

## TECHNICAL ASSISTANCE TO THE DECISION PROCESS FOR PHYSICAL CONFIGURATION SELECTING

Benmoussa R.\*

**Abstract** In this paper, we present a technique for selecting a physical configuration decision support. This technique is useful during the redesign of a production processes restructuring based on BPR approach. Based on the use of simulation and from the traditional experimental designs. Our approach to evaluation process is essentially based on the criterion of flexibility. Our work is illustrated by a case study.

**Keywords:** flexibility, simulation, experimental design, physical configuration, decision support

### Introduction

Au cours de la dernière décennie, les entreprises industrielles ont fait face à un changement impressionnant: globalisation, réalignement politique, récession et une rapide évolution des technologies de l'information. Face à ce bouleversement, le concept de business process reengineering (BPR) a rapidement attiré l'imagination des chefs d'entreprise. En conséquence à l'élargissement de ce concept, il y'a eu l'apparition d'un flux de consultant en BPR ainsi qu'une prolifération en méthodologies, techniques et outils pour conduire de tels projets. L'analyse de la bibliographie nous a montré que ce concept a été relativement peu appliqué au domaine de la production dans sa version d'origine préconisant le changement radical. Les tentatives rencontrées tendent plutôt vers une approche de type TQM. Notre contribution dans ce domaine consiste à proposer une technique d'aide à la décision pour le choix d'une configuration physique pendant la phase de reconception d'un projet de restructuration de processus de production conduit selon l'approche BPR. Après avoir présenté un bref état de l'art sur le concept BPR, ses méthodes et ses techniques, nous précisons les différents concepts préconisés liés à la notion de flexibilité et nous proposons une déclinaison de ce concept en différents types de flexibilité. Nous décrivons ensuite les différentes étapes de notre technique en la rapprochant de la démarche classique des plans d'expérience dont elle s'inspire. L'illustration de notre technique est effectuée à travers la comparaison de deux configurations classiques et élémentaires (job shop et flow shop). La conclusion analyse l'intérêt et les limites de la technique et présente quelques perspectives.

### Business process reengineering : état de l'art

---

\*Prof. Rachid Benmoussa, Ecole Nationale des Sciences Appliquées Boulevard Abdelkrim Khattabi BP 575 Marrakech Maroc.,  
✉ corresponding author: benmoussa@ensa.ac.ma

Le BPR est un concept relativement nouveau qui est apparu dans les années 90 quand Michael Hammer et James Champy ont publié leur célèbre livre : reengineering the corporation : a manifesto for business révolution. Depuis ce temps, plusieurs travaux ont vu le jour dans ce domaine adressant les innombrables facettes du BPR. Plusieurs définitions et terminologies concernant ce concept existent dans la littérature [16,5,19,4]. Malgré leur différence, toutes ces définitions mettent l'accent sur la reconception des processus opérationnels utilisant une approche radicale faisant des technologies de l'information (TI) un levier essentiel de changement organisationnel [4]. Même si à l'origine le BPR se focalisait sur l'intégration des TI, le reengineering a été étendu à toutes les facettes des opérations et des métiers et n'englobe pas toujours l'utilisation des ordinateurs [12, 16].

#### Les méthodologies BPR

Une méthodologie est un ensemble organisé de méthodes, techniques et outils (MTO) informatiques développés pour mener un processus le long de son cycle de vie vers la réalisation de ses objectifs [23]. Plusieurs méthodologies structurées ont été proposées pour la conduite d'un projet BPR [13,15,21,11,6]. Cependant, la plus part d'entre elles proposent des éléments communs et présentent le déploiement du BPR comme un projet d'implantation top-down. Certaines démarches se distinguent de cet esprit d'implantation purement séquentiel. Basée sur une revue de la littérature ainsi qu'une interview de 25 consultants et vendeurs dans le champs des MTO, Kettinger et al. [17] ont développé une structure générique en phases et activités (6 phases, chaque phase contenant plusieurs activités). Ils ont intégré à cette structure les différentes méthodes, techniques et outils BPR. Ils ont muni ainsi cette structure d'une cartographie hiérarchisée reliant les différentes méthodes et techniques aux phases et activités et les différents outils logiciels aux méthodes et techniques. Ils ont finalement indiqué comment cette structure devrait être adaptée pour conduire un projet BPR en mettant en valeur les phases et les activités critiques au regard des besoins spécifiques du projet. Fruit de la mise en commun d'un ensemble de savoir-faire en génie industriel (modélisation, analyse des systèmes d'entreprise, organisation, système d'information) et d'expériences pratiques issues de plusieurs cas industriels, Berrah [8] propose une méthodologie de réorganisation qui s'applique à la fois aux projets d'amélioration permanente (TQM) qu'au projet d'amélioration par saut (BPR). La démarche, s'appuyant sur une structure cyclique ou hélicoïdale repose sur un cycle global (constat - analyse - décision - réorganisation - mise en œuvre) qui se répète et trouve ses origines dans la roue de Deming. Chaque phase est décrite sous forme de fiche indiquant l'objectif et le but à atteindre, les étapes suggérées pour réaliser cette phase, les éléments à prendre en compte en entrée et les résultats à produire. Il en va de même pour chaque étape en indiquant de plus les méthodes ou outils suggérés pour cette étape. La démarche est encours de raffinement à travers des cas pratiques.

#### Techniques BPR

La littérature en BPR est riche en travaux présentant des techniques traitant les différentes facettes du BPR. A titre d'exemple, les travaux de Acker et al. [2] concernent l'utilisation de la simulation pour la reconception systématique des processus. Ceux de Franken and weger [14] concernent l'utilisation du brainstorming pour l'identification des opportunités de changement lors d'un projet BPR. Lin, Yang and Pai [28] proposent une structure générique pour la modélisation des processus opérationnels dans le but de ressortir les concepts essentiels d'un processus et de les représenter d'une manière structurée. Kettinger et al. [17] affirme à travers une enquête qu'au moins 72 techniques sont utilisées pour réaliser des activités liées à un projet BPR. Ils avancent que presque toutes ces techniques ont été élaborées dans un autre contexte et ont été importées par la suite dans le domaine du BPR.

