

UN MODELE DE QUANTIFICATION DE LA PERFORMANCE INDUSTRIELLE POUR LE TABLEAU DE BORD PROSPECTIF

Vincent Clivillé, Lamia Berrah.

Laboratoire d'Informatique, Systèmes, Traitement de l'Information et de la Connaissance LISTIC, Polytech'Savoie
BP 80439, 74944 Annecy Le Vieux cedex
cliville@univ-savoie.fr, berrah@univ-savoie.fr,

RESUME : Cette étude traite de la problématique de la quantification de la performance industrielle. L'outil de base considéré est le Tableau de Bord Prospectif – TBP, développé par Kaplan et Norton. Cet outil de pilotage, créé à des fins stratégiques, peut selon nous être exploité davantage à des niveaux plus opérationnels. Il est utile, dans cet esprit, de quantifier l'ensemble des liens et performances définis dans le TBP. Pour ce faire, nous utiliserons MACBETH, une méthodologie d'aide à la décision dans un univers multicritère. MACBETH résume en une procédure l'ensemble des étapes nécessaires à l'expression des performances élémentaires et globales. Nous proposons son application ici, sur la base d'une généralisation de la moyenne pondérée, par un opérateur de la famille de l'intégrale de Choquet. Enfin, en guise d'illustration, la mise en place d'un TBP quantifié est effectuée au sein d'une entreprise du domaine textile.

MOTS-CLES : Tableau de bord prospectif, expression de la performance, modèle de quantification, méthodologie multicritère MACBETH, Intégrale de Choquet.

1. INTRODUCTION

Dans un environnement toujours plus complexe, face à un marché ouvert et à une concurrence exacerbée, l'entreprise doit dépasser sa raison d'être qui est la production. Elle doit en effet veiller à se transformer pour être performante et donc assurer sa pérennité. De ce fait, la recherche de l'amélioration de la performance est un enjeu continu. Pour l'industriel, il est nécessaire alors de s'appuyer non seulement sur des démarches structurées mais aussi sur les outils et systèmes d'aide associés. Les démarches d'amélioration mises en œuvre reprennent généralement le principe de la boucle de rétroaction classique, conformément à la roue de Deming (*Plan-Do-Check-Act*) (Deming 1982), et reposent globalement sur les étapes suivantes (Berrah *et al.* 2001) :

- définir la cible de l'amélioration et sa frontière,
- diagnostiquer et analyser l'existant,
- planifier et mettre en œuvre les changements,
- afficher les résultats obtenus et réagir en cas d'écarts.

Dans ce sens, définis dans la quatrième étape, les tableaux de bord reflètent d'une part les états atteints et permettent d'autre part la bonne prise de décision (Kaplan et Norton 1998) (ISO 9000 2001).

En effet, le but des indicateurs de performance est de donner des informations sur la satisfaction des objectifs de l'entreprise. En outre, il est indispensable de relier ces informations aux actions mises en œuvre pour atteindre les objectifs (Fortuin 1988). Dans ce sens, le dit Système d'Indicateurs de Performance – SIP - est défini comme étant un ensemble d'indicateurs de performance, organi-

sés en cohérence avec les objectifs de l'entreprise (Clivillé *et al.* 2007). Le SIP se met en œuvre aujourd'hui au regard d'une performance multicritère. Il a pour entrée un objectif global et fournit un tableau de bord regroupant des expressions de performance qui quantifient le degré d'atteinte de cet objectif. L'objectif global est généralement décomposé en objectifs élémentaires, sur les niveaux de décision de l'entreprise (stratégique, tactique et opérationnel). Des expressions élémentaires associées à ces objectifs sont ensuite agrégées pour fournir la performance globale. La quantification de la performance peut ainsi être décrite à travers les opérations respectives de décomposition des objectifs et d'expression des performances. Une telle perception du SIP fournit une aide à la décision permettant la cohérence entre les différents niveaux décisionnels. Plus précisément, l'intérêt de définir et quantifier les liens entre les expressions de performance des tableaux de bord est dans la quantification des impacts entre les plans d'action mis en œuvre.

L'idée est de pouvoir évaluer l'impact d'une action tant sur un indicateur qui lui est dédié que sur tous les indicateurs qui lui sont liés. De plus, cette quantification des liens permet de déduire, sachant une expression espérée au niveau global, les expressions à obtenir au niveau élémentaire. Cet aspect est donc essentiel pour le diagnostic, l'explication et la simulation de la performance de l'entreprise (Berrah *et al.* 2007). En outre, la quantification permet la prise en considération d'un nombre important d'indicateurs (plusieurs dizaines le plus souvent). La problématique de la quantification de la performance est aujourd'hui largement considérée dans la littérature

traitant des SIP et tableaux de bord (Neely *et al.* 1995) (Clivillé 2004). La quasi totalité des propositions traitent en effet de cet aspect sur la base du modèle ABC/ ABM (*Activity Based Costing/Activity Based Modelling*) (Brimson 1991) (Kaplan et Norton 1992). En revanche, la définition des liens entre les expressions de performance impliquées reste aujourd'hui essentiellement qualitative. En effet, la plupart des modèles, notamment le plus répandu dans les entreprises, à savoir le TBP (Tableau de Bord Prospectif ou BSC Balanced Scorecard) (Kaplan et Norton 1998), suppose implicitement que chaque décideur est capable de réaliser sa propre synthèse à partir des performances élémentaires. Toutefois, quelques modèles tels que ECOGRAI (Ducq *et al.* 2001), QMPMS [Suwignjo *et al.* 2000) formalisent les liens entre les performances élémentaires par des opérateurs mathématiques d'agrégation simples tels que, la *somme*, le *min*, le *max* pour des grandeurs physiques (QCD) ou la *moyenne pondérée* pour des expressions de performance. Ces approches supposent les hypothèses tayloriennes et s'appliquent à des expressions indépendantes qui n'interagissent pas entre elles.

