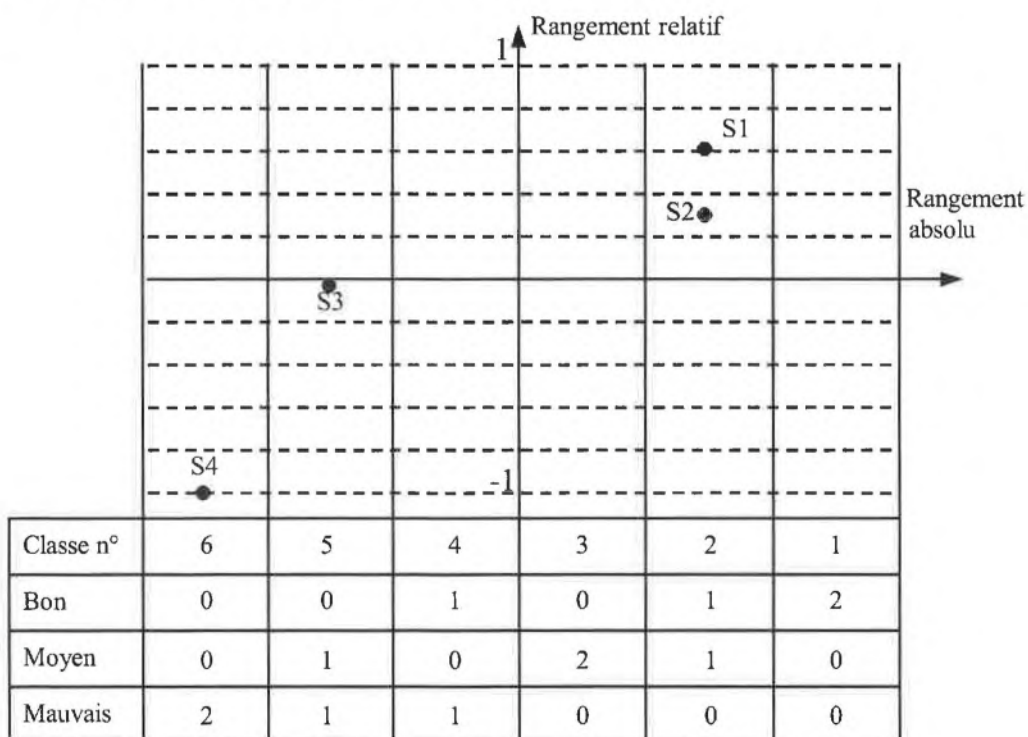


Figure 11 : Plan des préférences

2.5 Sélection et Description

Le décideur analyse visuellement sur le plan des préférences la position absolue et relative des solutions. Il constate d'une part que la solution S4 est une solution anti-idéale car S4 est dans la classe n° 6 et a comme puissance relative la valeur minimale de « -1 » et d'autre part, qu'il n'existe pas de solution idéale (classe n° 1 et puissance normalisée=1).

S1 est globalement préférée à S2, même si pour le décideur les deux solutions sont dans la même classe n° 2. Ce résultat laisse au gestionnaire une latitude de paramétrage. Il constate que suivant ses préférences, S1 et S2 sont équivalents. En fonction d'autres informations non utilisées dans la modélisation du système (taille des conteneurs, charge des postes, etc.) le gestionnaire peut choisir une des deux solutions S1 ou S2 caractérisée par les paramètres de la Figure 4 :

- (S1) règle de lotissement de 2 jours et stock de sécurité de 10,
- (S2) règle de lotissement de 1 jour et stock de sécurité de 20.

Dans cet exemple, les solutions sont rangées dans le même ordre sur l'axe du rangement relatif et absolu ; les rangements ne sont pas contradictoires. Dans certains cas, il n'en va pas de même. Dans l'exemple des Figure 12 et Figure 13, S3 est préféré à S2 sur l'axe de rangement absolu, par contre S2 est préféré à S3 sur l'axe de rangement relatif. La représentation du plan des préférences met clairement en évidence ce phénomène. Par souci de concision, seul le plan d'expérience et le plan de préférence sont présentés.

Solution	Paramètres		Indicateurs	
	RL	SE	ST (min)	TS (max)
S1	2	10	19 000	95
S2	1	20	18 000	99
S3	2	20	14 500	90
S4	1	10	17 500	70
Somme des préférences = 1			0,3	0,7

Figure 12 : Le plan d'expérience, exemple 2

Suivant le rangement relatif (Figure 13), la solution S2 est préférée car elle a une puissance bien supérieure à S3 due à un taux de service de 99 % pondéré d'un poids de préférence de 0,7. Cependant pour S2, ST est jugé « mauvais » car $ST > 17\ 000$. S2 est alors classé dans la classe n° 4.

