



HAL
open science

Conception d'un système d'évaluation de la performance multi-critères basé sur les préférences des décideurs

Cédric Nguyen, Kseniya Schemeleva, Séverine Durieux, Christophe Caux

► To cite this version:

Cédric Nguyen, Kseniya Schemeleva, Séverine Durieux, Christophe Caux. Conception d'un système d'évaluation de la performance multi-critères basé sur les préférences des décideurs. 9th International Conference on Modeling, Optimization & SIMulation, Jun 2012, Bordeaux, France. hal-00728608

HAL Id: hal-00728608

<https://hal.science/hal-00728608v1>

Submitted on 30 Aug 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONCEPTION D'UN SYSTEME D'EVALUATION DE LA PERFORMANCE MULTI-CRITERES BASE SUR LES PREFERENCES DES DECIDEURS

C. NGUYEN⁽¹⁾⁽²⁾, K. SCHEMELEVA⁽¹⁾⁽²⁾, S. DURIEUX⁽¹⁾⁽²⁾, C. CAUX⁽¹⁾⁽²⁾

(1) Clermont Université, IFMA, Institut Pascal, BP 10448, F 63171 AUBIERE

(2) CNRS, UMR 6602, Institut Pascal, F-63171 AUBIERE

(cedric.nguyen@ifma.fr, kseniya.schemeleva@ifma.fr, severine.durieux@ifma.fr, caux@ifma.fr)

RESUME : La mesure de la performance a été un sujet d'étude important durant les dernières années ; cet intérêt est dû à l'aspect essentiel que revêt l'évaluation de la performance dans le pilotage de l'entreprise.

Le principal écueil que rencontrent les industriels est de trouver une méthode qui leur permette de mesurer la performance agrégée d'une partie ou de l'ensemble de leur système en tenant compte à la fois de l'aspect multicritère de leur environnement et des connaissances du ou des experts du système.

Dans cet article nous proposons une approche hybride basée sur le concept d'agrégation-désagrégation de la performance ainsi que sur l'utilisation des plans d'expériences et des méthodes de classement de préférences des décideurs.

La méthodologie proposée doit servir à l'obtention d'un modèle permettant en fonction des performances élémentaires d'évaluer la performance agrégée de tout ou partie du système. Pour obtenir ce modèle nous proposons une démarche qui consiste à éliciter les préférences du décideur.

MOTS-CLES : Evaluation, Performance, Agrégation, Multicritère, Plans d'expériences.

1 INTRODUCTION

L'évaluation de la performance dans le contexte industriel actuel est unanimement reconnue comme un facteur essentiel au pilotage de l'entreprise. Pour mesurer cette performance les décideurs sont amenés à mettre en place des indicateurs. Concernant la définition d'indicateurs il est possible de distinguer dans la littérature d'une part les référentiels et d'autre part les méthodes usuelles de pilotage par indicateurs.

Dans le premier cas nous retrouvons des référentiels comme SCOR (Stewart, 1997) ou ASLOG (Dromigny, 2006). Leur but est principalement de fournir une structure et des outils adaptés à des professionnels souvent d'un secteur en particulier. Les référentiels sont basés sur

le principe d'un benchmark des meilleures pratiques rencontrées sur le plus large panel possible d'entreprises. Les référentiels sont souvent utilisés en pratique parce qu'ils fournissent déjà prêts les éléments à mesurer et permettent d'appréhender rapidement la performance du système. Les indicateurs classiques ainsi fournis sont utiles et il est intéressant de se servir de certains d'entre eux. Cependant dès qu'il est question d'un cas particulier ils ne sont plus suffisants et le décideur doit s'interroger sur la manière d'enrichir sa mesure de la performance. Dans le cas des méthodes usuelles de pilotage par indicateurs nous pouvons différencier les méthodes dites sectorisées de celles dites généralistes. Le Tableau 1 présente les principales.

Méthodes / Critères	Objectifs	Phase d'utilisation	Performance mesurée	Niveaux concernés*	Références
Target Costing	Gain financier	Tout le cycle de vie	Coûts superflus	S / T / O	(Kato, 1993)
ABC / ABM	Affectation des charges	Phase de bilan	Coûts	S / T	(Kaplan et Bruns, 1987)
EVA	Calcul de bénéfices	Phase de bilan	Bénéfices	S	(Albony, 1999)
TQM	Assurance de la qualité	Tout le cycle de vie	Qualité	S / T / O	(Hill, 1977)
QFD	Assurance de la qualité	Tout le cycle de vie	Qualité	S / T / O	(Akao, 2004)
Navigateur Skandia	Déterminer le capital humain possédé	Phase d'innovation	Capital intellectuel	S / T	(Edvinsson et Malone, 1997)
BSC	Evaluer la performance globale	Phase de conception de la stratégie	4 axes du BSC	S	(Kaplan, 1992)
GIMSI	Concevoir un tableau de bord	Phase de définition des objectifs tactiques	Indicateurs définis	T / O	(Fernandez, 1998)
ECOGRAI	Concevoir un système d'indicateurs	Phase de conception du système d'indicateurs	Indicateurs découlant des objectifs	S / T / O	(Ducq et Vallespir, 2005)

* S : Stratégique, T : Tactique, O : Opérationnel

Tableau 1: Principales méthodes de pilotage par indicateurs

Dans la plupart des cas les indicateurs ciblent un élément ou un type d'éléments du système. L'une des faiblesses de ces approches nous semble être l'absence d'un indicateur global procurant une visibilité sur l'ensemble du système. L'aspect multicritère et les interactions entre les critères ne sont souvent pas pris en compte. De plus le détail qu'elles fournissent notamment dans la définition des indicateurs bien que rassurant peut rapidement s'avérer contre productif en ne permettant pas une adaptation adéquate au cas particulier du décideur.

La question devient alors de savoir comment au-delà des indicateurs utilisés permettre au décideur d'appréhender la performance dans son ensemble.

