HAL
open science

La quantification de la performance dans les entreprises manufacturières : de la déclaration des objectifs à la définition des systèmes d'indicateurs

Lamia Berrah

To cite this version:

Lamia Berrah. La quantification de la performance dans les entreprises manufacturières : de la déclaration des objectifs à la définition des systèmes d'indicateurs. Informatique [cs]. Université de Savoie, 2013. tel-01154349

HAL Id: tel-01154349

https://hal.science/tel-01154349

Submitted on 21 May 2015

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.

HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

Spécialité : Sciences et technologie de l'information et de la communication

---

La quantification de la performance dans les entreprises manufacturières :

de la déclaration des objectifs à la définition des systèmes d'indicateurs

---

Lamia BERRAH

Travaux présentés le 3 juin 2013 devant la Commission d'Examen :

Alexandre Dolgui	Professeur, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne
Didier Dubois	Directeur de Recherche CNRS, Université Paul Sabatier
Laurent Foulloy	Professeur, Université de Savoie
Bernard Grabot	Professeur, Institut National Polytechnique de Toulouse
Damien Trentesaux	Professeur, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis
François B. Vernadat	HDR, Cour des Comptes européenne

LISTIC

Laboratoire d'Informatique, Systèmes, Traitement de l'Information et de la Connaissance

Que tous ceux qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail trouvent ici l'expression de mes chaleureux remerciements.

Table des matières

Table des matières **5**

Partie I - Synthèse **9**

Notice individuelle **11**

1. Curriculum Vitae 11
   - 1.1. Diplômes 11
   - 1.2. Emplois occupés 11
   - 1.3. Responsabilités 11
   - 1.4. Divers 12
2. Activités pédagogiques 12
   - 2.1. Déroulement de l'enseignement 13
   - 2.2. Responsabilités pédagogiques 14
3. Activités de recherche 14
   - 3.1. L'expression élémentaire de la performance 15
   - 3.2. L'expression agrégée de la performance 16
   - 3.3. Application à l'optimisation et au diagnostic 17
   - 3.4. Conclusion 18
4. Activités d'encadrement 19
   - 4.1. Encadrement doctoral 19
   - 4.2. Encadrement de DEA / masters 20
5. Activités d'intérêt collectif 21
   - 5.1. Relecture d'articles de revues et de conférences 21
   - 5.2. Participation à des jurys de thèse 21
   - 5.3. Animation de groupes de travail 21
   - 5.4. Organisation de conférences et de sessions spéciales 22
   - 5.5. Evaluation de projets et co-édition d'ouvrages 22
   - 5.6. Participation à projets 22
   - 5.7. Collaboration avec le secteur socio-économique 23
   - 5.8. Participation à des conseils 24

6. Liste des publications 24
6.1. Revues d'audience internationale 24
6.2. Revues d'audience nationale ou francophone 25
6.3. Thèse 25
6.4. Ouvrages 26
6.5. Contributions à ouvrages 26
6.6. Edition d'ouvrages ou revues 26
6.7. Congrès internationaux avec comité de lecture et actes 26
6.8. Congrès nationaux avec comité de lecture et actes 29
6.9. Autres publications 31
7. Synthèse 32

Partie II – Travaux de recherche 35

Introduction générale 37

De la nécessité de la déclaration des objectifs pour l'expression de la performance 41
1. Introduction 41
2. L'expression de la performance 43
2.1. Caractéristiques 43
2.2. Performance, plans d'action et objectifs 44
3. La notion d'objectif 46
3.1. Généralités 46
3.2. La déclaration des objectifs 49
3.3. Problématique de la décomposition des objectifs 50
4. Notre formalisation de la pratique industrielle dans la déclaration des objectifs 51
4.1. Contexte 51
4.2. La décomposition des objectifs 52
4.3. Décomposition temporelle 53
4.4. Décomposition structurelle 55
4.5. Discussion 57
5. Notre formalisation de la déclaration des objectifs 58
5.1. Définitions préliminaires 58
5.2. Aspects méthodologiques liés à la décomposition structurelle 59

5.3. Aspects méthodologiques liés à la décomposition temporelle 60
5.4. Vers une démarche de décomposition des objectifs 61
6. Conclusion 66

Indicateurs et systèmes d'indicateurs pour l'expression de la performance . 69
1. Introduction 69
2. L'indicateur de performance 70
2.1. L'émergence de l'indicateur « technique » 70
2.2. Définitions 71
2.3. Fonctionnalité de l'indicateur 73
2.4. Notre modèle d'indicateur de performance 75
2.5. Typologies des indicateurs de performance 77
2.6. Synthèse 80
2.7. Les évolutions de l'indicateur de performance 81
3. Les systèmes d'indicateurs de performance 83
3.1. L'émergence de la notion de PMS 84
3.2. Les grands PMS 88
4. Notre synthèse sur les PMS et l'expression de la performance 94
4.1. Les problématiques modernes d'expression de la performance 95
4.2. Un cadre systémique pour l'expression de la performance 96
4.3. Globalité, interaction et dynamique dans les PMS 97
5. Conclusion 98

Méthodes de quantification pour l'expression de la performance industrielle - élémentaire et agrégée 103
1. Introduction 103
2. L'expression élémentaire de la performance 104
2.1. La nature de o et de m, la sémantique de p 105
2.2. Les spécificités de l'expression élémentaire de la performance 107
2.3. Exemples de calcul 109
3. L'expression agrégée de la performance 112
3.1. De la moyenne pondérée à l'intégrale de Choquet 115
3.2. Utilisation d'une méthodologie d'analyse multicritère 119
3.3. Le choix de la méthodologie MACBETH 121
3.4. Exemple d'application 123

4. Application : Aide au diagnostic et à l'amélioration 125
4.1. Le diagnostic 128
4.2. Le choix de l'opportunité 129
5. Conclusion 131

Conclusion et perspectives 133
1. Conclusion 133
2. Perspectives 135

Références 139

Partie I - Synthèse

Notice individuelle

1. Curriculum Vitae

Nom : BERRAH

Prénom(s) : Lamia Amal

Date de naissance : 05/05/1970

Adresse : 44bis, Avenue des Barattes, 74000 Annecy

Fonction : Maître de conférences - classe normale

Date d'installation : 1/10/98

Laboratoire : LISTIC - Laboratoire d'Informatique, Systèmes, Traitement de l'Information et de la Connaissance - Polytech Annecy-Chambéry

BP 80439, 74944 Annecy-Le-Vieux Cedex

Etablissement : IAE Savoie Mont-Blanc - Université de Savoie

1.1. Diplômes

- 1991 ***Ingénieur d'Etat en Génie Industriel*** de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger.
- 1992 ***DEA en Recherche Opérationnelle*** de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, sous la direction de G. Finke.
- 1997 ***Doctorat en Génie Industriel*** de l'Institut National Polytechnique de Grenoble, sous la direction de A. Haurat.

1.2. Emplois occupés

- 1996-1998 : ***½ ATER en Licence Technologie Mécanique,*** Université de Savoie, Annecy.
- Depuis 1998 : **Maître de Conférences** stagiaire puis titulaire **61ème section** à l'IUP/GSI - Génie des Systèmes Industriels - d'Annecy, devenu **département - Technologie et Management** de l'**IAE** - Institut d'Administration des Entreprises - **Savoie Mont-Blanc.** Thème : **Performance industrielle**

1.3. Responsabilités

- 1998-2001 : Directrice des études à l'IUP/GSI
- 2001-2005 : Responsable du parcours « Management Industriel » à l'IUP/GSI

- depuis 2008 : Responsable du Master « Management et Développement Industriel » au département TM de l'IAE Savoie Mont-Blanc
- 2003-2009 : Co-animatrice du GT « AMOEP » du GDR MACS
- 2003-2006 : Membre du CA de l'ESIA - Ecole Supérieure d'Ingénieurs d'Annecy
- depuis 2010 : Membre du Conseil du laboratoire LISTIC
- depuis 2012 : Membre du CS de l'Université de Savoie

1.4. Divers

Titulaire d'une Prime d'Encadrement Doctoral et de Recherche - PEDR - de novembre 2000 à novembre 2012.

2. Activités pédagogiques

Mon activité pédagogique a débuté par deux années d'ATER à mi-temps. L'enseignement était dispensé à des étudiants inscrits en Licence de Mécanique de l'Ecole Supérieure d'Ingénieurs d'Annecy et s'attachait classiquement aux bases d'analyse mathématique et d'algorithmique. A ces deux années a succédé mon intégration au sein de l'IUP/GSI - Gestion des Systèmes Industriels. A l'issue de restructurations diverses, l'IUP/GSI est aujourd'hui le département TM - Technologie et Management - de l'IAE Savoie Mont-Blanc. L'équipe pédagogique y est constituée de sept permanents (1 maître de conférences HDR, cinq maîtres de conférences ainsi qu'un PAST), confortée par les interventions de partenaires industriels dans les matières à caractère professionnalisant. Les spécialités couvertes dans le département sont respectivement le management, les technologies de l'information et le génie industriel. Le département accueille des étudiants en licence, 3ème année, ainsi qu'en master 1 et 2.

La philosophie de mon enseignement s'est construite autour de ce que je considère comme étant des piliers fondamentaux pour le cadre (Bac +5) en « génie industriel » : la *gestion industrielle*, les *indicateurs de performance* et les *démarches d'amélioration de la performance*. Le choix de ces trois piliers s'explique par le fait que cet enseignement vise à contribuer à la formation de gestionnaires industriels et de preneurs de décision autour de l'activité de production d'une entreprise. Dans gestion industrielle est regroupé l'ensemble des outils et méthodes nécessaires à la conduite d'une production. Cette production concerne, généralement, la transformation d'une matière première en un bien, et utilise pour ce faire des postes de charge. C'est donc là le pilier historique du métier d'ingénieur en génie industriel. Les évolutions du contexte industriel - se caractérisant par une diversité et une interaction des objectifs ainsi que des actions, une multiplicité des sites de production et une accélération des prises de décision - ont fait évoluer le métier, nécessitant, au-delà des techniques opérationnelles, la maîtrise d'outils méthodologiques pour mener à bien la conduite de la production. Les deux autres piliers de ma construction pédagogique ont ainsi fait écho aux philosophies de qualité totale, de juste-à-temps et aujourd'hui de lean manufacturing. De ce fait, ont été retenus, d'une part, les démarches d'amélioration pour formaliser le processus de décision et, d'autre part, les indicateurs de performance pour la prise en compte de la diversité des objectifs, leur dimension multicritère et l'évaluation de leur atteinte.

Plus précisément, on trouve dans la « gestion industrielle » les enseignements inhérents aux étapes historiques de gestion des stocks, de planification des besoins en composants, d'ordonnancement d'atelier, de lancement/supervision et d'une façon générale tout ce qui traite de la gestion des flux de produits. Dans les enseignements sur les « démarches d'amélioration » sont définies les notions d'amélioration et de démarche, la roue de Deming y est approfondie, les principales démarches existantes aujourd'hui sont étudiées. Enfin, la

partie « indicateurs de performance » traite de la notion de performance et de son évolution, du concept d'indicateur de performance et de ses paramètres, pour arriver à la notion de système d'indicateurs et aux méthodes d'expression de la performance et de leur caractère indissociable des démarches d'amélioration.

Nécessaires mais non suffisants à former des cadres en génie industriel, ces enseignements ont été complétés, au sein de notre structure, par des matières autour de la modélisation d'entreprise, de la gestion de projets et des nouvelles technologies de l'information. Ces réflexions ont initialement abouti à la création d'un parcours autour de l'amélioration de la performance, intitulé « Management Industriel ». Régulièrement revu et actualisé, ce parcours se déploie aujourd'hui en une spécialité de master (M1 et M2), la spécialité « MDI - Management et Développement Industriel ».

2.1. Déroulement de l'enseignement

L'enseignement dispensé se décline en cours, en travaux dirigés (TD) ainsi qu'en travaux pratiques ou de mise en situation (TP). Il concerne les étudiants du département TM, inscrits en 3ème année de Licence de Système d'Information ou en première ou seconde années de Master (MDI). J'effectue également quelques vacations à Polytech Annecy-Chambéry, en 2ème et 3ème années, dans la filière Mécanique et Mécatronique (MM).

Durant les premières années, j'ai assuré la responsabilité et/ou l'enseignement de matières telles que les mathématiques (analyse, algèbre), la conduite de projets, la systémique et les systèmes d'information ainsi que quelques heures au DEA de Génie industriel de l'ENSGI de Grenoble, sur les indicateurs de performance. Actuellement, outre un enseignement fondamental de mathématiques (sur la théorie des ensembles et les systèmes formels), mon activité pédagogique se décline principalement en des enseignements en génie industriel. V. Clivillé ayant pris la responsabilité des matières relatives à la gestion de production, j'ai pris pour ma part celle des matières suivantes.

- Ordonnancement.
- Performance industrielle, Indicateurs et Systèmes d'indicateurs de performance.
- Démarches d'amélioration industrielle.
- Optimisation des systèmes industriels.
- Management de la chaîne logistique.
- Diagnostic des systèmes industriels.

Concernant l'organisation de l'enseignement au sein d'une matière, un de nos principes consiste à impliquer au moins deux intervenants, enseignants et partenaires industriels, afin d'arriver à illustrer les aspects fondamentaux par la pratique industrielle. Nos principaux partenaires industriels dans ce sens sont Adixen, Bosch Rexroth, EDConseil-Formation, Société Fournier, SNR, TEFAL...

Mon enseignement dans sa globalité est complété chaque année par la proposition et le suivi d'un projet en licence 3ème année, ainsi que d'un projet de fin d'études en M2 MDI. La filière étant professionnalisante, le suivi de 5 missions / stages en moyenne est une prérogative de chacun des membres de l'équipe dans le département.

Faisant abstraction des restructurations permanentes des maquettes et des regroupements de certaines matières (pour une homogénéité de calcul des ECTS), le tableau ci-après donne un aperçu quantitatif de mon enseignement sur une année universitaire.

Matière	Cours (h)	TD/TP (h)	Public
Mathématiques	10	12	L3 SI
Ordonnancement	8	8	L3 SI
Performance Industrielle	4	8	L3 SI
Amélioration industrielle	6	12	L3 SI
Performance Industrielle	6	8	M1 MDI
Gestion de Production Approfondie	6	12	M1 MDI
Outils pour l'optimisation des systèmes industriels	5	6	M2 MDI
Management de la chaîne logistique	4	4	M2 MDI
Autres Interventions			
Initiation à la recherche	1,5	1,5	M1 MDI
Diagnostic des systèmes industriels	1	1	M2 MDI
Démarche d'amélioration	2	2	M2 MDI
Gestion de production		3	L3 CV (IAE)
Gestion de production		0/4	MM4 - Polytech
Gestion de Production Approfondie	4,5	4,5/12	IM4 - Polytech
Performance Industrielle	4,5	6	IM5 - Polytech
	93,75 (eq. TD)	*88 TD / 10,67 TP*	

2.2. Responsabilités pédagogiques

- Directrice des Etudes à l'IUP/GSI de 1998 à 2001.
- Responsable du parcours « Management Industriel » à l'IUP/GSI de 2001 à 2005.
- Responsable du Master « MDI - Management et Développement Industriel » au département Technologie et Management de l'IAE Savoie Mont-Blanc depuis 2008.

3. Activités de recherche

Nos travaux ont majoritairement porté sur la définition d'un cadre global pour l'expression de la performance. Conformément aux préceptes de la roue de Deming, nous voyons l'expression de la performance comme une étape dans un processus d'amélioration. En cela, elle renseigne de l'atteinte d'un objectif et s'inscrit comme la conséquence de deux étapes successives, respectivement de déclaration de l'objectif puis de mise en œuvre d'un plan d'action pour atteindre cet objectif.

Trois concepts sont sous-jacents à l'expression de la performance : l'objectif, le plan d'action et l'indicateur de performance. L'élément central dans l'expression de la performance est

l'objectif. Un objectif peut se définir comme une valeur, associée à une variable ou critère, espérée pour une date fixée, à l'issue d'un certain horizon temporel. La définition de cet horizon prend généralement en compte la durée du plan d'action à mettre en œuvre pour atteindre l'objectif, et éventuellement des contraintes externes au système physique considéré. De plus, héritant des caractéristiques de la performance, un objectif peut être global et multicritère et déployé à tous les niveaux décisionnels, faisant écho en cela aux actions mises en œuvre pour l'atteindre. En cohérence avec le plan d'action correspondant, la décomposition d'un objectif peut ainsi être structurée en un déploiement du niveau stratégique au niveau opérationnel. Généralement, des structures hiérarchisées, telles des arbres, sont utilisées pour ce faire. Signalons enfin que l'horizon temporel associé à l'objectif peut, à son tour, être décomposé en un ensemble de jalons, auxquels des objectifs intermédiaires sont associés. Ainsi, à l'objectif est associée également une trajectoire temporelle. Plusieurs représentations de l'objectif deviennent possibles. En effet, un objectif est décrit par sa déclaration, soit une valeur espérée à atteindre à un instant fixé. Il est éventuellement considéré à travers un ensemble d'objectifs qu'il suffit d'atteindre pour qu'il soit atteint. Dans ce cas, l'objectif est caractérisé soit par l'arbre de décomposition, soit par la trajectoire temporelle, qui lui correspondent.

La déclaration des objectifs donne la structure du cadre d'expression de la performance. Lorsque l'objectif est considéré à travers sa seule valeur, il est élémentaire et une expression élémentaire de performance lui est associée. Le mode d'obtention de cette expression est direct, résultant de la comparaison d'une mesure observée avec l'objectif. Quand l'objectif est considéré au travers de sa décomposition structurelle, il devient global, et une manière indirecte d'exprimer la performance globale associée est d'agréger les différentes expressions élémentaires associées aux sous-objectifs de l'arbre. Quand l'objectif est identifié par sa trajectoire temporelle, il est temporel et l'expression de performance devient temporelle et partielle le long de l'horizon correspondant.

Expression élémentaire et expression agrégée sont les deux types d'expression que nous avons choisis de formaliser dans un premier temps, remettant la formalisation de l'expression temporelle à des travaux ultérieurs. D'un point de vue méthodologique, cela nous a menés à considérer, d'une part, l'indicateur de performance comme outil structurant pour l'expression élémentaire et, d'autre part, le système d'indicateurs de performance comme outil structurant pour l'expression agrégée. D'un point de vue formel, notre contribution a porté sur la quantification de ces deux types d'expression de performance, par le biais de méthodes avancées de traitement de l'information (théorie des sous-ensembles flous, intégrale de Choquet, méthode MACBETH).

3.1. L'expression élémentaire de la performance

Dans cette logique, nos premiers travaux ont concerné l'expression élémentaire de la performance et, de ce fait, la définition ainsi que l'utilisation de la notion d'indicateur de performance [OS 1], [OS 5]. Défini par le triplet (objectif, mesure, variable), l'indicateur illustre l'instanciation d'une boucle de rétroaction venant illustrer le concept de contrôlabilité [OS 6]. Dans un indicateur, l'élaboration de l'expression - élémentaire - de performance se fonde sur la comparaison de l'objectif à une mesure observée. En extension aux approches tayloriennes, nous avons choisi d'identifier cette comparaison à un opérateur mathématique, tel le ratio ou la distance. Caractérisant, d'une part, la déclaration des objectifs par de la flexibilité ou de l'imprécision et, d'autre part, la mesure par de l'incertitude et de l'imprécision [ACL 14], nous avons eu recours au formalisme offert par la théorie des sous-ensembles flous pour réaliser cette comparaison. Fonction d'appartenance, fonction de

performance, théorie des possibilités, description linguistique/signification numérique, sont les principales notions utilisées pour ce faire. Donnant à la comparaison une sémantique de correspondance ou d'éloignement, nous avons pu considérer quelques opérateurs de comparaison proposés dans la littérature floue, tels que les opérateurs de similarité, les mesures d'union et d'inclusion, les distances floues [ACL 13], [OS 7].

En outre, une typologie des indicateurs de performance nous a permis de mettre en lumière trois façons d'exprimer la performance. La mesure physique n'est pas à proprement parler une expression de performance mais elle est souvent utilisée dans le cas d'indicateurs locaux et de processus. La mesure de performance est une expression qui renseigne de l'atteinte de l'objectif par une comparaison sur la mesure, sans avoir un format d'expression fixé. La mesure de performance est typique des indicateurs de pilotage, de suivi ou de reporting. Enfin, l'évaluation de la performance est une expression qui résulte également de la comparaison d'une mesure à l'objectif, mais rapportée cette fois à un univers de discours spécifique, généralement l'intervalle $[0,1]$. Ces évaluations sont généralement fournies par les indicateurs stratégiques, globaux ou structurels. A la notion d'évaluation de performance, nous avons associé celle de satisfaction du preneur de décision quant à l'atteinte réalisée pour l'objectif.

Les idées avancées dans cette première étape de construction de l'indicateur de performance ont été testées auprès de l'entreprise Skis DYNASTAR (cf. § 5.7 (8)), autour de problématiques diverses, de définition d'un indicateur global de productivité, non plus seulement dédié à la quantification des coûts directs de production, de contrôle qualité des skis, soumis à des évaluations subjectives [ACTI 37], ainsi que de pilotage des processus de production [ACL 15], [OS 8].

3.2. L'expression agrégée de la performance

Une fois la brique de base posée, nous avons abordé la problématique de l'expression d'une performance globale et, de ce fait, la définition du système d'indicateurs. D'un point de vue méthodologique, nous avons répondu au besoin de fédérer l'ensemble des indicateurs déployés par une définition systémique [ACLN 1]. Le système d'indicateurs a alors pour entrée la décomposition d'un objectif global en objectifs élémentaires et fournit en sortie des expressions de performance ; élémentaires et agrégée. Ainsi, notre hypothèse de formalisation est la présence d'un arbre valide d'objectifs, tel que l'atteinte de l'objectif d'un niveau soit totale si l'atteinte des sous-objectifs qui le composent est totale.

Si l'expression élémentaire d'une performance est le résultat d'un mécanisme direct de calcul, obtenu par la comparaison d'une mesure à un objectif, l'expression agrégée de la performance est le résultat d'un mécanisme indirect, identifié à la combinaison d'un ensemble d'expressions monocritères, de nature éventuellement différente. S'est ainsi posée la question de la commensurabilité des expressions à combiner. Dans un premier élan, leur définition sur l'échelle $[0,1]$ a solutionné, selon nous, cette problématique. Un autre aspect nous a semblé important à aborder, qui concerne les interactions entre les critères de performance. Enfin, l'attitude du preneur de décision à même de réaliser l'agrégation a également suscité notre intérêt, au regard de son degré d'exigence par rapport au résultat global à obtenir.

C'est ainsi que nous nous sommes tournés dans une première phase de nos réflexions vers les opérateurs de la famille des moyennes généralisées et avons retenu l'intégrale de Choquet dans sa forme 2-additive, pour la prise en compte des interactions entre les expressions élémentaires. L'identification des paramètres de l'opérateur s'est effectuée par expertise [ACL 12], [ACL 11], [OS 4]. Nous nous sommes aperçus progressivement de la difficulté de l'exercice, dans la définition de la notion d'interaction et de sa nécessaire compréhension par

l'expert interrogé. Deux sens ont été effectivement envisagés, l'un relatif à l'interaction entre les actions mises en œuvre et l'autre relatif aux interactions entre les préférences du preneur de décision. De plus, nous avons pu constater que nous avions confondu normalisation et commensurabilité, dans le sens où celle-ci n'est pas nécessairement induite par la seule définition des expressions de performance sur l'intervalle $[0,1]$. C'est pourquoi, dans un second temps, nous avons cherché à définir en cohérence, les expressions élémentaires, les opérateurs d'agrégation et l'expression agrégée. Les fondements de la théorie du mesurage nous ont permis d'associer à la commensurabilité des expressions élémentaires de performance la signifiance de l'opérateur d'agrégation, et de définir une échelle - ordinale, d'intervalle, de ratio - pour l'élaboration des expressions de performance. La performance étant par nature multicritère, impliquant dans son mécanisme d'expression un preneur de décision, et inscrite dans une boucle de rétroaction, nous nous sommes penchés sur les méthodes et cadres fournis par le courant de l'aide à la décision multicritère. Nous nous sommes focalisés en particulier sur les méthodes à critère de synthèse unique. La sémantique accordée à l'expression de la performance est identifiée dans cette étape à la satisfaction du preneur de décision quant à l'atteinte de l'objectif considéré. La méthode MACBETH - Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation TecHnique - a été retenue et a été appliquée à l'intégrale de Choquet dans le cadre des travaux de la thèse de V. Clivillé [Clivillé, 2004]. MACBETH se fonde, sur la base d'un recueil d'expertise, sur l'élaboration des expressions élémentaires en cohérence avec la manière de les agréger [ACL 10].