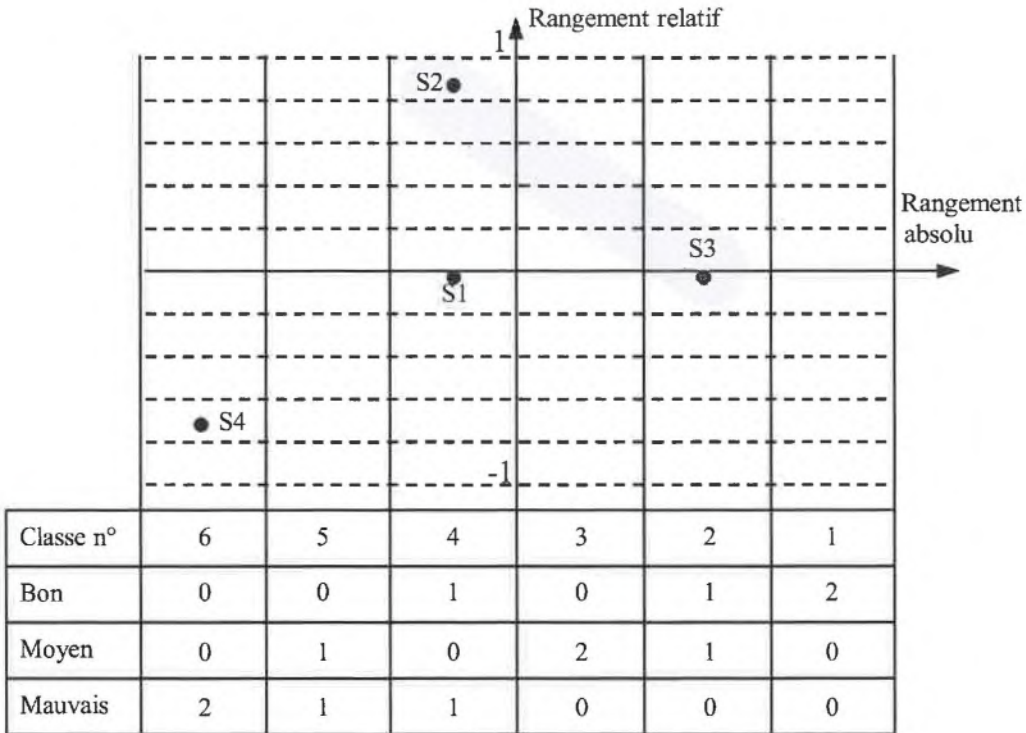


Figure 13 : Plan des préférences, exemple 2

Le plan des préférences met ainsi en valeur cette situation contradictoire. Pour avancer dans l'analyse, le gestionnaire doit valider les solutions et choisir en connaissance de causes une solution, ou remettre en cause ses préférences. Si un conflit existe entre plusieurs solutions, le gestionnaire peut ainsi analyser et comprendre la source de cette contradiction.

3. Exploitation du plan des préférences à partir d'un cas industriel

L'étude de cas présentée aborde le problème de l'impact des variations de demandes clients sur les performances du système de production. L'étude détaillée a été menée dans le cadre d'un cas industriel.

3.1 Description de la problématique

L'entreprise dans laquelle nous avons mené notre investigation est axée sur la téléphonie. Elle emploie 1500 employés sur un site de production de 7500 m². Ouverte au monde de plus en plus concurrentiel avec une distribution dans plus de 110 pays, l'entreprise a le souci d'abaissement de ses coûts et principalement des coûts de production par une utilisation optimale du système de production et une plus grande flexibilité du temps de travail. Elle dispose d'une G.P.A.O. qui utilise une logique MRPII à capacité infinie. La fabrication est faite sur prévision et l'assemblage est fait à la commande.

Dans cette étude, nous focalisons notre attention sur l'atelier d'assemblage et plus particulièrement sur la révision de ses valeurs de paramètre dans le cas d'une nouvelle situation prévisionnelle de vente. Elle correspond à un nouveau profil des volumes de vente sur un horizon futur de six mois connu au mois « M » comme le montre la Figure 14.

Cette nouvelle situation soulève plusieurs interrogations :

- quel est l'effet des paramètres actuels dans la nouvelle situation ?
- est-il nécessaire de modifier le paramétrage actuel ?
- si oui, quels sont les paramètres à modifier ?
- dans quel ordre modifier les paramètres ?
- existe-t-il des solutions acceptables ?
- quels sont les niveaux de performance atteignables ?
- une solution est-elle applicable à court terme ?
- existe-t-il des solutions équivalentes ?

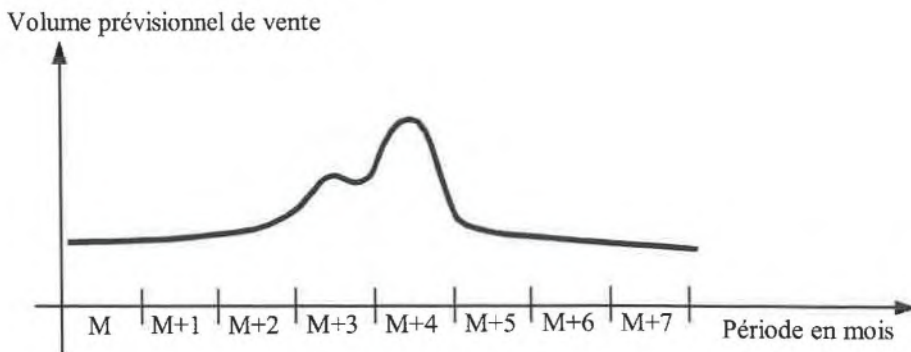


Figure 14 : Profil des prévisions de vente

Etant donné le profil des prévisions de vente, le gestionnaire s'interroge également sur la manière de systématiser l'analyse d'une nouvelle situation. Nous montrons dans ce qui suit comment apporter des réponses à ces questions à l'aide de la représentation des performances dans le plan des préférences.

3.2 Construction du plan des préférences

Le plan de travail suivi sur ce cas est composé de 9 étapes :

1. prendre connaissance de la structure physique,
2. rendre connaissance de la structure du système de gestion,
3. choisir les indicateurs,
4. choisir les paramètres,

5. construire un plan d'expériences,
6. construire un simulateur PA-IP du système de gestion,
7. choisir les valeurs des paramètres préférentiels relatifs aux méthodes d'analyses du tableau PA-IP,
8. construire le plan des préférences et représenter les solutions,
9. extraire les connaissances à partir du plan des préférences.

Ces étapes ont été partiellement informatisées à l'aide de différentes maquettes. Afin de pouvoir suffisamment développer les étapes 8 et 9, nous n'abordons ici que les étapes indispensables à l'interprétation de la structure du plan des préférences.

Etapes 3 et 4

Les indicateurs (Figure 15), les paramètres (Figure 16) et leurs niveaux respectifs sont choisis en collaboration avec le gestionnaire.