Nous avons proposé, dans nos précédents travaux, un modèle de quantification du SIP, sur la base des opérations de décomposition/agrégation. Le modèle se fonde sur des approches d'aide à la décision en univers multicritère (Clivillé 2004) (Bana et Vansnick 1997). De plus, notre modèle retient l'intégrale de Choquet comme opérateur d'agrégation (Grabisch *et al.* 2003) et recourt à la méthodologie MACBETH (Bana *et al.* 2004) pour quantifier les expressions de performance.

L'objet de cet article est d'appliquer cette approche aux outils les plus introduits dans le milieu industriel. C'est pourquoi nous retenons le TBP en tant qu'outil d'aide au management. Nous proposons dans ce sens de reconsidérer cet outil au travers du modèle décomposition/agrégation en quantifiant d'une part les expressions de performance définies et en formalisant, d'autre part, les liens entre ces expressions. Pour ce faire, nous passerons en revue dans un premier temps les principaux concepts liés au TBP. La deuxième partie sera consacrée aux fondements du modèle de quantification de la performance. Enfin, nous présentons notre proposition au travers d'un cas rencontré dans une entreprise textile.

2. LA NOTION DE TABLEAU DE BORD PROSPECTIF

2.1. Définition

Le TBP (Tableau de Bord Prospectif) (Kaplan et Norton 1992 1998 2001) est un outil d'aide au pilotage utilisé majoritairement dans les grandes entreprises. Il traduit la stratégie de l'entreprise en actions opérationnelles. Le TBP repose sur une vision hiérarchique de l'entreprise structurée en « *business units* » ou unités de production. Les *business units* sont elles-mêmes appréhendées selon

une vision processus/activités. Le TBP s'inscrit dans une démarche d'amélioration permanente. Il permet d'identifier en effet, et ce, de manière qualitative, une chaîne de relations causales depuis la performance stratégique jusqu'aux performances opérationnelles.

Le TBP est un **tableau de bord** dans la mesure où il rassemble « une liste d'indicateurs destinés à étayer un jugement sur le fonctionnement d'un centre de responsabilité » (Giard 2003). En guise d'illustration, le tableau ci-après donne le TBP stratégique de l'entreprise MOBIL, telle qu'il a été développé par Kaplan et Norton (Kaplan et Norton 2001).

	Objectifs stratégiques (FCS)	Indicateurs de performance
Financier	F1 Retour sur capital investi	RCI (ROI) Cash Flow
	F2 Utilisation des actifs existants	Classement en marge net (/ concurrence)
	F3 Rentabilité	Coût global du gallon servi (/ concurrence)
	F4 Leader du secteur en coût	Taux de croissance en volume (/ secteur)
	F5 Croissance rentable	Ratio du haut de gamme Recettes et marges hors essence
Client	C1 Enthousiasmer constamment le client ciblé	Part de segment sur les marchés clés sélectionnés Note du client mystère
	C2 Créer des relations win/win avec les distributeurs	Croissance de profit brut du distributeur Enquête auprès du distributeur

Tableau 1: Le TBP stratégique de l'entreprise MOBIL.

Le TBP propose une décomposition des objectifs selon 4 axes (figure 1). Il est dans ce sens **équilibré** car il traite tant de la performance financière (axe *Financier*) que non financière (axe *Apprentissage organisationnel*, axe *Processus internes*, axe *Clients*) de l'entreprise.

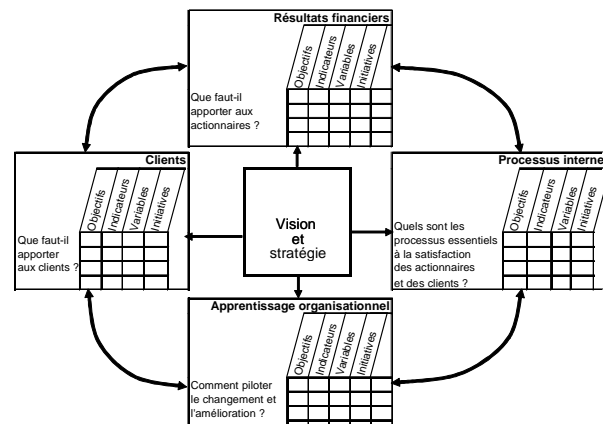


Figure 1. Les 4 axes du BSC (Kaplan et Norton 1998) Enfin, le TBP est **prospectif**, dans la mesure où sur chacun de ses axes, deux types d'indicateurs sont systématiquement définis, conformément aux besoins d'un pilotage réactif :

- des *indicateurs de résultat* pour constater l'efficacité d'une action accomplie,
- des *indicateurs avancés* (de processus) pour suivre les améliorations à court terme.

Les indicateurs définis suivant les différents axes sont standardisés, les entreprises ayant globalement les mêmes objectifs stratégiques (satisfaction des clients, actionnaires et salariés). C'est l'expérience des auteurs de la méthode qui permet de définir :

- les variables sur lesquelles il faut agir,
- les indicateurs adaptés pour suivre les actions mises en œuvre sur ces variables.

Ainsi, pour l'axe *Processus internes* par exemple, des indicateurs de coût (ROI, productivité MO...), délai (efficacité du cycle de production, ratio entre temps de transformation et le temps de production...) et qualité (taux de défaut, gaspillage, déchets, retouches, retours et proportion de procédés maîtrisés...) sont proposés.

Plus récemment, le BSC s'est enrichi d'une carte stratégique qui montre les liens entre les objectifs et les actions entreprises sur les différents axes (Kaplan et Norton 2001).

2.2. Mise en œuvre du TBP

Le TBP utilise 2 outils spécifiques : un modèle de tableau de bord équilibré et prospectif (cf. tableau 1) ainsi qu'une procédure de mise en place. La procédure préconisée s'articule autour de quatre macro-étapes qui s'enchaînent en boucle (Kaplan et Norton 1998) :

- clarifier et traduire le projet et la stratégie,
- communiquer et articuler,
- planifier et définir les objectifs quantitatifs,
- retour d'expérience et suivi stratégique.