Plusieurs applications de cette approche ont été réalisées dans le domaine industriel. Une première concerne l'intégration d'une politique environnementale dans les plans Qualité et Environnement de la Société Fournier [OS 3] (cf. § 5.7 (7)). D'autres applications ont été réalisées, liées à la sélection de portefeuilles de projets [ACLN 3] (cf. § 5.7 (4)) ; au management de la chaîne logistique [ACL 9], en collaboration avec la Société SNR (cf. § 5.7 (3)). Dans la chaîne considérée, les interactions entre fournisseurs et donneurs d'ordre ont été prises en compte par l'intégrale de Choquet [ACL 4], [OS 2]. Dans le même ordre d'idées, la quantification du BSC de R.S. Kaplan et D.P. Norton est formalisée par la prise en compte des interactions entre les différents axes du tableau de bord [ACL 6] (cf. § 5.7 (2)). Une autre lecture, plus systémique du modèle proposé, a été reconsidérée ultérieurement, intégrant dans la définition d'un système d'indicateurs les spécificités du système physique auquel il se rattache. Dans cette logique, les systèmes sont considérés comme étant des systèmes de systèmes et sont vus au travers des systèmes qui les composent [ACL 3]. Dernièrement, notre modèle a été appliqué à l'expression d'une performance fondée sur les trois critères de la soutenabilité [ACTI 7] (cf. § 5.7 (3), (7)), ou pour le choix d'habitations dotées de systèmes photovoltaïques [ACTI 2].

Signalons enfin que la méthode ELECTRE - ELimination Et Choix Traduisant la REalité - a également été envisagée non plus pour une problématique d'évaluation de la performance, mais pour une de sélection de plans d'action. L'application industrielle menée s'est inscrite dans le cadre de l'augmentation du CA de la Société Fournier [ACL 2] (cf. § 5.7 (7)).

3.3. Application à l'optimisation et au diagnostic

Nous nous sommes également intéressés à l'exploitation de notre modèle d'expression de la performance, en particulier à l'optimalité des performances. La performance étant fondée sur le triptyque « efficacité - efficience - effectivité » et par essence multicritère, son expression est identifiée à une mesure d'efficacité ; sous une double contrainte, d'efficience dans l'utilisation des moyens alloués et d'effectivité dans la définition des objectifs associés

[ACL 7], [ACL 8]. Ce postulat nous a fait considérer deux questions, pour lesquelles notre modèle quantitatif présente un caractère pertinent :

- comment expliquer les performances atteintes, en termes d'efficacité et d'efficience ?
- comment améliorer, voire optimiser, l'atteinte des performances ?

Dans un contexte de démarche d'amélioration, la première question s'inscrit dans une étape de diagnostic, la seconde dans une de choix des meilleures opportunités pour atteindre les objectifs fixés. Les travaux menés pour répondre à ces deux questions se sont faits en collaboration avec l'Ecole des Mines d'Alès. Ils se sont structurés autour de la démarche d'amélioration PETRA, et reposent sur le modèle d'agrégation précédent. La nécessité d'expliquer les performances atteintes et d'exprimer les performances optimales - sous une forme interprétable par le preneur de décision - nous a guidés vers une approche de résolution de type recherche opérationnelle pour déterminer les expressions de performance optimales [ACL 5], [ACLN 2].

Le terrain d'application de ces réflexions a été essentiellement l'optimisation de la mise en œuvre des démarches d'amélioration, en collaboration avec la société Bosch Rexroth (site de Bonneville) et leur mise en place du Bosch Production System (cf. § 5.7 (1)).

Ces travaux ont fait l'objet de la thèse de S. Sahraoui [Sahraoui, 2009].

3.4. Conclusion

En conclusion, nous pouvons nous résumer en signalant que l'ensemble de nos réflexions a été guidé par une volonté de définir et de quantifier l'atteinte d'un objectif. Pour ce faire, nous avons spécifié l'expression de la performance comme étant une information renseignant de cette atteinte. Nous avons été en quête alors de l'élaboration d'un cadre pour cette expression. Ce cadre a été construit sur la base de deux types d'expression, l'expression élémentaire et l'expression agrégée. Degré d'atteinte d'un objectif et satisfaction à propos de cette atteinte ont été distingués au niveau élémentaire, tandis qu'au niveau agrégé, une formalisation de l'agrégation des satisfactions a été proposée.

Les travaux en cours sont globalement déployés selon trois axes. En premier lieu, nous recherchons à compléter le cadre d'expression développé jusqu'à ce jour. Ainsi, un retour sur les mécanismes de quantification des expressions élémentaire et agrégée est envisagé, en termes de choix d'opérateurs de comparaison et de sémantique souhaitée pour l'expression de la performance.

Est abordée également dans ce premier axe la formalisation de l'expression temporelle de cette performance, notamment autour des travaux de thèse de H. Hamadmad. Ces réflexions s'inscrivent toujours dans l'optique d'une quantification de l'atteinte d'un objectif global. L'idée est une relecture de la formalisation systémique du système d'indicateurs proposée auparavant et de considérer la relation indicateur de processus / indicateur de résultat dans ce système. Il s'agir d'introduire formellement les notions, d'objectif, de trajectoire ainsi que d'expression, temporels, reprenant en cela quelques réflexions antérieurement et récemment menées [ACL 1], [ACTI 3], [ACTI 22], [ACTI 23]. Sont traitées dans ce sens les questions d'expression de performance tendancielle, d'agrégation « dynamique », et de choix de trajectoires optimales.

Par ailleurs, le deuxième axe relève d'une exploitation de notre modèle. Une étude est actuellement menée en collaboration avec le laboratoire LOCIE de l'Université de Savoie, qui traite de l'expression de la performance d'un bâtiment « durable » [AP 8]. Les investigations menées consistent essentiellement à transférer les pratiques en termes de démarche

d'amélioration industrielle au milieu du bâtiment. D'autre part, il s'agit de définir un système d'indicateurs à même d'exprimer la performance d'un tel bâtiment. Typologies de bâtiments, identification des processus de construction et spécifications de la durabilité sont en cours d'analyse.

Notons enfin qu'une première ouverture vers le management et la décision est dans sa phase de balbutiements, initiée par la définition de mécanismes de récompenses allouées aux expressions élémentaires les plus impactantes sur l'expression globale [ACTI 3], [ACTI 5], [ACTI 9]. Dans cet ordre d'idées, nous avons également abordé la problématique de la prise en compte du caractère pluriel des décideurs dans le milieu industriel [ACTI 1]. Ces considérations restent une alternative à considérer non plus l'atteinte des objectifs à travers l'expression de la performance mais au travers de la prise de décision. Nous nous proposons de ce fait, à l'issue de cette étape de définition d'un cadre d'évaluation de la performance, une réflexion approfondie sur le mécanisme et les spécificités de la prise de décision en milieu industriel.

4. Activités d'encadrement

4.1. Encadrement doctoral

[Clivillé, 2004] Clivillé V., Approche systémique et méthode multicritère pour la définition d'un système d'indicateurs de performance, Thèse de doctorat de l'Université de Savoie en Génie Industriel, 9 septembre 2004.

Jury : Y. Frein (P), B. Grabot (R), F. Vernadat (R), V. Giard (E), C.Farat (I), ***L. Berrah****, A. Haurat.*

Taux d'encadrement = 66 % avec A. Haurat (33%), directeur de thèse.

Publications associées à la thèse : [ACL 10] [OS 3] [ACTI 19] [ACTI 24] [ACTI 29] [ACTN 12] [ACTN 14] [ACTN 16] [AP 2] [AP 4]

Situation actuelle : Maître de Conférences à l'Université de Savoie.

[Saharaoui, 2009] Sahraoui S.A., Un système d'aide à la décision pour une amélioration optimisée de la performance industrielle, Thèse de doctorat de l'Université de Savoie en Génie industriel, 29 juin 2009.

Jury : B. Grabot (P), A. Dolgui (R), F. Vernadat (R), P. Zaraté (E), C. Combettes (I), ***L. Berrah****, J. Montmain.*

Taux d'encadrement = 50% avec J. Montmain (50%), directeur de thèse, Ecole des Mines d'Alès.

Publications associées à la thèse : [ACL 5] [ACLN 2] [ACTI 11] [ACTI 12] [ACTN 5] [ACTN 6] [ACTN 7] [ACTN 9]

Situation actuelle : Directeur technique de SOFISOFT, société de services IT.

Co-encadrante de la thèse de Hamadmad H., sur la « définition d'une expression temporelle de la performance : Application au pilotage des démarches d'amélioration industrielle », depuis février 2012.

Taux d'encadrement = 50 % avec L. Foulloy, directeur de thèse.

4.2. Encadrement de DEA / masters

Au vu de notre thématique de recherche et des relations privilégiées établies avec le laboratoire GILCO (aujourd'hui intégré à G-SCOP), nous avons proposé nos sujets aux étudiants du DEA/master de Génie industriel de Grenoble. En outre, l'encadrement de certains des DEA/Masters listés ci-après a pu faire l'objet de réflexions communes avec d'autres collègues du laboratoire (V. Clivillé, A. Haurat, G. Mauris) ou d'autres laboratoires et universités (C. Buhé, LOCIE - Université de Savoie, M. Kaya - Université Sidi Mohamed Ben Abdallah de Fès, M. Tollenaere, G-SCOP - Université de Grenoble). Certains travaux menés dans le cadre de ces projets ont également été faits en collaboration avec nos partenaires industriels (ARITEM, Bosch Rexroth, Rolex Industries S.A.).

[Huaylla Roque, 2012]Huaylla Roque F.A., *Les systèmes photovoltaïques : caractéristiques et performance*, Master Energies Renouvelables et Systèmes Intelligents, Université de Savoie, juillet 2012. [ACTI 2]

[El-Fatih, 2012] El-Fatih Z., *Méthodes d'aide à la décision multicritères appliquées au développement durable dans l'industrie,* Master Energies Renouvelables et Systèmes Intelligents, Université de Savoie, juillet 2012.

[Selmani, 2008] Selmani K., *Quantification de la performance industrielle dans les tableaux de bord : Application à la gestion des risques*, Master Management des Systèmes d'Information et Gestion industrielle, Université Sidi Mohamed Ben Abdallah (Fès), juillet 2008.

[Blot, 2005] Blot A., *Systèmes d'indicateurs de performance pour la gestion multi-projets*, Master Sciences et Technologie, Université de Savoie, juillet 2005. (cf. § 5.7 (4))

[AlMasri, 2003] Al Masri K., *Evaluation de la performance des sites Web*, DEA Génie Industriel, INP Grenoble, septembre 2003.

[Omri, 2003] Omri H.*, Réorganisation du processus de gestion des modifications de produits*, DEA Génie Industriel, INP Grenoble, septembre 2003. [ACTI 18] (cf. § 5.7 (5))

[Hamlaoui, 2002] Hamlaoui S.**,** *Utilisation de la tendance selon une approche floue dans l'expression de la performance : Application à un processus d'affinage de fromage*, DEA Automatique Industrielle, Université de Savoie, juillet 2002. [ACTI 23]

[Vitrac, 2002] Vitrac M., *Instrumenter la performance dans une démarche de réorganisation*, DEA Génie industriel, INP Grenoble, septembre 2002.

[Blanch, 2001] Blanch S., *La problématique du tableau de bord de l'entreprise moderne : La performance du service Rolex Industries S.A.*, DEA Génie Industriel, INP Grenoble, septembre 2001.

[Cheriaa, 2001] Cheriaa S., *Stratégie et performance industrielles : concepts et mise en œuvre*, DEA Génie Industriel, INP Grenoble, septembre 2001.

[Bergemann, 1998] Bergemann T., *Etude des techniques de désagrégation et d'agrégation dans le cadre de la mise en place d'un système d'indicateurs pour l'évaluation de la performance des processus de production*, DEA génie Industriel, INP Grenoble, juillet 1998.

5. Activités d'intérêt collectif

5.1. Relecture d'articles de revues et de conférences

- Area Editor pour l'International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies (IJDATS).
- Relectrice régulière pour les revues : Engineering Applications of Artificial Intelligence (EAAI), Enterprise information System (EIS), Computers in Industry, Computers & Industrial Engineering (CIE), International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies (IJDATS), International Journal of Production Research (IJPR), Journal Européen des Systèmes Automatisés (JESA), INS-Information Sciences, Journal of Intelligent Manufacturing (JIM), Transactions of the Institute of Measurement and Control.
- Relectrice pour les conférences *MOSIM'04, MOSIM'08, INCOM'06, INCOM'09, INCOM'12, APMS'10, MIM'13* ainsi que de l'International Symposium on Intelligent Automation and Control *ISIAC'04* et d'une conférence sur les systèmes intelligents *IAE'AIE'2000.* Membre du comité scientifique des congrès de génie industriel *CIGI'05, CIGI'07, CICGI'09, CIGI'11* et des journées nationales *JNMACS'07*, *JNMACS'09*.

5.2. Participation à des jurys de thèse

[Zouggari, 2011] Zouggari A., Une approche couplant logique floue et capitalisation des connaissances pour la résolution du problème de choix des fournisseurs, Thèse de doctorat de l'Université Paul Verlaine de Metz en Automatique, Traitement du Signal et des Images, Génie Informatique, 6 décembre 2011.

Jury : A. Thomas (P), B. Grabot (R), F. Yalaoui (R), ***L. Berrah*** *(E), S. Lamouri (E), D.T. Pham (E), L. Benyoucef.*

[Shah, 2012] L.A. Shah, Value-risk based performance evaluation of industrial systems, Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers ParisTech en Génie Mécanique et Industriel, 3 octobre 2012.

Jury : J.-F. Petin (P), L. Geneste (R), A. Oritz (R), D. Trentesaux (R), ***L. Berrah*** *(E), A. Etienne, A. Siadat, F. Vernadat.*

5.3. Animation de groupes de travail

- Co-animatrice du groupe de travail AMOEP Approches et MOdèles d'Evaluation de la Performance du GDR MACS « Modélisation Analyse Conduite des Systèmes dynamiques » du Pôle STP « Sciences et Techniques de la Production », mis en place en avril 2003, jusqu'en 2009. Organisatrice et animatrice, dans le cadre du GDR MACS, d'une journée industrielle, sur le thème : *« la performance industrielle, comment la définir, l'évaluer, l'améliorer et la maintenir ?* », Société Fournier, Thônes (2004).
- Animatrice du groupe de travail MRI « Méthodologie de Réorganisation Industrielle » au sein du GRP « Groupement pour la Recherche en Productique », de 2001 à 2003.
- Membre du bureau de L'IPI - Institut de Production et des organisations Industrielles - Grenoble, de 2002 à 2005.

5.4. Organisation de conférences et de sessions spéciales

- Présidente de l'organisation des *12èmes journées STP du GDR MACS*, 28 et 29 Octobre 2009, LISTIC, Annecy.
- Co-organisatrice de sessions spéciales, aux conférences *CIGI'03, MOSIM'04, MOSIM'06, INCOM'09, ROADEF'11, EUSFLAT-LFA'11, CIGI'11*.
- Membre du Comité d'Organisation de *MOSIM'99*, Annecy, 6-8 Octobre 1999, organisée par le LLP/CESALP (aujourd'hui LISTIC) ; *IPMU'02*, Annecy, 1-6 Juillet 2002, organisée par le LAMII/CESALP (aujourd'hui LISTIC) ; *LFA'09*, Annecy, 5-6 Novembre 2009, LISTIC ; *EUSFLAT-LFA'11,* Aix-Les-Bains, 18-22 juillet 2011, LISTIC ; CONTEXT'13, Annecy, 28 octobre-1er novembre 2013, LISTIC.

5.5. Evaluation de projets et co-édition d'ouvrages

- Evaluatrice d'un projet ANR Blanc - SIMI 3 - Matériels et logiciels pour les systèmes et les communications, 2011.
- Evaluatrice du projet de recherche *« MIRAGE : Contribution à une méthodologie de Modélisation, d'évaluation de la performance et d'Interopérabilité des pRrocessus Administratifs par l'utilisation de l'e-GouvernancE dans le cadre de la LOLF »,* Université Bordeaux I, Région Aquitaine, (2008).
- Co-éditrice d'un numéro spécial dans JESA - Journal Européen des Systèmes Automatisés - sur la *Modélisation et évaluation de la performance des chaînes logistiques*, Hermès/Lavoisier - ISBN 2-7462-1330-3, 2005, 110 pages.
- Coordinatrice avec O. Sénéchal de la première partie de l'ouvrage « Evaluation des performances des systèmes de production », Eds. C. Tahon, Hermès, 2003, 304 pages.

5.6. Participation à projets

5.6.1. Projets académiques

- Participante au projet « *MOCLD : Management et Organisation des Chaînes Logistiques Durables et Responsables* », dans le cadre du cluster de recherche GOSPI, Organisation des Systèmes de Production et de l'Innovation, région Rhône-Alpes. Co-animatrice du GT 1 : Nouveau référentiel d'évaluation des performances, 2009-2010.
- Participante au projet « *(PS)²* x *SP : Pilotage souple pour une performance sûre des systèmes productifs* » proposé par les Facultés Universitaires Catholiques de Mons FUCAM (2003/2004-2005/2006).
- Responsable du projet IPI « *Identification, évaluation et représentation des meilleures Pratiques Industrielles (Best practices)* » (2003-2004), mettant en collaboration un laboratoire des Sciences Pour l'Ingénieur, le LISTIC et un laboratoire des Sciences Humaines et Sociales, le CRISTO, de l'Université Pierre Mendès France UPMF à Grenoble, soutenu et financé par l'IPI - Institut de la Production et des organisations Industrielles.
- Responsable du projet « *Méthodologie de Réorganisation Industrielle* », mettant en collaboration 2 laboratoires, le LGIPM de l'Université de Metz et le LLP/CESALP (aujourd'hui LISTIC) (2000-2001), transformé alors en groupe de travail.
- Participante au Programme CNRS Prosper « *Dynamique des Relations entre Entreprises* » (1998-2001), mettant en collaboration le LLP/CESALP de l'Université de Savoie (aujourd'hui LISTIC), les laboratoires LAG, GILCO et IREPD de Grenoble, le laboratoire SIMO de l'Ecole des Mines de Saint-Etienne, l'ONERA à Toulouse.

5.6.2. BQR /AAP - Université de Savoie

- Participante au projet AAP « *TAAM : Transférabilité des Approches d'Aide à la Décision en univers Multicritère* », LISTIC, 2012-2013, (20%).
- Participante au projet AAP « *Performance et méthodes de fusion d'attributs qualité pour la supervision des architectures à base de services (SOA)* », LISTIC, 2010-2011, (25%).
- Participante au projet BQR « *Méthodes d'apprentissage dans les systèmes de fusion d'information* », LISTIC, 2008-2009, (20%).
- Participante au projet BQR « *Fusion d'informations incertaines pour l'évaluation des risques* », LISTIC, 2007-2008, (10%).
- Participante au projet BQR « *Système coopératif de fusion d'informations pour l'interprétation d'images 3D* », LISTIC, 2005-2006, (20%).

5.7. Collaboration avec le secteur socio-économique

Afin de valider nos travaux et illustrer les problématiques que nous avons traitées, nous avons continûment accompagné notre recherche d'expérimentations auprès de nos partenaires industriels, et ce, dans le cadre d'échanges, de recueil de données, d'applications et de retours d'expérience. Sont listées dans ce paragraphe, dans un ordre chronologique, les principales collaborations que nous avons eues dans ce sens.

1. Collaboration avec la société Bosch Rexroth fluidtech SA à Bonneville sur le thème du Bosch Production System et de l'optimisation des démarches d'amélioration de la performance (depuis 2008).
2. Application dans les sociétés Chantelle et Kindy avec la collaboration de l'organisme européen Euromed Textile des modèles de définition des indicateurs de performance d'une chaîne logistique (2007).
3. Collaboration avec la société SNR Roulements pour l'identification des indicateurs d'une chaîne logistique (2006) puis du déploiement d'une politique de développement durable.
4. Collaboration avec la Société de conseil ARITEM pour l'aide à la gestion de portefeuilles de projet (2005).
5. Collaboration avec la société Fresenius VIAL pour la modélisation du processus de gestion des modifications de produits existants (2004).
6. Participante au contrat réalisé avec l'entreprise Entremont autour de la « *Modélisation et simulation de processus opérationnels en fonction des compétences* » (2002-2003).
7. Participante au contrat réalisé avec la Société Fournier sur le thème : « *Analyse du processus de conception de nouveaux produits* » (2000). Collaboration avec la Société sur le thème du Management de la Qualité (depuis 2003) et plus récemment sur le Développement Durable.
8. Collaboration avec l'entreprise Skis DYNASTAR, initiée par le projet Rhône-Alpes-MOPIC - MOdélisation de la Performance pour le PIlotage a Court terme d'un système de production (1994-2003).

5.8. Participation à des conseils

- Membre du conseil scientifique de l'Université de Savoie, depuis Mars 2012.
- Membre du comité consultatif 61ème section de l'Université de Savoie, 2012.
- Membre du conseil de laboratoire depuis Décembre 2010.
- Membre du comité de sélection 61ème section, 2010, INP Grenoble.
- Membre de la CS 27-61 de l'Université de Savoie de 2004 à 2008.
- Membre du CA de l'ESIA de 2003 à 2006.

6. Liste des publications

A titre indicatif, le bilan des publications est donné dans le tableau ci-dessous. L'ensemble des communications concerne des conférences avec actes et comités de lecture, soit dans le domaine du génie industriel (APMS, IFAC, IEEE'SMC, IESM, MOSIM…), soit dans le domaine des techniques floues et de la recherche opérationnelle (FUZZ'IEEE, ROADEF, LFA, ICPR…). Il en va de même pour les revues (OMEGA, IJPR, IJPE, IJCIM, CiI, IJDATS, JIM, J2M, RFGI).

	ACL	*ACLN*	*OS*	*DO*	*ACTI*	*ACTN*	*AP*
bilan	**15**	**3**	**8**	**1**	**38**	**24**	**7**

6.1. Revues d'audience internationale

[ACL 1] **Berrah L.**, Foulloy L., *Towards a unified descriptive framework for industrial objective declaration and performance measurement*, Computers in Industry, 2013, http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2013.03.006.

[ACL 2] Clivillé V., **Berrah L.,** Mauris G., *Deploying the ELECTRE III and MACBETH multicriteria ranking methods for SMEs tactical performance improvements*, Journal of Modelling in Management, 2013, 7(4), à paraître.

[ACL 3] **Berrah L.**, Vernadat F., *Towards a system-based model for overall performance evaluation in a supply chain context*, The Open Industrial & Manufacturing Engineering Journal, 6, 2012, pp. 8-18, DOI : 10.2174/1874152501205010008.

[ACL 4] Clivillé V., **Berrah L**., *Overall performance measurement in a supply chain: towards a supplier-prime manufacturer based model*, Journal of Intelligent Manufacturing, 2012, 23(6), pp. 2459-2469, DOI : 10.1007/s10845-011-0512-x.

[ACL 5] **Berrah L.**, Montmain J., Mauris G., Clivillé V., *Optimising industrial performance improvement within a qualitative multi-criteria aggregation framework*, International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies, 3(1), 2011, pp. 42-65, DOI : 10.1504/IJDATS.2011.038805.

[ACL 6] **Berrah L**., Clivillé V., *Towards an industrial performance quantification model according to the balanced scorecard*, Supply Chain Forum, 12(3), 2011, pp. 64-73.

[ACL 7] **Berrah L.,** Mauris G., Montmain J., *Monitoring the improvement of an overall industrial performance based on a Choquet integral aggregation*, The International Journal of Management Science OMEGA, 36(3), 2008, pp. 340-351, DOI : 10.1016/j.omega.2006.02.009.

[ACL 8] **Berrah L.,** Mauris G., Montmain J., Clivillé V**.,** *Efficacy and efficiency indexes for a multi-criteria industrial performance synthesized by Choquet integral aggregation*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 4, 2008, pp. 415-425.

[ACL 9] **Berrah L.,** Clivillé V.**,** *Towards an aggregation performance measurement system model in a supply chain context*, Computers in Industry, 58(7), 2007, pp. 709-719, DOI : 10.1016/j.compind.2007.05.012.

[ACL 10] Clivillé V., **Berrah L.,** Mauris G., *Quantitative expression and aggregation of performance measurements based on the Macbeth multi-criteria method*, International Journal of Production Economics, 105(1), 2007, pp. 171-189, DOI : 10.1016/j.ijpe.2006.03.002.

[ACL 11] **Berrah L.,** Mauris G., Vernadat F., *Industrial performance measurement: an approach based on the aggregation of unipolar or bipolar expressions*, International Journal of Production Research, 18-19, 2006, pp. 4145-4158, DOI : 10.1080/00207540600786699.

[ACL 12] **Berrah L.,** Mauris G., Vernadat F., *Information aggregation in industrial performance measurement: rationales, issues and definitions*, International Journal of Production Research, 42(20), 2004, pp. 4271-4293, **DOI :** 10.1080/00207540410001716534.

[ACL 13] **Berrah L.,** Mauris G., Haurat A., Foulloy L., *Global vision and performance indicators for an industrial improvement approach*, Computers in Industry, 43(3), 2000, pp. 211-225, DOI : 10.1016/S0166-3615(00)00070-1.

[ACL 14] Mauris G.**, Berrah L**., Foulloy L., Haurat A**.,** *Fuzzy handling of measurement errors in instrumentation*, IEEE Transactions on Measurement and Instrumentation, 49(1), 2000, pp. 89-93, DOI: 10.1109/19.836316.

[ACL 15] Dindeleux R., **Berrah L.,** Haurat A., A *Formal modelling of control processes*, European Journal of Operational Research, 109, 1998, pp. 377-389, DOI : 10.1016/S0377-2217(98)00064-2.

6.2. Revues d'audience nationale ou francophone

[ACLN 1] Clivillé V., **Berrah L**., *Conception et révision d'un système d'indicateurs de performance dans le cadre d'un plan stratégique*, livret AFNOR, mis à jour périodiquement sur les indicateurs et les tableaux de bord, 15ème mise à jour, 2009.