Intitulé des IP_i	Désignation	[Unité]	Définition
<i>TSV</i>	Taux de service	[%]	Quantité de produits livrés à temps divisé par la quantité totale commandée
<i>COUT</i>	Coût total	[MF]	Coût de production (coût d'assemblage + coût composants avant assemblage) + coût de possession + coût d'heures supplémentaires
<i>HS</i>	Capacité réelle	[H]	Capacité effectivement utilisée
<i>CH</i>	Charge	[Millier]	Quantité moyenne de produits à assembler
<i>COUV</i>	Couverture de stock	[J]	Couverture de stock moyenne

Figure 15 : Les indicateurs

Intitulé des PA_i	Définition	[Unité]	Paramétrage	
			Niveau bas	Niveau haut
<i>Res</i>	Capacité disponible	[%]	0	10
<i>Lis</i>	Activation/Désactivation de la procédure de lissage de charge	[/]	0	1
<i>Hsup</i>	Quantité d'heures supplémentaires admises	[%]	0	40
<i>Ho</i>	Horizon pour le calcul de la couverture de stock	[Mois]	1	2
<i>Hj</i>	Nombre de jours de couverture de stock	[J]	1	5
<i>Rl</i>	Règle de lotissement	[Mois]	1	2

Figure 16 : Les PA

Etapes 5 et 6

Le calcul MRP, effectué par la GPAO, a été reprogrammé de sorte à pouvoir enchaîner les expériences. Une expérience correspond à une configuration de paramètres ; le plan factoriel complet à six facteurs principaux et deux niveaux compte $2^6=64$ expériences. Le temps de traitement informatique du plan reste compatible avec un traitement sur ordinateur personnel. Sur la base du plan d'expériences, 64 expériences sont simulées pour la nouvelle situation de prévisions de vente. Pour chaque configuration de PA, le résultat est une liste de valeur d'indicateurs comme le montre la Figure 17 :

		Tableau PA-IP									
Solutions	PA _i						IP _i				
	Res	Lis	Hs	Ho	H _j	Rl	TS	COUT	HS	CH	COUV
s ₁	0	1	0	1	1	1	95	248 245	0	15 723	0.67
s ₂	0	1	0	1	1	2	100	4 387 986	0	17 647	11.41
...
s ₆₄	10	2	40	2	4	2	100	5 385 973	59	17 563	14.16

Figure 17 : Tableau PA-IP du cas industriel

Etape 8

Après construction du plan des préférences, la structure des performances atteintes se présente comme le montre la Figure 18.

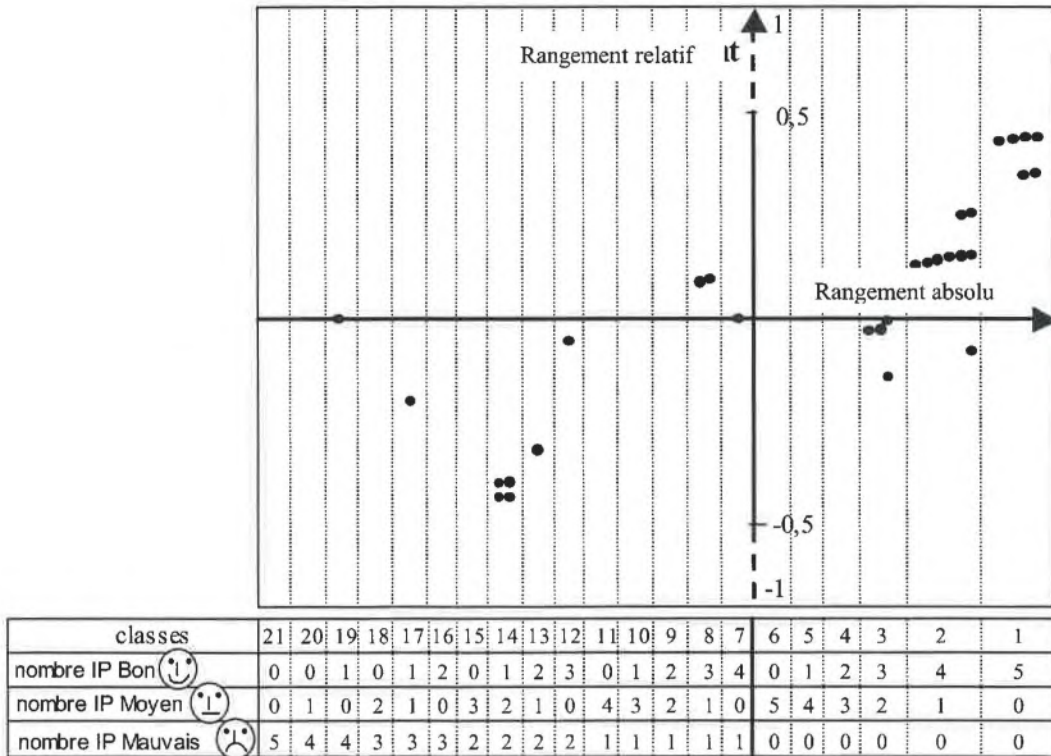


Figure 18 : Plan des préférences du cas industriel

Le plan des préférences se définit par :

- un axe de rangement absolu caractérisé par 21 classes et cinq IP_j. Chaque classe indique le nombre d'indicateurs dont la valeur est respectivement jugée *bonne* (😊), *moyenne* (😐) et *mauvaise* (😞) par l'utilisateur,
- un axe de rangement relatif caractérisé par une échelle normalisée entre « -1 » et « 1 ».

Etape 9

Par souci de clarté, seules les zones du plan des préférences explorées par le gestionnaire sont représentées (Figure 19).