Le but de cet article est de présenter une approche d'évaluation de la performance qui se veut en adéquation avec les besoins concrets des décideurs. C'est-à-dire une approche qui prenne en compte à tous les niveaux que ce soit sur une partie ou sur la totalité du système les deux verrous que sont :

- l'aspect multicritère de la performance basée sur de multiples éléments souvent incomparables, contradictoires et qui interagissent entre eux.
- la difficulté pour un décideur de fournir des éléments quantitatifs chiffrés.

La Figure 1 a pour but de replacer notre contribution dans le processus global de définition, de mise en place et de mesure de la performance.

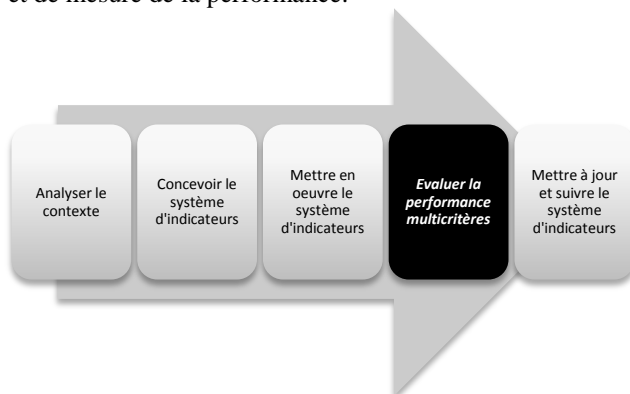


Figure 1: Processus global d'évaluation de performance

Cet article est structuré de la façon suivante : la section 2 décrit la problématique, les enjeux et les besoins auxquels sont confrontés les décideurs dans l'évaluation de la performance. La section 3 présente un état de l'art des différentes méthodes multicritère retrouvées dans la littérature et des approches dites par agrégation. La section 4 concerne notre contribution et donne des précisions sur la démarche que nous proposons de développer pour obtenir une mesure globale de la performance. Nous terminerons par la section 5 dans laquelle nous introduisons un exemple numérique avant de conclure en section 6.

2 PRESENTATION DU PROBLEME

2.1 Performance multicritère

La performance autrefois seulement exprimée en termes de profitabilité inclut également aujourd'hui la qualité, le respect des délais, la maîtrise des process (Lebas, 1995), (Lorino, 1995) et de nombreuses autres facettes. C'est pour cette raison qu'une mesure de la performance se doit pour être pertinente d'être avant tout multicritère (Roy, 1985).

Il ne s'agit alors plus de considérer un système visant à répondre à un unique objectif mais bien un système soumis à un ensemble d'objectifs qui s'avèrent souvent contradictoires et évalués au travers d'échelles et d'unités de mesure différentes. Le but devient alors à chercher une solution faite de convergences et de concessions - entre des éléments incomparables - qui tend vers une performance globale optimale.

2.2 Performance globale

Dans ANTIOR (2004) est présentée la propagation de la stratégie globale au travers du système d'indicateurs (Figure 2).

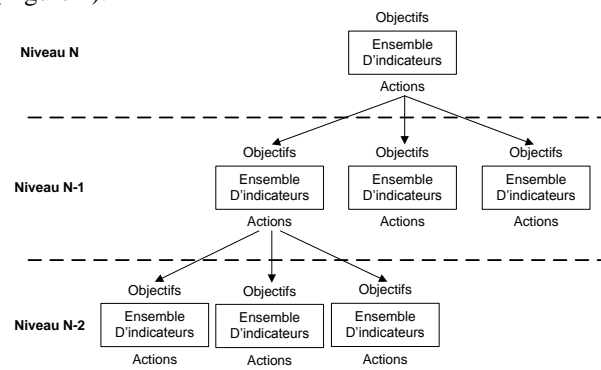


Figure 2: Structure d'objectifs

Il apparaît qu'un objectif d'un niveau supérieur se décline en de multiples objectifs pour les niveaux inférieurs.

De la même manière lors de la remontée d'informations (reporting, synthèse d'activités ...) les décideurs sont amenés à agréger quantité d'indicateurs depuis les niveaux inférieurs vers les niveaux supérieurs.

2.3 Problématique

Le besoin du décideur est donc de disposer d'une méthodologie d'évaluation de la performance multicritère qui fournisse une mesure d'ensemble pertinente pour tout ou partie du système.

L'exemple présenté dans cet article est centré sur un seul niveau pour assurer la lisibilité de l'approche mais l'intérêt de la démarche réside dans la possibilité d'agréger la performance multicritères sur plusieurs niveaux. Dans le cas multi-niveaux la performance élémentaire d'un niveau n sera en réalité l'agrégation des

performances élémentaires du niveau $n-1$. Ainsi par agrégations successives il est possible de reconstituer la hiérarchie des éléments de la performance.

3 ETAT DE L'ART

Compte tenu de l'enjeu de notre approche telle que nous l'avons précisé dans la section 2 nous concentrons notre analyse de la littérature sur les méthodes de mesure multicritère et les techniques d'agrégation de la performance.

3.1 Performance multicritère

Dans le cas d'un problème multicritère tout l'enjeu est de déterminer une solution qui soit un compromis acceptable entre tous les critères considérés.

Nous synthétisons les principales approches multicritère au travers de la Figure 3 :