[ACLN 2] Sahraoui S., **Berrah L.,** Montmain J., *Techniques d'optimisation pour la définition d'une démarche d'amélioration industrielle : une approche par analyse et agrégation des performances*, Revue Electronique des Sciences et Techniques de l'Automatique, 5(1), 2008, pp. 1-7.

[ACLN 3] Clivillé V., **Berrah L.,** *Approche multicritères pour l'aide à la sélection de projets*, Revue Française de Gestion Industrielle, 26(1), 2007, pp. 111-127.

6.3. Thèse

[TH 1] **Berrah L.**, *Une approche d'évaluation de la performance industrielle : modèle d'indicateur et techniques floues pour un pilotage réactif*, Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 15 Septembre 1997, 236 pages.

Jury : P. Ladet (P), D. Dubois (R), R. Soenen (R), F.B. Vernadat (R), L. Foulloy (E), A. Haurat (Directeur de thèse).

6.4. Ouvrages

[OS 1] **Berrah L.,** Les *indicateurs de performance : concepts et applications*, Cépaduès Editions, 2002, 172 pages.

6.5. Contributions à ouvrages

[OS 2] **Berrah L.,** Clivillé V**.,** *Towards a quantitative performance measurement model in a buyer-supplier relationship context*, Supply Chain Theory and Applications, Eds. V. Kordic, I-TECH Eudcation and Publishing, 2008, pp. 19-40.

[OS 3] **Berrah L.,** Clivillé V., Farat C., Haurat A., *L'emploi d'indicateurs pour l'amélioration de la performance : le cas de la Société Fournier*, Evaluation des performances des systèmes de production, Eds. C. Tahon, Hermès, 2003, pp. 177-191.

[OS 4] **Berrah L.,** Mauris G., Foulloy L., *The aggregation of industrial performance information by the Choquet fuzzy Integral*, Soft Computing in Measurement and Information Acquisition, Eds. L. Reznik et V. Kreinovich, Physica-Verlag, 2003, pp. 121-135.

[OS 5] Ducq Y., **Berrah L.**, Senechal O., *L'évaluation des performances des systèmes de production : évolution et enjeux*, Evaluation des performances des systèmes de production, Eds. C. Tahon, Hermès, 2003, pp. 21-27.

[OS 6] **Berrah L.,** Vernadat F., *Perception et évaluation de la production, approche de la performance dans le pilotage*, Pilotage des systèmes de production, Eds. J. P. Kieffer et P. Pujo, Hermès, 2002, pp. 181-203.

[OS 7] **Berrah L.,** Mauris G., *Une expression floue de la performance pour une prise en compte unifiée des grandeurs quantitatives et qualitatives*, Indicateurs de performance, Eds. A. Courtois et C. Bonnefous, Hermès, 2001, pp. 229-256.

[OS 8] **Berrah L.,** Mauris G., Foulloy L., Haurat A., *Fuzzy performance indicators for manufacturing processes*, Fuzzy System Design: Social and Engineering Applications, Vol. 17, Eds. L. Reznik, V. Dimitrov, J. Kaprzyk, Physica-Verlag, 1998, pp. 225-248.

6.6. Edition d'ouvrages ou revues

[DO 1] *Modélisation et évaluation de la performance des chaînes logistiques*, Coord. **Berrah L.,** Ballot E., Paris J., Thierry C., Hermès/Lavoisier - JESA Journal Européen des Systèmes Automatisés, ISBN 2-7462-1330-3, 2005, 110 pages.

6.7. Congrès internationaux avec comité de lecture et actes

[ACTI 1] **Berrah L.**, Clivillé V., *Aide à la décision dans une structure de pilotage coordonnée*, 76th meeting of the European Working group “Multi-Criteria Decision Aiding” EWG - MDCA, 13-15 Septembre 2012, Royaume-Uni.

[ACTI 2] Huaylla Roque F.A., **Berrah L.**, Clivillé V., *A decision-aiding approach for residential PhotoVoltaic System choice: an application to the French context*, Advances in Production Management System Conference APMS 2012, 24-26 Septembre 2012, Grèce.

[ACTI 3] Clivillé V., **Berrah L.**, Montmain J., Mauris G., *Decision-making aiding for the improvement of an overall performance issued from a Choquet integral-based aggregation*, 14th IFAC Symposium INCOM 2012 - Information Control Problems in Manufacturing, 23-25 Mai 2012, Roumanie.

[ACTI 4] **Berrah L.**, Clivillé V., Mauris G., *Decision-aiding in manufacturing improvement approaches*, 74th meeting of the European Working group "Multi-Criteria Decision Aiding" EWG - MDCA, 6-8 Octobre 2011, Suisse.

[ACTI 5] **L. Berrah**, Montmain J., Clivillé V., Mauris G., *Management decision-aiding with a fuzzy integral based Performance Measurement System*, 7th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT 2011) et les Rencontres francophones sur la Logique Floue et ses Applications (LFA 2011), 18-22 Juillet 2011, France.

[ACTI 6] Clivillé V., **Berrah L.**, Montmain J., Mauris G., *A performance aggregation model for choosing a set of actions in a PETRA industrial improvement approach*, International Conference on Industrial Engineering and Systems Management IESM 2011, 25-27 Mai 2011, France.

[ACTI 7] **Berrah L.**, Clivillé V., *Is it relevant to evaluate "sustainability" by using aggregation operators like Choquet integrals?* Proceeding of the Advances in Production Management System Conference APMS 2010 - International Conference Competitive and Sustainable Manufacturing, Products and Services, 11-13 Octobre 2010, Italie.

[ACTI 8] Clivillé V., **Berrah L.**, Mauris G., *Using ELECTRE and MACBETH MCDA methods in an industrial performance improvement context*, The Operational Research Society 52nd Annual Conference OR 52, 7-9 Septembre 2010, Royaume-Uni.

[ACTI 9] Montmain J., Clivillé V., **Berrah L**., Mauris G., *Preference and causal fuzzy models for manager's decision aiding in industrial performance improvement*, IEEE World Congress on computational intelligence 2010, IEEE Conference on Fuzzy Systems, 18-23 Juillet 2010, Espagne.

[ACTI 10] Ducq Y., **Berrah L.,** *Performance Measurement: management models, performance indicators and interoperability*, 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM 2009, CD ROM, 3-5 Juin 2009, Russie, pp. 1-6.

[ACTI 11] Sahraoui S., Montmain J., **Berrah L.,** Mauris G., *Decision-aiding functionalities for industrial performance improvement*, 4th IFAC Conference on Management and Control of Production and Logistics MCPL 2007, 27-30 Septembre 2007, Roumanie, pp. 597-602.

[ACTI 12] Sahraoui S., Montmain J**., Berrah L.,** Mauris G., *User-friendly optimal improvement of an overall industrial performance based on a fuzzy Choquet integral aggregation*, IEEE International Conference on Fuzzy Systems FUZZ-IEEE 2007, CD-ROM, 23-26 Juillet 2007, Royaume Uni, 6 pages.

[ACTI 13] Clivillé V., Mauris G., **Berrah L.,** *A Quantified industrial performance measurement system based on a Choquet Integral*, World Congress on Computational Intelligence WCCI 2006 FUZZ- IEEE, CD-ROM, 16-21 Juillet 2006, Canada, 8 pages.

[ACTI 14] Clivillé V., **Berrah L.,** *Overall performance measurement in a supply chain*, 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing INCOM 2006, CD-ROM, 17-19 Mai 2006, France, 6 pages.

[ACTI 15] **Berrah L**., Mauris G., Vernadat F., *Industrial performance measurement: an approach based on information aggregation*, 18th International Conference on Production Research ICPR 2005, CD-ROM, 31 Juillet-4 Août 2005, Italie, 6 pages.

[ACTI 16] Clivillé V., **Berrah L.,** *Methodological guidelines for performance measurement systems in a supply chain context*, International Workshop of Performance Measurement IWPM 2005, CD-ROM, 27-28 Juin 2005, France, 12 pages.

[ACTI 17] **Berrah L.,** Mauris G., Montmain J., *Industrial performance improvement: efficacy and effciency measurement issued from a Choquet integral aggregation*, International Conference on Industrial Engineering and Systems Management IESM 2005, CD-ROM, 16-19 Mai 2005, Maroc, pp. 953-961.

[ACTI 18] Omri H., Tollenaere M., **Berrah L.,** Clivillé V., *Improvement of Process Product Modification Management: Industrial case study*, 2nd International Industrial Engineering Conference IIEC 2004, CD-ROM, Riyadh, 19-21 Decembre 2004, Arabie Séoudite, 6 pages.

[ACTI 19] Clivillé V., **Berrah L.**, Mauris G., *Information fusion in industrial performance: a 2-additive Choquet integral based approach*, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics SMC 2004, CD-ROM, 10-13 Octobre 2004, Pays-Bas, 6 pages.

[ACTI 20] **Berrah L**., Mauris G., *Towards a definition of the industrial performance expression process*, 3rd International Workshop on Performance Measurement, 19-20 Juin 2003, Italie, pp. 449-461.

[ACTI 21] Büyüközkan G., Mauris G., Feyzioglu O., **Berrah L.,** *Providing elucidations of web site evaluation based on a multi-criteria aggregation with the Choquet integral*, 10th International Fuzzy Systems Association World Congress IFSA 2003, 30 Juin-2 Juillet 2003, Turquie, pp. 131-134.

[ACTI 22] **Berrah L.,** Mauris G., Foulloy L., *Handling the temporal dimension in industrial objectives and performance expressions*, International Conference on Industrial Engineering and Production management IEPM 2003, CD-ROM, 26-28 Mai 2003, Portugal, 8 pages.

[ACTI 23] Mauris G., Perrot N., **Berrah L.,** Hamlaoui S., *Determining a confidence index of cheese ripening prediction by fuzzy trend sensory indicators*, 20th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC 2003, 20-22 Mai 2003, USA, pp. 1005-1008.

[ACTI 24] Clivillé V., **Berrah L.,** Mauris G., Haurat A., *A systemic view of performance indicators*, 31st International Conference on Computers and Industrial Engineering ICCIE 2003, CD-ROM, 02-04 Février 2003, USA, 6 pages.

[ACTI 25] **Berrah L**., Mauris G., *The industrial performance aggregation: towards a definition*, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics SMC 2002, CD-ROM, 6-9 Octobre 2002, Tunisie, 5 pages.

[ACTI 26] **Berrah L.,** Mauris G., Foulloy L., *Industrial performance expression: survey and new directions*, 8th IEEE International Conference on Emerging Technology and Factory Automation ETFA 2001, 15-18 Octobre 2001, France, pp. 745-748.

[ACTI 27] **Berrah L.,** Clivillé V., Harzallah M., Haurat A., Vernadat F., *A Cyclic Enterprise Reengineering Method*, 5th International Conference on Engineering Design and Automation EDA 2001, CD-ROM, 5-8 Août 2001, USA, 6 pages.

[ACTI 28] Clivillé V., **Berrah L.,** Mauris G., Haurat A., *Using performance indicator systems in an industrial improvement approach*, 5th International Conference on Engineering Design and Automation EDA 2001, CD-ROM, 5-8 Août 2001, USA, 6 pages.

[ACTI 29] Clivillé V., **Berrah L**., Haurat A., Farat C.**,** *What are the contours of a performance indicator system in a continuous improvement approach? An evaluation of research and prospects*, Advanced Summer Institute ASI 2000 - ICIMS - NOE, 18-20 Septembre 2000, France, pp. 121-127.

[ACTI 30] **Berrah L.,** Mauris G., Foulloy L., Haurat A.**,** *The Choquet integral as a tool for industrial performance aggregation*, 8th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-based Systems IPMU 2000, 9-13 Juillet 2000, Espagne, pp. 1937-1940.

[ACTI 31] **Berrah L.,** Mauris G., Foulloy L., Haurat A., *Possibility/necessity semantics for the evaluation of the manufacturing processes performance*, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics SMC 1998, 11-14 Octobre 1998, USA, pp. 517-522.

[ACTI 32] **Berrah L.,** Haurat A.*, Global vision and improvement approach for company performance***,** 9th International Symposium on Information Control in Manufacturing INCOM 1998, 24-26 Juin 1998, France, session plénière, pp. 193-198.

[ACTI 33] **Berrah L.,** Mauris G., Haurat A., Foulloy L., *Fuzzy handling of industrial objectives in performance indicators*, 9th International Symposium on Information Control in Manufacturing INCOM 1998, 24-26 Juin 1998, France, pp. 111-116.

[ACTI 34] **Berrah L.,** Mauris G., Foulloy L., Haurat A., *A fuzzy approach for the performance evaluation of manufacturing processes*, 6th IEEE International Conference on Fuzzy Systems FUZZ'IEEE 1997, 1-5 Juillet 1997, Espagne, pp. 951-956.

[ACTI 35] Mauris G., **Berrah L.,** Foulloy L., Haurat A., *Fuzzy handling of measurement errors in instrumentation*, IEEE Instrumentation & Measurement Technology Conference IMTC 1997, 19-21 Mai 1997, Canada, pp. 784-789.

[ACTI 36] **Berrah L.**, Dindeleux R., Haurat A., *Multicriteria decision support systems for a manufacturing control using performance indicators*, International Conference on Methods and Applications of Multicriteria Decision Making 1997, 14-16 Mai 1997, Belgique, 4 pages.

[ACTI 37] **Berrah L.,** Mauris G., Haurat A., Foulloy L., *A fuzzy approach for the validation of performance assessment in ski quality control*, 6th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-based Systems IPMU 1996, 1-5 Juillet 1996, Espagne, pp. 623-628.

[ACTI 38] **Berrah L.,** Mauris G., Haurat A., Foulloy L., *Fuzzy performance indicators for ski quality control*, IEEE/IMEKO TC-7 International Conference on Measurement and Instrumentation, 4-6 Juin 1996, Belgique, pp. 1275-1280.

6.8. Congrès nationaux avec comité de lecture et actes

[ACTN 1] Clivillé V., **Berrah L.**, Mauris G., *ELECTRE and MACBETH practice for an industrial improvement approach*, 12ème congrès annuel de la Société française de Recherche Opérationnelle d'Aide à la Décision ROADEF, 2-4 Mars 2011, France.

[ACTN 2] **Berrah L**., Clivillé V., *Evaluation de la performance industrielle pour le tableau de bord prospectif par la méthode ELECTRE*, 8ème Conférence Internationale de MOdélisation et de SIMulation MOSIM 2010 - Evaluation et optimisation des systèmes innovants de production de biens et de services, 10-12 Mai 2010, Tunisie.

[ACTN 3] Clivillé V., **Berrah L**., *Problématique de la révision du système d'indicateurs de performance dans le cadre de la norme ISO 9000*, 8ème Congrès international de Génie Industriel CIGI 2009 - Interopérabilité et Intégration, 10-12 Juin 2009, France.

[ACTN 4] Clivillé V., **Berrah L.,** *Un modèle de quantification de la performance industrielle pour le tableau de bord prospectif*, 7ème Conférence Internationale de MOdélisation et SIMulation MOSIM 2008, 31 Mars - 2 Avril 2008, France, pp. 1-10.

[ACTN 5] Sahraoui S., Montmain J., **Berrah L.,** *Performance industrielle agrégée et amélioration optimale - Une approche d'agrégation par l'intégrale de Choquet*, Conférence scientifique conjointe en Recherche Opérationnelle et Aide à la Décision FRANCORO/ROADEF 2007, 20-23 Février 2007, France, pp. 389-390.

[ACTN 6] Sahraoui S., **Berrah L.,** Montmain J., *Techniques d'optimisation pour la définition d'une démarche d'amélioration industrielle : une approche par analyse et agrégation des performances,* 2èmes Journées Doctorales JDMACS, CD-ROM, 11-12 Juillet 2007, France, 6 pages.

[ACTN 7] Sahraoui S., **Berrah L.,** Montmain J., *Techniques d'optimisation et modèle d'agrégation pour l'outillage d'une démarche d'amélioration industrielle*, 7ème Congrès International de Génie Industriel CIGI 2007, CD-ROM, 5-8 Juin 2007, Canada, 10 pages.

[ACTN 8] Clivillé V., **Berrah L.,** *Un modèle de système d'indicateurs basé sur la décomposition des objectifs et l'agrégation des performances*, 7ème Congrès International de Génie Industriel CIGI 2007, CD-ROM, 5-8 Juin 2007, Canada, 10 pages.

[ACTN 9] Sahraoui S., **Berrah L.,** Montmain J., *Amélioration optimale d'une performance industrielle basée sur un modèle d'agrégation par l'intégrale de Choquet 2-additive,* Rencontres francophones sur la Logique Floue et ses Applications LFA 2007, 22-23 Novembre 2007, France, pp. 241-248.

[ACTN 10] Clivillé V., **Berrah L.,** *Une approche multicritère pour l'aide à la sélection de portefeuilles de projets*, 6ème Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation MOSIM 2006, CD-ROM, 3-5 Avril 2006, Maroc, pp. 192-201.

[ACTN 11] Pillet M., Clivillé V., Bronet V., **Berrah L.,** *Problématique du déploiement des objectifs stratégiques d'une entreprise : de l'opportunité d'utiliser une matrice QFD,* 6ème Congrès International de Génie Industriel CIGI 2005, CD-ROM, 7-10 juin 2005, France, 10 pages.

[ACTN 12] Clivillé V., **Berrah L.,** Mauris G., Haurat A., *Comment élaborer de manière cohérente des expressions de performance élémentaires et agrégées ?,* 5ème Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation MOSIM 2004, 1-3 Septembre 2004, France, pp. 711-718.

[ACTN 13] **Berrah L**., Clivillé V., Vernadat F., *Pilotage d'un processus de réorganistaion : problématique de mise en place des indicateurs de performance*, 5ème Congrès International de Génie Industriel GI2003, CD-ROM, 26-29 Octobre 2003, Canada,11 pages.

[ACTN 14] Clivillé V., **Berrah L**., Haurat A., Le *système d'indicateurs de performance : une définition*, 1er Colloque IPI, Autrans, 2002, pp. 1-12.

[ACTN 15] **Berrah L.,** Clivillé V., Harzallah M., Haurat A., Vernadat F., *Une démarche cyclique d'amélioration permanente pour la réorganisation de systèmes industriels*, 4ème Congrès International de Génie Industriel GI 2001, 12-15 Juin 2001, France, pp. 513-521.

[ACTN 16] Clivillé V**., Berrah L**., Haurat A., *La problématique du déploiement des objectifs dans le cadre d'une démarche d'amélioration industrielle*, 4ème Congrès International de Génie Industriel GI 2001, 12-15 Juin 2001, France, pp. 779-790.

[ACTN 17] **Berrah L.,** Haurat A., *Quels sont les contours de l'indicateur de performance dans une démarche d'amélioration industrielle ?*, Conférence Internationale en Mathématiques Appliquées et Sciences pour l'Ingénieur CIMASI'2000, CD-ROM, 23-25 Octobre 2000, Maroc, 6 pages.

[ACTN 18] **Berrah L.,** Haurat A., *Quelles expressions de la performance pour le pilotage des processus industriels ?*, 3ème Congrès International de Génie Industriel, 26-28 mai 1999, Canada, pp 409-418.

[ACTN 19] Sapina M., **Berrah L.,** Monateri J.Ch., Haurat A., *Piloter/coordonner les relations interentreprises : une approche combinée technique-économique*, 2ème Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation MOSIM 1999, 6-8 Octobre 1999, France, pp. 33-38.

[ACTN 20] **Berrah L.,** Mauris G., Foulloy L., Haurat A., *Un modèle d'indicateur flou pour l'évaluation de la performance industrielle*, Rencontres francophones sur la Logique Floue et ses Applications LFA 1998, 18-19 Novembre 1998, France, pp. 123-130.

[ACTN 21] **Berrah L.,** Haurat A., *Une stratégie de mise en place d'indicateurs de performance pour le pilotage des processus de production*, 2ème Congrès International Franco-Québécois de Génie Industriel, 3-5 Septembre *1997, France.*

[ACTN 22] **Berrah L.,** Haurat A., *Classification des indicateurs de performance pour le pilotage des processus de production*, 1ère Conférence Francophone de MOdélisation et SIMulation MOSIM 1997, 5-6 Juin 1997, France, pp. 61-70.

[ACTN 23] **Berrah L.**, Miquet-Sage P., Haurat A., *Un modèle d'indicateur élémentaire pour l'évaluation de la performance dans les processus de production*, Congrès international de Génie Industriel, 2-4 Avril 1996, France, pp 11-20.

[ACTN 24] **Berrah L.,** Mauris G., Haurat A., Foulloy L**.,** *Modélisation de la performance : Une approche par la logique floue des indicateurs de performance*, Congrès International de Génie Industriel - Le Génie Industriel dans un Monde sans Frontières, CD-ROM, 18-20 Octobre 1995, Canada, pp. 499-508.

6.9. Autres publications

[AP 1] Benoit E., **Berrah L**., Clivillé V., Coquin D., Dapoigny R., Lambert P., Mauris G., Valet L., Jullien S., Mellal N., *Système coopératif de fusion d'information pour l'interprétation d'images 3D*, note interne 07/08, LISTIC, 2007, 7 pages.

[AP 2] Pillet M., **Berrah L.,** Bronet V., Clivillé V., *Comment décliner des objectifs stratégiques en actions opérationnelles d'amélioration et comment les pérenniser ?*, Conférence Progiciels, Annecy-le-Vieux, France, Octobre 2004.

[AP 3] Clivillé V., **Berrah L.,** Actes de la 1ère Journée Industrielle proposée par le GT AMOEP, GDR MACS Pôle STP, *La performance industrielle. Comment la définir, l'évaluer, l'améliorer et la maintenir ?*, LISTIC ESIA (Polytech'Savoie), 2004, 60 pages.

[AP 4] **Berrah L.,** Clivillé V., Farat C., *Comment mettre en place un système d'indicateurs opérationnels en cohérence avec les objectifs stratégiques globaux ?*, Actes de

la 23ème journée régionale de la productique, Ambérieu en Bugey (01), FRANCE, mai 2003, pp. 4-4.

[AP 5] **Berrah L.,** Clivillé V., Vernadat F., Actes du 1er séminaire du groupe de recherche « METHODOLOGIE DE REORGANISATION INDUSTRIELLE », *Problèmes et techniques de réorganisation d'entreprise*, LISTIC ESIA (Polytech'Savoie) et Entreprise SNR Roulements, 4 Octobre 2002, 77 pages. http://www.polytech.univ-savoie.fr/index.php?id=listic-projet-petra&L=0

[AP 6] **Berrah L.,** Clivillé V., Harzallah M., Haurat A., Vernadat F., *PETRA Un guide méthodologique pour une démarche de réorganisation industrielle,*, Rapport d'activités 2001 du LGIPM, Université de Metz, 2001, 101 pages.

[AP 7] **Berrah L.,** Clivillé V., Haurat A., *Rapport de l'Audit effectué pour l'établissement Fournier Frères Analyse - Conception*, Rapport Interne LLP CESALP, LLP ESIA (LISTIC Polytech'Savoie), 1999, 54 pages.

[AP 8] **Berrah L**., Clivillé V., Indicateurs de performance : concepts et méthodes, application au bâtiment, *Journées sur les enjeux scientifiques de la réhabilitation des bâtiments*, LOCIE, Polytech' Annecy-Chambéry 25 - 26 mars 2013, http://bfs.ujf-grenoble.fr/files/4235558f40f6e38c1f203d3d180f86c9/Presentations_Journees_rehab_pdf.zip

7. Synthèse

Les quinze premières années de mes activités d'enseignement et de recherche se sont articulées autour d'un concept fédérateur qui est la performance dans les entreprises. Un ingéniorat en génie industriel puis un DEA en recherche opérationnelle m'ont permis, en effet, de traiter dans mes travaux de thèse de la notion d'indicateur de performance. Le principal résultat, à cette étape, était un modèle de quantification de l'expression de performance retournée par un indicateur. Ce modèle se fonde sur l'utilisation de la théorie des sous-ensembles flous pour élaborer une information relative à l'atteinte d'un objectif. Cette première réflexion, aboutie en septembre 1997, a constitué le socle de mes travaux et a posé les fondements de ce que nous chercherons à développer, au sein du laboratoire, autour de l'expression de la performance.

Intégrant l'IUP/GSI d'Annecy en 1998 en tant que maître de conférences, une opportunité m'a été donnée pour développer un enseignement autour de cette notion de performance. En effet, à l'aube de sa création par une équipe dont A. Haurat était le porteur du projet, c'est assez aisément que nous avons su définir une spécialité alliant indicateurs de performance et démarches d'amélioration. Cette formation a d'autant plus trouvé son intérêt qu'elle s'inscrivait dans une continuité avec l'enseignement du DUT QLIO proposé par l'IUT d'Annecy. En cohérence avec les évolutions du contexte industriel du début des années 2000, la notion d'amélioration est apparue naturellement liée à celle de la performance, au vu de la démarche qu'elle implique. De ce point de vue, la boucle de rétroaction de l'indicateur devient un pendant de la roue de Deming. L'IUP/GSI est aujourd'hui le département TM de l'IAE Savoie Mont Blanc, dont je dirige actuellement le master MDI.