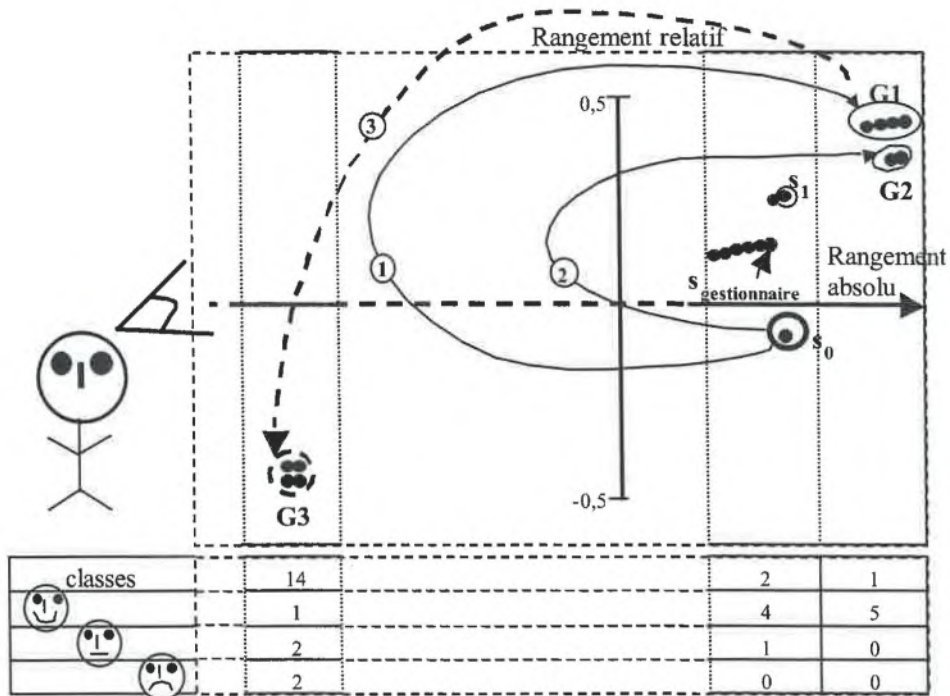

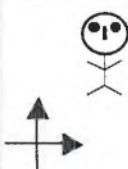




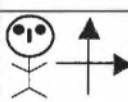

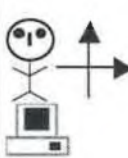

















Figure 19. Exploitation du plan des préférences – Dialogue entre le décideur et le plan des préférences


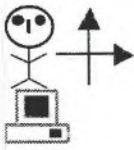




C'est à ce stade que démarre véritablement notre contribution en termes d'éléments de réponses au questionnement du décideur. Nous proposons de restituer une analyse de notre représentation sous forme de dialogue entre le gestionnaire et le plan des préférences pour extraire les propriétés de la situation. Dans le but de montrer l'efficacité de la méthode, nous ne considérons aucune expérience préalable de la situation. En fin de dialogue, nous comparons nos résultats avec les résultats intuitifs du gestionnaire qui possède une expérience de la situation et nous proposons une synthèse des apports de notre démarche dans le cadre de ce cas d'application. Nous démarrons arbitrairement le dialogue avec la question qui nous semble la plus légitime dans ce cas : « Comment se situe la solution initiale⁴ dans la nouvelle situation ? ». Les questions suivantes se construisent et s'enchaînent en fonction des interprétations des propriétés extraites à partir du plan des préférences. Nous restituons partiellement le dialogue effectué. La syntaxe de dialogue est définie par la suite.


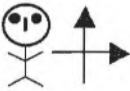
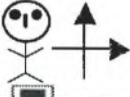
⁴ La situation initiale s_0 correspond à la configuration des PA avant révision.



	Questions intuitives du gestionnaire de production et/ou déductions
	Le gestionnaire visualise le plan
	Le gestionnaire choisit sur le plan des préférences les points dont il extrait les propriétés à l'aide de la maquette informatique .

Restitution du dialogue

 Figure 17	Quelles performances génèrent le paramétrage actuel avec le nouveau profil du volume des ventes représenté Figure 12 ?																												
	Le paramétrage actuel est représenté par la solution s_0 . Classe n° 2 (4 indicateurs bons et 1 indicateur moyen) sur l'axe de rangement absolu. Valeur de 0,1 sur l'axe de rangement relatif.																												
	Quelles sont les valeurs des paramètres et des indicateurs de s_0 ?																												
	<table border="1" data-bbox="279 1344 1338 1478"> <thead> <tr> <th>Res</th> <th>Lis</th> <th>Hs</th> <th>Ho</th> <th>Hj</th> <th>Rl</th> <th>TS</th> <th>COUT</th> <th>HS</th> <th>CH</th> <th>COUV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>1</td> <td>40</td> <td>2</td> <td>5</td> <td>2</td> <td rowspan="2"></td> <td rowspan="2"></td> <td rowspan="2"></td> <td rowspan="2"></td> <td rowspan="2"></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> <p>La valeur active (inactive) d'un paramètre est représenté par une case blanche (grise).</p>	Res	Lis	Hs	Ho	Hj	Rl	TS	COUT	HS	CH	COUV	10	1	40	2	5	2						0	0	0	1	1	1
Res	Lis	Hs	Ho	Hj	Rl	TS	COUT	HS	CH	COUV																			
10	1	40	2	5	2																								
0	0	0	1	1	1																								
	Le taux de service est moyen. Peut-on améliorer TS ? Intuition : un mauvais TS peut provenir d'un stock de sécurité insuffisant, ou d'un manque de capacité temporaire induisant des retards de production. Constat : le stock de sécurité est déjà au niveau haut ($H_j=5$). Intuition : augmenter la capacité en supprimant la réserve de capacité ($Res=0$).																												
	Ce nouveau paramétrage correspond à la solution s_1 sur le plan. La performance s'est améliorée car $s_1 > s_0$ sur l'axe de rangement relatif.																												