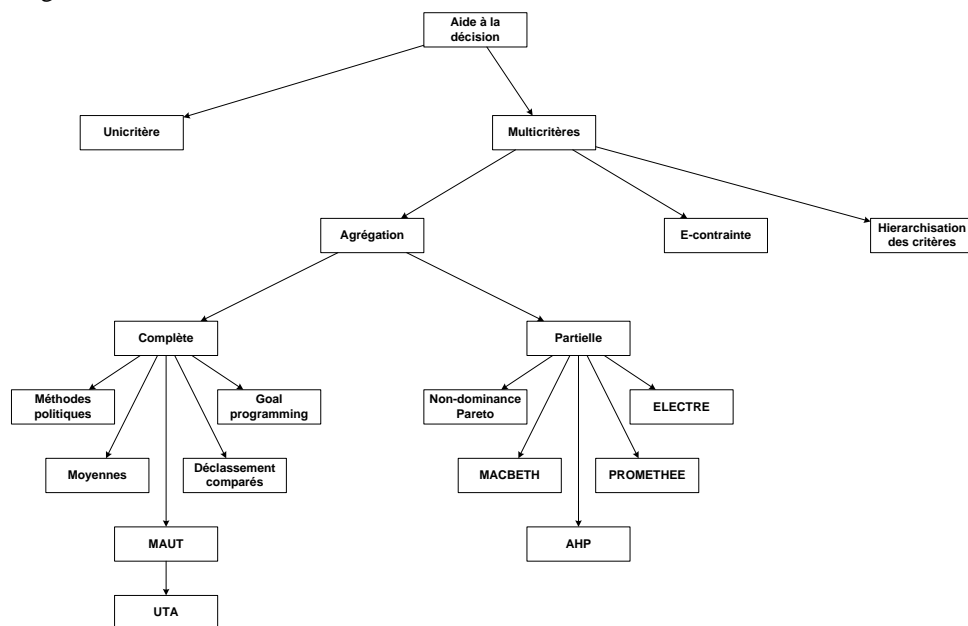


Figure 3: Méthodes multicritère

3.2 Méthodes par agrégation

3.2.1 Principe d'agrégation

La notion d'agrégation cherche à rendre compte de la performance générale. Le problème formalisé de l'agrégation de performance a été décrit en détail par (Berrah et al., 2004).

(Grabisch et Roubens, 2000) expliquent que la plupart des méthodes multicritères existantes utilisent la moyenne pondérée comme agrégation (Rangone, 1996), (Saaty, 2004), (Sahraoui et al., 2007) mais que celle-ci n'est pas forcément la plus adaptée. En effet le poids attribué à un critère n'a pas de sens en soi mais doit plutôt s'inscrire dans un système de critères. Ce qui a amené l'idée de définir également des poids pour des ensembles de critères tenant ainsi compte des interactions entre eux. C'est pour cette raison que les chercheurs ont développé des approches utilisant

- la hiérarchisation des critères,
- l'approche ϵ -contrainte,
- l'agrégation partielle ou complète des critères (souvent renforcée par une pondération).

La hiérarchisation des critères a pour principal inconvénient de fournir des résultats biaisés dans le cas où l'importance des critères serait homogène.

L'approche ϵ -contrainte quant à elle consiste à optimiser un critère en assurant un seuil min ou max aux autres mais cela correspond aux cas dans lesquels le décideur sait déjà quel critère il désire privilégier sur les autres.

Pour ces raisons nous concentrons notre étude sur les approches de type agrégation que nous pensons plus pertinentes dans notre cas.

l'intégrale de Choquet (Labreuche et Grabisch, 2001), (Grabisch, 1995).

Il existe également une autre famille d'agrégation appelée agrégation partielle ou surclassement définie dans (Bouyssou et al., 2002) ou encore (Figueira et al., 2005) qui vise à définir un ordre entre les différentes situations potentielles au travers de règles mathématiques.

Dans leur article (Clivillé et al., 2007) proposent, eux, d'utiliser la méthode multicritère MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical-Based Evaluation Technique) (Bana e Costa et al. 2004), (Roubens et al., 2006) et de l'étendre justement grâce à l'intégrale de Choquet 2-additive.

3.2.2 Méthodes classiques d'agrégation

Les méthodes les plus utilisées dans la littérature sont :

- L'étude de la non-dominance qui consiste à écarter les solutions dominées. On dit qu'une solution $S1$ do-

mine une solution S2 au sens de n critères si la performance de S1 est au moins égale à la performance de S2 sur les n critères et strictement supérieur sur un critère (Barichard, 2003), (Collette et Siarry 2002).

- MAUT (Multi-Attribute Utility Theory) qui cherche à définir une fonction d'utilité qui synthétise l'ensemble des critères (Fishburn, 1970), (Keeney, 1976), (Dyer, 2005),

- PROMETHEE (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations) dont le principe consiste à utiliser les flux de surclassement c'est-à-dire la puissance d'une action par rapport aux autres (Brans et Mareschal, 2005),

- ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité) et ses variantes qui consiste à constituer un noyau d'action qui surclassent les autres. Le noyau est l'ensemble des actions qui ne sont surclassées par aucune autre (Roy, 1968),

- MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) a pour principe de se baser sur des préférences qualitatives du décideur ; l'évaluation qualitative étant considérée comme plus intuitive que la valuation classique (Bana e Costa et Vansnick, 1993, 1994, 1997a, 1997b)

- AHP (Analytic hierarchy process) s'appuie sur la structure hiérarchique du problème constituée des niveaux d'objectifs, de critères et d'alternatives (Saaty, 1980).

Pour plus de précisions sur les décisions multicritère le lecteur peut se référer aux ouvrages de (Schärlig, 1985) ou les publications de Bernard Roy notamment (Roy, 1985) et de (T'Kindt et Billaut, 2006).

3.3 Synthèse

Comme l'état de l'art que nous présentons le met en évidence il existe un certain nombre de méthodes et types d'approches présents dans la littérature qui tentent de fournir au décideur les outils nécessaires à la mesure de la performance multicritère.

Il nous apparait cependant que ces méthodes demandent beaucoup d'informations qualitatives et surtout quantitatives aux décideurs. Or les décideurs confrontés à des systèmes complexes peuvent avoir des difficultés à fournir des pondérations ou des coefficients chiffrés.

A cela s'ajoute la complexité que représente pour un utilisateur d'appréhender l'impact sur la performance d'interactions entre différents éléments du système.

Pour ces raisons il nous paraît légitime de proposer une nouvelle démarche d'évaluation de la performance qui fournisse un indicateur clair et unique au décideur ; une évaluation pertinente de la performance agrégée. En outre il s'agit de proposer une méthode qui tende à faciliter et minimiser la somme d'informations à fournir par le décideur.

4 APPROCHE PROPOSEE

Notre approche consiste à évaluer la performance globale à partir de performances élémentaires. Nous ne nous intéressons pas ici à la définition ou au choix de ces performances élémentaires.