Cette procédure est ensuite détaillée en dix étapes de façon à guider précisément l'entreprise pour la mise en place. En l'occurrence, la première étape débute par la clarification du projet de l'entreprise, qui peut se traduire par la définition d'un objectif global. Elle propose une décomposition des objectifs par la définition des liens entre la stratégie de l'entreprise et les objectifs des différents *business units* au plus bas niveau.

Dans le cas général, la mise en place d'un TBP dure, selon les auteurs, environ seize semaines. Le TBP se décline à tous les niveaux de l'entreprise, du siège social jusqu'aux *business units* et aux services supports. La structure de l'entreprise est strictement hiérarchisée, le siège imposant aux unités de production et aux services transversaux sa vision dans ce qui est appelé un alignement stratégique vertical.

2.3. De l'opportunité d'un BSC quantifié

Le TBP se présente sous la forme d'une arborescence, calquée sur l'organisation de l'entreprise. A chaque branche de l'arborescence, est associé un tableau de bord

formaté selon le modèle présenté (tableau 1). Le TBP propose à chaque niveau décisionnel une vingtaine d'indicateurs pour autant de variables d'action. Chaque action (sur une variable) dispose d'un indicateur avancé propre.

Tel qu'il est conçu, le TBP a pour objet d'identifier la performance globale de l'entreprise à l'ensemble des performances définies suivant les axes (*Clients, Financier, Processus internes, Apprentissage organisationnel*). La performance selon chacun de ces axes se définit à son tour par l'ensemble des performances élémentaires. Dans cette logique :

- seules les performances élémentaires sont exprimées,
- l'expression de ces performances est qualitative,
- les liens de contribution des différentes performances sont implicites.

C'est pourquoi nous proposons d'enrichir le modèle de TBP actuel par :

- la quantification des différentes expressions de performance,
- l'explicitation des liens entre elles.

Nous aurons ainsi un modèle qui permet de quantifier l'impact des performances élémentaires sur la performance des axes et sur la performance globale. Il sera alors possible de diagnostiquer l'existant, de simuler et suivre les actions d'amélioration, dès le niveau opérationnel.

Pour ce faire, passons au préalable en revue les aspects essentiels du modèle de quantification de la performance, avant de proposer son application au TBP.

3. LE MODELE DE QUANTIFICATION DE LA PERFORMANCE

La quantification de la performance dans un SIP revient à établir un modèle de quantification qui repose sur 2 points :

- la décomposition des objectifs,
- l'agrégation des performances.

Nous nous appuyons dans ce sens sur la méthodologie MACBETH (*Multi Attractiveness Categorical Based Evaluation TecHnique*) (Bana et Vansnick 1997) qui propose, conformément aux approches d'aide à la décision en univers multicritère, une procédure pour traiter ces 2 points de façon cohérente.

3.1. La décomposition des objectifs

Soit un objectif global O . Le pilotage identifie l'arbre complet A_v des variables relatives à la variable V de l'objectif O . O en sera le niveau d'abstraction le plus élevé, L , le niveau de détail le plus bas et λ un niveau

intermédiaire. Le mécanisme de décomposition de O est basé alors sur une hiérarchisation des variables (fonction H^1 (Clivillé 2004).

$$H: V \rightarrow P(A_v)$$

$$V \rightarrow H(V) = \{v_j^\lambda\} \quad \lambda \text{ étant l'indice associé au niveau de la décomposition et } j \text{ l'indice permettant de distinguer les variables d'un même niveau.}$$

A partir de cet arbre, le SIP réalise en premier lieu une sélection (fonction S), basée sur l'importance des contributions de chaque variable, qui, selon la valeur de O , restreint l'arbre des variables $\{v_j^\lambda\}$ à l'arbre $\{v_i^\lambda\}$.

$$S: O \times P(A_v) \rightarrow P(A_v)$$

$$(O, \{v_j^\lambda\}) \rightarrow S(O, \{v_j^\lambda\}) = \{v_i^\lambda\} \text{ avec } \{v_i^\lambda\} \subset \{v_j^\lambda\}$$

Selon la valeur de O , la quantification des objectifs (fonction Q) associée à l'arbre des variables $\{v_j^k\}$ un arbre d'objectifs $\{o_j^k\}$, qui fixe les valeurs espérées.

$$Q: O \times P(A_v) \rightarrow P(O_v)$$

$$(O, \{v_i^\lambda\}) \rightarrow Q(O, \{v_i^\lambda\}) = \{o_i^\lambda\} \text{ avec } O_v \text{ l'arbre des objectifs associés à } A_v$$

Exemple : Considérons la performance selon l'axe *Clients* du TBP de l'entreprise MOBIL. 4 variables sont identifiées (fonctions H et S) puis quantifiées (fonction Q) pour donner les objectifs suivants :

Part de segment/activité clé, $o_{c1} :: \text{croissance} > \text{moyenne}$

Note client mystère, $o_{c2} :: 9,5$

Croissance profit distrib. $o_{c3} = 50\% \text{ _bénéfice_ global}$

Enquête auprès distrib. $o_{c4} :: \text{satisfaction} = \text{bonne}$

3.2. L'agrégation des performances

Une manière d'exprimer la performance globale est de l'identifier à l'agrégation des performances élémentaires qui lui correspondent, conformément à la décomposition de l'objectif global. L'agrégation des performances peut être vue comme une opération qui synthétise les performances élémentaires en une expression globale. Ainsi, l'agrégation de performance peut être formalisée par l'application suivante (Berrah *et al.* 2004) :

$$Ag: E_1 \times E_2 \times \dots \times E_i \times \dots \times E_n \times \rightarrow E$$

$$(p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n) \rightarrow p_{Ag} = Ag(p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n)$$

Les E_i sont les univers de discours des expressions de performance élémentaires $(p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n)$ et E est

l'univers de discours de l'expression globale p_{Ag} . Sachant que les univers E_i et E peuvent être différents, la détermination de l'application agrégation Ag est généralement difficile.