	Quelles sont les valeurs des paramètres et des indicateurs de s_1 ?																																				
	<table border="1" data-bbox="319 427 1354 555"> <thead> <tr> <th>Res</th> <th>Lis</th> <th>Hs</th> <th>Ho</th> <th>Hj</th> <th>Rl</th> <th>TS</th> <th>COUV</th> <th>HS</th> <th>CH</th> <th>COUV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>1</td> <td>40</td> <td>2</td> <td>5</td> <td>2</td> <td rowspan="2">☺</td> <td rowspan="2">☹</td> <td rowspan="2">☺</td> <td rowspan="2">☺</td> <td rowspan="2">☺</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="319 566 1354 651">L'intuition est vérifiée : TS est bon, mais le coût s'est dégradé. Il est devenu moyen.</p>	Res	Lis	Hs	Ho	Hj	Rl	TS	COUV	HS	CH	COUV	10	1	40	2	5	2	☺	☹	☺	☺	☺	0	0	0	1	1	1								
Res	Lis	Hs	Ho	Hj	Rl	TS	COUV	HS	CH	COUV																											
10	1	40	2	5	2	☺	☹	☺	☺	☺																											
0	0	0	1	1	1																																
	<p data-bbox="319 689 1354 763">Sentiment : « agir sur les PAs et observer la conséquence sur les IPs est hasardeux ! ».</p> <p data-bbox="319 790 1354 831">Stratégie d'exploration : sélectionner les solutions caractérisées par :</p> <table border="1" data-bbox="880 853 1354 936"> <thead> <tr> <th>TS</th> <th>COUV</th> <th>HS</th> <th>CH</th> <th>COUV</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>☺</td> <td>☺</td> <td>☺</td> <td>☺</td> <td>☺</td> </tr> </tbody> </table>	TS	COUV	HS	CH	COUV	☺	☺	☺	☺	☺																										
TS	COUV	HS	CH	COUV																																	
☺	☺	☺	☺	☺																																	
	<p data-bbox="319 952 1354 1077">Le gestionnaire sélectionne sur le plan les deux groupes de solutions G1, G2 avec $G1 > G2$. Nota : ces deux classes sont obtenues arbitrairement par observation visuelle ; un autre regroupement est possible.</p>																																				
	<p data-bbox="319 1122 1354 1285">Intuition : le gestionnaire dispose d'une flexibilité au niveau des paramètres. En effet G1 et G2 sont composés de plusieurs solutions équivalentes en indicateurs et chaque solution est caractérisée par des paramètres différents. Sur quels paramètres agir pour obtenir les groupes G1 et G2.</p>																																				
	<p data-bbox="319 1330 1354 1368">Les paramètres et les valeurs influents correspondent aux cases blanches.</p> <p data-bbox="319 1391 575 1429">Pour G1 : Hs et Hj.</p> <table border="1" data-bbox="319 1424 887 1541"> <thead> <tr> <th>Res</th> <th>Lis</th> <th>Hs</th> <th>Ho</th> <th>Hj</th> <th>Rl</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>1</td> <td>40</td> <td>2</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="319 1576 639 1615">Pour G2 : Res, Lis et HJ</p> <table border="1" data-bbox="319 1615 887 1724"> <thead> <tr> <th>Res</th> <th>Lis</th> <th>Hs</th> <th>Ho</th> <th>Hj</th> <th>Rl</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>1</td> <td>40</td> <td>2</td> <td>5</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Res	Lis	Hs	Ho	Hj	Rl	10	1	40	2	5	2	0	0	0	1	1	1	Res	Lis	Hs	Ho	Hj	Rl	10	1	40	2	5	2	0	0	0	1	1	1
Res	Lis	Hs	Ho	Hj	Rl																																
10	1	40	2	5	2																																
0	0	0	1	1	1																																
Res	Lis	Hs	Ho	Hj	Rl																																
10	1	40	2	5	2																																
0	0	0	1	1	1																																

	<p>Description de G1 : ($H_s=40$ et $H_j=1$) Description de G2 : (($Res=0$ et $Lis=1$) ou ($Lis=1$ et $H_j=1$)).</p> <p>La méthode permettant de décrire automatiquement G1 et G2 est exposée dans [BOU92] et dans [DAM00] et ne fait pas l'objet d'un développement dans cet article. Ce résultat donne au gestionnaire une grande flexibilité de décision. Pour G1, il suffit de paramétrer ($H_s=40$ et $H_j=1$) quelles que soient les valeurs des autres paramètres. Au total le nombre de paramétrages pour G1 est de 16 (2 valeurs possibles respectivement pour Res, Lis, Ho et Rl ; $2^4=16$).</p>
	<p>En observant de plus près les valeurs numériques du tableau PA-IP de la Figure 15, les solutions G2 se caractérisent par un coût de stock sensiblement plus élevé que les solutions G1, mais elles sont jugées bonnes (classe n° 1 sur l'axe de rangement absolu). Les solutions G2 permettent également de considérer un jour de couverture de stock ; en revanche elles épuisent la réserve de capacité, ce qui ne permet plus d'absorber un pic de demande non prévu. On constate que, suivant les préférences du décideur, les deux solutions G1 et G2 sont jugées satisfaisantes. Finalement la préférence est-elle en faveur de G1 ou G2 ? Pour faire progresser la réponse à cette question, constatons les modifications à effectuer depuis le paramétrage de la solution initiale s_0 pour atteindre G1 ou G2 ?</p>
	<p>Le passage de s_0 vers G1 et G2 est respectivement représenté par les flèches ① et ② sur la Figure 17.</p>
	<p>Passage s_0 (4^{ème} ligne de ce tableau) vers G1 (12^{ème} ligne de ce tableau) (①). Pour s_0 : $H_s=0$ et $H_j=5$; pour G1 : $H_s=40$ et $H_j=1$</p>