Les performances élémentaires considérées seront donc les indicateurs sélectionnés par le décideur (rebut, absentéisme, rendement opérationnel ...).

Notre approche se base sur le principe selon lequel la performance globale est issue des performances élémentaires. L'obtention de ce modèle permet à terme en fonction des performances élémentaires d'évaluer la performance de tout ou partie du système.

Pour obtenir ce modèle nous proposons une démarche de désagrégation qui consiste à éliciter les préférences du décideur et construire un modèle de décision à partir d'exemple de décisions. Afin de choisir au mieux ces exemples de décision nous adoptons une approche basée sur les méthodes de plans d'expériences.

Le but de notre approche est donc - pour répondre au besoin des décideurs - d'éliciter l'évaluation de l'expert, c'est à dire de formaliser le raisonnement de l'expert dans un moteur d'inférence, donnant ainsi la possibilité de reproduire artificiellement l'analyse de la situation et la prise de décision de l'expert.

Comme nous l'avons précisé précédemment il n'est pas toujours évident pour le décideur de fournir des données quantitatives. Nous chercherons donc à ce qu'il exprime ses préférences au travers d'informations qualitatives. Pour cela nous utilisons le concept de variable linguistique. Une variable linguistique est une variable dont les valeurs sont des mots ou des phrases exprimées dans une langue naturelle ou un langage artificiel. Dans l'exemple « *Il fait plutôt chaud* », *plutôt* est une variable linguistique qui traduit une information qualitative sur la température.

Les variables linguistiques ont l'avantage d'être intuitive est aisément appréhendable par le décideur.

De plus pour classer les expérimentations issues des plans d'expériences nous nous inspirons du principe des préférences du décideur de MACBETH. Cette seconde partie permet de se baser sur la perception du décideur et son appréciation de la performance afin d'éliciter son modèle de raisonnement.

4.1 Décomposition de la méthode

La Figure 4 présente les étapes de la démarche que nous proposons.

Dans un premier temps il s'agit de regrouper les performances élémentaires et de les ramener à un espace de définition commun pour les rendre comparables.

Ensuite le cœur de la contribution consiste à se servir des plans d'expériences pour définir un ensemble de situa-

tions que le décideur classera en utilisant des variables linguistiques (concept emprunté à MACBETH) et dont le résultat permettra d'éliciter le raisonnement de l'expert. In fine le résultat de l'approche proposée consiste en une formule d'agrégation permettant pour n'importe quel ensemble de valeurs de performances élémentaires d'inférer le jugement de l'expert et de fournir une évaluation de la performance globale.

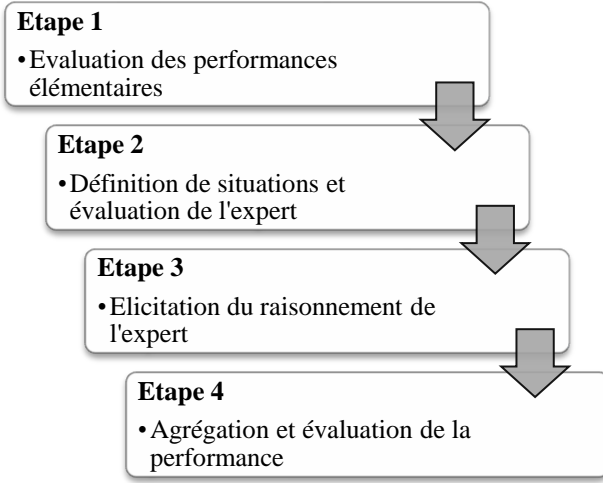


Figure 4: Etapes de la méthode proposée

4.2 Etape 1 : Evaluation des performances élémentaires

(Berrah et al., 2000) ont présenté l'expression de la performance élémentaire de la façon suivante : $P : O \times M \rightarrow E$.

Avec O , M et E espaces de définition respectivement des objectifs, des mesures et de la performance. Dans notre cas nous reprenons le principe de (Clivillé et al., 2007) pour établir un univers de satisfaction commun afin de palier au problème d'incomparabilité, à savoir l'intervalle $[-1;1]$ avec -1 signifiant une non satisfaction maximale et 1 une satisfaction maximale. Cela permet de ramener toutes les performances élémentaires à une même échelle. Le but ici est de s'affranchir à la fois des différences d'échelles des valeurs autant que des différences de domaines de définition. Pour ce faire le décideur passe par l'expression suivante :

Soit P_i valeur réelle de la performance élémentaire et P_i^* image de cette valeur sur $[-1;1]$. Max et min représentant respectivement les valeurs réelles maximum et minimum envisagée pour la performance élémentaire étudiée.

$$P_i^* = \frac{2P_i - (min + max)}{max - min} \quad (1)$$

Le domaine de définition des performances élémentaires $[-1;1]$ est considéré croissante monotone.

4.3 Etape 2 : Définition de situations et évaluation de l'expert

Compte tenu de l'évaluation des performances élémentaires et de leur interaction, il est possible de

considérer que le modèle de comportement de la performance est de la forme :

Soit a_i la valeur de l'effet de la $i^{ème}$ performance élémentaire sur la performance globale.

Soit b_{ij} la valeur de l'effet de l'interaction des $i^{ème}$ et $j^{ème}$ performances élémentaires sur la performance globale.

Soit K le biais initial.

La performance agrégée est notée Pag

$$Pag = K + \sum_i a_i P_i^* + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} P_i^* P_j^* \text{ avec } i \neq j \quad (2)$$

Il convient ensuite de définir un plan d'expériences composé des niveaux des performances élémentaires et de leurs interactions.

Pour des raisons de complexité combinatoire les plans dits complets sont à exclure. Nous préférons utiliser les tables de Taguchi par exemple.

Soit XP_i la $i^{ème}$ expérimentation avec i défini sur $[1 ; n]$ et n le nombre d'expérimentations issu du plan d'expérimentation choisi.

Soit Pag_i la performance globale correspondant à l'expérimentation XP_i .

Ensuite il revient au décideur de classer les expérimentations dans l'ordre de ses préférences.