Il n'est pas toujours possible de déterminer directement la performance globale. En effet, les mesures élémentaires sont en général données dans des unités différentes. Une solution est alors de traduire ces mesures en degrés de satisfaction (d'un objectif), *i.e.* expressions de performance. Dans un second temps, il s'agit de définir la contribution de ces expressions à la performance globale. L'opérateur le plus utilisé dans ce sens est la moyenne pondérée. Cet opérateur de compromis suppose toutefois l'indépendance des critères considérés (Berrah *et al.* 2004). La moyenne pondérée peut être utilement étendue à l'Intégrale de Choquet (Grabisch et Labreuche 2004) qui le généralise en intégrant les interactions entre les performances élémentaires (Berrah *et al.* 2007) (Clivillé *et al.* 2007). En général, les interactions d'une importance significative sont les interactions 2 à 2, les interactions au-delà ayant une faible importance.

L'Intégrale de Choquet 2-additive

L'intégrale de Choquet 2-additive prend en compte les interactions 2 à 2 et peut s'écrire sous la forme suivante :

$$C_\mu(p_1, \dots, p_2, \dots, p_n) = \sum_{i=1}^n p_i v_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n |p_i - p_j|$$

avec $\left(v_i \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n |p_i - p_j|\right) \geq 0$ et v_i l'indice de Shapley donnant l'importance du critère i par rapport aux autres critères $\left(\sum_{i=1}^n v_i = 1\right)$. Les I_{ij} représentent les interactions entre les paires de critères (i,j) , qui prennent une valeur dans l'intervalle $[-1, +1]$. Si I_{ij} est positif (respectivement négatif), l'écart $|p_i - p_j|$ diminuera la performance globale (respectivement l'augmentera).

Exemple : Considérons à nouveau l'axe *Clients* du TBP MOBIL. Supposons que les paramètres de l'intégrale de Choquet prennent les valeurs suivantes :

$v_1 = 0,2$	$v_2 = 0,4$	$v_3 = 0,3$	$v_4 = 0,1$
$I_{12} = 0,2$	$I_{23} = 0,5$	$I_{13} = I_{14} = I_{24} = I_{34} = 0$	

Tableau 2: Les paramètres de l'intégrale de Choquet

Pour un vecteur de performances élémentaires : $(p_{c1} = 0,8, p_{c2} = 0,4, p_{c3} = 0,5, p_{c4} = 0,6)$, on obtient :

¹ Dans un souci de concision, nous ne détaillons pas ici l'illustration de ces fonctions. Le lecteur pourra toutefois se référer à (Clivillé *et al.* 2004 2007).

$$p_{Ag} = 0,8 \times 0,2 + 0,4 \times 0,4 + 0,3 \times 0,5 + 0,1 \times 0,6 - 0,5 \times [0,2 \times (0,8 - 0,4) + 0,5 \times (0,6 - 0,5)] = 0,53 - 0,065 = 0,465$$

Par comparaison, un calcul avec la moyenne pondérée aurait donné :

$$p_{Ag} = 0,8 \times 0,2 + 0,4 \times 0,4 + 0,3 \times 0,5 + 0,1 \times 0,6 = 0,53$$

3.3. Mise en œuvre : la méthodologie MACBETH

3.3.1. Généralités

MACBETH est une méthodologie proposée en 1994 par Bana e Costa et Vansnick pour l'aide à la décision en univers multicritère. MACBETH permet un recueil d'expertise fondée sur la notion d'intensité de préférence Conformément à la théorie du mesurage (Kranz *et al.* 1971), cette méthodologie propose une procédure qui permet d'élaborer des expressions de performance cohérentes.

- Les expressions sont commensurables (deux performances identiques suivant des critères différents doivent avoir le même sens pour les décideurs).
- Les opérations d'addition et de soustraction ont un sens pour ces expressions, on parle de signifiante de l'opérateur d'agrégation..

MACBETH propose d'exprimer les performances sur des échelles d'intervalle définies sur [0,1]. La procédure utilisée repose sur l'interrogation des décideurs disposant d'une expertise de façon interactive. Ainsi, le décideur peut connaître immédiatement les expressions déduites de ses jugements et corriger ces derniers si besoin. MACBETH est structurée en 4 étapes principales (Clivillé *et al.* 2007) :

- l'identification des critères de performance,
- la définition des expressions élémentaires,
- la détermination des paramètres de l'opérateur d'agrégation,
- le calcul des expressions agrégées.

L'étape 1 est analogue à la décomposition des objectifs. Détaillons maintenant les étapes de 2 et 3 de cette procédure, l'étape 4 étant immédiate.

3.3.2. L'expression de la performance élémentaire

Pour élaborer les performances élémentaires, les décideurs expriment des jugements sur des mesures relatives à un même critère (notation m_i^j , i.e. j^{ième} mesure selon le critère i) : $m_1^1 = 3 \text{ jours}$ est préféré à $m_1^1 = 5 \text{ jours}$.

Les décideurs précisent progressivement leurs jugements sous forme d'intensités de préférence, définies sur 7 niveaux ordonnés (nulle, très faible, faible, modérée, forte, très forte, extrême). Ces jugements sont ensuite traduits en équations et inéquations. Un logiciel, M-MACBETH, traite le système obtenu et permet aux décideurs de se concentrer sur l'expression de l'expertise. La quantifica-

tion résultant de leurs jugements est renvoyée aux décideurs pour validation.

Exemple :

Reprenons l'axe *Clients* et les 4 objectifs considérés précédemment. Il s'agit alors de définir les applications P qui permettent d'associer à tout couple (o, m) une expression p respectant les propriétés de commensurabilité et de signifiante. Prenons la note du « client mystère ».

Une interrogation suivant la procédure MACBETH permet de définir cette application donnée sous forme graphique (figure 2). Les jugements (préférences ou intensités de préférence) exprimés par les décideurs sous forme linguistique (tableau 2) sont ensuite quantifiés.