	<p>Règle de passage : ($H_s=0$ à $H_s=40$ et $H_j=5$ à $H_j=1$) et (indifférent pour les autres PAs)</p> <p>Passage s_0 vers G2 (②)</p> <p>Pour s_0 : $Res=10$ et $Lis=0$ et $H_j=5$; pour G2 : (($Res=0$ et $Lis=1$) ou ($Lis=1$ et $H_j=1$)).</p> <p>Règle de passage :</p> <p>($Res=10$ à $Res=0$) et ($Lis=0$ à $Lis=1$) et (indifférent pour les autres PAs)</p> <p>ou</p> <p>($Lis=0$ à $Lis=1$) et ($H_j=5$ à $H_j=1$) et (indifférent pour les autres PAs)</p>
	<p>G1 et G2 sont caractérisés par une couverture de stock d'un jour. Aussi, le choix est-il conditionné par deux. Pour progresser vers un plan d'action il faut intégrer au problème les contraintes de mise en œuvre. La solution G2 est opérationnelle à court terme, mais à moyen terme la solution G1 présente un gain relatif plus important et une réactivité aux variations de la commande client.</p>

Avant de passer à la confrontation de nos résultats avec ceux du gestionnaire, synthétisons les résultats du « dialogue » ci-dessus. Notre point de départ a été le paramétrage de la solution initiale s_0 . Ce paramétrage projeté dans le contexte de la nouvelle situation génère 4 bonnes valeurs d'indicateurs et 1 valeur moyenne d'indicateur. L'indicateur moyen est l'indicateur taux de service. Pour améliorer l'indicateur TS, nous avons dans un premier temps intuitivement agi sur la réserve de capacité. Dans ce cas, le TS s'est amélioré mais, aux dépens du coût, qui est moyen en terme de performance. Dans un deuxième temps, nous avons explicité les positions des deux groupes de meilleures solutions G1 et G2. Par rapport à la solution initiale, G1 se distingue essentiellement par la mise en place d'heures supplémentaires et une couverture de stock d'un jour, et G2 se distingue par du lissage de charge et une utilisation maximale de la capacité ou par du lissage de charge et une couverture de stock d'un jour.

Comment choisir entre les deux alternatives ? Arrivé à ce stade, il faut passer à une logique d'action nécessitant l'expertise du gestionnaire. Néanmoins nous donnons une conclusion personnelle :

- A court terme, l'alternative G2 peut rapidement être mise en place. Il suffit de modifier la planification d'assemblage ;

- A moyen terme, l'alternative G1 est plus rentable. De plus G1 présente l'avantage d'une flexibilité de paramétrage au niveau capacité. Mais la décision d'heures supplémentaires peut engendrer des problèmes d'organisation comme : se coordonner avec le service production, mettre en place un poste de nuit, recruter des intérimaires, former les intérimaires,...

Pour terminer notre analyse, et en considérant G1 et G2 comme des solutions satisfaisantes, nous pouvons préciser certaines combinaisons de paramètres susceptibles de rapidement faire basculer la performance du système dans un état dit « mauvais ». Par exemple, agir sur la règle de lotissement et sur le stock de sécurité peut faire basculer G2 (Figure 19, flèche ③) vers le groupe G3 avec des conséquences néfastes.

Comparaison de nos résultats avec les décisions prises par le gestionnaire

Le gestionnaire de son côté avait décidé de conserver une couverture de stock de cinq jours ($H_j=5$) et une réserve de capacité de 10 % ($Res=10$). Pour compenser le manque de capacité il a mis en place des heures supplémentaires ($H_s=40$). Il s'agit de la solution $s_{\text{gestionnaire}}$ (Figure 19) qui se caractérise par une bonne valeur de taux de service mais une valeur moyenne de coût. En présentant nos résultats (G1 et G2) a priori meilleurs, le gestionnaire était étonné qu'une couverture de stock d'une semaine était appropriée pour avoir un bon taux de service.

On constate ici un biais cognitif fréquent qui est la focalisation sur une solution préférée d'emblée par l'utilisateur. Ce biais, dont une des conséquences est la limitation hâtive des choix, peut s'expliquer de la manière suivante : en règle générale « *la couverture de stock influence le taux de service* » or nous avons montré que dans la nouvelle situation la règle n'est pas vérifiée. Cet exemple illustre un type de biais relevé et expliqué dans la première famille de travaux issue de l'analyse de la bibliographie de cet article.

3.3 Conclusion sur l'exploitation du plan des préférences à partir d'un cas industriel

A l'aide de notre approche, nous avons pu situer dans un premier temps la ou les solutions intuitives du gestionnaire dans l'ensemble des performances atteignables par le système. Dans un deuxième temps, nous avons trouvé des solutions au moins aussi bonnes, voire meilleures que celles préconisées par le gestionnaire. Ces solutions ont été établies relativement rapidement au regard du processus d'essais-erreurs ayant mené à la solution du gestionnaire. L'analyse met également en lumière les effets positifs ou négatifs des paramètres d'action. En se focalisant sur une solution meilleure, on connaît les paramètres susceptibles d'améliorer ou de détériorer les performances. En termes d'utilisation notre approche permet :

- de consolider ou infirmer des raisonnements a priori,
- de s'exprimer sur ses préférences et ainsi accélérer l'évaluation des solutions au travers d'une vision globale des solutions,

- de rapidement trouver des éléments de réponses aux questions du questionnaire par l'exploration du plan des préférences ; les repères du plan favorisent la détection d'écarts entre solutions, et la détection de solutions pertinentes dans le contexte de décision,
- de prendre conscience d'une latitude d'action et déduire des stratégies de paramétrage ; en effet, lorsqu'une solution se caractérise par un nombre restreint de paramètres, le questionnaire dispose d'un potentiel d'actions sur les paramètres non caractéristiques,
- de converger vers une solution préférée ; il peut alors être opportun de continuer l'exploration en élaborant un plan d'expériences dont les valeurs de paramètres varient autour des valeurs de paramètres de la solution préférée.