Afin d'aider le décideur à classer les performances au travers de valeurs qu'il puisse facilement appréhender nous proposons d'utiliser les sept niveaux de la méthode MACBETH : (nulle, très faible, faible, modérée, forte, très forte, extrême) (Vansnick, 1984). Ces niveaux appellés catégories sémantiques d'attractivités évaluent l'attractivité d'un élément par rapport à un autre.

Soit Pag_i et Pag_j les deux performances des expérimentations XP_i et XP_j . Le fait que Pag_i est *modérément plus attractif* que Pag_j se formalise de la

façon suivante: $Pag_i \succ^{modérée} Pag_j$.

Le résultat de cette étape est donc le classement qualitatif sous forme d'ordre total (pas une comparaison 2 à 2) par le décideur des situations proposées.

4.4 Etape 3 : Elicitation du raisonnement de l'expert

Le classement qualitatif donné par le décideur permet d'obtenir un classement quantitatif et un système d'équation au travers de la notation suivante : nulle (0), très faible(1), faible(2), modérée(3), forte(4), très forte(5), extrême(6).

Une fois toutes les expériences classées et leurs importances relatives quantifiées le système d'équations est issu de la propriété suivante (issue de la méthode MACBETH (Bana e Costa et al., 2004)):

$$Pag_i \succ^h Pag_j \Rightarrow Pag_i - Pag_j = h\alpha \quad (3)$$

La résolution du système d'équations ainsi obtenu permet le calcul des coefficients K , a_i et b_{ij} .

$$P_{ag} = K + \sum_i a_i P_i^* + \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^r b_{ij} P_i^* P_j^* \text{ avec } i \neq j$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K = Pag_{moyen} = \frac{1}{n} \sum_i Pag_i \text{ avec } n = \text{nombre d'expérimentations} \\ a_i = \left[\left(\frac{1}{m} \sum_i A_i Pag_i \right) - Pag_{moyen} \right] \text{ avec } A_i = \begin{cases} 1 \text{ si } P_i^* = 1 \\ 0 \text{ sinon} \end{cases} \text{ et avec } m = \sum A_i \\ b_{ij} = \left[\left(\frac{1}{q} \sum_i B_{ij} Pag_i \right) - a_i - a_j - Pag_{moyen} \right] \text{ avec } B_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ si } P_i^* = P_j^* = 1 \\ 0 \text{ sinon} \end{cases} \text{ et avec } q = \sum B_{ij} \end{array} \right. \quad (4)$$

4.5 Etape 4 : Agrégation et évaluation de la performance

Cette dernière étape reprend la formule finale d'agrégation qui permet alors d'évaluer la performance globale en fonction des performances élémentaires.

Il est ensuite nécessaire d'analyser cette expression de la performance pour valider sa pertinence.

L'analyse se compose des étapes suivantes :

- i) Calcul des résidus entre les valeurs dites mesurées (valeur de performance issues du classement du décideur) et les valeurs dites calculées (valeurs issues de l'utilisation de la formule d'agrégation).
- ii) Calcul du coefficient de régression linéaire R^2 .
- iii) Visualisation graphique des effets et identification des facteurs ayant un impact significatif sur la performance agrégée. Il peut s'avérer intéressant pour le décideur d'utiliser également un diagramme de Pareto de la valeur absolue des effets.

Cette analyse permet d'identifier si la formule d'agrégation obtenue est bien représentative du raisonnement de l'expert que nous cherchons à éliciter.

Dans le cas où le coefficient de régression ne serait pas assez bon ou dans le cas où la contribution des résidus serait trop grande cela pourrait indiquer qu'un ou plusieurs facteurs ou interactions importants n'ont pas été pris en compte.

A ce moment là il peut s'avérer pertinent d'intégrer les interactions de degré supérieur ou d'autres facteurs jusqu'ici écartés.

Une autre possibilité pourrait être que le modèle ne correspond pas à la réalité car trop simpliste ou parce que la performance agrégée ne suit pas un modèle linéaire.

Dans ce cas il conviendra de reformuler le modèle qui pourra avoir une expression plus complexe.

Inversement cette analyse peut mettre en lumière l'impact négligeable d'un ou plusieurs éléments (facteurs ou interactions) et justifier leur mise à l'écart pour faciliter la clarté de l'évaluation sans pour autant dégrader le résultat.

La valeur P_{ag} finalement obtenue grâce à la formule est fournie au décideur pour se substituant à l'ensemble des indicateurs et lui permettant plus aisément de prendre des décisions.

5 EXEMPLE NUMERIQUE

5.1 Etape 1 : Evaluation des performances élémentaires

Dans notre exemple nous décidons de prendre comme performance élémentaire le taux de rebut P_1 , l'avance/retard de livraison (en minutes) P_2 et le taux d'occupation des ressources P_3 . Soit P_{12} , P_{23} et P_{13} les interactions des performances élémentaires.

5.2 Etape 2 : Définition de situations et évaluation de l'expert

La somme des degrés de liberté est égale à 6. Une table de Taguchi avec 8 expérimentations suffit donc amplement. Le Tableau 2 nous servira de plan d'expériences. Les 8 situations possibles du Tableau 2 sont chacune présentée au décideur. Nous établissons le classement des performances des différentes situations en nous basant sur le ressenti d'un décideur qui considérerait implicitement qu'il est essentiel de limiter les rebuts, important de minimiser les retard et ensuite intéressant d'optimiser le taux d'occupation de ses ressources.

Expériences	Facteurs					
	Rebut	Retard	Rebut/Retard	Occupation	Rebut/Occupation	Retard/Occupation
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	-1	-1	-1	1	1	1
3	-1	1	1	-1	-1	1
4	-1	1	1	1	1	-1
5	1	-1	1	-1	1	-1
6	1	-1	1	1	-1	1
7	1	1	-1	-1	1	1
8	1	1	-1	1	-1	-1
Effets	a ₁	a ₂	b ₁₂	a ₃	b ₁₃	b ₂₃

Tableau 2: Plan d'expériences de l'exemple numérique

Nous considérons le classement de l'expert selon l'ordre total suivant :

$$P_{MAX} \succ^{faible} P_2 \succ^{très_forte} P_6 \succ^{très_faible} P_4 \succ^{nulle} P_1 \succ^{forte} P_3 \succ^{modérée} P_5 \succ^{faible} P_8 \succ^{modérée} P_7 \succ^{faible} P_{MIN} \quad (5)$$

5.3 Etape 3 : Elicitation du raisonnement de l'expert

concluons le classement quantitatif (6) et le système d'équations (7).