	9.5	8.5	7	5	3
9.5		nulle	forte	positive	positive
8.5			nulle	tr. forte	positive
7				nulle	forte
5					nulle
3					

Tableau 3: Les jugements du décideur

La résolution du système correspondant permet d'associer à chaque mesure une expression de performance selon une échelle d'intervalle.

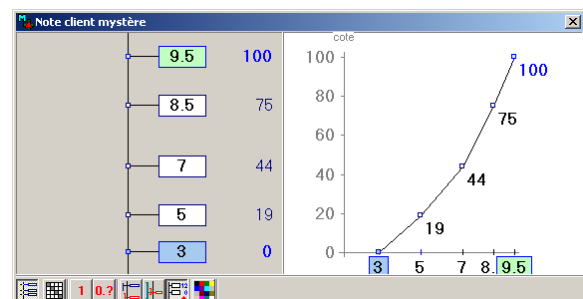


Figure 2. Performance pour le « client mystère »

3.3.3. La détermination des paramètres de l'opérateur d'agrégation

Les décideurs sont questionnés sur l'importance des poids et coefficients d'interaction de l'intégrale de Choquet afin de les déterminer. La méthodologie MACBETH est initialement adaptée à la moyenne pondérée. Nous en avons proposé précédemment une extension à l'intégrale de Choquet (Clivillé 2004). L'idée est de déterminer les coefficients de Shapley et les interactions en comparant entre elles certaines « situations ».

Une situation représente un état du système et peut être décrite, par un vecteur d'expressions de performance élémentaires $(p_1, \dots, p_2, \dots, p_n)$ ou par la performance

agrégée associée notée P_{Ag} . Il s'agira de retenir des situations pour lesquelles les décideurs disposent d'une bonne expertise. Par exemple, les décideurs savent que les conséquences d'une situation de crise sur les délais d'approvisionnement sont graves quand une augmentation du prix des matières premières ne dégrade que légèrement la performance globale.

Plus précisément, MACBETH prévoit 3 étapes :

- les expressions de performance agrégées associées à chaque situation sont calculées,
- les décideurs donnent leurs préférences pour ces expressions,
- les données sont mises en équations puis résolues.

Exemple :

Le décideur dispose d'une expertise pour les 2 situations décrites respectivement par les vecteurs (0,0,1) et (0,1,0). Il exprime les performances agrégées correspondantes :

$$P_{Ag}^{(0,0,1)} = v_3 - \frac{1}{2}(I_{13} + I_{12}) \quad P_{Ag}^{(0,1,0)} = v_2 - \frac{1}{2}(I_{23} + I_{12})$$

Il donne sa préférence² entre ces 2 expressions :

$$P_{Ag}^{(0,0,1)} > P_{Ag}^{(0,1,0)}$$

S'il dispose de suffisamment de relations de préférences,

$$v_3 - \frac{1}{2}(I_{13} + I_{12}) > v_2 - \frac{1}{2}(I_{23} + I_{12}),$$

le logiciel MACBETH peut alors résoudre le système et identifier tous les paramètres.

4. PRESENTATION DU CAS INDUSTRIEL

4.1. Généralités

Nous considérons pour illustrer nos propos le cas d'un industriel textile. L'entreprise C³ a pour objectif global d'augmenter son chiffre d'affaires et s'est insérée dans une chaîne logistique. Cette chaîne va des fournisseurs de vêtements installés en Asie aux distributeurs que sont les magasins de détails, les grandes surfaces et la vente par correspondance, en passant par les sites d'entreposage et de préparation de commandes.

L'entreprise rencontre un problème de management de ses stocks de produits invendus, croissants avec la complexification de sa chaîne logistique. Dans ce sens, nous avons choisi avec l'entreprise de mettre en place un TBP pour manager la réduction et la valorisation de invendus pour atteindre son objectif global.

4.2. Le TBP de l'entreprise C.

Nous choisissons de présenter le TBP de l'entreprise C. au travers des trois étapes :

- la décomposition des objectifs,
- l'expression des performances associées,
- l'identification des liens entre ces expressions.

4.2.1. La décomposition des objectifs

La décomposition des objectifs s'effectue en 3 temps :

- la sélection des 4 axes du TBP (*Processus internes, Apprentissage organisationnel, Clients, Financier*),
- l'identification des FCS (objectifs stratégiques),
- l'identification et quantification des objectifs élémentaires.

L'arbre de décomposition se présente sous la forme d'un tableau sur 3 niveaux (Axe, FCS, Objectifs). Seuls les objectifs de niveau le plus bas sont quantifiés. Nous parlerons dans un souci de clarté, d'objectifs d'axe, d'objectifs FCS et d'objectifs élémentaires (tableau 4).

Axe	FCS	Objectif élémentaire		
Client	Satisfaire le client	Nombre de retours clients	5/mois	
		Taux de retour qualité	2%	
		Nombre de retard livraison	7/mois	
	Diversifier la clientèle	Rentabilité des produits		80%
		Classement ABC des pdts/marge		
	Maîtriser les risques	Répartition des écoulements		
Fiabiliser les prév.		Ventes réelles/prévisions	3%	
Processus	Optimiser les stocks	Taux de rotation	35%	
		Taux d'invendus	20%	
		Taux de rupture	5%	
	Optimiser les appros	Consommation des appros	5	
		Seuil d'approvisionnement	6	
	Optimiser la production	Taux de rebut interne	1%	
		Possib. prod/mat. Premières	8500 pdts	
	Optimiser l'assort	Proport. CA/Sect. d'activ.	5	
	Lancer nvx pdts.	Durée de vie	6 mois	
		Nombre de nvx pdts	20	

Tableau 4: La décomposition des objectifs de l'entreprise C (Grangerat et Pavlic 2007).