L'indicateur est l'outil méthodologique pour l'expression que nous avons qualifiée d'élémentaire. Une fois cette brique posée, nous nous sommes interrogés sur l'expression d'une performance agrégée, en réponse au caractère multicritère de la performance. Une littérature abondante en termes de PMS (Performance Measurement Systems) nous a semblé peu aborder les aspects quantitatifs rattachés à une telle expression. Décomposition d'objectifs et définition de systèmes d'indicateurs ont alors été les problématiques soulevées dans cette étape. Dans ce sens, les travaux de thèse de V. Clivillé ont proposé quelques

éléments de réponse, en proposant en premier lieu une définition systémique de la notion de système d'indicateurs. Cette définition identifie un tel système à un ensemble d'indicateurs en interaction, et se fonde sur un rôle du système centré sur l'expression d'une performance agrégée. Cette expression est le résultat de l'agrégation des expressions élémentaires retournées par les indicateurs du système. L'intégrale de Choquet a été retenue pour réaliser l'opération d'agrégation, en tenant compte des interactions impliquées dans le mécanisme. En cohérence avec la théorie du mesurage, la méthode MACBETH a été empruntée au courant MAUT des méthodes d'aide à la décision multicritère. L'utilisation de MACBETH permet, à partir d'expertise, de quantifier, de manière fondée, expressions élémentaires et paramètres de l'opérateur d'agrégation. Ce modèle a été par la suite appliqué, dans le cadre de la thèse de S. Sahraoui, à l'optimisation des performances dans le cadre de démarches d'amélioration.

Ces travaux ont donné lieu à la soutenance de 2 thèses de doctorat, 15 publications dans des revues internationales à comité de lecture et 38 communications dans des congrès internationaux à comité de lecture. Par ailleurs, ils ont continûment été validés auprès d'un certain nombre de nos entreprises partenaires, qui n'ont pas manqué de, nous fournir des données, tester et appliquer nos propositions et venir témoigner, auprès de nos étudiants, de leurs expériences vécues dans le domaine de l'amélioration de la performance.

Partie II – Travaux de recherche

Introduction générale

Par un mécanisme simple et intuitif, la roue de Deming a réussi à mettre en lumière le caractère cyclique inhérent à la notion d'amélioration. Dès les années 1950, W.E. Deming étend et popularise en effet le cycle de Shewhart, pour que, dans les années 1980, ce soit le cycle PDCA, Plan - Do - Check - Act qui identifie la roue. La roue rend naturelle de ce fait la dimension continue d'une démarche d'amélioration. Deux spécificités sont, dans ce sens, systématiquement associées à la notion d'amélioration. L'une est structurelle, identifiée à la démarche à mener dans le cas d'une recherche d'amélioration, et l'autre est temporelle, rattachée à la continuité dans la recherche de l'amélioration.

Le premier postulat que nous considérons est ainsi qu'un système peut en permanence s'améliorer. Cette amélioration se rattache à une ou plusieurs facettes du système, soient les attributs contribuant à la caractérisation de ce système. Pour ce faire, souscrivant à cette volonté et à supposer qu'il ne fasse pas partie du système, le preneur de décision, en charge de ce système, met en œuvre une démarche, soit un ensemble d'étapes structurantes, compréhensibles, reproductibles et évaluables. Une telle démarche est conçue pour répondre au besoin d'amélioration du système, au regard des attributs considérés. Le représenté de l'amélioration est alors la « performance », prise dans son entendement de score obtenu ou à obtenir. La performance obtenue identifie l'état atteint, la performance à obtenir identifie l'objectif à satisfaire.

D'un point de vue méthodologique, au-delà de la philosophie qu'elle véhicule, la roue de Deming fera ressortir, par l'articulation des étapes mises en avant dans le cycle PDCA, le lien séquentiel entre ces étapes. Une lecture que nous pouvons justement avoir de la constitution du cycle PDCA est l'initiation d'une démarche d'amélioration par l'expression d'un besoin qui se formalisera à travers la déclaration d'un objectif (étape Plan). Vient l'action, au regard de l'atteinte de cet objectif, sur un horizon temporel préalablement assigné (étape Do). Dans l'étape Check s'effectue l'expression de la performance obtenue, sur la base de la vérification de l'adéquation entre les résultats atteints et ceux attendus. Enfin, la quatrième étape (Act) est dédiée à la décision sur la manière de réagir, au vu de l'évolution des trois étapes précédentes, puis à la réaction elle-même. Le rebouclage est enclenché pour la déclaration d'un nouvel objectif et d'un nouvel horizon temporel. La déclaration de cet objectif peut être le résultat de la révision de l'objectif précédemment déclaré ou porter sur un tout autre attribut.

En outre, si les réflexions japonaises sur les concepts de qualité totale ont fait émerger la notion d'amélioration de la performance, parallèlement, les réflexions occidentales sur les techniques de comptabilité et d'analyse budgétaire ont permis la mise en avant des notions d'indicateur et de système d'indicateurs de performance. Une lecture que nous pouvons avoir de ces outils est également une recherche de structuration du processus d'expression de la performance. Ce processus est initié par la déclaration d'un objectif, au regard d'un attribut retenu. Il se poursuit par l'acquisition d'une mesure, puis la déduction d'une expression de performance. Le lien à l'action est suggéré par le biais de l'attribut par rapport auquel l'objectif est déclaré. Le système d'indicateurs met au pluriel, dans son principe, l'indicateur, en prenant en compte, de surcroît, le caractère multidimensionnel de la performance et les conséquences que celui-ci a sur les indicateurs et leurs paramètres.

La problématique que nous nous sommes posés a porté sur l'expression de la performance en milieu industriel. Le cadre de cette expression s'est vu naturellement offert par l'étape Check de la roue de Deming. La problématique ainsi formulée peut avoir un aspect globalisant que nous avons choisi de décomposer en trois facettes. La première facette se rattache à la sémantique accordée à l'expression de la performance. La deuxième facette se rapporte à l'outil méthodologique pour l'obtention de cette expression. La troisième facette concernera la théorie adéquate pour formuler cette expression. Sémantiquement, l'expression de la performance se rattache à l'atteinte d'un objectif. Méthodologiquement, l'outil utilisé pour retourner une telle expression est l'indicateur de performance. Notre préoccupation s'est particulièrement centrée, de ce fait, sur la formalisation de cette expression, soit sa quantification. La question que l'on peut se poser est sur les modalités de choix de la théorie à même de prendre en compte les spécificités de l'expression de la performance. Ces spécificités dépendant à la fois de la raison d'être et de la fonctionnalité de cette expression, des liens à l'objectif et à la décision apparaissent en conséquence. Le lien à l'objectif est établi de par la définition de l'expression de la performance. Le lien à la décision est déduit du fait que l'expression de la performance étant inhérente à l'étape Check de la roue de Deming, elle constitue une information utile à la prise de décision dans l'étape Act. Le second postulat que nous posons repose ainsi sur le lien de l'expression de la performance aux objectifs, d'une part, et à la décision, d'autre part.

Forts de la vision structurante du pilotage d'un système telle qu'elle est proposée par la roue de Deming, notre réflexion s'est focalisée sur la définition des contours d'une expression de performance dans le contexte industriel, tant d'un point de vue sémantique, que méthodologique et formel. Les trois chapitres présentés dans ce manuscrit traitent successivement de ces trois points de vue.

Dans le premier chapitre, quelques définitions de la notion de performance sont rappelées. Abandonnant sa synonymie avec la notion d'exploit et particularisant le concept à sa quantification, nous choisissons de nous intéresser à l'expression de cette performance. L'étude de l'évolution de celle-ci, de taylorienne à post-taylorienne, nous permettra de faire ressortir ses caractéristiques dans le contexte industriel actuel. L'expression de la performance dépasse la productivité de la main-d'œuvre directe, se décline en fonction, non seulement de l'efficience des équipements, mais aussi de l'efficacité des processus mis en œuvre et de l'effectivité des objectifs considérés. L'expression de la performance devient multicritère, allant au-delà du cadre financier. Le caractère multicritère de la performance induit alors le besoin d'expliciter les objectifs auxquels elle se rattache. Ces objectifs deviennent nombreux, diversifiés, mettant en concurrence les actions à mettre en œuvre pour les atteindre. Le triptyque (objectif, action, expression de performance) sera assez vite mis en avant, les trois notions étant indissociables ; l'objectif impliquant à la fois une valeur à atteindre, à l'issue d'un horizon temporel fixé, et un plan d'action à mettre en œuvre pour ce faire. La notion d'objectif est alors étudiée, dans sa définition, sa caractérisation, sa complexité, sa décomposition et son lien au plan d'action. Nous insisterons, sur la base d'une analyse de l'état de l'art, d'une part, et de la pratique industrielle, d'autre part, sur le mécanisme de déclaration des objectifs. Par déclaration, nous entendrons l'ensemble des démarches à mener pour permettre l'atteignabilité de l'objectif. Trois approches sont mises en avant. La première concerne l'association d'une valeur à ce qui sera un critère ou une variable, selon le niveau décisionnel auquel l'on se situe. Les deux autres relèvent du principe de décomposition de l'objectif, pourvu que celui-ci soit global donc décomposable. La décomposition « structurelle » d'un objectif fournit un arbre de décomposition et est le pendant du plan d'action mis en œuvre pour atteindre l'objectif. L'objectif global se décompose en sous-objectifs sur autant de niveaux que le déploiement du plan d'action le requiert, jusqu'à arriver

aux objectifs élémentaires, non décomposables. La décomposition « temporelle » d'un objectif fournit sa trajectoire d'évolution le long de l'horizon temporel qui lui est assigné. Nous concluons ce chapitre par une démarche récapitulative de l'ensemble de ces considérations.

Nous abordons, dans le deuxième chapitre de notre étude, les outils méthodologiques utilisés pour l'expression de la performance, soient les indicateurs et systèmes d'indicateurs de performance. En réponse aux limites des techniques quantitatives de comptabilité du contrôle de gestion, l'indicateur technique est mis en avant, défini pour des dimensions autres que financières. C'est là la première différence avec les dispositifs tayloriens. En outre, pour continuer à dépasser cette logique taylorienne et répondre aux besoins du pilotage industriel moderne, l'indicateur, dans son rôle premier de fournir un résultat au regard d'un objectif assigné, se voit affecté un second rôle. A un indicateur de « résultat » peut, par conséquent, être associé un ensemble d'indicateurs « de processus », destinés à suivre l'évolution de l'atteinte de l'objectif initial. Ce sera la seconde différence fondamentale avec les indicateurs tayloriens. L'on devine que cette notion d'indicateur de processus est liée à l'émergence des démarches d'amélioration. Nous aborderons ainsi, en premier lieu, l'indicateur de performance à travers les principales définitions proposées dans la littérature ainsi que par la norme, les typologies qui ont émergé suite à l'élargissement du périmètre de l'outil. Nous saisirons l'occasion de cette partie pour présenter notre proposition de modèle pour l'indicateur. Ce modèle reprend le principe de « contrôlabilité » illustré par la nécessité d'associer objectif, expression de performance et variable d'action pour garantir la pertinence des indicateurs. Notre proposition se fonde sur l'élaboration d'une expression de performance sur la base d'une comparaison d'une mesure, reflet de l'état atteint, à l'objectif. Nous introduirons enfin une proposition de typologie des expressions de performance selon leur utilisation dans le dispositif d'aide à la décision. Mesures physiques, mesures de performance et évaluation de performance sont définies. Dans une deuxième partie, la notion de système d'indicateurs est abordée comme une conséquence des spécificités de la performance. Globalité, interaction et dynamique sont les maîtres mots mis en avant dans la littérature nombreuse sur les PMS - Performance Measurement Systems - et les SIP - Systèmes d'Indicateurs de Performance. Notre modèle systémique pour le système d'indicateurs est présenté. Celui-ci identifie le SIP à un système d'indicateurs en interaction, ayant pour entrée un objectif global. Le rôle du SIP est alors centré sur une expression globale de la performance, associée à l'objectif global et obtenue à partir de l'agrégation des expressions retournées par les différents indicateurs du système.

Dans le dernier chapitre de ce manuscrit, nous abordons la formalisation de l'expression de la performance. A la lumière des analyses effectuées dans les deux précédents chapitres, deux idées font nos hypothèses. La première concerne le rattachement de l'expression de performance à l'atteinte d'un objectif tandis que la seconde concerne le caractère multidimensionnel de cette expression. Corollairement, deux types d'expression de performance sont distingués, l'expression élémentaire et l'expression agrégée. Considérant en premier lieu l'expression élémentaire, nous identifierons la comparaison à une fonction et nous interrogerons sur les opérateurs à même de la réaliser. Le choix de ces opérateurs dépendant à la fois de la nature des données manipulées - objectif et mesure - et du format souhaité pour cette expression, nous utiliserons la théorie des sous-ensembles flous pour formaliser l'opération. Cherchant à étendre les opérateurs tayloriens de ratio et de distance, nous illustrerons notre proposition par l'utilisation d'opérateurs de correspondance ou d'éloignement proposés dans la littérature. Quant à la formalisation de l'expression agrégée, nous la supposerons obtenue à l'issue d'une opération mathématique d'agrégation. Parmi les familles d'opérateurs d'agrégation proposés dans la littérature, nous considèrerons que la

famille des moyennes est la plus adaptée aux spécificités industrielles. L'intégrale de Choquet sera envisagée pour sa capacité à prendre en compte les interactions entre critères de performance. En outre, le besoin de commensurabilité requis pour réaliser une telle opération nous amènera à construire des expressions de performance définies dans l'intervalle $[0,1]$, la valeur 0 identifiant une non atteinte totale de l'objectif, et la valeur 1 une atteinte totale de cet objectif. Mais des réflexions plus approfondies sur cette hypothèse de commensurabilité nous feront nous interroger, dans un second temps, sur l'opportunité d'utiliser les méthodes d'agrégation multicritère. Pour un calcul fondé, cohérent avec la théorie du mesurage, l'élaboration des expressions élémentaires devient, dans ce sens, reliée à l'élaboration de l'expression agrégée. Ces expressions revêtiront, dans ce cas particulier, une sémantique de satisfaction, celle du preneur de décision au regard des scores atteints et des objectifs assignés. Nous retiendrons plus particulièrement la méthode MACBETH dans son adaptation à l'intégrale de Choquet. Enfin, nous conclurons cette formalisation par son utilisation à des fins de diagnostic et d'optimisation de démarches d'amélioration. Des modèles de programmation linéaire basés sur le modèle d'agrégation seront utilisés pour la recherche conjointe de l'efficacité dans l'atteinte des objectifs et d'efficience dans l'utilisation des équipements.

Enfin, conclusion et perspectives cloront cette étude en proposant une relecture approfondie et élargie des développements proposés.

De la nécessité de la déclaration des objectifs pour l'expression de la performance

1. Introduction

Dans un sens large et universel, en accord avec la sémantique anglo-saxonne[1], la performance se définit comme étant « *le résultat obtenu par un athlète, un cheval de course… dans une épreuve* ». Un second sens lui est communément attribué, rattaché davantage à des notions absolues d'exploit ou de succès. Dans cet ordre d'idées, H. Boivert précise : « *La performance désigne un résultat exceptionnel, hors du commun, optimal. Elle relève d'attentes que l'on peut traduire en objectifs. Si les attentes ne sont pas formellement exprimées sous forme d'objectifs, nous concluons à la performance d'une personne lorsqu'elle comble ou dépasse nos attentes, c'est-à-dire lorsqu'elle réalise quelque chose hors du commun, parfois intangible, pour lequel nous n'avons pas établi de point de repère ou d'échelle de mesure* » [Boivert, 1995]. P. Folan, J. Browne et H. Jagdev pensent : "*The use of the term performance itself can come to mean "positive progress" in itself, without any qualifying adjective applied to the term. The meanings of performance where performance is used to denote an "exploit" or an "achievement" is analogous to this. "The company is performing", for example, captures the spirit of this peculiarity, whereby the emphasis is placed on the verb "is", to denote the fact that the company's performance is progressing satisfactory. Of course, to progress is to imply the existence of a goal towards which we must proceed, and in this usage of performance the goal against which performance is to be captured is assumed to exist already and to be easily quantifiable in practice*" [Folan, 2007].

Ce qui vaut pour un être humain vaut pour un système, en l'occurrence l'entreprise. Ainsi, quelle que soit sa forme, globale ou locale, financière, technique ou économique, environnementale, sociétale, absolue ou relative[2], la performance n'existe et ne prend sens que si elle est mesurée, la littérature managériale et gestionnaire s'étant depuis longtemps accordée à dire que l'« on ne gère que ce que l'on mesure »[3] [Lorino, 1996a], [Hauser, 1998], [Melnyk, 2004], [Ariely, 2010].

La performance se rattache à l'évolution d'un phénomène physique. Afin de la piloter, l'améliorer voire l'optimiser, la performance doit s'exprimer. Cette expression, d'un point de vue quantitatif, est rattachée à l'atteinte des « objectifs » fixés. Dans un esprit taylorien, une telle expression véhicule une sémantique de vérification des rendements obtenus. L'expression de performance identifie ainsi un résultat atteint au regard du référentiel productiviste, à l'issue de l'observation du phénomène physique considéré. Mais, afin de

---

[1] Performance, du verbe "parformer" qui signifie accomplir.

[2] « *Pour l'organisation comme pour les chevaux de course, la performance est relative : il ne s'agit pas de faire « bien ». Il s'agit de ne pas faire plus mal que les autres* » [Le Moigne, 1996].

[3] *"What you measure is what you get"* [Kaplan, 1992].

"You get what you inspect, not what you expect" [Melnyk, 2004].

"Performance as a term takes in evaluation and assessment, and assessment pulls in measurement and, subsequent to this, the application of decisions based on measurement and assessment pulls in management" [Folan, 2007].

satisfaire aux besoins modernes de réactivité et de multiplication, l'expression de la performance est allée au-delà de la sémantique de vérification. Intégrant une dimension d'anticipation des résultats atteints, une telle expression s'est diversifiée en adoptant des formes adaptées au degré d'évolution du phénomène physique mis en œuvre pour atteindre les objectifs.

Dans cette logique, M. J. Lebas oriente la performance vers le futur à travers « *la capabilité d'aller où l'on veut* » [Lebas, 1995]. Ceci sous-entend que, quel que soit le contexte, une entreprise est performante si elle satisfait les objectifs qu'elle se fixe, soient intuitivement, pour le système considéré, les états à atteindre ou les actions à mettre en œuvre. Néanmoins, une entreprise est performante si les objectifs qu'elle se fixe sont cohérents et la pérennisent [Marmuse, 1997], [Kaplan, 1992], **[Berrah, 2002b]**. C'est pour cela que nous disons que les objectifs sont les vecteurs de la performance.

En résonance, que les objectifs soient structurels ou conjoncturels, stratégiques, tactiques ou opérationnels, multicritères ou monocritères, leur complexité est celle de la performance. A ce titre, l'objectif *global* devient un concept fédérateur qui souligne que « *tout se tient (technologie, organisation, marché, formation, recherche, financement, etc.)* » [Jacot, 1996], [Vernadat, 1996]. Les objectifs requièrent ainsi des mécanismes de décomplexification, soit de décomposition [Lorino, 1996a], [Mélèse, 1991], [Ducq, 2001], [Clivillé, 2004], [Bititci, 1995], [Ghalayini, 1997] pour en réaliser l'atteinte.

Systémique, la décomposition d'un objectif se fonde sur le déploiement des actions nécessaires pour l'atteindre [Kaplan, 1996] ou, en d'autres termes, sur l'organisation des tâches à accomplir dans ce sens [Popova, 2010]. Par rapport au système manufacturier (de production) que nous considérons et que nous assimilons à un système industriel, un plan d'action est défini. Ce plan d'action vient correspondre à cette décomposition que l'on peut qualifier de structurelle, du fait de l'aspect structurel rattaché aux tâches associées, tel qu'il est décrit en l'occurrence par le courant de la modélisation en entreprise [CIMOSA, 1993], [Vernadat, 1996], [Bernus, 2003]. Un plan d'action met généralement en avant les différentes dimensions de l'objectif à décomposer, dépassant le cadre de la quantité produite. Plus précisément, à l'issue de l'exécution du plan d'action, une mesure de l'état atteint est relevée et une performance « de résultat » est exprimée. Une des problématiques inhérentes à ce processus est l'expression de la performance - comme étant l'image de l'atteinte plus ou moins totale de l'objectif - durant l'évolution du plan d'action. Cette évolution du plan d'action trouve sa représentation généralement dans les trajectoires temporelles représentant l'atteinte de l'objectif, que l'on peut qualifier, par analogie, de décompositions temporelles. Tant que le plan d'action n'arrive pas à son terme, *i.e.* que les tâches correspondantes sont en cours d'exécution, seules des mesures « de processus », associées aux sous-objectifs issus des décompositions peuvent être obtenues. Ces mesures sont obtenues à des instants particuliers de l'horizon temporel du plan d'action, et renseignent progressivement de l'atteinte de l'objectif initial.

Au-delà de la description de l'étape de déclaration des objectifs, nous souhaitons montrer dans ce chapitre en quoi, dans les entreprises, le phénomène d'expression de la performance est lié à ceux de décomposition des objectifs et de déploiement des plans d'action. Nous commencerons par considérer l'expression de la performance avant d'aborder la problématique de la décomposition des objectifs. De la pratique industrielle, nous déduirons les deux types de décomposition classiquement rencontrés, à savoir la décomposition temporelle qui montre l'évolution dans le temps d'un objectif et la décomposition structurelle qui met en avant les critères impliqués dans l'atteinte de cet objectif. Notre démarche ainsi que des exemples industriels illustrent le mécanisme de décomposition. Nous conclurons par

la suite sur les spécificités requises pour l'expression de la performance et sur l'opportunité des indicateurs et systèmes d'indicateurs de performance.

2. L'expression de la performance

2.1. Caractéristiques

Trois postulats caractérisent la performance industrielle de nos jours. Initialement taylorienne, la performance est synonyme d'efficience, soit de rendement des équipements et de productivité de la Main d'Oeuvre Directe (MOD) [Taylor, 1911], [Cosmetatos, 1983], [Kanigel, 2005], [Pouget, 1998], [Le Moal, 1979]. L'indicateur fétiche est alors le *ROI* (Return On Investment) au sommet de la pyramide de Dupont, conçue au début du siècle dernier [Johnson, 1975], [Chandler, 1977]. Aujourd'hui néo-taylorienne, la performance se décline non seulement en fonction de l'efficience des moyens de production mais aussi de l'efficacité et de l'effectivité[4] (ou pertinence) des processus mis en œuvre [Jacot, 1996], [Le Moigne, 1990], [Bullock, 2006], [ECOSIP, 1990] (figure 1). L'efficacité en appelle à la qualité dans l'atteinte des objectifs. Selon J.L. Le Moigne, l'efficacité correspond au rapport quantifié entre les résultats ou les effets produits et les moyens consommés par une action. L'efficience correspond à l'optimisation de ce rapport : faire autant avec moins ou plus avec les mêmes moyens et *in fine* viser à faire plus avec moins. Plus récente, la notion d'effectivité en appelle à l'adéquation entre les objectifs fixés et les moyens utilisés dans ce sens. Davantage qualitative, l'effectivité consiste à rapporter le résultat d'une action à l'intention qui la fonde. A ce critère correspond non pas la question « combien ça coûte ? », mais la question de savoir si l'acteur a fait effectivement ce qu'il avait en projet de faire [Le Moigne, 1990].

Un système industriel est performant s'il est efficace, efficient et effectif. Partant de ce modèle économique, le deuxième postulat, corollaire du premier, relève de l'aspect multicritère de la performance. Dans la logique taylorienne, la performance est financière, pour progressivement intégrer - avec l'évolution, de la relation de l'offre à la demande, des systèmes industriels et de leur environnement -, les critères techniques de qualité et de délai [Jacot, 1990], [Ron, 1995], [Hronec, 1995], [Lebas, 1995], **[Berrah, 1997]**, [Rolstadås, 1995], [Bescos, 2000], [ECOSIP, 1990], [ISO 9000 00, 2001]. Aujourd'hui, d'autres critères

---

[4] **« Efficacité/Effectivité** : « Définition usuelle. Bien que le mot « effectivité » apparaisse dans le dictionnaire français avec la mention « rare » : « caractère de ce qui est effectif » ou en logique mathématique, caractérisant « un procédé effectif », il n'est pas encore complètement entré dans l'usage pour traduire, fort correctement, l'anglais "effectiveness". Sans doute parce que les dictionnaires français-anglais ont longtemps traduit "effectiveness" par efficacité ! Traduction qui a suscité et qui suscite encore bien des confusions car le mot efficacité traduit aussi un autre mot anglais, au sens sensiblement différent : "efficiency" (que l'on traduit parfois par « efficience » en précisant qu'il est alors synonyme d'efficacité !). Il vaut mieux actuellement demander à l'étymologie plutôt qu'à l'usage, des repères stables pour définir ces deux mots qui expriment deux dimensions différentes de l'évaluation du comportement d'un système :

Effectivité : exprime la qualité de l'adéquation entre ce que l'on fait effectivement et ce que l'on voulait faire : l'effet est rapporté à la finalité (interprétation téléologique).