A partir du classement qualitatif de l'expert et de ce que nous avons expliqué dans le paragraphe 4.4, nous en

$$P_{MAX} \succ^2 P_2 \succ^5 P_6 \succ^1 P_4 \succ^0 P_1 \succ^4 P_3 \succ^3 P_5 \succ^2 P_8 \succ^3 P_7 \succ^2 P_{MIN} \quad (6)$$

$$\begin{cases} P_{MAX} - P_2 = 1 - P_2 = 2\alpha \\ P_2 - P_6 = 5\alpha \\ P_6 - P_4 = 1\alpha \\ P_4 - P_1 = 0\alpha \\ P_1 - P_3 = 4\alpha \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P_3 - P_5 = 3\alpha \\ P_5 - P_8 = 2\alpha \\ P_8 - P_7 = 3\alpha \\ P_7 - P_{MIN} = P_7 - 0 = 2\alpha \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P_2 = \frac{20}{22} \approx 0,909 \\ P_6 = \frac{15}{22} \approx 0,682 \\ P_4 = \frac{14}{22} \approx 0,636 \\ P_1 = \frac{14}{22} \approx 0,636 \end{cases} \begin{cases} P_3 = \frac{10}{22} \approx 0,455 \\ P_5 = \frac{7}{22} \approx 0,318 \\ P_8 = \frac{5}{22} \approx 0,227 \\ P_7 = \frac{2}{22} \approx 0,091 \end{cases} \text{ avec } \alpha = \frac{1}{22} \approx 0,045 \quad (7)$$

La résolution du système d'équation permet d'obtenir une expression des coefficients de la formule d'agrégation.

Calcul de K : $K = P_{moyen} = 0,5$

$$\text{Calcul des } a_i \text{ et } b_{ij} : \begin{cases} a_1 \approx -0,17 \\ a_2 \approx -0,148 \\ a_3 \approx 0,114 \end{cases} \text{ et } \begin{cases} b_{12} \approx -0,023 \\ b_{13} \approx 0,011 \\ b_{23} \approx -0,341 \end{cases}$$

5.4 Etape 4 : Agrégation et évaluation de la performance

L'équation obtenue in fine (8) est le modèle qui permet le calcul de la performance globale en fonction des performances élémentaires.

$$P_{ag} = 0,5 - 0,170P_1 - 0,14P_2 + 0,114P_3 - 0,023P_1P_2 + 0,011P_1P_3 - 0,034P_2P_3 \quad (8)$$

L'analyse de la variance sur ce modèle fournit un coefficient de régression multiple égal à 0,9977, un $R^2 = 0,9955$ et un $R^2_{ajusté} = 0,9684$.

Le coefficient de régression multiple indique que le modèle semble être pertinent en ce qui concerne l'explication du comportement du système.

Les coefficients de corrélation entre les facteurs et les performances des expérimentations sont donnés dans le Tableau 3. Nous retrouvons bien l'ordre de corrélation des critères sur la performance que nous indiquions comme implicite dans les choix du décideur à savoir limiter le rebut est plus important que limiter les retard qui est lui-même préféré à l'optimisation du taux d'occupation des ressources.

	a ₁	a ₂	b ₁₂	a ₃	b ₁₃	b ₂₃
P _i	-0,65	-0,56	0,112	0,471	-0,02	0,157

Tableau 3: Coefficients de corrélation entre la performance et les facteurs

Couplé au diagramme Pareto des effets et interactions présenté en Figure 5 nous en déduisons l'influence des différents facteurs sur la performance globale agrégée.

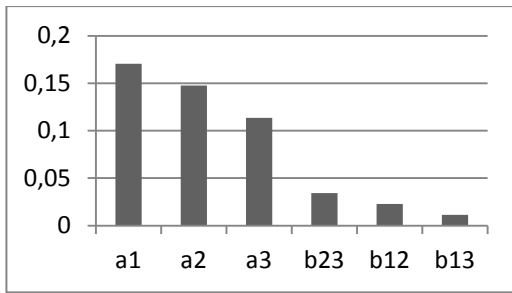


Figure 5: Valeur absolue des effets des performances élémentaires et des interactions

Par la suite le décideur pourra également décider de parfaire l'agrégation en y intégrant l'interaction de degré 3 entre les performances élémentaires P_1 , P_2 et P_3 .

Dans notre exemple nous avons utilisé un logiciel d'analyse statistique. Le résultat de l'analyse indique que pour l'exemple en question, à un niveau de confiance de 90%, seules les performances élémentaires sont significatives, les interactions ne le sont pas.

Dans l'exemple présenté nous n'avons considéré qu'un seul décideur. Le résultat est donc propre au ressenti de ce décideur. Néanmoins il est possible de prendre en compte l'avis de plusieurs décideurs lors de l'étape du classement des différentes situations.

6 CONCLUSION

Les décideurs en environnement réel doivent faire face à des problèmes à la fois multicritère et multi-domaines lors de la mesure de la performance. En outre en dehors des indicateurs classiques ils ont besoin d'une vision globale de la performance d'une partie ou de la totalité du système.

Comme nous l'avons présenté dans l'état de l'art les méthodes multicritères qu'il est possible de trouver dans la littérature nécessitent la plupart du temps une grande quantité d'informations quantitatives qu'il n'est pas toujours évident pour le décideur de fournir. Les pondérations par exemple peuvent s'avérer difficile à appréhender.