### Synthèse

A l'issue de cette recherche et étude bibliographique, nous avons tiré les conclusions suivantes :

- Les méthodologies existantes, malgré leur différence, présentent des éléments communs qui constituent le noyau de la conduite d'un projet BPR.
- Ces méthodologies sont tellement génériques que les efforts d'adaptation à un domaine particulier constituent à leur tour un projet de grande envergure.
- La difficulté de généraliser dans ce domaine a ouvert la voie à la prolifération de techniques BPR adressant les différentes facettes du domaine.
- Peu de travaux traitent de la réorganisation des systèmes industriels en général et des systèmes de production en particulier.

Dans ce qui suit, nous adressons le problème de restructuration des systèmes de production selon une démarche BPR, puis nous développons la technique BPR préconisée.

### **Problématique, objectif et définitions**

Pour toute tentative de restructuration des systèmes de production selon une démarche BPR, nous sommes conduit à considérer, les éléments suivants :

- Le degré de restructuration : la démarche BPR se distingue essentiellement de la démarche TQM par son approche radicale par opposition à l'approche continue. Berrah [8] affirme que la réorganisation des systèmes industriels consiste à optimiser ou rendre plus performant les flux physiques, d'informations, de décision, de contrôle (workflow) et la structure organisationnelle (centres de décision, centres de compétence et mécanisme de coordination). Nous pensons que la reconfiguration des flux physiques fait référence au degré de restructuration maximal et elle est ainsi la première activité à entreprendre lors de la restructuration d'un processus de production selon une démarche BPR. En effet, la reconception des autres flux qui lui sont sous jacents dépendent fortement de la configuration installée. Organiser un processus en job shop implique forcément une structure organisationnelle par fonction (atelier). La conception du système

d'information, de contrôle et de décision sous jacent se trouve limiter par les méthodes de pilotage préconisées en général pour une organisation en job shop.

- Les objectifs stratégiques de restructuration: la restructuration radicale comme dans tout projet BPR est conduite par une vision stratégique. La reconfiguration des flux physiques est basée jusqu'à présent sur les paramètres volume et variété des produits. Selon cette approche, plusieurs organisations type sont citées dans la littérature [22,20]. Ainsi, à la fabrication en grande série d'une faible variété de produits est recommandée une organisation en ligne (processus continue). A une activité de fabrication en série moyenne d'une variété moyenne de produits correspond une organisation en cellule. Enfin, une organisation en section homogène (processus discontinue) est retenue pour la fabrication en petite série d'une grande variété de produits. D'autres organisations hybrides combinant ces organisations type peuvent exister selon le cas. Des méthodes (heuristiques) existent pour l'identification des îlots indépendants, la mise en ligne ou l'implantation se basant aussi sur ces mêmes critères de volume et de variété. La limitation de cette approche réside dans le fait que le volume et la variété sont devenu deux facteurs peu stables dans un horizon de restructuration (*Fait référence à la périodicité de conduite d'un projet de restructuration radical*) assez large (particulièrement pour un processus de production). De ce fait, la recherche de la flexibilité est un objectif plus pertinent pour guider la reconfiguration des flux physiques.

- L'aide à la décision : le risque couru lors d'une restructuration radicale est tellement important qu'il est dangereux voir impossible d'adopter une solution sans une justification convaincante et fiable. L'analyse des méthodologies BPR existantes montre en effet que la reconception des processus opérationnels est une phase cruciale et déterminante. Elle se traduit en général par le choix entre plusieurs scénarios possibles. La complexité des processus opérationnels, la limitation des capacités cognitives humaines, l'aspect multicritère de la performance et la notion d'effet pervers et de levier des paramètres ainsi que leurs interactions ..., sont des éléments qui rendent encore plus complexe la prise de décision au cours de cette phase. La simulation à ce jour est le seul outil qui pourrait fournir à la fois des analyses et une visualisation fiable des différentes alternatives. Carr and Johansson [9] indiquent que tirer profit des techniques modernes de modélisation et de simulation est un élément de bonne pratique en BPR.

#### Objectif et cadre

L'objectif de notre travail consiste à proposer une technique d'aide à la décision pour le choix d'une configuration physique pendant la phase de reconception d'un projet de restructuration des processus de production conduit selon l'approche BPR (radicale). Basée sur l'usage de la simulation et s'inspirant de la démarche classique des plans d'expérience, cette technique consiste à évaluer la capacité de la dite configuration à faire face aux changements externes et internes. Notre démarche d'évaluation se base essentiellement sur le critère de flexibilité, les effets pervers à

cette notion et l'aptitude à s'accommoder aux éventuelles orientations futures visant l'implantation d'une ou de plusieurs actions de progrès.

Dans la suite de cet article, nous considérons qu'un projet BPR est mené selon les quatre phases essentielles qui sont communes à toutes les méthodologies que nous avons rencontrées dans la littérature:

- Mettre en évidence le problème, fixer les objectifs et les limites du projet
- Analyser de manière approfondie le processus existant
- Concevoir une nouvelle organisation sur la base de la situation actuelle et d'une vision de l'avenir
- Mettre en œuvre cette solution

#### Définitions et état de l'art : Flexibilité

Dans notre travail, nous privilégions la flexibilité effective correspondant à un horizon de restructuration assez large que nous définissons à l'instar de Das et Upton [10,27] comme suit :

*C'est l'habilité d'un système à s'ajuster aux changements qui occurrent dans son environnement interne et externe. Cet ajustement doit s'opérer avec une pénalité minimale en temps, effort et performance.*

L'analyse de cette définition nous renvoi à celle de la notion du changement qui risque d'occurer dans l'environnement du système. Plusieurs auteurs [26,28,25,10] affirment que ces changements peuvent être divisés en deux classes sur la base de leur source : externe ou interne.