Efficacité : exprime la qualité de l'adéquation entre ce que l'on a fait ou produit (le résultat) et ce que l'on a consommé ou utilisé pour le faire (la ressource). L'effet du moyen est ici rapporté à sa cause (interprétation mécaniciste ou causaliste), sans égard aux finalités du système considéré. Rendement, productivité, rentabilité, efficience, sont les modalités usuelles de description de l'efficacité selon les domaines : ingénierie, gestion, finance, économie... Les deux définitions sont en quelque sorte « orthogonales » » : l'effectivité évalue l'action par rapport à ses buts ; évaluation qui sera souvent qualitative ; alors que l'efficacité évalue le résultat de l'action par rapport à l'économie de l'action elle-même, évaluation qui pourra généralement être quantitative. Ainsi on pourra simultanément manifester une grande efficacité (consommer 5 litres au cent lors d'un déplacement en automobile) et une piètre effectivité (se retrouver à Reims alors qu'on voulait aller à Rouen !). Le risque, on le voit, est de croire que l'on évalue une performance globale (effectivité) en ne mesurant que l'efficacité. »

http://www.mcxapc.org/static.php?file=lexique.htm&menuID=lexique

viennent compléter ce triptyque, rattachés à l'innovation, au design, à l'équité, à la durabilité… [Mévellec, 1994], [Wholey, 1996], [WCED, 1987], [Sidkar, 2003], [ISO 26000, 2008], [ISO 14000, 2009], [GRI, 2011], [Brunel, 2009].

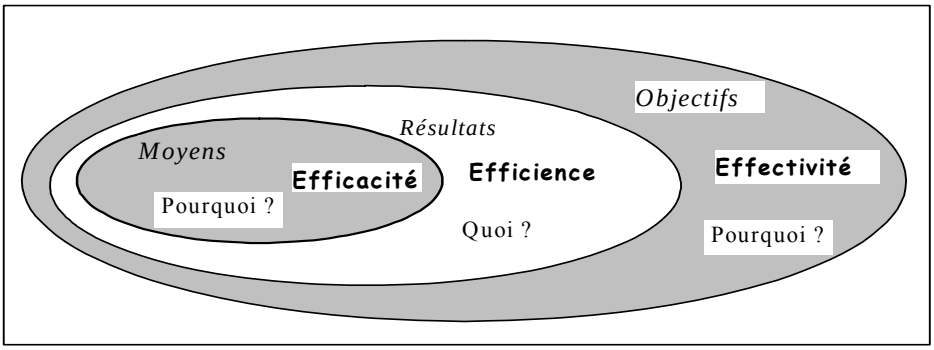

Figure 1 : Efficacité / Efficience / Effectivité (inspiré de [Jacot, 1996, p .24])

Tandis que les deux postulats précédents concernent le concept de la performance, le troisième postulat concerne son mode de pilotage. L'aspect multicritère de la performance engendre en effet une problématique d'arbitrage entre les différentes actions à mener, de par les contraintes temporelles et de ressources à prendre en compte. Ainsi, alors que la productivité taylorienne s'optimise par la maximisation continue de l'utilisation des ressources [Kanigel, 2005], la performance aujourd'hui ne peut qu'être améliorée [Deming, 1982], [Imai, 1992], car la diversité des critères impliqués dans sa définition se répercute sur les actions mises en œuvre pour l'atteindre et en fait un tout dont les éléments sont en interaction. Le pilotage de la performance est passé d'un modèle additif dans lequel la performance globale est la somme de performances locales et indépendantes [Johnson, 1975], [Chandler, 1977], à un modèle plus complexe où la performance globale ne peut être souvent qu'un compromis entre des performances locales et dépendantes [Lorino, 1996b], [Epstein, 1998], [Clivillé, 2004], [Babic, 1998], [Behzadian, 2010]. Par ailleurs, outil de calcul économique mis au point à la fin du XIXème siècle, le contrôle de gestion [Gervais, 2009], [Demeestère, 2004] a pour mission de vérifier les performances atteintes, celles-ci étant liées à des grandeurs physiques, et les seules actions possibles étant rattachées aux équipements de production mis en œuvre. En effet, outil stratégique, « *le contrôle de gestion est le processus par lequel les managers s'assurent que les ressources sont obtenues et utilisées, avec efficience et efficacement, pour atteindre les objectifs de l'organisation* » [Anthony, 1965]. Le pilotage post-taylorien [Pujo, 2002a], **[Berrah, 2002a]**, [Pujo, 2002b] complète la mission du contrôle de gestion par la recherche d'une amélioration des performances à atteindre [Giraud, 2008] [Kaplan, 1983]. Ce qui nécessite une anticipation et une réactivité aux dérives, sur la base d'un assez grand potentiel d'actions [Trentesaux, 1996], [Raviart, 2000], [Kaplan, 1998], [Jonsson, 1999], [Wiseman, 1988], [Glavan, 2013]. De synonyme d'optimisation, la performance devient synonyme d'amélioration.

2.2. Performance, plans d'action et objectifs

Autre héritage taylorien, la performance qui se décrit à travers le résultat obtenu au regard d'un objectif fixé au préalable. C'est donc une expression qui renvoie une image de l'objectif, une fois le plan d'action associé exécuté. Or, l'ensemble des évolutions précédentes a également impacté le mode d'expression de la performance. La performance lue dans les ratios financiers et les documents traditionnels du contrôle de gestion ne suffit plus. De plus, sa vocation est non seulement le contrôle des résultats atteints mais aussi leur anticipation, au travers de l'évaluation de l'impact des actions mises en oeuvre. C'est pourquoi J. Wholey

[Wholey, 1995] précise : "*An action or operation has inputs to initiate it and outputs that announce its conclusion; it has a number of different outcomes that can be categorised as different sorts of performance:*

- *performance-in-progress (intermediate outcomes),*
- *unexpected-performance (unintended outcomes),*
- *consolidated-performance (net impacts),*
- *and the performance result (end outcomes)".*

Pour piloter un plan d'action, deux types d'expression sont requis [Lorino, 1996a], [AFGI, 1992] :

- les expressions *a posteriori*, exprimées à l'issue de l'exécution du plan d'action associé à l'objectif ; de telles expressions affichent les scores atteints et permettent de vérifier et d'expliquer l'atteinte de l'objectif ;
- les expressions *a priori* ; exprimées avant la fin de l'exécution du plan d'action ; de telles expressions répondent aux besoins de réactivité et permettent de réagir pour mieux atteindre l'objectif.

La distinction « *a priori*, *a posteriori* » permet d'identifier la problématique actuelle du pilotage industriel. En effet, si toutes les relations cause-effet liées à l'atteinte d'un objectif étaient identifiées et quantifiées, le système considéré serait contrôlable et son pilotage serait analogue à la commande automatique. Mais, dans le cas général des procédés industriels, le système physique est complexe, dans la mesure où seule une partie de ces relations est identifiée. Dans ce cas, le système de pilotage génère un ou plusieurs plans d'action pour atteindre les objectifs[5]. Il faut alors prendre des décisions (choisir, trier, classer parmi un ensemble de solutions [Pomerol, 1993]) selon un processus « de décision », que H. Simon structure en quatre étapes (figure 2).

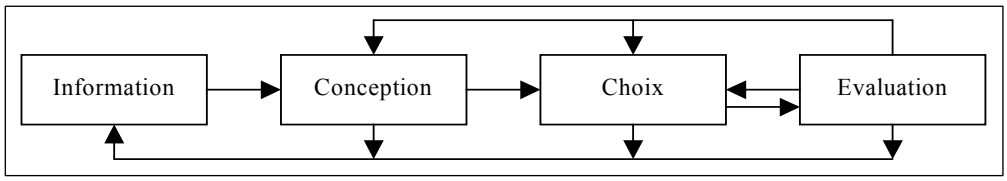

Figure 2 : Le processus de décision selon [Simon, 1977]

La complexité des plans d'action est liée à celle des objectifs, de par les variables et les niveaux décisionnels impliqués [Wilenski, 1983], [Clivillé, 2004]. Le système physique est décomposé en parties plus simples à piloter, conformément aux préceptes systémiques. Les plans d'action définis portent alors sur un faible nombre de variables, dont l'impact est plus facilement mesurable. En revanche, les actions définies à tous les niveaux et sur toutes les entités doivent être cohérentes. Reflet de cette décomposition, la « décomposition » des objectifs se fait de l'objectif le plus global, qui concerne tout le système, au plus local, soit l'entité identifiée et contrôlable [Mélèse, 1991], [Lorino, 1996a]. C'est dans ce sens que

---

[5] Rappelons qu'un plan d'action est défini comme étant : "*steps that must be taken, or activities that must be performed well, for a strategy to succeed. An action plan has three major elements:*

- *Specific tasks: what will be done and by whom.*
- *Time horizon: when will it be done.*
- *Resource Allocation: what specific funds are available for specific activities*".

http://www.businessdictionary.com/definition/action-plan.html

M. Lebas va jusqu'à considérer, dans son analyse des fonctions de mesure et de management : *"Performance is about deploying and managing well the components of the causal model(s) that lead to the timely attainment of stated objectives within constraints specific to the firm and to the situation*" [Lebas, 1995].

De ce fait, nous pouvons comprendre que le plan d'action associé à un objectif se déploie tant que les actions qui en découlent peuvent être décomplexifiées, pour avoir un sens opérationnel du point de vue considéré. En d'autres termes, le plan d'action est déployé jusqu'à ce que les actions obtenues soient simples [AFGI, 1992], *i.e.* aussi bien leur enclenchement que l'évaluation de leur impact peuvent être directs et immédiats [Bullock, 2006], [Grabisch, 2006a]. Pour les besoins de réactivité et de suivi, chaque étape du déploiement du plan d'action induit une étape de décomposition de l'objectif. Le déploiement du plan d'action et la décomposition de l'objectif seront deux opérations équivalentes, effectuées sur des univers de discours différents.

3. La notion d'objectif

3.1. Généralités

Pour satisfaire à ses critères de performance, l'entreprise se fixe une stratégie et un ensemble d'objectifs dont la déclaration est généralement le résultat d'un principe d'instanciation qui part des finalités de l'entreprise. A ce propos, rappelons les définitions proposées par J. Mélèse [Mélèse, 1991].

- Les finalités - souvent qualifiées de stratégiques - d'un organisme expriment sa raison d'être en termes économiques, éthiques et sociologiques. Elles reflètent l'idée qu'un groupe humain se fait des missions d'un système, en ce sens qu'elles ne sont pas directement opérationnelles (par exemple, rester à la pointe de la technologie, se mondialiser, être rentable).
- Les buts concrétisent les finalités en analysant les missions en composantes opérationnelles souvent qualitatives (par exemple, rester maître de tel marché). Ce sont, au sens sémantique du terme, des « *fins que l'on se propose d'atteindre* ».
- Les objectifs sont, d'un point de vue sémantique, des « *buts précis à atteindre dans un temps donné* ». Ils précisent les buts par des critères d'évaluation assortis d'un niveau à atteindre (par exemple, accroître la part de marché d'un produit de 20%, renouveler la moitié de la gamme des produits dans les 5 ans). Les objectifs se réfèrent à des plans ou normes et sont, à leur tour, déclinés en sous-objectifs. Les objectifs d'un niveau sont les moyens pour atteindre les objectifs d'un niveau supérieur. La déclinaison d'objectifs « globaux » en objectifs « élémentaires » se fait ainsi à l'aide d'un raisonnement cause-effet.

Une définition classique des objectifs se rattache à une déclinaison selon les trois horizons décisionnels [Gallois, 1990], [Giard, 2003] :

- les objectifs stratégiques concernent l'évolution de l'entreprise, ses orientations, son positionnement dans son environnement ;
- les objectifs tactiques concernent la préparation des activités industrielles, en déployant la performance par processus ;
- les objectifs opérationnels sont liés à l'activation des ressources et des processus opérants.

Plus particulièrement, les objectifs traduisent au niveau du système industriel, la stratégie et les objectifs globaux de l'entreprise. A ce titre, nous pouvons distinguer :

- les objectifs de satisfaction des clients, rattachés à la qualité du produit, au délai de sa mise à disposition ainsi qu'à l'ensemble des services associés à l'offre en général ;
- les objectifs productivistes du système de production, rattachés à l'utilisation des ressources, au flux de produit, à la consommation énergétique…
- les objectifs liés aux contraintes contextuelles, en l'occurrence actuellement la globalisation, le réchauffement climatique, la crise financière...

J.H Jacot, J.P. Micaelli et J. Gandois [Jacot, 1996] mettent l'accent sur le fait que, selon l'horizon sur lequel ils portent, la performance et les objectifs prennent des sens différents et concernent des critères différents. Dans cette logique, les auteurs proposent un « déploiement » ou une « déglobalisation » sur quatre niveaux de décision (figure 3).

niveau de décision	***niveau de performance***	***objectifs et critères usuels***	***nouveaux objectifs et critères***
Métapolitique finalité de l'entreprise	Sociétal	Performance interne de l'entreprise	Performance externe de l'entreprise
Stratégique objectifs pour le système de production	Financier	Rentabilité des capitaux	Pérennité de l'entreprise
Tactique fonctionnalités pour le système de production	Marchand/Commercial	Compétitivité prix	Compétitivité hors prix approche par processus
Opérationnel solutions techniques et organisationnelles	Physique	Productivité partielle du travail	Productivité globale

*Figure 3 : Les différents niveaux de performance (inspiré de **[Berrah, 2002b]**)*

Par ailleurs, F. Héran précise qu'un objectif se doit, de par sa définition, d'être réalisable à court ou moyen termes et conduire à des résultats tangibles. En cohérence avec la réalité du contexte industriel dans lequel les solutions ne sont plus un ensemble de nombres, l'auteur introduit la notion de « principe ». Cette notion rejoint l'idée de finalité dans le sens où, contrairement aux objectifs, un principe indique seulement une ligne d'action et est atemporel et intangible. « *Le principe est une référence idéale qui guide l'action. Par exemple, le « zéro défaut » est parfaitement irréalisable […]. Mais cela n'empêche pas de chercher à se rapprocher du « zéro défaut » […]. Les principes structurent les objectifs* » [Héran, 1990].

Insistant sur la dimension contextuelle des objectifs, R.L. Keeney distingue les objectifs « fondamentaux » des objectifs « de moyens », évoquant ainsi l'idée de la décomposition des premiers en les seconds [Keeney, 1992]. Les objectifs « de moyens » sont le moyen d'atteindre les objectifs « fondamentaux ». Selon l'auteur, un objectif n'est rien d'autre que l'état - d'une entité - que l'on souhaite atteindre. Cet état se définit par rapport à un « attribut ». L'auteur trouve des équivalences à cette notion d'attribut dans les termes : mesures d'effectivité, mesure de performance ou critère[6]. Plus précisément, le courant de pensée rattaché au domaine de l'analyse et de la décision multicritère (MCDA - Multiple

[6] "*An objective is a statement of something that one desires to achieve. … The degree of which an objective is achieved is measured by I what I refer to as an attribute. This definition of attribute is not universally used. Others have used terms such as measure of effectiveness, measure of performance, and criterion to define what I call an attribute*" [Keeney, 1992].

Criteria Decision Analysis), sur lequel nous reviendrons dans les prochains chapitres, s'est implicitement préoccupé des notions d'objectif et de performance [Grabisch, 2003], [Pomerol, 1993], [Figueira, 2005], [Bouchon-Meunier, 2003], [Roy, 1993], [Eom, 2005], [Ribeiro, 1996]. Plusieurs notions sont distinguées, notamment : l'action, l'attribut ou le descripteur, le critère, la fonction objectif. En guise illustration de la diversité du vocabulaire utilisé, citons R.A. Ribeiro : *"In general, for decision problems, the terminology is vague allowing criteria to be either attributes and/or objectives while constraints can refer to targets or goals"* [Ribeiro, 1996]. L'auteur retient pour sa part les définitions suivantes.

- "*1. Alternatives: A set of objects, products, actions, items of choice or strategies (Starr, 1977). For instance, a list of cars considered for purchase or a list of sites for a new building.*
- *2. Attributes: Each alternative is defined by a set of characteristics. These may represent physical characteristics such as weight or colour (Starr, 1977).*
- *3. Objectives: A collection of attributes selected by the decision maker to be used as a goal. For example, buying a car (objective) includes attributes such as price, maximum velocity and comfort (Starr, 1977)" [Ribeiro, 1996].*

Le modèle d'aide à la décision repose sur les conséquences qu'entraînent les différentes actions et les jugements de valeurs portés sur ces conséquences par les preneurs de décision [Roy, 1993]. Dans ce modèle, « *un attribut est une caractéristique permettant de décrire chaque action. Un critère doit permettre de mesurer les préférences du décideur vis-à-vis de chaque action, relativement à un point de vue* » [Vanderpooten, 2009]. Ainsi, un attribut est perçu comme étant une information objective sur un objet tandis qu'un critère identifie non seulement un attribut mais aussi une préférence [Grabisch, 2005a], [Meyer, 2005]. La fonction objectif, conformément aux principes de la programmation mathématique, en appelle à la grandeur à optimiser. Dans la MAUT (Multi Attribute Utility Theory) [Belton, 2002], [Grabisch, 2005a, 2005b], [Dyer, 2005], la fonction d'utilité est introduite, définie par le score d'un objet au vu d'un critère. Dans ce contexte, l'objectif n'est pas explicitement déclaré mais il est pris en compte dans l'expression des préférences des preneurs de décision. L'objectif devient un « niveau de satisfaction » espéré.

Par ailleurs, l'idée de se définir un niveau *satisfaisant* est formalisée [Bana e Costa, 1997] dans le cas où les échelles de déclaration des objectifs ne sont pas bornées (*i.e.* n'ayant pas de plus petits et de plus grands éléments). « *Le niveau satisfaisant est considéré comme bon et tout à fait acceptable même si des éléments plus attractifs peuvent exister* ». Cette définition est attestée par la théorie de la rationalité limitée de H. Simon [Simon, 1982], dans la mesure où : « *dans une situation réelle, donc complexe par essence… et souvent en information incomplète…, le décideur ou l'agent ne cherche pas à optimiser, mais à satisfaire : celui-ci choisira toute solution qui lui procure un niveau de satisfaction jugé suffisant* » [Grabisch, 2005a].

Considérant les objectifs du point de vue de l'évaluation de leur atteinte, V. Popova et A. Sharpanskykh [Popova, 2010] distinguent trois modèles d'objectifs :

- Les objectifs « atteints » (achieved goals), dont on vérifie l'atteinte à un moment spécifique ;
- Les objectifs « maintenus » (maintained goals), dont on vérifie l'atteinte sur un intervalle de temps spécifique ;
- Les objectifs « optimisés » (optimised goals), dont on vérifie l'augmentation de la performance associée sur un intervalle de temps donné.

Dans cette logique, les auteurs caractérisent les objectifs selon la manière dont leur satisfaction est établie. La satisfaction des “hard goals” peut être quantitativement établie, tandis que celle des “soft goals” est définie par des degrés sur une échelle pour le moins ordinale. Dans ces travaux attenants à la modélisation en entreprise, sont également distingués les objectifs « organisationnels » des objectifs « individuels », rattachés aux agents, avec une éventualité de conflit entre les deux sortes d’objectifs.

Nous conclurons par la définition SMART de l’objectif [Doran, 1981], soit : *Spécifique*, *Mesurable*, *Acceptable*, *Réaliste*, *Temporel*.

3.2. La déclaration des objectifs

Même si un objectif véhicule bon nombre d’informations, il est commun de le confondre avec la déclaration de la valeur espérée qui lui est associée. La déclaration des objectifs peut être vue comme le résultat d’un mécanisme de déclinaison d’un certain nombre de principes, conformément à la définition de F. Héran (§ 3.1). La détermination de ces principes aidera alors à la prise de décision quant au choix des critères, d’une part, et leur quantification, d’autre part. La prise de décision intègre de ce fait un certain nombre de paramètres, dont les plus émergents nous paraissent être l’importance du critère considéré au regard de la stratégie, le potentiel d’actions menées, le degré de contrôlabilité du système opérant (§ 2.2) et les préférences du décideur. A ce titre, M. Grabisch [Grabisch, 2005a] précise : « *En psychologie, il avait été montré que notre façon de juger, évaluer et prendre des décisions est guidée par ce qu’on appelle l’affect. Ce mot désigne la qualité spécifique de « bon » ou « mauvais », telle qu’elle est ressentie consciemment ou non, en délimitant des zones de stimuli de qualités positive et négative. De cela, on peut retenir deux conséquences essentielles :*

- *exprimer un attribut sous forme de proportion ou de pourcentage a plus d’impact que si on l’exprime de manière absolue ;*
- *le caractère bipolaire de l’affect, c’est-à-dire construit sur deux pôles opposés (bon / mauvais, positif / négatif) est central dans l’aide à la décision … La motivation pour une telle approche est que l’on peut très bien ressentir pour le même objet un sentiment positif et un sentiment négatif, sans qu’il soit possible de les fondre en un seul sentiment résultant. »*

Pragmatique dans ses définitions et dans leur application au contexte manufacturier, M. Lebas souligne, en accord avec J. Wholey [Wholey, 1996], P.L. Berger et T. Luckmann [Berger, 1996], le caractère subjectif du choix des critères de performance : “*Performance is never objective, it is only a way of defining where one wants to go… Performance of a manufacturing facility can therefore be defined by different parameters by each firm, defining it to match its strategy and vision, subject to external constraints of the market”* [Lebas, 1995].

Par ailleurs, D. Dubois et H. Prade [Dubois, 2003a] attirent notre attention sur la notion d’objectif flou, défini comme étant « *une valeur floue idéale* », ou une « *contrainte floue idéale* », ou la valeur « *la plus grande possible* ». L’idée évoquée dans ce cas concerne un ensemble de valeurs préférées ou, plausibles pour un critère, selon que la valeur de ce critère soit mal connue et non contrôlable. Dans ce cas, dans sa déclaration, le décideur se trouve face à une problématique d’incertitude quant à l’adéquation entre la valeur déclarée et « *l'utilité des conséquences ou la vraisemblance de la réalisation d'évènements* ».

En outre, selon la structure de pilotage et les modèles organisationnels adoptés par l’entreprise - holonique, coordonnée, distribuée, ou centralisée - [Mintzberg, 1982], [Titli, 1979], [Pujo, 2002b], [Malone, 1999], [Mesarovic, 1980], [Trentesaux, 1996], [Clivillé, 2004], la

déclaration des objectifs peut concerner aussi bien un seul preneur de décision qu'un ensemble d'experts, à des degrés pouvant être différents. La nuance sera dans ce cas dans l'implication respective de chacun et la prise en compte des différentes préférences pour une déclaration unanime et consensuelle.

Au vu de ces considérations, nous pouvons donc imaginer des déclarations d'objectifs plus ou moins tolérantes ou flexibles, ou au contraire exigeantes ou catégoriques **[Berrah, 2000]**. En revanche, un objectif représente une valeur, vague ou précise, que l'on est sûr de vouloir atteindre. Aussi, ne retiendrons-nous pas le cas où les déclarations peuvent être entachées d'incertitudes, du fait des ressentis des preneurs de décision et de leur degré de contrôlabilité des systèmes considérés.

3.3. Problématique de la décomposition des objectifs

Les définitions posées précédemment ne sont pas sans recouvrement. Une confusion et un abus dans la terminologie utilisée autour de la notion d'objectif (but, satisfaction, finalité, cible…) sont fréquents dans le milieu industriel. Mais ils restent sans conséquence si la procédure de déclaration des objectifs suit, selon J. Mélèse [Mélèse, 1991], la séquence suivante :

- quelle est la mission de la partie du système considéré ?
- quels critères permettraient de mesurer la réalisation de la mission ?
- quels niveaux fixer à ces critères ?

Nous considérons que la mission trouve son expression dans les objectifs stratégiques de l'entreprise. L'étape de détermination des critères rejoint le principe de déclinaison des objectifs stratégiques, globaux par essence, en objectifs plus élémentaires, conformément à la définition donnée par J. Mélèse (§ 3.1). Quant à la dernière étape, elle concerne la quantification des objectifs, soit l'association de valeurs aux critères retenus.

Signalons que dans le milieu industriel, la notion de critère est généralement employée à des niveaux décisionnels élevés tandis que celle de variable est utilisée à proximité du système opérant, en référence à l'automatique. Nous nous autoriserons l'utilisation, indifféremment, des deux termes, même si nous avons tendance à privilégier l'usage du terme « variable ».

A un niveau stratégique, les objectifs sont globaux, impliquant généralement plus d'un critère dans leur atteinte [Quezada, 2009]. A un niveau tactique, les décideurs ont besoin de procéder à la décomposition de ces objectifs. Cette décomposition fait appel à un mécanisme cognitif, dépendant fortement de l'expertise humaine [Keeney, 1992], [Eden, 1988], [Grabot, 1998], [Gomez, 2001], [Cha, 2003]. En effet, selon la connaissance que le preneur de décision a sur le contexte, la manière d'atteindre l'objectif, les incertitudes et risques associés, des approches systémiques et cybernétiques [Wiener, 1948] le font poser des raisonnements cause-effet [Forrester, 1968], [Howard, 1984], [Shachter, 1986], en réponse à la question : « quels objectifs doit-on atteindre pour atteindre l'objectif de départ ? ». Cette décomposition reste spécifique à chaque cas industriel et repose sur des outils d'analyse causale, de type diagramme d'Ishikawa et méthode des 5 pourquoi [Ohno, 1988], [Chauvel, 2000] ou QFD - Quality Function Deployment - [Chan, 2002].

La décomposition identifie l'étape de réflexion aux moyens d'atteindre les objectifs. Elle permet à la fois la fixation des valeurs à atteindre et une description détaillée des actions à mener pour parvenir à ces valeurs. Nous faisons l'hypothèse que les objectifs stratégiques globaux sont déclarés, préalablement à notre étude, dictés par la politique de l'entreprise, et allons étudier, dans les paragraphes suivants, le mécanisme de leur décomposition, pour un

système physique dont le périmètre est préalablement délimité **[Berrah, 2013]**. Pour ce faire, revenons sur l'origine industrielle de cette décomposition.