Pour palier les besoins décrits précédemment nous proposons une méthode d'évaluation de la performance multicritère intuitive pour le décideur. Le décideur n'a généralement pas la possibilité de fournir des informations quantitatives complexes mais peut en revanche apporter son expertise dans l'appréciation de la performance pour une partie ou la globalité du système. Notre approche lui permet d'exprimer ses préférences de manière qualitative en utilisant des variables linguistiques aisément manipulables. En outre notre démarche présente l'avantage de minimiser l'effort au moment de l'inférence grâce à la sélection d'un nombre minimum de cas (utilisation des plans d'expériences).

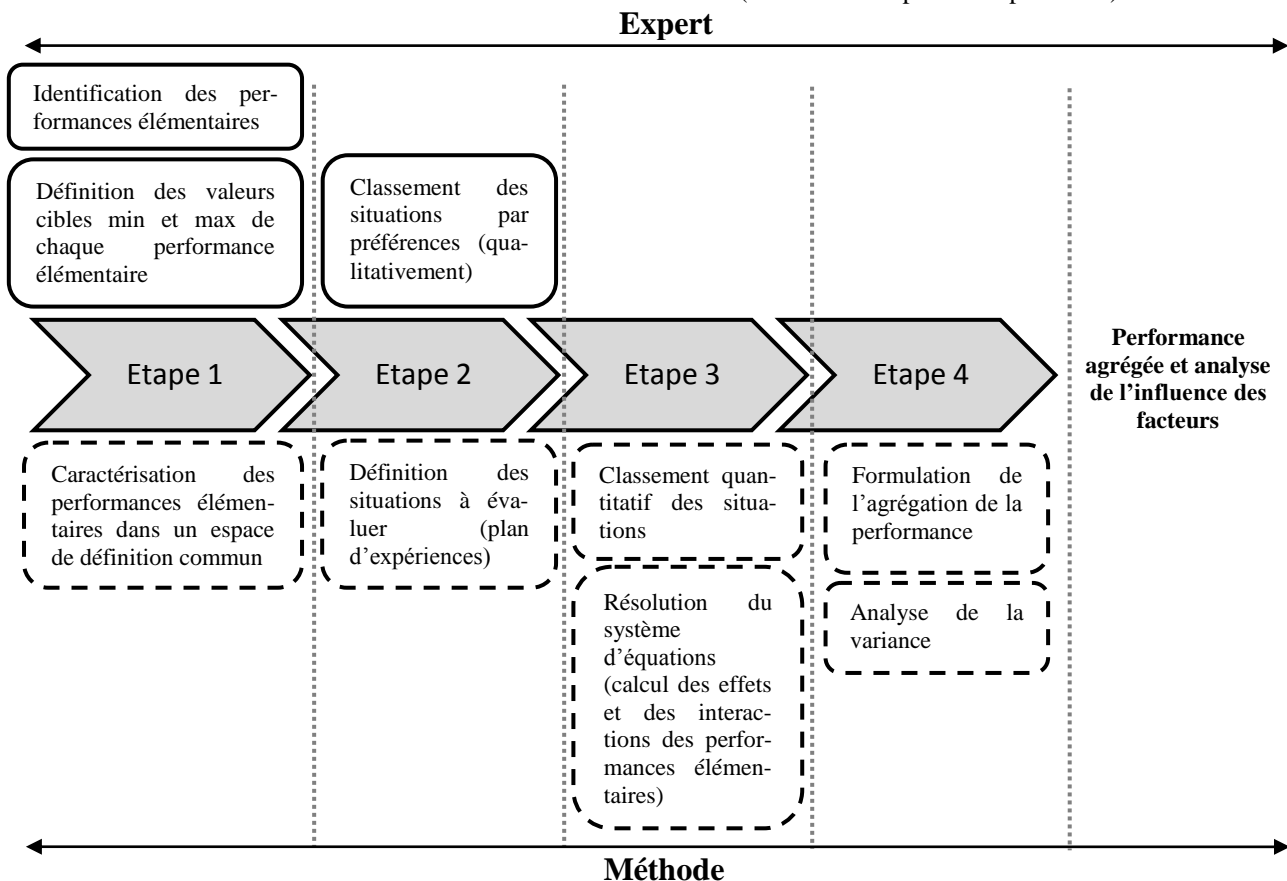


Figure 6: Contribution de l'expert et de la méthode à l'évaluation de la performance agrégée

Par la suite une perspective directe est l'application de notre démarche à un cas industriel concret de ligne d'assemblage. Cette étude de cas est l'objet d'un article en cours de rédaction.

Le résultat de cette méthode est une formulation de la performance agrégée qui élicite le raisonnement du décideur et permet une évaluation globale à partir de performance élémentaires multi-domaines.

De plus notre approche au travers d'une analyse de la variance permet d'une part de vérifier la pertinence de la formule d'agrégation et d'autre part de déterminer les facteurs réellement influents sur la performance.

Il nous apparait que cette méthode pourrait être largement diffusée et appliquée à différents secteurs.

D'autre part nous envisageons l'utilisation de cette démarche comme une potentielle première étape dans un mécanisme d'optimisation. En effet la performance une fois agrégée peut être vue comme le critère à optimiser.

La Figure 6 synthétise la démarche et permet de visualiser la contribution de la méthode en elle-même et les informations demandées au décideur au cours des quatre étapes de notre méthode.