#### Les changements externes

Ils sont dus aux caprices du marché et sont ainsi générés à la fois par le comportement du client et les contraintes d'approvisionnement. Ils peuvent être divisés en quatre classes :

*Volume de la demande* : représente les changements associés à la demande d'un produit. *Variété de la demande* : représente les changements associés à la composition de la demande (mix demand) pour une gamme de produits.

*Les contraintes de l'approvisionnement auprès des fournisseurs* : représentent les changements associés à l'acquisition des matières.

*Délai exigé* : représente les changements associés aux exigences des clients en terme de délai de livraison.

Nous définissons ainsi la flexibilité externe comme l'aptitude de l'entreprise à s'adapter à ces changements externes. Considérant que la non-réactivité à ces changements affecte globalement la satisfaction du client en terme de non-respect du délai, du volume et de la variété de la demande client, nous déclinons la flexibilité externe en trois types de flexibilité :

- *Flexibilité délai*: c'est l'aptitude du système à s'adapter aux exigences des clients en terme de délai de livraison. Ce délai correspond à la réception d'une commande conforme en quantité et qualité.

- *Flexibilité volume*: c'est l'aptitude du système à s'adapter aux changements dus à la variation des quantités demandées.
- *Flexibilité variété*: c'est l'aptitude du système à offrir une variété de produits pour répondre aux besoins des clients.

#### Les changements internes

Ils se gènèrent à travers le système lui-même et peuvent être contrôlés par le système de management. Ils peuvent être classés ainsi :

*Infrastructure du processus* : ceux générés comme conséquence aux impératives de la production. Ces changements sont souvent liés à un changement externe.

*Politique interne* : ceux générés comme conséquence à une politique de gestion adoptée. A priori l'impact prévu de l'adoption de cette politique consiste à réaliser des bénéfices supplémentaires. Exemple : Rotation du personnel, adoption d'une politique de gestion de flux (Kanban, MRP, ..), ...

*Dysfonctionnement interne* : ceux générés comme conséquence à une défaillance opérationnelle du système (problèmes de la qualité, rupture de stocks, erreur de contrôle, absentéisme, indisponibilité de l'équipement, ...)

Nous exprimons ainsi la flexibilité interne d'une implantation par son aptitude à absorber l'effet d'un changement interne et éviter ainsi toute dégradation de la performance. Les effets des changements internes, quels que soit leurs sources peuvent être classés selon les trois types de dysfonctionnements qui ont un impact sur la non-performance d'un système de production : indisponibilité des ressources, production non efficace (non maîtrise de la qualité & non-respect des cadences normales de production), non-fluidité des flux (mauvaise circulation des produits) [7]. Se basant sur cette classification, nous déclinons la flexibilité interne en plusieurs types :

- *Flexibilité indisponibilité*: c'est l'aptitude du système à contrecarrer l'indisponibilité d'une ressource essentielle à la réalisation d'une activité productive (homme, machine, matière, ...).
- *Flexibilité efficacité*: c'est l'aptitude du système à compenser les pertes, le manque à gagner, ..., dus à la non-efficacité perçue lors de la conduite des activités productives en comparaison avec les normes d'efficacité prévues au préalable (heures supplémentaires, sous traitance, ...)
- *Flexibilité flux*: c'est l'aptitude du système à réguler la circulation de ses flux.

#### **Présentation de la technique**

Nous présentons notre technique en la rapprochant de la démarche classique des plans d'expériences dont elle s'inspire tout en l'illustrant à travers l'étude de cas réalisée (figure 2).

Le problème traité par la technique proposée est une recherche de la configuration physique la plus flexible. La flexibilité se traduit par la mesure d'influence des paramètres (quand leurs niveaux changent) retenus sur les indicateurs de

performances retenus (IP) tenant compte de l'impact négatif de ces paramètres sur les indicateurs d'effet pervers (IE) retenus. L'impact des orientations futures (OF), visant l'implantation d'une ou plusieurs actions de progrès, sur les différentes configurations candidates est aussi pris en compte.

*Etude de cas :*

*En guise de validation, nous allons comparer les deux configurations élémentaires et classiques (flow shop, Job shop) de la figure 2. Les caractéristiques de ces deux configurations étant déjà connues dans la littérature, l'intérêt de cette étude de cas, en plus de son caractère illustrative, est de montrer que notre technique permettra de retrouver ces caractéristiques par le calcul. L'indicateur de performance privilégié pour le calcul de la flexibilité est le taux de service (Demande satisfaite à temps / demande totale). L'indicateur utilisé pour l'estimation des effets pervers étant le délai de production (temps de séjour moyen d'un produit dans le processus).*