4.2.2. L'expression de la performance

L'échelle utilisée pour exprimer la performance associée aux objectifs élémentaires se définit par 3 pictogrammes (tableau 5). L'expression de performance associée à chaque FCS est exprimée directement par expertise. Elle

² Ce jugement peut être ensuite précisé sous forme d'une intensité de préférence.

³ L'entreprise textile concernée souhaite garder l'anonymat dans un souci de confidentialité.

synthétise les expressions élémentaires sur la même échelle de pictogrammes.

FCS/ Perf.	Objectif	Mes.	Perf.
Satisfaire le client	Nombre de retours clients	5	10
	Taux de retour qualité	2%	1%
	Nombre de retard livraison	7	12

Tableau 5: Expression des performances dans l'entreprise C.

4.2.3. La prise en compte des interactions

LE TBP formalise les interactions dans un graphe appelé « Carte Stratégique », inspiré du diagramme cause-effets. Les interactions les plus significatives sont au niveau des axes et donc des FCS associés. La figure 3 résume l'ensemble des interactions autour de la stratégie de management des stocks d'inventus.

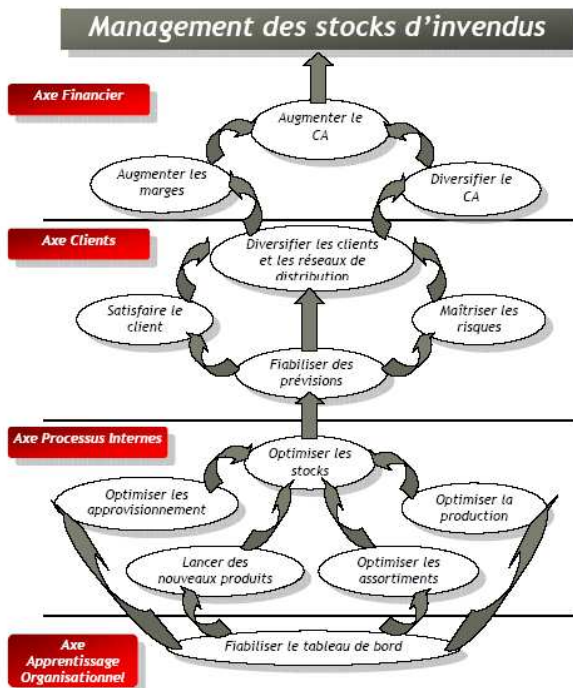


Figure 3. Les interactions dans le management des stocks d'inventus de l'entreprise C.

Dans l'esprit des auteurs, l'essentiel des interactions peut se traduire sous la forme d'une relation de contribution. Ainsi l'amélioration de la performance suivant l'axe *Apprentissage organisationnel* entraîne l'amélioration la performance suivant l'axe *Processus internes* qui entraîne ensuite l'amélioration de la performance suivant l'axe *Clients*. Pour finir cette dernière amélioration entraîne à son tour celle de l'axe *Financier*.

4.3. Bilan

La mise en place du TBP a permis à l'entreprise C. de :

- formaliser sa stratégie,
- d'analyser l'existant,
- d'identifier les causes du stock d'inventus.

Nous proposons de compléter ce constat par la quantification des impacts des différentes sources de non performance sur l'objectif global d'augmentation du CA.

5. VERS UNE QUANTIFICATION POUR LE TBP

Il s'agit maintenant d'introduire la quantification dans les 3 étapes mises en avant précédemment.

5.1. La décomposition des objectifs

Dans un souci de modélisation, nous distinguons l'axe *Financier* des 3 autres axes. En effet, nous pouvons dire que l'axe *Financier* (au sens actionnaires et autres parties prenantes) relève de la performance externe de l'entreprise quand les axes *Clients*, *Processus internes* et *Apprentissage organisationnel* relèvent de la performance interne. En tenant compte de cette hiérarchie, la figure 4 reprend les données du tableau 4 et de la figure 3 précédents et les structure en fonction des contributions des différents objectifs.

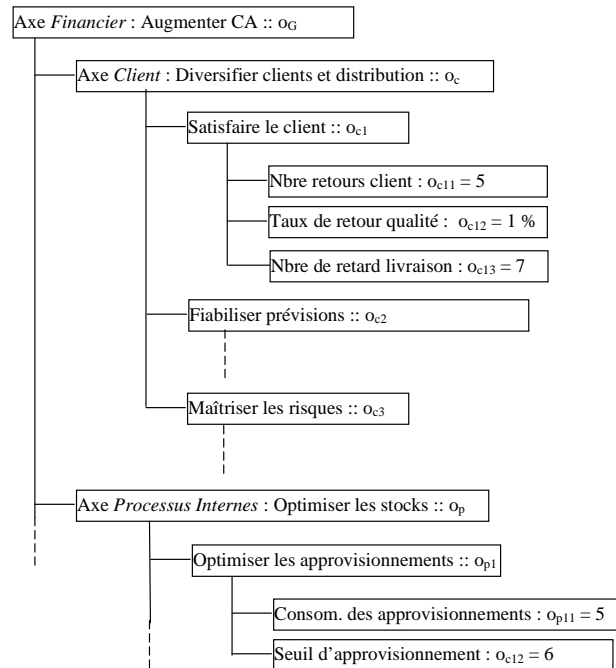


Figure 4. La décomposition des objectifs

Notons qu'à ce stade, seuls les objectifs élémentaires sont quantifiés. Les objectifs FCS sont vus comme un ensemble d'objectifs élémentaires. Par exemple, l'objectif « Satisfaire le client :: o_{c1} » est vu comme l'ensemble des objectifs élémentaires suivants : {Nbre de retours client : $o_{c11} = 5$; Taux de retour qualité : $o_{c12} = 1\%$; Retard livraison : $o_{c13} = 7$ }.

5.2. L'expression des performances élémentaires

La procédure MACBETH permet d'interroger les décideurs pour définir chaque expression élémentaire selon une échelle d'intervalle (§ 3.3.2). Nous donnons de façon indicative l'exemple du Retard livraisons.