4. Notre formalisation de la pratique industrielle dans la déclaration des objectifs

4.1. Contexte

Conformément à la grille décrite précédemment (cf. figure 3), les grandes orientations de l'entreprise sont données à un niveau métapolitique. Ces orientations sont déployées en objectifs qualifiés de façon quasi-équivalente de stratégiques ou de globaux. Définis sur le long terme, les objectifs stratégiques sont multicritère et ont une transcription généralement financière. Ces objectifs synthétisent les états espérés, définis par rapport aux différents Facteurs Clés de Succès (FCS[7]) de l'entreprise.

Pour les ordonnanceurs d'affaire et les gestionnaires de projet [Esquirol, 1999], [Giard, 2003] [Gray, 2006] [Marques, 2010], se voir confier la mission d'atteindre un objectif s'accompagne d'un projet dont il est nécessaire de planifier l'évolution. Partant du fait que le projet ne peut être réalisé de manière directe et globale, le chef de projet procède à des « découpages », afin de définir :

- d'une part les variables sur lesquelles planifier les actions ou tâches à accomplir ainsi que les ressources nécessaires dans ce sens ;
- d'autre part le séquencement, *i.e.* l'enchaînement temporel des tâches pour atteindre l'objectif.

Dans une première phase de conception du projet, des représentations telles que les OBS (Organisational Breakdown Structure), les WBS (Work Breakdown Structure) et les RBS (Resource Breakdown Structure) sont utilisées pour décomplexifier l'atteinte de l'objectif en considérant :

- la structure de la décomposition de l'organisation, qui aboutit à l'ensemble des jalons et des livrables ;
- l'ensemble des tâches nécessaires à la réalisation des livrables, la durée de ces tâches ainsi que le lien entre elles ;
- l'ensemble des ressources et moyens requis.

Sur la base du modèle décisionnel et de la structure de pilotage de l'entreprise, la procédure de définition des représentations précédentes repose sur le savoir-faire et l'expérience des preneurs de décision et dépend de la nature du projet (métier, organisationnel…). Une correspondance est souvent recherchée entre des projets vécus et ceux en cours, en cohérence avec le domaine considéré (par exemple le développement de nouveaux produits, l'implantation de sites de production…). La décomposition se poursuit généralement jusqu'à ce que, à chaque tâche, une ressource soit affectée, permettant de ce fait une traçabilité du projet, d'une part, et un suivi précis des coûts, d'autre part.

---

[7] Rappelons que les Facteurs Clés de Succès (FCS ou order winners) sont des facteurs ayant « *un impact décisif sur les positions de compétitivité dans un secteur donné [...]. Le délai de livraison par exemple est un FCS dans le secteur de vente par correspondance* » [Lorino, 1996b]. On retrouve dans les FCS les paramètres de la performance « externe », caractérisant la réponse au marché. Les FCS représentent les plus grands enjeux de succès auprès de la clientèle, conditionnant, de ce fait, la compétitivité et la productivité de l'entreprise.

Dès lors que les données requises à sa mise en œuvre sont déterminées, la phase de planification du projet est mise en œuvre. Des planifications et ordonnancements, selon l'horizon décisionnel considéré, sont établis. C'est ainsi que nous parlons, à un niveau stratégique, d'approches de planification telles que le MRP pour l'élaboration des programmes de production et le calcul des besoins en production [Orlicky, 1975]. Aux niveaux tactique et opérationnel, les techniques d'ordonnancement dont l'objet est le séquencement - dans le temps - des besoins planifiés sont généralement fondées sur des méthodologies telles que le PERT - Program Evaluation and Review Techniques - [NASA, 1960], le CPM - Criticial Path Method [Kelley, 1961], la Critical Chain [Goldratt, 2002], ou des outils tels que le GANTT [Clark, 1922]. Des dates de début des tâches au plus tôt et au plus tard sont alors affectées, ainsi que des marges totales et libres. De même, en fonction des contraintes du système et du mode de production considérés, les ordonnancements admissibles sont plus ou moins optimisés en fonction notamment du temps, de l'utilisation des ressources, des incertitudes sur les données… Bon nombre de travaux sont menés dans ce sens, dont nous ne citons là que quelques exemples, à titre indicatif : [Gotha, 2004], [Dubois, 2003b], [Gordon, 2002], [Proth, 2007], [Grabot, 2001], [Dolgui, 2012], [Finke, 2009].

4.2. La décomposition des objectifs

Afin d'expliciter l'atteinte des objectifs stratégiques, les preneurs de décision procèdent à un niveau tactique à leur décomposition. « *Quand le PDG se fixe un taux de croissance de 8% de son chiffre d'affaires et une part du marché national de 60%, comment peut-on en déduire pour le contremaître d'entretien un objectif de taux de panne inférieur à 3% ?* » [Fray, 1990] Ce travail de décomposition a pour objet une mise en parallèle des états espérés avec les moyens pour les atteindre. A l'issue de cette réflexion, les plans d'action sont mis en œuvre, du niveau tactique au niveau opérationnel.

La notion de décomposition trouve des synonymes dans celles de déclinaison ou de déploiement. Dans le cadre de cette étude dédiée à l'expression de la performance technique des systèmes industriels, nous préfèrerons, pour les objectifs le terme décomposition car il réfère, selon nous, à des notions systémiques de complexité, typiques des systèmes industriels [Simon, 1969], [Bertalanffy, 1968], [Le Moigne, 1990].

Selon la complexité de l'objectif à décomposer, cette décomposition peut requérir deux étapes En accord avec la vision de R.L. Keeney (§ 3.1), La première concerne la « précisiation » de l'objectif considéré en objectifs fondamentaux. La seconde concerne la décomposition de ces objectifs en objectifs de moyens. Une nuance est de ce fait introduite dans la nature du lien de contribution entre les objectifs. Dans la décomposition de précisiation, le lien entre les objectifs est un lien de contribution à la satisfaction, dans la mesure où l'objectif est redéfini en quelque sorte en un ensemble de sous-objectifs. Dans la décomposition des moyens, le lien en est un véritablement de contribution, dans le sens où l'objectif est décomposé en fonction des actions qui correspondent à son atteinte. Cette idée est du reste défendue par V. Popova et A. Sharpanskykh [Popova, 2010], qui proposent également de distinguer les liens de satisfaction des liens de contribution. Dans cas, l'hypothèse sous-tendue est que si les objectifs d'un niveau sont satisfaits alors l'objectif du niveau supérieur le sera. Selon les auteurs, le lien de contribution n'impose pas le respect de cette condition, et est plus typique des "soft goals" (§ 3.1).

Conceptuellement, en fonction de la culture de l'entreprise, il existe deux façons de procéder à la décomposition des objectifs [Keeney, 1992] :

- une décomposition « absolue » en fonction des objectifs que l'on souhaite atteindre ;
- une décomposition « contextuelle » qui tient compte des moyens disponibles pour atteindre les objectifs.

La première approche suggère de ne se focaliser que sur les objectifs tandis que la seconde prône la prise en compte du contexte. Or, pour être atteignable, un objectif doit être notamment, réaliste (*i.e.* la valeur espérée doit appartenir au domaine des valeurs admissibles pour l'objectif) et possible (au vu des moyens disponibles). C'est pourquoi nous pensons que la décomposition d'un objectif véhicule toujours l'idée des actions possibles pour l'atteindre, même si la quantification et l'allocation précises des moyens ne sont pas toujours explicites à cette étape. Cette précision fera selon nous la différence entre les deux approches mentionnées précédemment, et sur lesquelles nous ne nous sommes pas attardés ici. En revanche, nous choisissons d'associer à tout objectif une démarche d'amélioration. Ce qui signifie que le plan d'action associé à l'objectif considéré véhicule une sémantique d'amélioration, soit une volonté de passage d'un état à un état meilleur.

Lors de leurs revues d'objectifs, les preneurs de décision se définissent des objectifs dits « conjoncturels », liés au contexte. Une mise à jour des objectifs « structurels » est par ailleurs réalisée. La distinction de ces deux types d'objectif trouve son sens dans la mesure où l'approche pour atteindre les uns et les autres sera différente. En effet, de manière récurrente, des actions sont systématiquement exécutées pour atteindre les objectifs structurels, tels les objectifs de production par exemple. La quantification des objectifs intermédiaires à atteindre ainsi que les jalons associés est directe, les variables ainsi que les actions nécessaires à l'atteinte des objectifs étant connues. Les preneurs de décision effectuent dans ce cas une décomposition « temporelle ». En revanche, les objectifs conjoncturels sont généralement des objectifs liés à l'état du système industriel dans le contexte courant, tels les objectifs liés à des taux de service sur des périodes données par exemple. Leur atteinte nécessite une réflexion sur les moyens et les actions à planifier. Les preneurs de décision procèdent alors à une explicitation de la décomposition structurelle de leurs objectifs et élaborent des graphes, généralement réduits à des **arbres d'objectifs,** qui seront le pendant des plans d'action à mettre en œuvre. Rigoureusement parlant, même si la confusion est souvent autorisée, les arbres issus de la décomposition sont des **arbres de variables**, dans la mesure où la décomposition commence par une étape préliminaire de mise en relation des différentes variables par rapport auxquelles les plans d'action sont définis. Classique dans les approches de décomplexification et d'analyse multicritère, la notion d'arbre vient mettre en avant les «dépendances hiérarchiques » entre les variables impliquées [Saaty, 1977, 2005]. La décomposition ainsi obtenue permet une vision opérationnelle des actions à mener et donc des valeurs à atteindre ainsi que des temps requis pour les atteindre. La « quantification » des objectifs s'effectue dans ce cas à travers l'arbre structurel. L'explicitation cette étape n'est du reste pas systématique, car non toujours vue comme nécessaire pour la mise en œuvre des actions à mener. La décomposition temporelle sera issue d'une synthèse de la réflexion structurelle. Elle deviendra immédiate pour les objectifs rattachés aux feuilles de l'arbre, dans la mesure où leur atteinte est directe et maîtrisée. Pour les objectifs intermédiaires, *i.e.* ceux entre la racine et les feuilles de l'arbre, nous parlerons davantage de « composition » temporelle, pratiquée si nécessaire, à partir des décompositions temporelles des niveaux inférieurs.

4.3. Décomposition temporelle

Par la décomposition temporelle, nous entendons la définition d'une trajectoire temporelle qui relie l'état du système, au moment initial d'enclenchement du plan d'action, à l'objectif fixé à

l'issue de l'exécution du plan d'action. Cette trajectoire peut être construite de plusieurs manières. Le plus généralement, à des fins de pilotage, les preneurs de décision entendent de fixer des objectifs intermédiaires auxquels des jalons sont associés. Ces jalons relèvent du moyen terme. Définis en fonction de contraintes pouvant être internes - notamment le début et/ou l'achèvement d'une partie du plan d'action défini - ou externes - par exemple, les exigences des clients - au système. Les objectifs intermédiaires identifient des valeurs à atteindre aux différents jalons. Souvent, il arrive que le preneur de décision analyse une évolution tendancielle de son objectif. Implicitement, il pose à cet effet que l'objectif à atteindre représente une sorte de quantité cumulée, à atteindre à la fin de l'horizon temporel fixé, et à déployer pour ce faire le long de cet horizon. Cette logique de cumul est cohérente au vu de la nature de certaines des variables impliquées dans les processus industriels, à savoir des volumes, des délais et des coûts. A ce niveau, la logique d'amélioration dans laquelle l'atteinte de l'objectif s'inscrit intervient pour fixer les variations entre les valeurs intermédiaires. En particulier, selon que l'objectif soit lié à une logique de maîtrise ou à une logique de progrès [Collectif, 1997], ces variations sont respectivement nulles ou positives. Dans le premier cas, les valeurs associées aux objectifs composant l'objectif à atteindre sont constantes. Dans le second cas, les valeurs sont différentes, à variation constante ou variable, selon les actions menées pour les atteindre.

Outre cette approche de construction, il peut arriver que le preneur de décision adopte une approche globale et procède en premier lieu à une représentation de la trajectoire que son objectif doit parcourir pour être atteint. Une fois la trajectoire donnée, les jalons sont fixés et une correspondance peut être réalisée entre les instants retenus et les objectifs induits. Ce cas est généralement rencontré lorsque le chemin emprunté pour l'atteinte de l'objectif n'est pas considéré comme impactant au niveau du pilotage. Cette approche peut correspondre à des objectifs prioritaires, *i.e.* les objectifs sont définis en faisant abstraction des moyens nécessaires pour les atteindre, conformément aux deux écoles précédemment résumées par R.L. Keeney (§ 4.2).

En guise d'illustration, la figure 4 donne un exemple de décomposition temporelle d'un objectif structurel, tactique, de production (les quantités sont en ordonnée et le temps est en abscisse).

Figure 4 : Décomposition temporelle de l'objectif rattaché à la quantité produite chez Pfeiffer / Adixen

Des images précédentes nous pouvons voir que, au-delà de la trajectoire de l'objectif - illustrée par un trait fort - un état « idéal » est représenté en trait pointillé. Il identifie les états

espérés dans des conditions idéales pour le système considéré. Dans le cas de notre exemple, cet idéal identifie les quantités à produire pour qu'il n'y ait plus de retard de production[8]. Par ailleurs, la mesure de l'état atteint est reportée périodiquement - quotidiennement dans l'exemple -, le résultat obtenu étant marqué par une croix rouge ou verte. Si, en cumul, le résultat est inférieur à la valeur attendue de l'objectif, la performance n'est pas totale (une croix rouge est utilisée). Si le résultat cumulé est supérieur à la valeur attendue, l'état espéré est dépassé (une croix verte est utilisée). De plus, si nous continuons à observer les images de la figure 4, nous pouvons voir que la partie basse de la décomposition temporelle sert à expliquer éventuellement l'état atteint, dans le cas où le recours à une analyse structurelle serait nécessaire. Dans l'exemple, une quantité produite inférieure à celle espérée peut s'expliquer par de mauvaises performances au regard de variables telles que la matière première (rupture d'approvisionnements), les machines (problèmes techniques)…

Signalons également un autre cas qui peut être celui d'identifier la trajectoire temporelle de l'objectif à celle relative au plan d'action associé. Cette trajectoire peut être discrète ou continue, induite par le processus physique associé à l'objectif. C'est le cas des chaînes agro-alimentaires en l'occurrence **[Mauris, 2003]**.

Notons enfin que, pour un processus discret, typique des productions manufacturières par exemple, la trajectoire devrait être discrète. Or, il arrive fréquemment que le preneur de décision réalise des interpolations entre deux jalons, projetant un état espéré à un instant, qui tienne compte du passé et de l'évolution attendue. Enfin, la linéarité de la trajectoire est souvent retenue pour des raisons de simplicité.

4.4. Décomposition structurelle

Un autre type de décomposition d'objectifs peut également être effectué, en fonction de la complexité de leur atteinte ou de la longueur de l'horizon temporel qui peut drainer des incertitudes. A. chaque FCS considéré, une décomposition en Facteurs Clés de Performance (FCP[9]) est associée, permettant de faire le lien entre les objectifs stratégiques et le système opérant de l'entreprise. Cette décomposition est qualifiée dans ce sens de « structurelle ». Elle se présente dans la majorité des cas sous la forme d'un arbre, dont :

- la racine est l'objectif stratégique ;
- la profondeur identifie le nombre de niveaux considérés ;
- les nœuds identifient les différents sous-objectifs ;
- Les arcs véhiculent le lien entre les objectifs du niveau inférieur à l'objectif du niveau supérieur, soit l'action ou l'ensemble des actions menées pour atteindre l'objectif père ;
- les feuilles identifient les objectifs que le preneur de décision ne décompose plus. Ce seront les objectifs élémentaires.

Le caractère élémentaire ou global des objectifs est relatif, fortement lié au domaine de visibilité que le preneur de décision a du système considéré. Cette notion est assez en accord avec le principe de décomposition des processus en activités ou des fonctions en centres de

---

[8] Notons que le retard de production n'est pas le retard client dans ce cas, puisque les produits sont mis en production deux semaines avant l'expédition au client.

[9] Rappelons que les Facteurs Clés de Performance (FCP ou order qualifiers) sont les paramètres de performance « interne ». Ils traduisent, selon l'AFGI [AFGI, 1992], les FCS « *au niveau des processus majeurs de l'entreprise (conception / industrialisation - approvisionnement - production - vente / marketing - après-vente, ...)* ». Ce sont les « *objectifs de performance interne généralement non perçus par le client* » tels que la rentabilité des produits, la disponibilité des équipements, la qualité des conditions de travail, l'implication du personnel dans les actions de productivité...

décision (au sens des modèles d'entreprise tels que CIMOSA, GRAI, GIM [Vernadat, 1996]). En outre, il nous semble intéressant de sommairement observer une équivalence entre ces considérations et la vision défendue dans le courant de la modélisation d'entreprise. En effet, l'entreprise, tout ou partie, peut être appréhendée selon plusieurs points de vue. Dans leur approche de modélisation organisationnelle des indicateurs de performance, V. Popova et A. Sharpanskykh [Popova, 2010] proposent les aspects « organisation », « processus », « agents » et « performance ». L'idée est de considérer que l'atteinte d'un objectif requiert l'exécution de tâches par des agents, puis vient l'expression de la performance par les indicateurs. La problématique de la décomposition des objectifs se retrouve ainsi caractéristique du point de vue « performance » du système physique considéré, et est en lien avec l'organisation de ce système, à savoir la structure organisationnelle des tâches et des fonctionnalités. Cette problématique est aussi en interaction avec les agents impliqués, de par leurs rôles et leurs objectifs individuels ainsi que les processus, de par les différents flux circulants.

Aux FCP retenus, devenus les variables d'« action » pour l'objectif considéré [Lorino, 1996a], est alors associée une quantification qui fournira l'ensemble des objectifs tactiques puis opérationnels.

La figure 5 donne un exemple de décomposition structurelle autour de deux objectifs majeurs de l'entreprise Bosch Rexroth. L'arbre obtenu traduit l'expertise du preneur de décision telle qu'elle a été donnée.

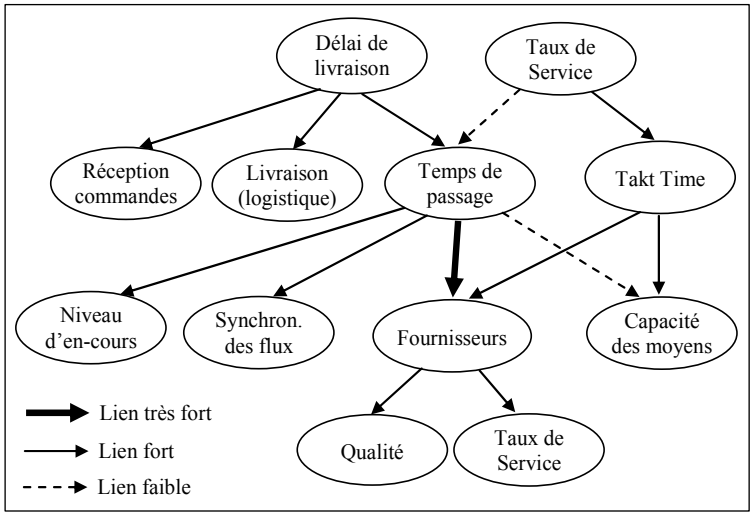

Figure 5 : Un exemple de décomposition structurelle chez Bosch Rexroth

Le choix d'une représentation de la décomposition des objectifs par un arbre paraît assez naturelle, et reste la pratique la plus usuelle [Berge, 1973], [Von Witerfeldt, 1986], [Van Gigh, 1991], [Grabot, 1998], [Saaty, 2000]. Mais, à des niveaux décisionnels généralement non opérationnels, les preneurs de décision considèrent simultanément plusieurs objectifs. L'atteinte de ces objectifs nécessite souvent la mise en œuvre d'un ou plusieurs plans d'action, présentant des variables communes. Cette mise en commun des variables explique à son tour la mise en commun des sous-objectifs associés. Dans un souci de cohérence avec la représentation choisie, les figures 6a et 6b reprennent la décomposition donnée figure 5 pour la décrire à travers 2 graphes distincts.

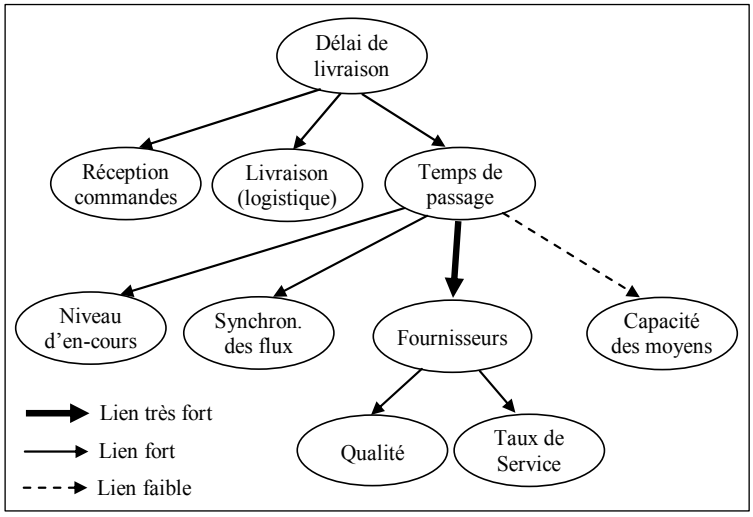

Figure 6a : La décomposition structurelle du délai de livraison chez Bosch Rexroth

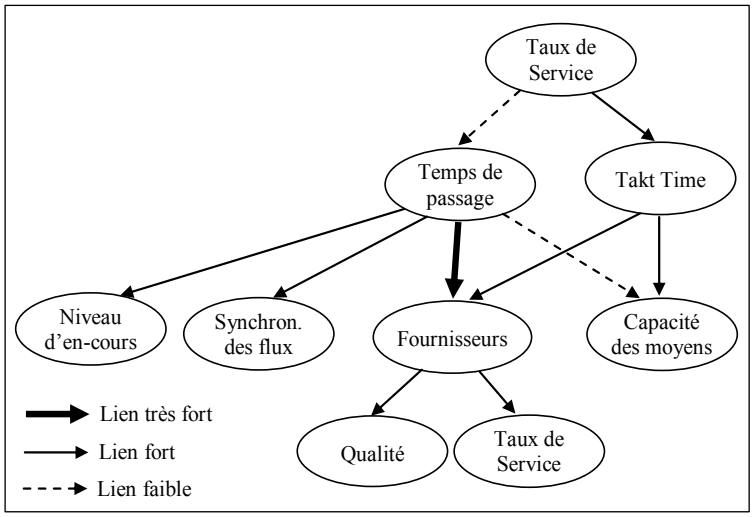

Figure 6b : La décomposition structurelle du taux de service chez Bosch Rexroth

A proprement parler, la décomposition s'apparente à une structure de graphe orienté acyclique. Les objectifs « pères » (*i.e.* à décomposer) - soit la racine dans le cas d'un arbre - sont les sommets dont le degré entrant est égal à 0. Dans un souci de clarté et de simplification, nous continuerons de considérer la notion d'arbre, à laquelle il est relativement aisé de se rapporter dans la majorité des cas.

Rappelons que la décomposition de l'objectif se fait sur autant de niveaux que n'en nécessite son atteinte soit le déploiement du plan d'action qui lui est associé. Le nombre de niveaux dépendra de ce fait de la complexité des actions mises en œuvre. La décomposition s'effectuera jusqu'à l'obtention d'actions simples, soit sur des variables qualifiées de ce fait de simples (§ 2.2). A ces variables simples correspondent les objectifs élémentaires. Dans ce cas, l'impact de l'action menée sur l'atteinte de l'objectif élémentaire associé est quantifiable. Une performance peut être directement exprimée.

4.5. Discussion

Comme nous l'avons évoqué précédemment, les propos de la décomposition temporelle et ceux de la décomposition structurelle sont différents et complémentaires en termes de pilotage. La décomposition temporelle permet la vérification à un premier niveau de l'efficacité du plan

d'action et donc de l'atteinte de l'objectif considéré. La décomposition structurelle accompagne la définition du plan d'action, et permet de ce fait le diagnostic et l'explication des résultats atteints. Dans ce sens, la pratique industrielle veut une combinaison des deux types de décomposition. Le preneur de décision procède, selon le cas, en premier lieu à une décomposition structurelle, à laquelle il greffera, si nécessaire, pour chaque objectif, une décomposition ou une composition temporelle.

En résumé, la pratique industrielle donne à un objectif plusieurs déclarations possibles, selon l'horizon décisionnel et la logique de pilotage considérés :

- une déclaration « directe », synthétique, sur un critère unique ;
- une déclaration « indirecte », par une trajectoire temporelle ;
- une déclaration « indirecte », multicritère (ou multi objectifs), par un arbre.

A la lumière de la précédente description, nous allons revenir dans ce qui suit sur les particularités des deux types de décomposition utilisés **[Berrah, 2013].** Nous considérerons, dans ce sens, le cas le plus englobant de la décomposition qui requiert une décomposition structurelle ainsi qu'une décomposition temporelle de l'objectif considéré. Notre formalisation continue d'être illustrée par des exemples vécus chez nos partenaires industriels.