REFERENCES

- Akao, Y., 2004. Quality function deployment. Productivity Press.
- Albony, M., 1999. La valeur est elle autre chose qu'un discours à la mode ?, *Dossier de la Revue Française de Gestion*, 22.
- ANTIOR, 2004. Piloter l'entreprise : Tableau de bord ou Balanced ScoreCard ? n. 591.
- Bana e Costa, C.A., Vansnick, J.C., 1993. *Sur la quantification des jugements de valeur: L'approche MACBETH*. Cahiers du LAMSADE, 117, Université Paris-Dauphine, Paris.
- Bana e Costa, C.A., Vansnick, J.C., 1994. MACBETH – An interactive path towards the construction of cardinal value functions. *International Transactions in Operational Research*, 1(4), 489–500.
- Bana e Costa, C.A., Vansnick, J.C., 1997a. *A theoretical framework for measuring attractiveness by a categorical based evaluation technique (MACBETH)*. International Journal Climaco editor, Multicriteria Analysis, 15–24. Springer–Verlag, Berlin.
- Bana e Costa, C.A., Vansnick, J.C., 1997b. The MACBETH approach: Basic ideas. *In Proceedings of the International Conference on Methods and Applications of Multicriteria Decision Making*, 86–
- 88, FUCAM, Facultés Universitaires Catholiques de Mons.
- Bana e Costa, C.A., De Corte, J.M., Vansnick, J.C., 2004. On the mathematical foundations of MACBETH. *Working Paper LSEOR 04.61, Department of Operational Research, London School of Economics and Political Science*.
- Barichard, V., 2003. *Approches hybrides pour les problèmes multiobjectifs*. PhD Thesis. Université d'Angers.
- Berrah, L., Mauris, G., Haurat, A., Foulloy, L., 2000. Global vision and performance indicators for an industrial improvement approach. *Computers in Industry*, 43, 211-225.
- Berrah, L., Mauris, G., Vernadat, F., 2004. Information aggregation in industrial performance measurement: rationales, issue and definitions. *International Journal of Production Research*, 42(20), 211-225.
- Bouyssou, D., et al., 2002. *Aiding decisions with multiple criteria: essays in honor of Bernard Roy*. Kluwer Academic Publishers.
- Brans, J.P., Mareschal, B., 2005. Promethee methods, in Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. *International Series in Operations Research & Management Sciences*, J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott, 78, Springer.
- Clivillé, V., Berrah, L., Mauris, G., 2007. Quantitative expression and aggregation of performance measurements based on the MACBETH multicriteria method. *International Journal of Production Economics*, 105, 171-189.
- Collette, Y., Siarry, P., 2002. *Optimisation Multiobjectif*. Éditions Eyrolles, Paris.
- Dromigny, T., 2006. *Le benchmark outil d'amélioration continue*. www.aslog.org/fr/index.php.
- Ducq, Y., Vallespir, B., 2005. Definition and aggregation of a Performance Measurement System in three Aeronautical workshops using the ECOGRAI Method. *International Journal of Production Planning and Control*, 16(2), 163-177.
- Dyer, J., 2005. MAUT – multi attribute utility theory. In Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. *International Series in Operations Research & Management Sciences*, J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott, 78, Springer.
- Edvinsson, L., Malone, M.S., 1997. Intellectual Capital : Realizing your company's true value by findings it's hidden brainpower. Irving Perkins Associates.

- Fernandez, A., 1998. Les nouveaux tableaux de bord des managers: le projet décisionnel dans sa totalité. Editions d'Organisation.
- Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M., 2005. *MCDA: Multiple Criteria Decision Analysis State of the Art Surveys*. Kluwer Academic Publishers.
- Fishburn, P.C., 1970. *Utility theory for Decision Making*. *Operations Research*, 18, New-York, Wiley.
- Grabisch, M., 1995. Fuzzy integral in multicriteria decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 69, 279-298.
- Grabisch, M., Roubens, M., 2000. Application of the Choquet integral in multicriteria decision making. *Fuzzy Measures and Integrals - Theory and Applications* ouvrage coordonné par M. Grabisch, T. Murofushi, M. Sugeno, Physica Verlag, 348-374.
- Hill, T.A., 1977. *Dynamic business strategy*. Tata McGraw-Hill.
- Kaplan, R.S., Bruns, W., 1987. *Accounting and Management: A field study perspective*. Harvard Business School Press.
- Kaplan, R.S., Norton, D.P., 1992. The Balanced ScoreCard: Measures that drive performance. *Harvard Business Review*, 71-79.
- Kato, Y., 1993. Target costing support systems: lessons from leading Japanese companies, *Management Accounting Research*, 33-47.
- Keeney, R.L., Raiffa, H., 1976. *Decisions with multiple objectives; preferences and value tradeoffs*. New-York, Wiley.
- Labreuche, C., Grabisch, M., 2001. The Choquet integral for the aggregation of interval scales in multicriteria decision making. *EUROFUSE conference*, Granada, Spain.
- Lebas, M.J., 1995. Performance measurement and performance management. *International Journal of Production Economics*, 41, 23-35.
- Lorino, P., 1995. *Comptes et récits de la performance*. Editions d'Organisation, Paris.
- Rangone, A., 1996. An analytical hierarchy process framework for comparing the overall performance of manufacturing departments. *International Journal of Operations and Production Management*, 16(8), 104-119.
- Roubens, M., Rusinowska, A., de Swart, H., 2006. Using MACBETH to determine utilities of governments to parties in coalition formation. *European Journal of Operational Research*, 172, 588-603.
- Roy, B., 1968. Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *La Revue d'Informatique et de Recherche Opérationnelle (RIRO)*, 8, 57-75.
- Roy, B., 1985. *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Economica, Paris.
- Saaty, T., 1980. *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill, New-York.
- Saaty, T., 2004. The analytic hierarchy and the analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision making. *Multiple Criteria Decision Analysis*, 345-407.
- Sahraoui, S., Berrah, L., Montmain, J., 2007. Techniques d'optimisation et modèle d'agrégation pour l'outillage d'une démarche d'amélioration industrielle. *7e Congrès International de Génie Industriel (GI 2007)*, Trois Rivières, Québec, Canada.
- Schärlig, A., 1985. *Décider sur plusieurs critères - Panorama de l'aide à la décision multi-critères*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- Stewart, G., 1997. Supply Chain Operations Reference Model (SCOR) : the first cross-industry framework for integrated supply-chain management. *Logistics Information Management*, 10(2), 62-67.
- T'Kindt, V., Billaut, J.C., 2006. *Multicriteria scheduling: theory, models, algorithms*. Second Edition, Springer, Berlin.
- Vansnick, J.C., 1984. Strength of preference : Theoretical and practical aspects. In: Brans, J.P., *Operational Research, IFORS 84*. North-Holland, Amsterdam, 367-381.