Exemple : soit l'objectif o_{c13} :: *Retard livraisons* :: 7/mois. Les mesures m_{c13}^j choisies pour définir l'échelle sont : $m_{c13}^4=20$, $m_{c13}^3=15$, $m_{c13}^2=10$, $m_{c13}^1=7$. Les décideurs sont consultés pour comparer les performances p_{c13}^j associées à ces mesures. Le classement est immédiat : p_{c13}^1 est préférée à p_{c13}^2 , elle-même préférée à p_{c13}^3 . Dans un second temps, l'intensité de préférence entre 2 expressions p_{c13}^j est quantifiée, comme le montre la figure 5.

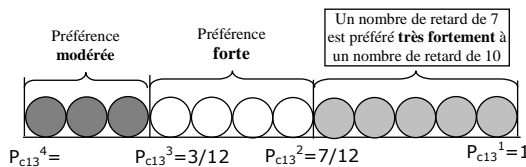


Figure 5. Expression d'une performance élémentaire

Un travail identique est mené pour toutes les autres expressions élémentaires. Au final le TBP fournit un vecteur de n expressions élémentaires qui peut être décomposé en 3 vecteurs, un pour chaque axe.

5.3. L'agrégation des performances élémentaires

La carte stratégique (cf. figure 3) reflète une certaine complexité des relations entre les expressions de performance. Afin de retrouver cette complexité dans leur modélisation, nous proposons de retenir - lorsque c'est nécessaire - l'intégrale de Choquet qui, rappelons-le, modélise plus finement ces interactions que la moyenne pondérée.

Pour rester fidèle à l'esprit du TBP défini sur plusieurs niveaux d'indicateurs, nous proposons de définir trois niveaux d'agrégation :

- Niveau 1 : $Ag(p_{elém.}) = p_{Ag_FCS}$
- Niveau 2 : $Ag(p_{Ag_FCS}) = p_{Ag_Axe}$
- Niveau 3 : $Ag(p_{Ag_Axe}) = p_{Globale}$

Au niveau le plus bas, les performances élémentaires étant indépendantes, la moyenne pondérée est adaptée. En revanche, au niveau intermédiaire, les interactions retenues sont celles précisées sur la carte stratégique. Au niveau le plus haut, les interactions seront conformes à la figure 1.

5.3.1 La performance FCS

Considérons par exemple le FCS :: Satisfaction client.

$$p_{c1} = Ag(p_{c11}, p_{c12}, p_{c13}) = w_1 p_{c11} + w_2 p_{c12} + w_3 p_{c13}$$

La détermination des poids est réalisée grâce au logiciel M-MACBETH en fonction de l'expertise des décideurs (tableau 6).

	[NRL]	[NRC]	[PPC]	[toutes inf]	Echelle courante
[NRL]	nulle	tr. faible	positive	positive	40
[NRC]		nulle	faible	positive	35
[PPC]			nulle	extrême	25
[toutes inf]				nulle	0

Tableau 6: Les poids de « la Satisfaction client »

Il est alors possible de calculer la performance agrégée associée à chaque FCS

5.3.2 La performance d'axe

Considérons par exemple l'axe *Clients*. Rappelons que les interactions identifiées dans la carte stratégique au regard de cet axe (figure 3) sont les suivantes :

- I_{c12} entre les FCS « Satisfaire le client » et « Fiabiliser les prévisions »,
- I_{c23} entre les FCS « Fiabiliser les prévisions » et « Maîtriser les risques ».

En utilisant l'intégrale de Choquet, nous obtenons :

$$p_c = Ag(p_{c1}, p_{c2}, p_{c3}) = v_{c1} p_{c1} + v_{c2} p_{c2} + v_{c3} p_{c3} - \frac{1}{2} [I_{c12} |p_{c1} - p_{c2}| + I_{c23} |p_{c2} - p_{c3}|]$$

Il faut donc déterminer 5 paramètres. Cette détermination fait l'objet d'une nouvelle procédure conformément à la méthode MACBETH (tableau 7).

$v_{c1} = 0,15$	$v_{c2} = 0,5$	$v_{c3} = 0,35$	$I_{c12} = 0,2$	$I_{c23} = 0,4$
-----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Tableau 7: Les paramètres de l'intégrale de Choquet pour l'axe *Client*

Le même raisonnement est mené pour les 3 axes et permet donc de formaliser le traitement réalisé jusqu'ici de façon non formelle (§ 3.2.2).

5.3.3 La performance globale

Les interactions identifiées dans la carte stratégique au regard de l'axe *Financier* (figure 3) sont les suivantes :

- I_{12} entre l'axe *Clients* et l'axe *Processus internes*,
- I_{23} entre les FCS *Processus internes* et *Apprentissage organisationnel*.

En utilisant l'intégrale de Choquet, nous obtenons :

$$p_f = Ag(p_c, p_{pi}, p_{ao}) = v_1 p_c + v_2 p_{pi} + v_3 p_{ao} - \frac{1}{2} [I_{12} |p_c - p_{pi}| + I_{23} |p_{pi} - p_{ao}|]$$

Il faut donc déterminer 5 paramètres. Cette détermination fait l'objet d'une nouvelle procédure MACBETH (tableau 8).

$v_1=0,15$	$v_2=0,5$	$v_3=0,35$	$I_{12}=0,2$	$I_{23}=0,4$
------------	-----------	------------	--------------	--------------

Tableau 8: Les paramètres de l'intégrale de Choquet pour la performance globale.