Les résultats de ce cas d'application font également émerger des applications potentielles de notre démarche. Nous avons découvert des paramétrages plus performants que les paramétrages actuellement utilisés par l'entreprise. Certains sont applicables à court terme et d'autres à moyen terme. Une première perspective est d'utiliser notre approche comme un outil prédictif d'exploration pour des contextes futurs. Dans ce cas, l'objectif escompté est de faire apparaître des relations stratégiques qu'il ne serait pas possible d'appliquer à court terme. Par ailleurs, notons que la représentation du système de production que nous proposons fait observer un comportement dans un contexte correspondant à un environnement donné. Une deuxième perspective serait d'étendre l'étude au caractère naturellement dynamique de l'environnement et ainsi faire apparaître des trajectoires sur le plan des préférences. Toute dérive du système de production selon l'environnement analysé dans le modèle simulé serait immédiatement visible.

4. Conclusions et perspectives

Le plan des préférences représente une assistance visuelle d'analyse susceptible de rapidement capitaliser des résultats et des enseignements de l'action pour enrichir la réflexion et ainsi converger vers une ou plusieurs solutions préférées. Il réalise notamment les fonctions suivantes :

- préparer et modéliser une structure experte d'évaluation des solutions,
- prendre en compte les informations de l'utilisateur avant et pendant l'exploration des solutions,
- donner une représentation synthétique des performances du système,
- représenter et définir les zones de performance atteignables mais également non-atteignables par le système étudié dans un plan caractérisant les performances d'après un modèle de préférence établi par l'utilisateur ; la définition visuelle dans le plan des préférences est complétée par une description symbolique (paramètres et indicateurs) des solutions atteintes,
- décrire les zones de performance atteintes mais également non-atteintes,

- les échelles et les règles de lecture du plan sont également invariables et faciles à comprendre.

Toutefois, il est à noter que l'approche que nous proposons n'est directement opérationnelle que sur les systèmes que l'on peut simuler et pour lesquels une évaluation exhaustive ou représentative des performances est réalisable. De tels systèmes existent dans la pratique. Ils sont trop complexes pour que l'homme en perçoive le fonctionnement global et les limites tout en restant suffisamment simples pour construire un modèle de simulation fidèle au fonctionnement réel et simuler l'ensemble des modes de fonctionnement. Nos travaux de recherche actuels visent à étendre notre approche aux cas où une simulation est possible mais où le nombre des lignes du tableau PA-IP devient trop important en regard de la possibilité du temps de traitement de la simulation.

5. Bibliographie

- [AND 81] Anderson J.R., "Effect of Prior Knowledge in Memory for New Information", *Memory and Cognition*, Vol. 9, n° 3, p. 237-246, 1981.
- [AYT 94] Aytug H., Koehler G.J., Snowdon J.L., "Genetic learning of dynamic scheduling within a simulation environment", *Computers & Operations Research*, ISSN 0305-0548, Vol. 21, Iss 8, p. 909-25, oct., 1994.
- [BAD 91] Badami V.S., Parks C.M., "A classifier based approach to flow shop scheduling", *Computers & Industrial Engineering*, ISSN 0360-8352, Vol. 21, p. 329-33, 1991.
- [BOU 92] Bouzid L., Mutel B, De Guio R., "Application of Conceptual Learning Techniques to Generalized Group Technology, *Applied Artificial Intelligence*, vol. 6, p. 443-458, 1992
- [BOW 96] Bowden R., Bullington S.F., "Development of manufacturing control strategies using unsupervised machine learning", *IIE Transactions*, ISSN 0740-817X, Vol. 28, Iss 4, p. 319-31, 1996.
- [BRA 85] Brans J.P., Vincke Ph., "A preference ranking organization method, the PROMETHEE method", *Management Science*, Vol. 31, p. 647-656, 1985.
- [BRA 92] Brandimarte P, "Neighbourhood search-based optimization algorithms for production scheduling: a survey", *Computer-Integrated Manufacturing Systems*, ISSN 0951-5240, Vol. 5, Iss 2, p. 167-76, 1992.
- [BRO 85] Brockhoff K., "Experimental test of MCDM algorithms in a modular approach", *European Journal of Operational Research*, vol. 22, p. 159-166, 1985.
- [BUC 87] Buchanan J.T., Daellenbach H.G., "A comparative evaluation of interactive solution methods for multiple objective decision models", *European Journal of Operational Research*, vol. 24, p. 353-359, 1987.
- [BUL 94] Bulgak A.A., Diwan P.D., Inozu B., "Buffer size optimization in asynchronous assembly systems using genetic algorithms", *Computers & Industrial Engineering*, ISSN 0360-8352, Vol. 28, Iss 2, p. 309-322, 1995.