5. Notre formalisation de la déclaration des objectifs

5.1. Définitions préliminaires

Nous pouvons essentiellement retenir que l'objectif est une entité complexe dont nous pouvons distinguer l'identification de la variable ou critère en premier lieu, puis l'association d'une valeur à atteindre, à l'issue d'un horizon temporel fixé, soit la déclaration à proprement parler. De plus, les objectifs se réfèrent à des plans et sont, à leur tour, déclinés en sous-objectifs, selon la complexité rattachée à leur atteinte. Aussi bien la définition du critère que l'association de la valeur seront le résultat de réflexions menées dans le cadre de la définition du plan d'action associé à l'objectif considéré. Le mécanisme cognitif rattaché à la décomposition dans sa forme la plus simple se traduit par la définition d'une variable, pour un niveau donné, à laquelle une action puis une valeur (ou inversement selon l'école considérée (cf. § 4.2)) sont associés. Ce mécanisme est répété récursivement jusqu'aux objectifs élémentaires. Quand il est considéré au travers de l'horizon temporel qui lui correspond, l'objectif peut être décliné en objectifs intermédiaires, associés à des jalons venant décomposer l'horizon temporel. Le résultat est alors une trajectoire temporelle.

Définition 1 : Un objectif se caractérise par la déclaration d'une valeur ou d'un ensemble de valeurs espérée(s) associée(s) à une variable. A tout objectif est associé un univers de discours qui précise les attributs permettant la « précisiation » de sa déclaration.

En effet, nous pouvons à ce niveau évoquer la notion de « précisiation », introduite par L. Zadeh [Zadeh, 1996]. Dans ses travaux sur le « Computing with words », l'auteur justifie ce concept par une volonté d'explicitation des expressions initialement déclarées en langage naturel. L'idée est alors de recourir à un ensemble de fonctions traduisant les différentes facettes de l'expression déclarée en langage naturel. Cette notion trouve une illustration dans la précision des paramètres inhérents à l'objectif, regroupés dans l'univers de discours associé.

Propriété 1 : L'univers de discours d'un objectif comprend au moins les attributs suivants :

- *la variable à laquelle la valeur espérée est associée ;*
- *un domaine de valeurs admissibles ;*

- *une unité d'expression ;*
- *une date de déclaration, qui correspond à la date à laquelle l'objectif est défini.*

Propriété 2 : Un plan d'action est associé à un objectif stratégique[10]*. Sans prétendre à l'exhaustivité, nous appréhendons le concept à travers les paramètres suivants, obtenus successivement :*

- *l'objectif stratégique à atteindre ;*
- *un horizon temporel associé à l'exécution du plan d'action en vue d'atteindre la valeur espérée de l'objectif stratégique ;*
- *un arbre de variables associé à la variable stratégique, i.e. la variable par rapport à laquelle la valeur espérée de l'objectif est déclarée ;*
- *une ou plusieurs actions, associées aux différentes variables, définies en vue d'atteindre la valeur de l'objectif stratégique ;*
- *une valeur espérée résultant de la déclaration de l'objectif associé à chaque variable ;*
- *un ensemble de jalons découpant l'horizon temporel associé à l'atteinte de chaque valeur espérée associée à chaque variable de l'arbre, cet horizon temporel étant compris dans l'horizon temporel du plan d'action ;*
- *une mesure associée à l'atteinte de la valeur espérée, associée à chaque variable ;*
- *une expression de performance associée à l'atteinte de la valeur espérée, associée à chaque variable ;*
- *une trajectoire temporelle associée à chaque objectif.*

Afin d'avoir un formalisme homogène et en cohérence avec les définitions rencontrées dans la littérature (§ 3.2), nous avons choisi d'appréhender les attributs de l'objectif à travers des applications construites sur l'ensemble $\mathcal{V}$ des variables du système considéré. Par exemple, soit une variable v de $\mathcal{V}$ associée à l'objectif considéré. Nous supposerons possible de construire une application u telle que $u(v)$ soit l'unité associée à v ou des applications $T_{initial}$ et T_{final} telles que $T_{inital}(v)$ et $T_{final}(v)$ correspondent respectivement au début et à la fin de l'horizon temporel associé à l'exécution du plan d'action correspondant.

Définition 2 : Soit $\mathcal{V}$ l'ensemble des variables du système considéré. Soit un couple (v,t) avec $v \in V$ et $t \leq T_{final}(v)$ une date d'instant de l'horizon temporel. On appellera quantification l'application q telle que $q(v,t)$ soit la valeur espérée de la variable v à la date t.

Comme dans la pratique courante, l'objectif et sa valeur espérée sont souvent confondus :

Définition 3 : Soit $\mathcal{V}$ l'ensemble des variables du système considéré. On notera o l'application telle que $o(v) = q(v,T_{final}(v))$ avec $v \in V$.

Par abus de langage, $o(v)$ sera l'objectif associé à la variable v.

5.2. Aspects méthodologiques liés à la décomposition structurelle

Nous avons opté dans nos travaux pour l'approche qui prône de déclarer les objectifs puis d'associer les actions pour les atteindre. Nous considérons que l'étape de précisiation de l'objectif global s'effectue dans le cadre de l'élaboration du plan d'action. Le résultat de la décomposition structurelle est une représentation arborescente des variables, à laquelle se jouxtent, dans l'étape de déclaration, les valeurs espérées et les actions associées. Ayant émis

[10] Dans un souci de simplification, nous faisons l'hypothèse qu'un seul plan d'action est associé à un objectif stratégique.

l'hypothèse de n'associer un plan d'action qu'à des objectifs stratégiques, la décomposition structurelle concerne, dans notre approche, les objectifs stratégiques.

Définition 4 : Un objectif stratégique se caractérise par un arbre d'objectifs, obtenu par sa décomposition, conformément au plan d'action associé.

Propriété 3 : Un objectif stratégique est global, i.e. il peut être structurellement décomposé. Les objectifs issus de la décomposition sont les sous-objectifs. Le sous-objectif d'un objectif est un objectif « local » ; « partiel » ou « élémentaire » au regard de l'objectif global dont il est issu.

Nous identifions la notion de sous-objectif aussi bien à l'objectif issu d'une réflexion de satisfaction qu'à l'objectif issu d'une de moyens (cf. § 4.2). La notion de sous-objectif peut trouver des synonymes dans celle d'objectif local en référence au modèle taylorien, dans lequel l'objectif global de productivité se décomposait localement, au regard de l'ensemble des équipements de production. La notion d'objectif partiel trouve, quant à elle, un écho dans le domaine de l'aide à la décision, en référence à une modèle d'expression d'un score global, multicritère, à partir de scores partiels, monocritères. Par ailleurs, relative, l'idée d'objectif élémentaire en appelle à la fin du processus de décomposition de l'objectif global, aboutissant aux déclarations les plus simples des sous-objectifs.

Définition 5 : Un objectif est élémentaire s'il est possible de calculer la performance par comparaison de sa valeur à une mesure. L'existence d'un tel objectif termine la décomposition structurelle d'un objectif en sous-objectifs ou, dit autrement, un objectif élémentaire est associé à une variable simple et est une feuille de l'arbre associé à la décomposition structurelle.

Dans le cadre de la thèse de Vincent Clivillé [Clivillé, 2004], nous avons analysé la manière d'obtenir l'arbre des variables. Les idées essentielles d'élaboration de l'arbre des variables ont été reprises et reformulées de manière plus approfondie, par notre équipe **[Berrah, 2013]**. Le principe de construction d'un arbre se fonde sur une première étape, récursive, de hiérarchisation des variables. Sur la base de l'arbre général obtenu, des opérations de sélection de variables puis de quantification sont introduites. La sélection utilise l'importance des contributions de chaque variable à l'atteinte de l'objectif stratégique pour n'en retenir que celles effectives et éliminer les autres. Elle conduit à un arbre restreint. Ce choix est fait par le pilotage en fonction du contexte. En fonction de la valeur de l'objectif stratégique, l'étape de quantification associe à l'arbre des variables un arbre d'objectifs (au sens de la quantification des valeurs), en fixant une valeur espérée à chaque variable de l'arbre. Les opérations sur les objectifs peuvent alors se représenter par composition de fonctions.

Définition 6 : La racine de l'arbre associé à un objectif stratégique sera appelée variable stratégique. L'ensemble des variables stratégiques[11] *du système considéré sera noté $\mathcal{V}s$, sous-ensemble de $\mathcal{V}$.*

5.3. Aspects méthodologiques liés à la décomposition temporelle

Tout objectif a une facette temporelle, *i.e.* une expression temporelle le long d'un horizon donné. En effet, soit un plan d'action ω. ω est défini, pour un système considéré, pour atteindre un objectif stratégique déclaré sur une variable v_s. A cette atteinte est associé un

[11] Rappelons que dans notre étude, dans un souci de simplicité, nous avions émis l'hypothèse qu'un seul objectif stratégique - et donc une seule variable stratégique étaient considérés, pour un système donné.

horizon temporel $\left[T_{initial}(v_s), T_{final}(v_s)\right]$ identifiant ainsi la durée nécessaire au plan d'action pour s'exécuter. $T_{initial}(v_s)$ et $T_{final}(v_s)$ caractérisent respectivement la date de début et la date d'échéance de ω. Conformément à la définition 3 (§ 5.1), l'objectif sera noté $o(v_s) = q(v_s, T_{final}(v_s))$[12].

Le pilotage a pour mission d'atteindre totalement ou au mieux $o(v_s)$. Dans un souci de réactivité, les preneurs de décision cherchent des informations sur l'évolution de la mise en œuvre de ω, et ce, à une date quelconque t, et en particulier à différents jalons. Le choix des jalons dépend de la politique de pilotage, correspondant éventuellement à la fin de la mise en œuvre de certaines actions de ω. En d'autres termes, le preneur de décision doit disposer, aux jalons qu'il se définit, d'expressions relatives à l'atteinte de $o(v_s)$, étant à même ainsi de mesurer, l'efficacité de ω d'une part, et l'adéquation des actions menées avec $o(v_s)$ d'autre part.

Définition 7 : Soit un plan d'action ω. Soit $\mathcal{V}$ l'ensemble des variables du système considéré et $v \in V$. On notera $t_i(v)$ le $i^{ème}$ jalon de l'horizon temporel associé à ω, avec $t_i^v, T_{intial}(v) \leq t_i(v) \leq T_{final}(v)$ $i = \overline{1,n}$.

Propriété 4 : La déclaration de tout objectif est temporelle. A une date d'instant de l'horizon temporel considéré, cette déclaration est instantanée, ne concernant que la valeur à atteindre à cette date d'instant.

Définition 8 : Soit un objectif $o(v)$. On appellera objectif intermédiaire, au regard de $o(v)$, la valeur $o_i(v) = q(v, t_i(v))$.

L'horizon temporel de ω est décomposé en un nombre de jalons $t_i(v_s), T_{intial}(v_s) \leq t_i(v_s) \leq T_{final}(v_s)$ $i = \overline{1,n}$, de sorte qu'à chaque jalon $t_i(v_s)$, un objectif $o_i(v_s) = q(v_s, t_i(v_s))$ soit associé ; avec $o_n(v_s) = o(v_s)$. Ainsi, à $T_{final}(v_s)$ au plus tard, nous retrouvons la valeur $o(v_s)$. L'intervalle $\left[t_{i-1}(v_s), t_i(v_s)\right]$ $i = \overline{1,n}$ correspond à l'horizon associé à l'action (ou ensemble d'actions) menée pour atteindre l'objectif $o_i(v_s)$ depuis l'état atteint, conformément à $o_{i-1}(v_s)$. Dans cette logique, un objectif est décomposable sur l'ensemble des jalons. Le résultat de la décomposition est une trajectoire, continue ou discrète.

Propriété 5 : La trajectoire temporelle associée à un objectif peut s'obtenir de deux façons notamment, selon le positionnement de l'objectif dans l'arbre :

- *à partir d'une déclaration directe des valeurs espérées des objectifs instantanés associés aux différents jalons découpant l'horizon temporel, dans le cas des feuilles de l'arbre ; on parlera de « décomposition temporelle » ;*
- *par construction, indirectement, sur la base d'une agrégation des données relatives aux objectifs - jalons et valeurs espérées - des niveaux inférieurs, dans le cas contraire ; on parlera de « composition temporelle ».*

5.4. Vers une démarche de décomposition des objectifs

Nous pouvons résumer les considérations précédentes en les points suivants.

---

[12] Lorsque aucune confusion ne sera possible, nous utiliserons la notation simplifiée o.

- A $t = T_{initial}(v_s)$, date initiale, la mise en œuvre de ω est initialisée, l'atteinte de $o(v_s)$ n'est pas considérée.
- A $t = T_{final}(v_s)$, la mise en œuvre de ω est achevée et $o(v_s)$ devrait être atteint.
- A $t, T_{initial}(v_s) \leq t \leq T_{final}(v_s)$, la mise en œuvre de ω est en cours, et l'atteinte de $o(v_s)$ est partielle.

Face à un objectif $o(v_s)$ à décomposer, le preneur de décision procède différemment, selon son degré d'incertitude quant au plan d'action ω à mettre en œuvre. Nous distinguons deux cas[13].

5.4.1. Cas 1 : le preneur de décision a une totale connaissance de ω

C'est souvent le cas pour les objectifs structurels. Souvent, seule la décomposition temporelle est envisagée. Ce cas trouve une illustration dans l'exemple, rattaché à la production, décrit précédemment (cf. figure 4).

5.4.2. Cas 2 : le preneur de décision a une connaissance incomplète de ω

Ce cas se rencontre pour les objectifs conjoncturels. Le preneur de décision procède généralement à une décomposition structurelle qui lui permet, en fonction des variables impliquées, de quantifier les valeurs à atteindre ainsi que les horizons associés. Dans ce cas, il est deux manières d'envisager la décomposition structurelle.

5.4.2.1. Approche descendante (top down) de la décomposition structurelle

Partant de $o(v_s)$ et sur la base d'une idée imprécise des moyens à retenir, le preneur de décision définit en cohérence, niveau par niveau, les actions à réaliser ainsi que les variables impliquées. Des valeurs ainsi que des horizons temporels sont alors associées à ces variables. La décomposition se poursuit jusqu'au niveau où, si possible, les variables sont simples, ne pouvant être décomposées davantage du point de vue considéré. La décomposition se poursuit généralement tant que les impacts des actions ne sont pas connus, *i.e.* jusqu'à être certain quant aux valeurs prises par les variables d'action. La décomposition s'achève dès lors que l'impact de l'action sur l'atteinte de l'objectif associé est mesuré directement (§ 2.2). La figure 7 ci-après illustre ce cas, sur la base de la décomposition décrite figure 5, en se focalisant, dans un souci de simplicité sur l'objectif rattaché au *temps de passage*.

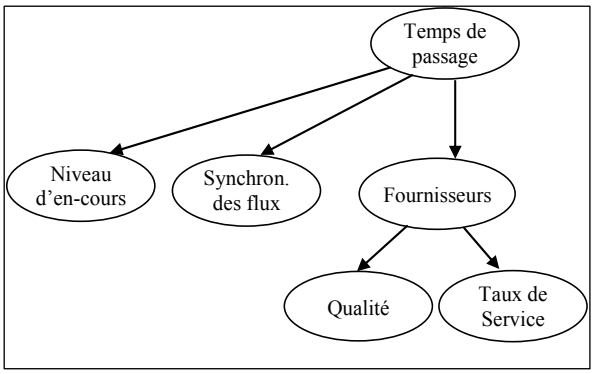

Figure 7 : L'arbre des variables rattachées au temps de passage chez Bosch Rexroth

[13] Nous supposons l'objectif global ainsi que l'horizon temporel qui lui est associé précisément connus. Une combinaison des deux cas n'est pas envisagée dans ces travaux.

Le tableau 1 ci-après résume l'intitulé des actions à mener ainsi que les quantifications et horizons temporels associés aux objectifs. A ce niveau illustratif, nous nous contenterons de donner la valeur espérée dans l'unité choisie par l'entreprise, sans préciser pour autant l'intégralité de l'univers de discours de l'objectif.

Variable	**Action**	**Valeur espérée**	**Horizon temporel**
Temps de passage	Bosch Production System	$o(temps\ de\ passage) = 3\,jours$	[2002, 2010]
Niveau d'en-cours	Fusion de « pré-montage » et de « montage »	$o(niveau\ d'en-cours) = 1\,jour$	[2006,2009]
Synchronisation des flux	Implantation	$o(synchronisation\ des\ flux) = 1\,jour\ de\ décalage$	[2008, 2010]
Qualité Fournisseurs	Externe	$o(qualité\ fournisseurs) = 500\,ppm$	[2002, 2007]
Service Fournisseurs	Planification des besoins	$o(service\ fournisseurs) = 100\%$	[2007, 2010]

Tableau 1 : Quantification des sous-objectifs rattachés au temps de passage

Conformément aux préceptes de gestion de projet (§ 4.1), l'énoncé de l'ensemble des actions doit permettre de configurer le processus associé. Il est alors possible de « composer » la trajectoire temporelle associée à $o(v_s)$ en identifiant par exemple, pour un objectif de l'arbre, les jalons aux différents horizons temporels des sous-objectifs qui lui sont associés, et en associant à chaque jalon une « agrégation » des valeurs espérées des différents sous-objectifs. Notons que la construction de la trajectoire est un exercice délicat qui repose sur la connaissance humaine, et qui peut se faire sur la base de la connaissance de quelques couples de valeurs d'objectifs et de dates [**Clivillé, 2012b**]. Un autre aspect dont la prise en compte peut être difficile concerne l'effet éventuel de la combinaison de plusieurs actions, et qui reste aujourd'hui une problématique essentielle du pilotage [Felix, 1994], [**Montmain, 2010**], que nous avons peu abordée et qui mériterait d'être approfondie.

La figure 8 donne la trajectoire temporelle correspondant à l'objectif rattaché au *temps de passage*. Le preneur de décision a choisi une trajectoire linéaire, supposant une progression régulière vers l'objectif avec des états intermédiaires, estimés en fonction des actions menées : ((2005, 13j) ; (2008,7j)). D'un temps de passage mesuré à 19jours en 2002, une trajectoire mène vers 3jours en 2010.

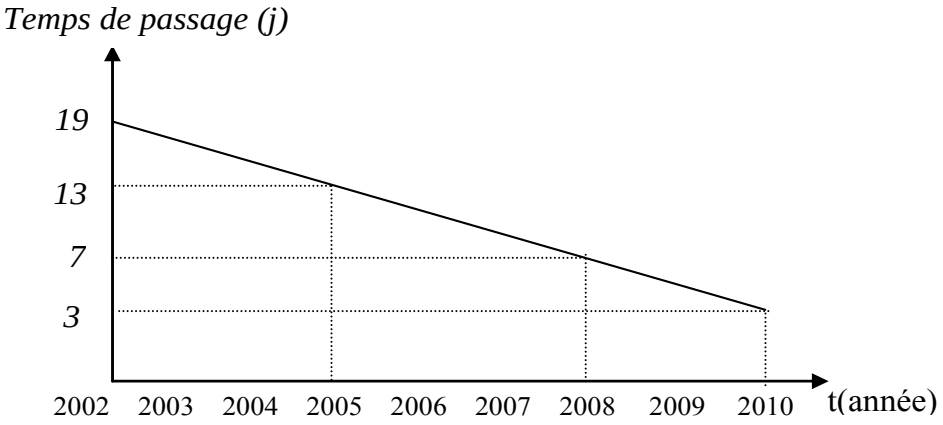

Figure 8 : La construction temporelle rattachée au temps de passage chez Bosch Rexroth

Nous pouvons constater à travers cet exemple que, bien que le processus rattaché à la diminution du temps de passage soit constitué d'activités discrètes, la trajectoire est tracée en continu (§ 4.3). Les interpolations réalisées transforment en quelque sorte des jalons discrets en continus, permettant de ce fait une analyse plus fine de l'évolution de l'atteinte de l'objectif. Ces interpolations ne sont possibles que dans le cas où elles ont un sens pour le preneur de décision.

La décomposition temporelle des objectifs du niveau le plus bas est directement obtenue par savoir-faire, conformément à l'approche décrite § 5.2.1. A ce titre, la figure 9 donne l'exemple de décomposition temporelle de l'objectif rattaché au *taux de service des fournisseurs*.

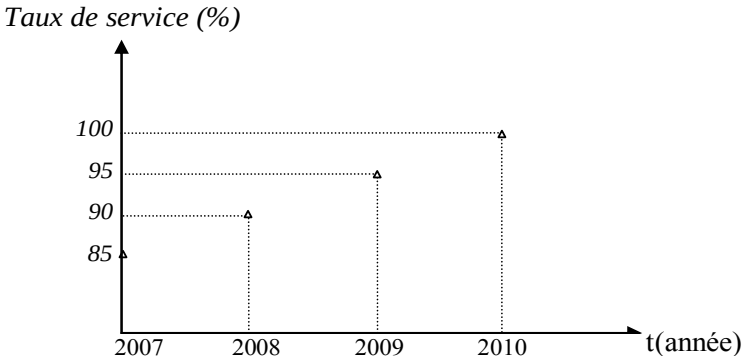

Figure 9 : La décomposition temporelle rattachée au taux de service fournisseurs chez Bosch Rexroth

5.4.2.2. Approche ascendante (bottom up) de la décomposition structurelle

Le recours à une approche ascendante de la décomposition structurelle a lieu dans le cas où l'incertitude sur la définition du plan d'action est la plus grande.

Le preneur de décision procède alors à l'élaboration de l'arbre des variables sur lesquelles il est possible d'agir pour atteindre $o(v_s)$. L'ensemble des actions possibles sur les variables considérées est envisagé, sans prétendre à l'exhaustivité, sur la base de savoir-faire (brainstorming par exemple), d'expériences similaires passées, pouvant être éventuellement capitalisées (annuaire des actions Lean par exemple). Sur la base de l'arbre précédent, un sous-arbre est retenu en cohérence avec les actions potentielles associées. Le modèle retenu signifie que l'atteinte des objectifs du sous-arbre est suffisante pour atteindre l'objectif global.

Ainsi, du niveau le plus bas au niveau le plus haut (*i.e.* celui de $o(v_s)$), à chaque variable, sont associés, une valeur espérée ainsi qu'un horizon temporel. Cet horizon temporel respectera le calendrier propre de l'entreprise proposant des horizons le plus souvent hebdomadaires, trimestriels et annuels. Pour l'objectif nœud, sont déduits de ce fait d'une part un horizon temporel au moins égal au plus grand horizon des sous-objectifs qui le composent, et d'autre part, une valeur espérée qui sera le résultat de l'« agrégation » des valeurs des sous-objectifs. Il peut arriver que cet objectif « agrégé » reste implicite, déclaré comme étant un multi objectif, « union » des sous-objectifs qui le composent. De même que précédemment, les jalons de l'objectif nœud peuvent être les horizons temporels des objectifs feuilles.

A titre d'illustration, considérons le cas du cuisiniste Fournier qui s'est défini, depuis 2009 un objectif d'augmentation de son *chiffre d'affaires* de progressivement 10% en 2010 et 10% en 2011. En effet, principalement centrée sur le triptyque coût - qualité - délai jusqu'à la conjoncture liée à la crise économique de 2008, l'entreprise sait nécessaire de se tourner vers l'amélioration de la performance des activités indirectes telles que la logistique et le marketing par exemple [**Clivillé, 2010**].

Le preneur de décision élabore dans un premier temps l'arbre des variables potentiellement impliquées dans l'atteinte de l'objectif rattaché à l'augmentation du chiffre d'affaires (figure 10).

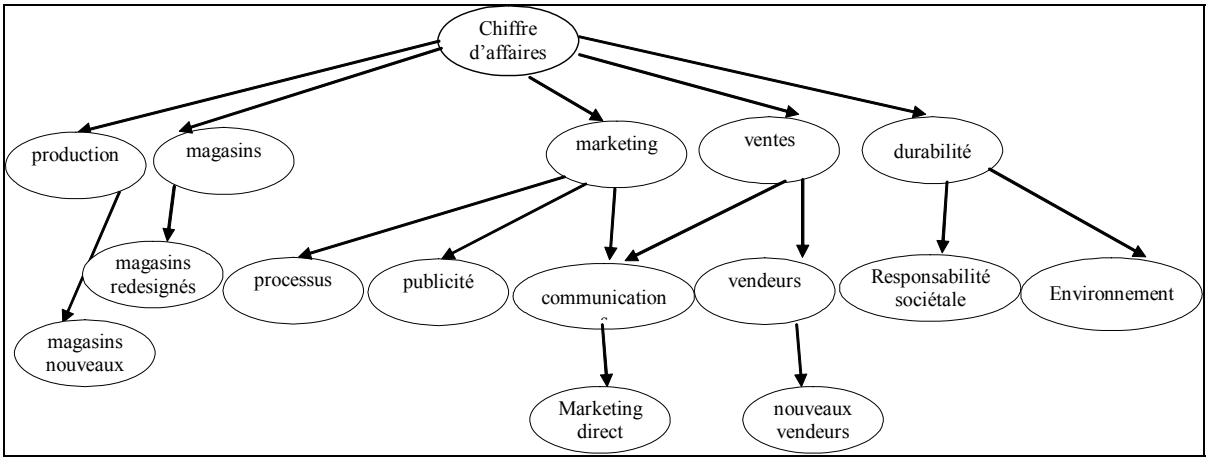

Figure 10 : L'arbre des variables rattaché au chiffre d'affaires chez Fournier

Les actions envisagées sont résumées dans le tableau 2 ci-après, en accord avec les objectifs globaux de l'entreprise. De ces actions, se déduisent les horizons temporels et les valeurs associées aux variables retenues. Il apparaît par exemple dans ce cas que l'entreprise, pour faire augmenter son chiffre d'affaires, ne souhaite pas, dans un premier temps, retenir d'objectifs concernant, la production de son mobilier et la prise en compte des aspects durables.