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Au terme de cet article, rappelons les principaux résultats obtenus grâce à la quantification du TBP. Les expressions de performance quantifiées sont associées aux objectifs à tous les niveaux du TBP et plus précisément :

- 1 expression de la performance globale (axe *Financier*) obtenue par agrégation $P_f = Ag(P_c, P_{pi}, P_{ao})$,
- 3 expressions de performance suivant les axes (*Clients, Apprentissage organisationnel, Processus internes*) obtenues par agrégation $P_c = Ag(P_{c1}, P_{c2}, P_{c3})$,
 $P_{pi} = Ag(P_{pi1}, P_{pi2}, P_{pi3}, P_{i4})$, $P_{ao} = Ag(P_{ao1})$
- 8 expressions de la performance obtenues par agrégation, $P_{c1} = Ag(P_{c11}, P_{c12}, P_{c13})$, etc.
- 19 expressions élémentaires obtenues par comparaison des mesures aux objectifs, $P_{c11} = P(o_{c11}, m_{c11})$, etc.

La trentaine d'indicateurs constituent un tableau de bord raisonnable qui est de plus en plus détaillé vers les niveaux opérationnels. La quantification réalisée permet aux différents pilotes de disposer d'un outil reliant les expressions de tous les niveaux, à la performance globale, soit financière, de l'entreprise. Ainsi conformément à l'esprit du TBP, mais désormais de façon quantifiable, chaque décideur pourra envisager la contribution des actions qu'il mène localement sur la performance globale de l'entreprise.

Une des perspectives à ce travail est la poursuite de la collaboration avec les entreprises du secteur textile qui ont fourni le support de cet article. Pour autant, la proposition peut s'adresser à toute entreprise ayant mis en place le TBP, et souhaitant compléter son apport au déploiement de la stratégie par une aide au pilotage plus opérationnel.

Enfin d'un point de vue plus théorique, des travaux sont en cours, en collaboration entre le LISTIC et le LGI2P⁴ pour valider l'application du modèle en entreprise. Ils ont pour objet de dégager le décideur des aspects procéduraux et calculatoires lors de la mise en place du modèle. Celui peut alors se concentrer sur :

- l'expression de ses connaissances plus que sur les traitements mathématiques qui leur sont appliquées dans la phase de mise en place du modèle,
- l'interprétation des résultats et la simulation de scénarios dans la phase d'exploitation du TBP quantifié.

⁴ Laboratoire de Génie Informatique et d'Ingénierie de Production, Ecole des Mines d'Alès.

REFERENCES

- Bana e Costa C.A. and J.C. Vansnick, 1997, Applications of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* Vol. 6 (2), p. 107-114.
- Bana e Costa C.A. et al., 2004, On the mathematical foundations of Macbeth. Dans *MCDA. Multiple Criteria Decision Analysis*. Figueira J., Greco S., Ehrgott M.(eds). Kluwer Academic Publishers, p. 409-442.
- Berrah L. et al., 2001, A cyclic enterprise reengineering method, *International Conference On Engineering Design and Automation (EDA'01)*, Las Vegas, NV, USA, 6 pages, actes sur CD-ROM.
- Berrah L. et al., 2004, Information aggregation in industrial performance measurement: rationales, issues and definitions, *International Journal of Production Research*; Vol. 42 (20) p. 4271-4293.
- Berrah, L. Mauris, G. Montmain, J. 2007 Monitoring the improvement of an overall industrial performance based on a Choquet integral aggregation, *Omega*, disponible en ligne 16 novembre 2006.
- Brimson, J.A. 1991, *Activity Accounting*, Editions Wiley and Sons, N.Y. 376 p.
- Clivillé, V. 2004, *Approche systémique et méthode multicritère pour la définition d'un système d'indicateurs de performance*. Thèse de doctorat en Génie Industriel, Université de Savoie, France.
- Clivillé, V. Berrah, L. Mauris, G. 2007, Quantitative expression and aggregation of performance measurements based on the MACBETH multi-criteria method, *International Journal of Production Economics*, Vol. 105 (1), p. 171-189.
- Deming, E.W. 1982, *Quality, Productivity and Competitive Position*. The MIT Press.
- Ducq, Y. Vallespir, B. Doumeingts, G., 2001; Coherence analysis methods for production systems by performance aggregation, *International Journal of Production Economics*, Vol. 69 (1), p. 239-252.
- Fortuin, L. 1988 Performance indicators - why, where and how. *European Journal of Operational Research*; Vol 34 p.1-9,.
- Giard, V. 2003, *Gestion de la production et des flux*. Economica Gestion, 1128 p.
- Grabisch, M. et al. 2003 On the extension of Pseudo-Boolean Functions of Interacting Bipolar Criteria, *European Journal of Operational Research*, Vol. 148, p. 28-47.
- Grabisch M. et C. Labreuche, 2004, Fuzzy measures and integrals. Dans *MCDA. Multiple Criteria Decision Analysis*. Figueira J., Greco S. Ehrgott M. (eds). Kluwer Academic Publishers, p. 563-608.
- Grangerat N. et Pavlic, C., Mise en place d'un tableau de bord pour la gestion des stocks et le management des invendus pour le domaine des PME textiles. *Mémoire de projet master 2ème année, IMUS TM*, Annecy 67 p.
- Iso 9000, 2001, *Qualité et systèmes de management ISO 9000*, éditions AFNOR, 581 p.
- Kaplan, R.S. Norton, D.P. 1992, The Balanced Scorecard: Measures that drives performance, *Harvard Business Review*, January-February.
- Kaplan, R.S. Norton, D.P. 1998, *Le tableau de bord prospectif. Pilotage stratégique : les 4 axes du succès*, Editions d'Organisation, 311 p.
- Kaplan, R.S. Norton, D.P. 2001, *Comment utiliser le tableau de bord prospectif*, Editions d'Organisation, 440 p.
- Kranz, D.H. et al., 1971, Foundations of measurement, Vol. 1 : Additive and Polynomial Representations, *Academic Press*, cité dans Grabisch et al. 2004.
- Neely, A. Gregory, M. Platts, K. 1995, Performance measurement system design A literature review and research agenda, *International Journal of Production Economics*, Vol. 48, p. 23-37.
- Suwignjo, P. Bititci, U. S., Carrie A.S., 2000 Quantitative models for performance measurement system. *International Journal of Production Economics*, Vol. 64 (1-3), p. 231-241.