- [CHA 94] Chang T.-M., Yih Y, "Determining the number of kanbans and lotsizes in a generic kanban system: a simulated annealing approach", *International Journal of Production Research*, ISSN 0020-7543, Vol. 32, Iss 8, p. 1991-2004, 1994.
- [DAM 97] Damand D., Barth M., "La simulation pour l'aide au paramétrage en planification stratégique de la production", *Modélisation et simulation des systèmes de production et de logistique*, Hermès, Coordinateurs : M. Itmi, J.P. Pécuchet, H. Pierreval, N°ISBN 2-86601-623-8, 1997, p. 99-111.
- [DAM 00] Damand D., "Assistance for the Control of Performance in Production Management : Characterization and Representation of Properties of a Production Process Described by a Decision Table", PhD memoir, University Louis Pasteur, decembre 2000.
- [FLE 98] Fleury G., Gourgand M., "Genetic algorithms applied to workshop problems", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, ISSN 0951-192X, Vol. 11, Iss 2, p. 183-92, 1998.
- [GAR 95] Gardiner S.C., Blackstone J.H., "Setups and effective capacity : the impact of lot sizing techniques in an MRP environment", *Production Planning and Control*, ISSN 0953-7287, Vol. 6, Iss 1, p. 26-38, févr., 1995.
- [HO 95] Ho C.J., "Examining the impact of demand lumpiness on the lot-sizing performance in MRP systems", *International Journal of Production Research*, ISSN 0020-7543, Vol. 33, Iss 9, p. 2579-99, sept., 1995.
- [HOC 92] Hoc J.-M., "Psychologie cognitive de la planification", Presses universitaires de Grenoble, ISBN 2-7061-0280-2, 1992.
- [HUR 97] Hurrion R.D, "An example of simulation optimisation using a neural network metamodel: finding the optimum number of kanbans in a manufacturing system", *Journal of the Operational Research Society*, ISSN 0160-5682, Vol. 48, Iss 11, p. 1105-12, 1997.
- [JON 96] Jones C.V., "Vizualisation and Optimization", Kluwer Academic, Publishers, 1996
- [KEE 77] Keen P.G.W., "The evolving concept of optimality in multiple criteria decision Making", *Management Science*, vol. 6, p. 31-57, 1977.
- [KER 96] Kern G.M., Wei J.C., "Master production rescheduling policy in capacity-constrained just-in-time make-to-stock", *Decision Sciences*, ISSN 0011-7315, Vol. 27, Iss 2, p. 365-87, 1996.
- [KUI 93] Kuik R., Salomon M., Van Wassenhove L.N., Maes J, "Linear programming, simulated annealing and tabu search heuristics for lot sizing in bottleneck assembly systems", *IIE Transactions*, ISSN 0740-817X, Vol. 25, Iss 1, p. 62-72, 1993.
- [KUR 95] Kurbel K., Rohmann T., "A comparison of job-shop scheduling techniques : simulated annealing, genetic algorithms and mathematical optimization", *Wirtschaftsinformatik*, ISSN 0937-6429, Vol. 37, Iss 6, p. 581-93, 1995.
- [LEB 97] Lebart L., Morineau A., Piron M., "Statistique exploratoire multidimensionnelle", Dunod, ISBN 2-10-004001-4, 1997.
- [LEE 97] Lee I., Sikora R., Shaw M.J, "A genetic algorithm-based approach to flexible flow-line scheduling with variable lot sizes", *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part B [Cybernetics]*, ISSN 1083-4419, Vol. 27, Iss 1, p. 36-54, 1997.

- [LIN 94] Lin C., Madu C.N., Kuei C.H., "Experimental design and regression analysis in simulation: an automated flowline case study", *Microelectronics and Reliability*, ISSN 0026-2714, Vol. 34, Iss 5, p. 845-61, mai, 1994.
- [MAR 98] Martin A.D., Te-Min Chang, Yeuhwern Yih, Kincaid R.K., "Using tabu search to determine the number of kanbans and lotsizes in a generic kanban system", *Annals of Operations Research*, ISSN 0254-5330, Vol. 78, Iss 2, p. 201-17, 1998.
- [MIL 56] Miller G.A., "The Magic Number Seven, Plus or Minus Two : Some Limits on Our Capacity for processing Information", *Psychology Review*, p. 81-97, mars, 1956.
- [MIN 85] Minifie J.R., Heard E., "On the generalizability of MRP simulation results", *Engineering Costs and Production Economics*, vol. 9, p. 211-217, 1985.
- [MIN 86] Minifie J.R., Davis R.A., "Survey of MRP nervousness issues", *Production and Inventory Management*, vol. 17, p. 11-120, 1986.
- [MOS 77] Moscarola J., Roy B., "Procédure automatique d'examen de dossiers fondée sur une segmentation trichotomique en présence de critères multiples", *RAIRO Recherche opérationnelle*, vol. 11, n°2, p. 145-173, 1977.
- [NAR 88] Narasimhan R., Vickery S.K., "An experimental evaluation of articulation of preference in multiple criteria decision making (MCDM) methods", *Decision Sciences*, vol. 19, p. 880-888, 1988.
- [PAR 95] Paris J.L., Pierreval H., Tautou L., "Une méthode d'optimisation évolutionniste et son application à la gestion de production en juste-à-temps", *Proceeding, International Conference on Industrial Engineering and Production Management*, vol. 1, p. 43-52, Grenoble, France, 1996.
- [POM93] Pomerol J.C., Barbara-Romero S. « Choix multicritère dans l'entreprise », principe et pratique, Hermès, Collection Informatique, 1993.
- [RIC 98] Richard J.-F., " Les activités mentales, comprendre, raisonner, trouver des solutions", Editeur A. Colin, ISBN 2-200-21871-0, 1998.
- [SAL 93] Salomon M., Kuik R., Van Wassenhove L.N., "Statistical search methods for lotsizing problems", *Annals of Operations Research*, ISSN 0254-5330, Vol. 41, Iss 1-4, p. 453-68, 1993.
- [SIM 55] Simon H.A., "A behavioral model of rational choice", *Quarterly Journal of Economics*, vol. 69, p. 99-118. Repris dans *Models of Man*, Wiley, New-York, 1957, p. 241-260.
- [SRI 88] Sridharan V., Berry W.L., Udayabhanu V., "Measuring master production schedule stability under rolling planning horizons", *Management Science*, Vol. 33, p. 47-165, 1988.
- [TAD 95] Tadei R., Della Croce F., Menga G., "Advanced search techniques for the job shop problem: a comparison", *RAIRO Recherche Operationelle*, ISSN 0399-0559, Vol. 29, Iss 2, p. 179-94, 1995.
- [WAL 75] Wallenius J., "Comparative evaluation of somme interactive approaches to multicriterion optimization", *Management Science*, vol. 21, n°12, p. 1387-1396, 1975.