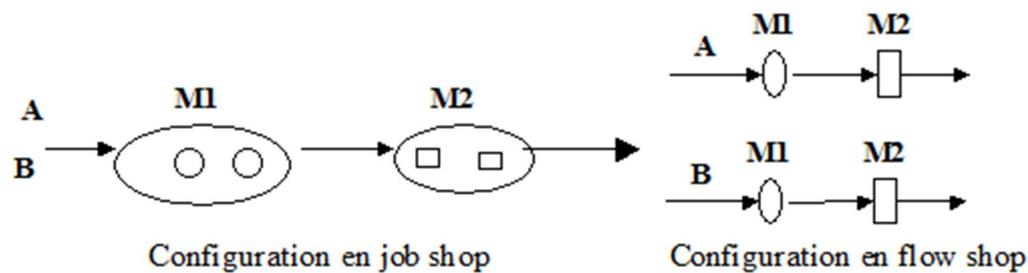
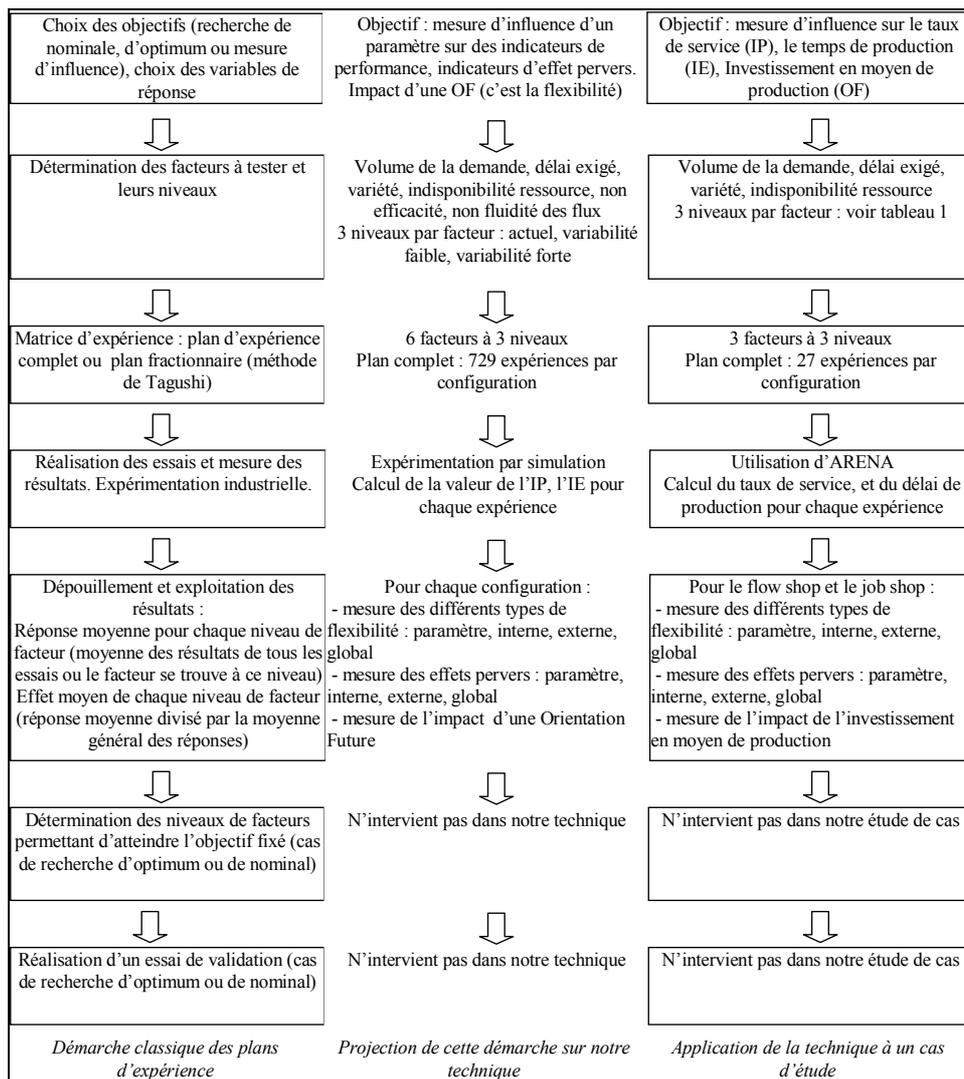


Figure 1. Configurations à comparer

#### Choix des paramètres

Ce sont les facteurs retenus pour leur influence sur les variables « réponses » retenues. Chaque facteur possède plusieurs niveaux. Dans notre cas, les facteurs influençant les indicateurs de performance et d'effet pervers sont à choisir parmi les facteurs suivants et seront appelés « paramètres de flexibilité » : le volume de la demande, le délai exigé par le client, la variété des produits, l'indisponibilité des ressources, la non-efficacité et la non-fluidité des flux (*Nous avons présenté dans un article précédent ces différents paramètres munis d'un ensemble d'indicateurs de performance pouvant les mesurer [7]*). Les paramètres choisis sont jugés par le groupe de travail comme étant instables, incontrôlables et peuvent ainsi connaître une variabilité plus ou moins importante pendant l'horizon de restructuration.



**Figure 2. Rapprochement de la démarche classique des plans d'expérience et la technique proposée**

Nous adoptons pour chacun de ces paramètres trois niveaux (*Plus de 3 niveaux peuvent être envisagés mais cela compliquerait énormément le projet de simulation (augmentation du nombre d'expériences). Il s'agit de vérifier alors si cette complexité est justifiée*). Le 1<sup>er</sup> niveau exprime la valeur actuelle du paramètre. C'est aussi la valeur la plus confortable que peut connaître le paramètre après restructuration. Le 2<sup>ème</sup> et le 3<sup>ème</sup> sont fixés par le groupe de travail lors de la phase "Conception sur la base de la situation actuelle et une vision de l'avenir" du

projet BPR. Ils indiquent respectivement des valeurs représentatives d'un degré de variabilité faible et forte que chaque paramètre est susceptible de connaître pendant l'horizon de restructuration.

*Dans notre étude de cas, nous considérons que seuls le volume de production, le délai exigé et l'indisponibilité des ressources sont non maîtrisables et peuvent connaître des changements incontrôlables durant l'horizon de restructuration. Ils constituent ainsi les paramètres variables de la simulation:*

**Table 1. Paramètres de flexibilité retenus pour l'étude de cas et leurs niveaux**

<i>Paramètres / Niveau</i>	<i>Actuel (1)</i>	<i>Variabilité faible (2)</i>	<i>Variabilité forte (3)</i>	<i>Observation</i>
<i>Changement externe</i>				
<i>Volume de production</i>	<i>Norm(20,1)</i>	<i>Norm(20,8)</i>	<i>Norm(20,15)</i>	<b><i>Demande chaque 24 h</i></b>
<i>Délai accepté</i>	96	48	24	<i>En heure</i>
<i>Changement interne</i>				
<i>Indisponibilité ressources</i>	<i>Norm(1,1)</i>	<i>Norm(6,1)</i>	<i>Norm(12,1)</i>	<b><i>Durée d'une panne machine en heure</i></b>

#### Spécification des expérimentations (matrice d'expérience)

La mesure de la flexibilité exige par définition d'exposer la configuration étudiée à tous les changements éventuels pour ainsi estimer l'aptitude de celle-ci à contrecarrer les effets de ces changements. Nous pouvons donc s'inspirer de la démarche classique des plans d'expérience. Les plans d'expérience factoriels complets sont théoriquement parfaits, mais les délais et les coûts d'expérimentation dans le contexte industriel deviennent prohibitifs dès que l'on dépasse 3 ou 4 facteurs. Un plan factoriel fractionnaire réduit considérablement le nombre des essais à effectuer au détriment de la précision. Pour la technique proposée, l'expérimentation se fait par simulation. L'expérimentation n'engendre pas de coût ni de temps dès que le programme de simulation est construit, surtout si le logiciel de simulation permet l'automatisation des expérimentations. Nous utilisons donc un plan d'expérience factoriel complet mettant en jeu les paramètres choisis précédemment ayant chacun 3 niveaux

*Dans notre étude de cas, le plan d'expérience est présenté dans le tableau ci-dessous. Il est appliqué à chaque configuration avant et après la prise en compte des orientations futures.*

Table 2. Plan d'expérience de l'étude de cas

Expérience n°	Volume de production	Délai accepté	Indisponibilité ressources	Taux de service (TS)	Délai de production (DP)
1	1	1	1	TS1	DP1
2 à 9	...	...	...	...	...
10	2	1	1	...	...
11 à 26	...	...	...	...	...
27	3	3	3	TS27	DP27

### Réalisation des essais

La technique proposée est basée sur la simulation. La phase de réalisation des essais est effectuée conformément aux étapes présentées dans la figure 3, inspirées de la démarche de conduite d'un projet de simulation général [3]. C'est cette démarche que nous avons poursuivie pour réaliser l'étude de cas.

La réalisation des essais nécessite en plus des paramètres de flexibilité et leurs niveaux, deux types de données :

- Données de conception : dépendent ou sont une conséquence directe des configurations elles-mêmes à comparer (structure, mode de pilotage, gammes ou routage des flux, règles et modes de pilotage, règles de priorités, ...). Dans ce cas, leur fixation consiste à choisir les meilleures alternatives connues pour chaque couple donnée / configuration (*Si pour une configuration donnée, on ne sait pas a priori quels choix sont pertinents, une ou plusieurs simulations intermédiaires peuvent être nécessaires pour effectuer le bon choix.*). Ainsi les résultats ne seront pas biaisés par le choix de ces données.

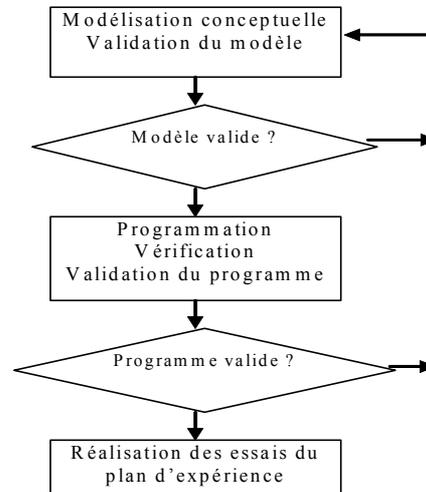


Figure 3. Démarche poursuivie dans la phase de réalisation des essais

- Données d'exploitation : concernent le fonctionnement du système et les paramètres quantitatifs influant ce fonctionnement (nombre de chariots, temps opératoires, temps entre panne, taux de rebut...). Notre objectif étant de comparer les configurations des moyens physiques (aucune amélioration n'est supposée entreprise sur ces moyens), certaines de ces données coïncident avec la situation actuelle et doivent être collectées dans la phase "analyse de l'existant" du projet BPR (Temps opératoires, temps entre panne, taux de rebut, gammes, ...).

*Dans notre étude de cas, la phase de réalisation est effectuée sous ARENA. Les données de conception et d'exploitation principales utilisées dans la simulation sont :*

- *Règle de priorité : Une machine est dédiée pour chaque gamme pour le flow shop. Pour le job shop, si la machine est disponible alors qu'il n'y a pas de demande pour la gamme qui lui est affectée, alors elle est libre pour l'autre gamme.*
- *Quantité lancée : en synchronisation avec la demande.*
- *Temps d'exécution : 1h/lot de A ou de B.*
- *Temps entre panne : normale(48,5) pour toutes les machines, le décalage initial entre les pannes des machines est de 6h..*
- *Temps de changement de série : 0.2h pour le job shop.*

#### Dépouillement et Exploitation des résultats

La dernière phase de l'utilisation de cette technique consiste à ressortir les différentes mesures sur lesquelles un jugement sera porté lors de la prise de décision. Nous présentons dans ce qui suit le mode d'obtention des différentes mesures.

#### Flexibilité d'un paramètre

Nous nous inspirons de la démarche des plans d'expérience pour estimer la flexibilité par rapport à un paramètre donné. En effet, nous adaptons à notre raisonnement les termes de la réponse moyenne et l'effet moyen pour chaque niveau de facteur. La flexibilité d'un paramètre est donnée par :

$$F_j = \frac{I|P_j = i}{I|P_j = 1} \quad (1)$$

Où :

$P_j$  fait référence au paramètre considéré (volume de production, délai exigé,...)

$I|P_j = i$  est la moyenne des réponses par rapport à l'indicateur de performance I lorsque le paramètre  $P_j$  est au niveau i.

i =2, 3 indice du niveau de variabilité

j : ordre du paramètre

Selon le jargon des plans d'expériences,  $F_j$  n'est que l'effet global de  $P_j$  que nous avons formulé ici sous forme d'un rapport (au lieu d'une différence) pour avoir une estimation sans unité. Cet effet représente la flexibilité du système vis à vis du paramètre  $P_j$  car il renseigne sur l'écart entre la performance du système quand ce paramètre subit des changements de variabilité d'indice  $i$  et quant il est à son niveau actuel (niveau 1). Les autres facteurs sont pris indifféremment dans tous leurs niveaux possibles pour annuler leurs effets. Plus cet écart est faible, plus  $F_j$  est proche de 1 et plus le système est flexible au sens de  $P_j$ .

*Exemple : la flexibilité volume pour la configuration en flow shop, considérant une variabilité faible (indice 2) est :*

$$F_{\text{volume}} = \frac{TS|_{P_{\text{volume}} = 2}}{TS|_{P_{\text{volume}} = 1}} = \frac{\text{moyenne}(TS10, \dots, TS19)}{\text{moyenne}(TS1, \dots, TS9)} = 0.75$$

Alors que *la flexibilité volume toute variabilité confondu (indice 2 et 3) est :*

$$F_{\text{volume}} = \frac{TS|_{P_{\text{volume}} = 2,3}}{TS|_{P_{\text{volume}} = 1}} = \frac{\text{moyenne}(TS10, \dots, TS27)}{\text{moyenne}(TS1, \dots, TS9)} = 0.58$$

### Flexibilité globale

Les différentes estimations de la flexibilité au sens des différents paramètres peuvent être agrégées en utilisant la moyenne pondérée pour estimer la flexibilité interne, externe et globale. On calcul ainsi ces différentes flexibilités de la manière suivante :

$$F_g = \frac{\sum_{j \in I, E} \alpha_j F_j}{\sum_{j \in I, E} \alpha_j} \quad F_e = \frac{\sum_{j \in E} \alpha_j F_j}{\sum_{j \in E} \alpha_j} \quad F_i = \frac{\sum_{j \in I} \alpha_j F_j}{\sum_{j \in I} \alpha_j} \quad (2)$$

Où I respectivement E est l'ensemble des indices faisant référence aux changements internes respectivement externes.

Les coefficients  $\alpha_j$  sont fixés en fonction de l'importance relative que le groupe de travail accorde à chaque type de flexibilité.

*Dans notre étude de cas, la flexibilité globale de la configuration en flow shop, considérant que tous les paramètres ont la même importance est :*

$$F_g = \frac{\sum_{j \in I, E} \alpha_j F_j}{\sum_{j \in I, E} \alpha_j} = \text{moyenne}(F_{\text{volume}}, F_{\text{délai}}, F_{\text{indispo}}) = 0.56$$

### Effets pervers

L'estimation des effets pervers (E) relatifs à la quête de la flexibilité se fait par rapport aux facteurs (réponses) jugés par l'entreprise comme un important

générateur de non-performance à contrôler inévitablement, pouvant même justifier l'abandon à un certain degré la quête de la flexibilité. L'estimation de ces effets peut accompagner chaque type de calcul de flexibilité pour une meilleure prise de décision. Aussi, nous calculons  $E_j$ ,  $E_g$ ,  $E_e$  et  $E_i$  suivant le même raisonnement que  $F_j$ ,  $F_g$ ,  $F_e$  et  $F_i$  en substituant l'indicateur d'effet pervers à l'indicateur de performance. Notons que contrairement à F, plus E est faible, moins la configuration est le siège d'effets pervers élevés et donc plus elle est avantageuse.

*Dans notre étude de cas, l'effet pervers relatif au volume de la demande de la configuration en flow shop toute variabilité confondu (indice 2 et 3) est :*

$$E_{\text{volume}} = \frac{DP|_{P_{\text{volume}}=2,3}}{DP|_{P_{\text{volume}}=1}} = \frac{\text{moyenne}(DP10, \dots, DP19)}{\text{moyenne}(DP1, \dots, DP9)} = 0.64$$

*alors que l'effet pervers global considérant que tous les paramètres ont la même importance est :*

$$E_g = \frac{\sum_{j \in I, E} \alpha_j E_j}{\sum_{j \in I, E} \alpha_j} = \text{moyenne}(E_{\text{volume}}, E_{\text{délai}}, E_{\text{indispo}}) = 0.54$$

#### Orientations futures

Le choix de la configuration doit aussi tenir compte des stratégies de développement que l'entreprise compte éventuellement déployées pendant l'horizon de restructuration en terme d'amélioration de la flexibilité, conformément à la phase « conception d'une nouvelle organisation sur la base de la situation actuelle et d'une vision de l'avenir » d'un projet BPR général. Nous appelons ces stratégies orientations futures qui se traduisent sur le terrain par le déploiement d'actions de progrès. Ces actions peuvent viser globalement l'amélioration de la performance ou implanter des plans d'actions spécifiques au regard du concept flexibilité, appelés dans la littérature flexibilité-types (*Une configuration physique peut par conception privilégier une ou plusieurs flexibilité type. Une organisation en job shop privilégie par exemple la flexibilité routage*). Nous avons recensé dans la littérature une liste de flexibilité-types les plus implantées [24,1] :

*La flexibilité produit* : fait référence à l'ensemble des mesures implantées pour augmenter la facilité avec laquelle de nouveaux produits peuvent être substitués ou ajoutés à des produits existants.

*La flexibilité processus* : fait référence à l'ensemble des mesures implantées pour élargir la gamme de produits que le système peut produire sans mise en route majeure.

*La flexibilité quantité* : fait référence à l'ensemble des mesures implantées pour augmenter l'aptitude du système à opérer économiquement à différentes échelles de production.

*La flexibilité machine* : fait référence à l'ensemble des mesures implantées pour augmenter la variété des opérations qu'une machine peut exécuter sans effort de basculer d'une opération à une autre.

*La flexibilité routage "routing flexibility"* : fait référence à l'ensemble des mesures implantées pour augmenter l'aptitude du système à produire par des voies alternatives.

L'impact d'une orientation future (O) consiste à comparer la flexibilité (F) (globale, externe, interne ou par rapport à un paramètre donné) avant et après l'implantation d'une action de progrès (prise en compte dans le programme de simulation). Ainsi :

$$O_{i,j..} = \frac{F_{après} - F_{avant}}{F_{avant}} \quad (3)$$

Où : i, j font référence à des actions de progrès.

*Dans notre exemple, nous avons étudié l'orientation future consistant à investir en moyen de production comme stratégie d'amélioration de la flexibilité. La prise en compte de cet investissement dans le programme de simulation est représentée par la réduction des temps opératoires et des temps de changement de série. Pour la configuration en flow shop par exemple :  $O_{flex. quantité} = 77.33\%$*

#### Comparaison des configurations

L'objectif escompté de l'utilisation de la technique proposée est de comparer plusieurs configurations en se basant sur les différents éléments calculés (flexibilité, effets pervers, orientation futur). Plusieurs stratégies de comparaison sont possibles, tout dépend des priorités fixées par le groupe de travail.

*Dans notre étude de cas, la comparaison (tableau 3) des configurations étudiées permet d'avancer que :*

- *La configuration en job shop est plus flexible selon les trois paramètres étudiés (volume, délai, indisponibilité) donc plus flexible globalement. Ce résultat était prévisible. En effet, il est connu que les processus organisés en section homogène sont plus flexibles que les processus en ligne [22].*
- *La flexibilité indisponibilité est faible pour les deux configurations par rapport à la flexibilité volume. Cela s'explique par le fait que l'indisponibilité de la machine ne peut être compensée alors que pour le volume de la demande, la variation est absorbée par un nivellement de la production.*
- *Concernant les effets pervers, nous remarquons que globalement la configuration en job shop est plus intéressante que celle en flow shop. Ce résultat contre dit quelque peu l'affirmation que les délais de production sont plus importants dans une configuration en job shop [22]. Cela s'explique dans notre étude de cas par deux raisons :*
  1. *Nous n'avons pas inclus dans le modèle des éléments non quantifiables tel que la difficulté de gérer un flux complexe avec de nombreux points de rebroussement et d'accumulation;*

2. La variété des produits que nous avons utilisée dans l'étude de cas (deux produits uniquement) n'introduit pas une complexité élevée. Et il est connu que c'est la complexité du à une grande variété de produits fabriqués qui est à l'origine des délais de production importants dans une configuration en job shop.
- Concernant l'orientation future qui consiste à déployer la flexibilité quantité, la configuration en flow shop est plus intéressante. Ce résultat est prévisible, car il est connu que les processus organisés en ligne sont plus adaptés à une production en grande série.

Table 3. Comparaison entre les deux configurations étudiées

<i>Fl:</i> <i>flexibilité</i> <i>Per:</i> <i>pervers</i>	<i>Volume</i>		<i>Délai</i>		<i>Indisponi</i> <i>bilité</i>		<i>Interne</i>	<i>Externe</i>	<i>Global</i>		<i>O.Futur</i>
	<i>Fl</i>	<i>Per</i>	<i>Fl</i>	<i>Per</i>	<i>Fl</i>	<i>Per</i>	<i>Fl</i>	<i>Fl</i>	<i>Fl</i>	<i>Per</i>	
<i>Flow shop</i>	0,58	0,64	0,65	0,32	0,45	0,65	0,45	0,62	0,56	0,54	77,33%
<i>Job shop</i>	0,72	0,65	0,75	0,24	0,49	0,44	0,49	0,74	0,65	0,44	54,88%

### Summary

Dans cet article, nous avons proposé une technique d'aide à la décision pour le choix d'une configuration physique lors d'un projet BPR. Pour des raisons de performance sur une période assez longue, nous avons privilégié, pour l'évaluation des configurations, le facteur flexibilité, les effets pervers ainsi que l'impact d'une orientation future visant l'implantation d'une action de progrès donnée. Nous avons essentiellement présenté et défini les différents type de flexibilité privilégiés ainsi que le mode de calcul de chacune d'entre elle suivant une logique utilisant la simulation et s'inspirant de la démarche classique des plans d'expérience. L'étude de cas que nous avons conduit nous a permis d'illustrer cette technique et de la valider à travers quelques résultats connus.

Notre technique s'intègre dans un projet de restructuration des processus de production conduit selon une démarche BPR. Son principal intérêt, est qu'elle permet de donner une appréciation chiffrée concernant la composante physique du processus. La reconfiguration des composantes informationnelle, décisionnelle et organisationnelle n'a pas été prise en compte dans ce travail. Cependant, elle est essentielle pour la restructuration d'un processus de production et complémentaire à la reconfiguration de la composante physique. En perspective, nous envisageons de travailler sur des techniques d'aide à la décision adressant ces composantes ainsi que leur intégration dans une démarche globale de restructuration des processus de production se basant sur l'usage de la simulation.

**References**

- [1]. Abdel-Malek L., Das S. K., Wolf C., Design and implementation of flexible manufacturing solutions in agile entrprises.
- [2]. Ackere A., Larsen E., Morecroft J., Systems thinking and business process redesign: on application to the beer game, *European management journal*, vol. 11 No. 4, December, 1993, pp 412-23.
- [3]. Ait Hssain A., *Optimisation des flux de production: méthodes et simulation*, Dunod.
- [4]. Ammachari M., Zairi M., Revisiting BPR: a holistic review of practice and development, *Business process management journal*, vol. 6, No. 1, 2000, pp. 10-42.
- [5]. Alter A., The corporation make-over, *CIO*, Vol. 4 No. 3, December, 1990, pp. 32-42.
- [6]. Barrelt J., Process visualization: getting the vision right is key, *Informations Systems Management*, spring, 1994, pp 14-23.
- [7]. Benmoussa R., El Fizazi S., Bouami D., système d'indicateurs de performance pour la maîtrise des délais de livraison, *Revue Française de gestion industriel'*, Vol. 21 No 3, 2002.
- [8]. Berrah L., Clivillé V., Harzallah M., Haurat A., Vernadat F., Une démarche cyclique d'amélioration permanente pour la réorganisation de systèmes industriels, *Génie Industriel*, Marseille. 21, 22 et 23 juin 2001.
- [9]. Carr D., Johansson, *Best practices in Re-engineering: what work and what doesn't in the re-engineering process*, Mcgraw-Hill, New york, NY.
- [10]. Das S. K., Patel P., An audit tool for determining flexibility requirement in a manufacturing facility, *Integrated Manufacturing Systems*, vol. 13 No. 4, 2002, pp.264-74.
- [11]. Davenport T., Short J., The new industriel engineering : information technology and business process redesign, *Sloan Management Review*, vol. 31 No. 4, pp. 11-27.
- [12]. Dixon J. R., Arnold P., Heineke J., Kim J.S., Mulligan P., "Business process re-engineering: improving in new strategic directions", *California Management Review*, Summer, 1994, pp. 93-108.
- [13]. Furey T., A six-step guide to process re-engineering", *Planing Review*, March/April, 93, pp. 20-3.
- [14]. Franken H., Weger M., A modelling framework for capturing business processs re-engineering, *Knowledge and process management*, vol. 4 No. 3, 1997, pp 153-62.
- [15]. Guha S., kettinger w., Terry T., *Business process re-engineering: building a comprehensive methodology*, *Information Systems management*, summer, 1993, pp.13-22.
- [16]. Hammer M., Champy J., *Re-engineering the corporation: A manifesto for business revolution*, Harper Businesss, New York, NY, 1993.

- [17].Kettinger W., Teng J., Guha S., Business process change: a study of methodologies, techniques, and tools, MIS Quarterly, March, 1997, pp 55-80.
- [18].Lin F., yang M., Pai Y., A generic structure for business process modeling, Business Process Management Journal, vol. 8 No. 1, 2002, pp. 19-41.
- [19].Lowenthal J., Re-engineering the organization: a step-by-step approach to corporate revitalization, journal of organisational computing, vol. 4 No. 1, 1994, pp. 1-20.
- [20].Nollet J., Kelada J., O.Diorio M., La gestion des opérations et de la production : Une approche systémique, Gaëtan Morin, 1994.
- [21].Petrozzo D. , Stepper J., Succesful re-engineering , Van Nostrand Reinhold, New-Work, NY, 1994.
- [22].Pillet M., Courtois A., Martin-Bonnefous C., Gestion de production, les éditions d'organisation, 1996.
- [23].Saracelli K., Bandat K., Process automation in software application developement, IBM systems journal, vol. 32 No. 3, 1993, pp. 377-96.
- [24].Slack N., The flexibility of manufacturing systems.
- [25].Slack N., Manufacturing systems flexibility - an assessment procedure, Computer Integrated Manufacturing Systems, Vol. 1 No. 1, pp. 25-31.
- [26].Tombak M., De Mayer A., Flexibility and FMS: an empirical analysis, IEEE Transactions on Engineering Management, May, pp. 101-7.
- [27].Upton D. M., Flexibility as process mobility: the management of plant capabilities for quick response manufacturing, Journal of Operations Management, Vol. 12 No. 3-4, pp. 205-24.
- [28].Wharton T. J., White E. M., Flexibility and automation: patterns of evolution, Operations Management Review, Spring-Summer, pp. 1-8.

#### POMOC TECHNICZNA DLA DECYZJI W WYBÓRZE FIZYCZNEJ KONFIGURACJI

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono techniki wspomaganie decyzji wyboru fizycznej konfiguracji. Przedstawiona technika jest przydatna w trakcie przebudowy planowanej restrukturyzacji procesów produkcyjnych co odzwierciedla podejście BPR, opierające się na korzystaniu z symulacji i tradycyjnych wzorów doświadczalnych. Technika polega ona ocenie zdolności tej konfiguracji do radzenia sobie z wewnętrznymi i zewnętrznymi zmianami. Proces oceny opiera się głównie na kryterium elastyczności, koncepcja ta jest przewrotna i daje możliwości konfiguracji w celu uwzględnienia możliwych przyszłych kierunków w zakresie instalacji jednego lub więcej środków postępu. Praca ilustruje studium przypadku.

#### 用于物理配置方式选择的技术支持

**摘要:** 在本文中, 我们提出了一种用于物理配置方式的技术。这种技术对于产品的重新设计以及基于BPR方法的重新构造非常有效。通过方法模拟以及从传统实验设计, 我们的评价方法本质上基于灵活性的原则。我们可以通过案例分析来阐述我们的方法。关键词: 灵活性, 模拟, 实验设计, 物理配置, 决策支持