Variable	Action	Valeur espérée	Horizon temporel
Magasins redesignés	Redesign	$o(\textit{magasins redesignés}) = 32$	[2009, 2011]
Nouveaux magasins	Ouverture de nouveaux magasins	$o(\textit{nouveaux magasins}) = 56$	[2009, 2011]
Marketing direct	Marketing direct	$o(\textit{marketing direct}) = \textit{non défini}$	[2009, 2011]
Publicité	Publicité	$o(\textit{publicité}) = \textit{non défini}$	[2009, 2011]
Processus commerciaux reconfigurés	Reconfiguration des processus commerciaux	$o(\textit{processus commerciaux reconfigurés}) = 14$	[2009, 2011]
Nouveaux vendeurs	Recrutement de nouveaux vendeurs	$o(\textit{nouveaux vendeurs}) = 319$	[2009, 2011]

Tableau 2 : Quantification des sous-objectifs rattachés au chiffre d'affaires chez Fournier

Dans ce cas de figure, les déclarations d'objectifs restent en général difficilement accessibles, voire indéfinies. La problématique de la quantification n'est en effet pas ressentie comme fondamentale dans la mise en œuvre des actions retenues. Le cas du *marketing* en est typique, regroupant le *marketing direct* (subdivisé en une dizaine de sous processus pour chaque marque de l'entreprise) et la *publicité,* dont l'objectif est non explicitement précisé. Même si les informations sont disponibles pour chaque sous processus, elles restent difficiles à agréger (au vu de l'existence de plusieurs dizaines d'informations élémentaires). Il arrive également que les valeurs espérées soient fixées conjointement par plusieurs services, ce qui crée une imprécision dans la déclaration. Cet exemple illustre bien la délicatesse de l'étape de déclaration des objectifs et ce qu'elle peut véhiculer comme sémantique d'incertitude, de subjectivité et d'incomplétude dans les informations disponibles (§ 3.2).

En outre, dans ce cas également, les trajectoires temporelles sont souvent linéaires. Pour l'objectif rattaché à la *reconfiguration des processus commerciaux*, cela s'explique par la disponibilité limitée des ressources critiques, d'une part, et par l'impact psychologique d'une évolution régulière, d'autre part. En l'occurrence, dans le cas de l'objectif rattaché au *recrutement de nouveaux vendeurs*, la linéarité est due à la capacité des équipes en charge du recrutement (*i.e.* au caractère non goulet de la formation).

6. Conclusion

Le concept de performance peut véhiculer deux idées non totalement séparées ; l'une est relative à la notion d'exploit dans la réalisation d'une activité tandis que l'autre concerne la manière dont une activité est réalisée. Dans la première logique, une sorte de recherche d'optimisation est ciblée ; tandis que dans la seconde, la quête d'un état jugé satisfaisant est visée. Satisfaisant à ces deux logiques, nous choisissons de nous focaliser sur l'expression de la performance, en l'apparentant aux résultats atteints, au regard d'objectifs référents. Conforme à la philosophie d'amélioration continue génériquement représentée par la roue de

Deming ainsi qu'à la rétroaction automaticienne, le principe de cette expression repose sur la déclaration d'un objectif, la mise en œuvre de l'action pour l'atteindre et la mesure de l'état atteint. Ce modèle se concevait aisément dans un monde taylorien où les objectifs et les actions se rattachaient aux volumes de production et étaient indépendants les uns des autres. Aujourd'hui, même si l'idée en reste fondée, sa mise en œuvre s'est complexifiée et en appelle à des outils de décomposition systémique.

Cette préoccupation est à l'origine de ce chapitre dont l'objet a été la présentation de notre vision du mécanisme de déclaration des objectifs, à la lumière de l'état de l'art ainsi que de la pratique actuelle en la matière. Entité complexe, l'objectif implique à la fois une valeur espérée à atteindre et un plan d'action pour ce faire. En accord avec la pratique actuelle, notre point de départ est un objectif stratégique. Notre approche repose sur le caractère décomposable de cet objectif. L'objectif est de ce fait global, au regard d'une dimension multiple des critères ou variables impliqués dans son atteinte, d'une part, et des interactions entre ceux-ci, d'autre part. En outre, au-delà de l'étape de quantification de l'état espéré, la déclaration d'un objectif se fonde sur la définition d'un plan d'action. Dans ce contexte, la notion de variable d'action - ou critère de décision - est selon nous fondamentale, établissant le lien entre l'objectif, l'action et l'expression de performance résultante. Quantifiée, la variable identifie l'objectif. Décomposée, la variable identifie l'arbre de décomposition des objectifs. Définie à différents jalons de l'horizon temporel du plan d'action, la quantification de la variable identifie la trajectoire temporelle. C'est pourquoi, l'idée que nous défendons est de considérer que l'ensemble des attributs de l'objectif ainsi que du plan d'action ne sont que le résultat d'un traitement particulier relatif à la variable.

Reprenant les travaux menés dans notre équipe, nous avons dans ce sens proposé une formalisation de l'étape de déclaration des objectifs puis étayé nos propos par des exemples tirés de nos échanges avec nos partenaires industriels. Deux types de décomposition, structurelle et temporelle, sont décrits. Nous voyons la décomposition structurelle à travers un arbre d'objectifs, obtenu successivement par des opérations de hiérarchisation, sélection et quantification des variables. Pour sa part, nous proposons de considérer la décomposition temporelle à travers une trajectoire, obtenue par des opérations de quantification, directe ou indirecte, des variables, selon la maîtrise que le preneur de décision a du plan d'action mis en œuvre.

En supposant une définition préalable des objectifs stratégiques, nous voyons trois facettes rattachées à l'expression de la performance. La première facette concerne la déclaration des objectifs, la deuxième le dispositif méthodologique associé à son obtention. La troisième facette identifie pour sa part le mécanisme calculatoire de cette expression. Les deux dernières facettes feront l'objet des deux prochains chapitres de cette synthèse.

Indicateurs et systèmes d'indicateurs pour l'expression de la performance

1. Introduction

Rappelons l'idée, retenue dans nos travaux, de lier le concept de performance à son expression, soit à celle de l'atteinte d'un objectif. Si les liens entre les notions d'objectif et d'expression de performance peuvent sembler intuitifs, leur explicitation n'est pas toujours immédiate dans la pratique. La difficulté inhérente à une telle définition relève du caractère complexe de la performance en tant que finalité de l'entreprise.

L'expression de la performance joue un rôle central dans la boucle d'amélioration, dans la mesure où elle reflète le degré d'atteinte de l'objectif et alimente le processus de décision quant au choix des actions. Cette double fonctionnalité en appelle à la définition des indicateurs de performance. Les indicateurs de performance sont des outils de pilotage dont la raison d'être est le rapport, au sens large, des états atteints aux états espérés. Nous avions évoqué, dans le chapitre précédent, l'évolution de la notion de performance avec celle du contexte industriel (cf. Chapitre 1, § 2). L'expression de la performance taylorienne est rattachée à un critère de coût, matérialisé par un objectif de maximisation des volumes de production, et synonyme de ce fait d'efficience des équipements de production. La performance taylorienne trouve son expression essentielle dans des ratios financiers de productivité, rapportés à la main-d'œuvre directe. Fournies par les indicateurs du contrôle de gestion, ces performances sont exprimées *a posteriori* de l'évolution des processus et plans d'action mis en œuvre pour atteindre les objectifs définis. Les équations de calcul sont ainsi relativement simples, dans la mesure où la performance globale - la productivité du système industriel - est la somme des performances locales - les productivités des différentes entités du même système.

Actuellement, la performance se définit en fonction des critères multiples, du fait de l'élargissement de la notion d'efficience au triptyque « efficience - efficacité - effectivité » et de l'évolution du rapport entre le système industriel et son environnement. La performance devient une sorte de recherche conjointe de :

- l'efficience du système élargi aux activités périphériques à la production ;
- l'efficacité des processus mis en œuvre ;
- l'effectivité des objectifs, soit leur pertinence au regard des moyens disponibles.

Les expressions de performance, essentiellement exprimées en termes de « coût - qualité - délai » ne sont pas sans interactions, rendant assez obsolète le modèle additif taylorien, et mettant en lumière le rôle des systèmes d'indicateurs (Performance Measurement Systems - PMS's). De plus, les besoins de réactivité dans le pilotage ont instauré un mode d'expression de la performance *a priori* de la fin de l'évolution des plans d'action. Outre la notion

d'indicateur de résultat, la notion d'indicateur de processus devient fondamentale, fortement étayée par la philosophie de l'amélioration continue (Kaizen)[14] [Imai, 1992].

Rappelons que l'objet global de nos réflexions est la proposition d'un cadre pour l'expression de la performance. Tandis que dans le chapitre précédent, nous nous sommes employés à tisser les liens entre les spécificités de l'expression de la performance et le processus de déclaration des objectifs, nous nous proposons, dans ce chapitre, de continuer à approfondir les spécificités d'une telle expression, mais en lien cette fois avec le dispositif requis pour leur obtention. Cette facette nous mène, dans un premier temps, vers un retour sur les indicateurs et systèmes d'indicateurs de performance, soient les outils définis, en adéquation avec les besoins du pilotage, pour fournir les expressions de performance.

Nous positionnant globalement dans le cadre de processus d'amélioration, nous commencerons par une brève revue de l'état de l'art autour de la notion d'indicateur de performance et de son émergence, souvent confondue, dans la pratique industrielle, avec celle d'expression de la performance ou de métriques. Les indicateurs de performance faisant aujourd'hui nécessairement système, nous nous pencherons sur les propositions élaborées dans la littérature de ce point de vue. Nous déduirons de ces analyses les spécificités requises pour l'expression de la performance dans un dispositif de pilotage et en présenterons notre vision.

2. L'indicateur de performance

2.1. L'émergence de l'indicateur « technique »

Le modèle taylorien ayant été le modèle de référence pour l'élaboration des outils de gestion, l'utilisation de ces outils dans un cadre différent, ne peut plus être systématique. Et pourtant, le système comptable évolue lentement depuis l'époque taylorienne. La préoccupation de productivité au sens initial de Taylor est toujours présente dans le monde industriel, avec l'objectif de maximiser la valeur des extrants et minimiser le coût des intrants consommés pour produire.

Remémorons-nous le contexte d'émergence de l'indicateur de performance, dans sa dimension non financière, soit « technique ». Avec la bascule de la relation de l'offre à la demande, dans les années 1980-1990, le pilotage prend son sens contemporain. Pour réussir à vendre les produits que l'on fabrique, il ne s'agit plus seulement d'en réduire les coûts mais d'en augmenter la valeur, en considérant des objectifs définis selon de multiples critères. Les objectifs étant instables et diversifiés, les écarts entre prévisions et réalisations montrent les limites de la planification. Il est nécessaire de la compléter par un suivi et une correction des actions entreprises en fonction des écarts. C'est ainsi que le pilotage stratégique, qui planifie les actions et vérifie leur exécution à moyen et long termes est enrichi par un pilotage opérationnel, qui permet de corriger sur le court terme, les écarts survenus dans l'évolution des processus mis en œuvre [Lorino, 1995]. Se pose alors la question de la mesure de ces écarts, les grandeurs financières tayloriennes utilisées pour le pilotage stratégique n'étant pas définies pour ce faire. Dans ce contexte, le contrôle de gestion continue à prédominer, malgré un calcul de coût inadapté, une difficulté à appréhender la performance dans une dimension non financière et une expression de la performance qui arrive trop tard au vu des impératifs de réactivité. Les techniques quantitatives de gestion et de comptabilité analytique se

[14] Dans son ouvrage, M Imai montre que les entreprises occidentales ont privilégié les indicateurs de résultat, tandis que les entreprises japonaises privilégiaient ceux de processus. « *Les Occidentaux comptent les œufs de la poule, les Japonais s'intéressent à la santé de celle-ci* » [Greif, 1989].

développent pour pallier cette insuffisance, sans être à même néanmoins de prendre en compte la notion de valeur des produits [Gervais, 2009]. Une fois ces lacunes confirmées, la nécessité de disposer d'informations et d'outils pour mesurer ces aspects autres que financiers est posée [Cross, 1988-1989], [Kaplan, 1983], [Abdel-Maksoud, 2005]. C'est l'émergence de la notion d'indicateur de performance technique [Kaplan, 1987], [Berliner, 1988], [Bouquin, 2006]. Par ailleurs, une amélioration du calcul des coûts trouve une illustration dans la méthode de « comptabilité par les activités » (Activity Based Costing - ABC) [Cooper, 1988], [Berliner, 1988]. Fondée sur les travaux théoriques de R.S. Kaplan, R. Cooper et M. Porter et sur notamment la notion de chaîne de valeur [Porter, 1985], [Lorino, 1996a], la méthode a pour principe d'imputer les coûts des activités « directes » en fonction de la consommation des ressources[15]. Le coût d'un produit / service dépend ainsi des activités mises en œuvre pour sa réalisation. La méthode ABC évolue ultérieurement vers la prise en compte de l'ensemble des critères intervenant dans la performance, pour donner naissance à la méthode de « gestion par les activités » (Activity Based Management - ABM), forte de son appréhension de l'entreprise par processus. L'intérêt reconnu à ces approches est dans le concept d'inducteur - initialement de coût puis de performance - qui a permis de « sortir d'un raisonnement statique en termes d'économies d'échelle (analyse coût-volume-profit) pour une raisonnement dynamique en termes de remise en cause permanente ».

Dans ces conditions, les indicateurs techniques sont mis en place pour exprimer la performance technique[16], de manière complémentaire aux indicateurs financiers. Pour une entité de l'entreprise, ces indicateurs sont regroupés dans des tableaux de bord [ISO 9000 00, 2001] (fascicule FD X 50-171), définis comme étant « *une liste d'indicateurs destinés à étayer un jugement sur le fonctionnement d'un centre de responsabilité (décision)* » [Giard, 2003].

2.2. Définitions

Nos premiers travaux sur la formalisation de l'expression de la performance ont commencé par le passage en revue des définitions proposées pour l'indicateur de performance et son contour **[Berrah, 1997]**. Cette partie résume et actualise ces définitions. Les caractéristiques générales d'un indicateur sont initialement mises en avant dans le cadre d'études menées autour de l'évolution des systèmes d'évaluation des coûts (Cost Management System), en écho à la méthode ABC évoquée précédemment. Ces caractéristiques peuvent se résumer en les principes suivants [Bitton, 1990].

---

[15] « *Décomposer la firme en activités pertinentes au sens de la stratégie, dans le but de comprendre le comportement des coûts et saisir les sources existantes et potentielles de différenciation* ». La chaîne de valeur est un outil d'analyse qui permet d'identifier les activités clés pour l'obtention d'un avantage concurrentiel parmi l'ensemble des activités que la firme doit mettre en œuvre pour satisfaire un secteur ou segment. Il y a trois grandes catégories d'activités dans une chaîne de valeur : les activités de soutien, les activités primaires liées à la production et les activités primaires liées à la vente et au contact client. Le niveau de détail de la décomposition en activités élémentaire doit être guidé par l'importance des activités élémentaires pour l'avantage concurrentiel. La chaîne de valeur permet de mettre en évidence les activités clés de la firme, c'est-à-dire celles qui ont un impact réel en terme de coût ou de différenciation par rapport aux concurrents. Finalement, le processus d'élaboration d'une chaîne de valeur doit permettre à l'entreprise de connaître la stratégie à adopter pour réussir sur un secteur donné, la chaîne de valeur idéale pour réussir cette stratégie, le positionnement des chaînes de valeur des concurrents et de l'entreprise par rapport à celle-ci, et enfin connaître ses forces et faiblesses afin de mieux orienter ses décisions stratégiques. [Porter, 1985].

[16] "*Forget the financial measures. Improve operational measures like cycle time and defect rates, the financial results will follow*" [Kaplan, 1992].

- *La mesure de performance doit être mise en place au niveau même des activités qui lui donnent naissance, ce qui fait émerger la notion d'évaluation et de contrôle « locaux », au plus « près ».*
- *Les indicateurs doivent être établis en « cohérence » avec les objectifs.*
- *Les mesures de performance doivent être facilement quantifiables et contrôlables, relativement aux mécanismes du contrôle de gestion.*
- *La performance doit être contrôlable par les gens à qui la mesure est destinée.*
- *Les mesures doivent être adaptées en fréquence et pouvoir être validées.*

Ces principes sont à l'origine des définitions plus précises de l'indicateur. La plus générale reste : « *un indicateur est une mesure objectivée* » [Bitton, 1990]. Cette définition met en avant deux notions essentielles : la *mesure* et l'*objectif*.

Outre l'aspect « mesure » souligné précédemment, M. Périgord et J.P. Fournier insistent sur le calcul de la performance, avec une extension des considérations classiques au traitement d'informations aussi bien quantitatives que qualitatives. Ainsi un indicateur est « *un évènement observé, prélevé, mesuré, déterminé par le calcul, permettant d'identifier qualitativement ou quantitativement une amélioration positive (ou négative) du comportement d'un procédé* » [Périgord, 1993].

Pour leur part, H. Savall et V. Zardet mettent en relief la notion de stratégie, qui sous-entend une démarche de mise en place des indicateurs. De ce fait, « *un indicateur est la résultante d'un petit nombre d'informations qui ont la propriété d'être particulièrement signifiantes par rapport aux objectifs stratégiques de l'entreprise, d'être régulièrement mises à jour et analysées* » [Savall, 1989]. S.A. Melnyk et son équipe [Melnyk, 2004] insistent sur la même idée en préférant le vocable de « métrique » (metric) à celui d'indicateur : "*Strategy without metrics is useless, metrics without a strategy are meaningless*". Cette notion de métrique, dont le sens est différent de celui usuellement utilisé en mathématiques, est rencontrée dans la littérature anglo-saxonne, faisant référence à une sorte de mesure rapportée à un référent : "*A metric is a verifiable measure, stated in either quantitative or qualitative terms and defined with respect to a reference point. Ideally, metrics are consistent with how the operation delivers value to its customers as stated in meaningful terms*". De manière similaire aux indicateurs, les métriques ont pour fonction l'aide au pilotage, à la communication et à l'amélioration de la performance.

Dans leur analyse du concept de « Performance Measurement », P. Folan et J. Browne [Folan, 2005] étudient les principales contributions dans le domaine et distinguent les recommandations faites concernant respectivement l'aspect rattaché aux mesures de celui rattaché aux cadres définis pour ces mesures. Sans évoquer l'idée d'indicateur de performance, les auteurs résument les principales caractéristiques d'une mesure, telles qu'elles sont proposées dans la littérature. Nous trouvons notamment l'aspect « physique », le terme étant confondu avec celui « quantitatif ». Une mesure de performance reflète également une grandeur significative le plus possible pour le client, est pertinente à l'usage, adaptée à des besoins d'amélioration, financière et non financière…

Dans le cadre de réflexions menées dans le projet ENAPS - European Network for Advanced Performance Studies - [Browne, 1999], [Rolstadås, 2000] autour des systèmes de mesures de performance, les notions de mesure et d'indicateur de performance sont distinguées. "*A "performance measure" is a description of something that can be directly measured (e.g. number of reworks per day). A "performance indicator" is a description of something that is calculated from performance measures (e.g. percentage reworks per day per direct employee)*".

La Commission Indicateurs de Performance IP de l'AFGI (homologuée par l'AFNOR) considère qu'un indicateur de performance est « *une donnée quantifiée qui mesure l'efficacité et/ou l'efficience de tout ou partie d'un processus ou d'un système (réel ou simulé), par rapport à une norme, un plan ou un objectif, déterminé et accepté dans le cadre d'une stratégie d'entreprise* » [AFGI, 1992]. Une définition anglo-saxonne similaire est proposée par L. Fortuin. "*A performance indicator is a variable indicating the effectiveness and/or efficiency of a part or whole of the process or system against a given norm / target or plan*" [Fortuin, 1988]. Englobantes, ces définitions se fondent sur un principe d'extension de l'efficience taylorienne à l'efficacité. De ce fait, outre les aspects d'objectif, de mesure et de stratégie, elles mettent en avant l'aspect global et décloisonné de la performance, qui nous éloigne de l'axiome des optimisations locales, à travers les notions de processus et de système. Ceci laisse imaginer des indicateurs, à plusieurs niveaux, relatifs à plusieurs critères, et évolutifs dans le temps. Cette vision, que nous avons adoptée dans nos travaux **[Berrah, 1997, 2000, 2003, 2004, 2008a], [Clivillé, 2007]**, [Sahraoui, 2009] inscrit la définition de l'indicateur de performance dans une démarche d'amélioration permanente.

Exhaustif, le fascicule FD X 50-171 de la norme [ISO 9000 00, 2001] décrit l'indicateur de performance au moyen des paramètres suivants : l'*identification* de l'indicateur, *le champ de la mesure, l'objectif, les critères, les paramètres, le mode de calcul, les responsabilités et périodicités de la collecte des informations, les responsabilités et modalités de l'analyse des indicateurs et/ou tableau de bord, le mode de communication, l'exploitation des informations*, *les responsabilités* et *modalités de l'analyse des indicateurs et/ou tableaux de bord.*

De manière similaire, V. Popova et A. Sharpanskykh [Popova, 2010] proposent une définition paramétrée de l'indicateur de performance, sans en poser toutefois l'essence. Selon les auteurs, un indicateur est caractérisé par : un *nom*, une *définition*, un *type* (continu ou discret, numérique ou linguistique, selon le type de mesure qui lui est associé), un *horizon temporel* spécifique de la période de mesure, une *échelle*, une *valeur minimum* et une *valeur maximum*, dans le cas de la définition d'une échelle, la *source* d'extraction de l'indicateur (politique et mission de l'entreprise, métiers, contexte externe…), le *propriétaire*, soit l'objet, rôle ou agent, auquel la performance exprimée se rattache, un *seuil*, ou une valeur limite qui sépare les grands changements des petits changements à l'origine de l'expression obtenue et qui permette de détecter les interactions avec d'autres indicateurs, le *hardness*, qui identifie la nature du critère considéré, selon qu'il soit quantifiable ou pas.

2.3. Fonctionnalité de l'indicateur

L'indicateur de performance n'est pas seulement une mesure, mais est association (figure 1) **[Berrah, 1997], [Dindeleux, 1998]** :

- d'un objectif négocié, cohérent avec la stratégie d'entreprise ;
- de variables d'actions déterminantes, qui sont « *des facteurs sur lesquels agissent un ou plusieurs acteurs du système, afin de faire évoluer tout ou partie d'un processus ou d'un système vers les objectifs assignés* » ;
- des *moyens d'action*, qui sont les éléments actifs pour la maîtrise de la performance du processus ou système ; ces moyens concernent en l'occurrence les ressources (capacité), les produits (complexité…) ;
- *d'une mesure d'efficacité*, à laquelle une unité d'œuvre est associée.

Si l'on considère, en accord avec P. Lorino [Lorino, 1996a] et l'AFGI, que le concept de pilotage[17] peut être vu, dans son sens le plus large, comme regroupant l'ensemble des activités nécessaires à l'atteinte des objectifs fixés, ce concept peut trouver une expression matérielle dans la génération des plans d'action associés aux différents objectifs (cf. Chapitre 1, § 2.2). De par ses éléments constitutifs, l'indicateur vient faire le lien entre les objectifs, les expressions de performance obtenues et les variables d'action. Les moyens d'action sont associés aux variables d'action, permettant la planification de l'ensemble des actions retenues. L'expression de performance retournée indique le niveau d'atteinte de l'objectif, alimentant ainsi le processus de décision d'enclenchement d'un nouveau plan d'action. Telle est la lecture, par l'indicateur, du principe très général édicté par la roue de Deming : *Plan - Do - Check - Act* [Shewhart, 1939], [Deming, 1951, 1982], [Ishikawa, 1990], [ISO 9004, 2009]. Nous retrouvons dans l'étape *Plan* l'étape de déclaration des objectifs et de planification des actions. L'étape *Do* identifie l'exécution du plan d'action. L'étape *Check* est celle de l'expression de la performance, quand celle *Act* est l'étape de la prise de décision, dans la mesure où elle consiste en la réaction au vu des résultats atteints et la réflexion sur les variables et moyens à mettre en place pour mieux atteindre l'objectif ou pour le remettre en cause, selon le cas.

L'approche automatique du contrôle des processus a d'ores et déjà mis en relief le principe de la « boucle de rétroaction ». La rétroaction est définie à travers les actions menées (modification des commandes), en réponse à l'écart constaté entre l'état réel du système et son état espéré, exprimé à travers les objectifs (consignes). L'état réel ainsi que l'écart par rapport à l'état espéré sont mesurés par l'indicateur, qui peut être vu comme un « super capteur », réalisant les fonctions de mesure et de comparaison (aux objectifs).

En résumé, nous considérons que l'indicateur, dans sa fonctionnalité, est « une boucle de retour dans un processus de décision » (figure 1) **[Berrah, 2002a, 2002b],** [Lohman, 2004]. C'est selon ces aspects que se déduit le lien avec le pilotage, à travers la notion de « contrôlabilité ». Le pilotage prendra des sens différents selon le niveau décisionnel concerné. Ainsi, à un niveau opérationnel, le pilotage consistera à reconsidérer l'organisation pour mieux atteindre l'objectif, tandis qu'à un niveau tactique, le pilotage aura pour rôle de redéfinir les objectifs au regard des performances exprimées.

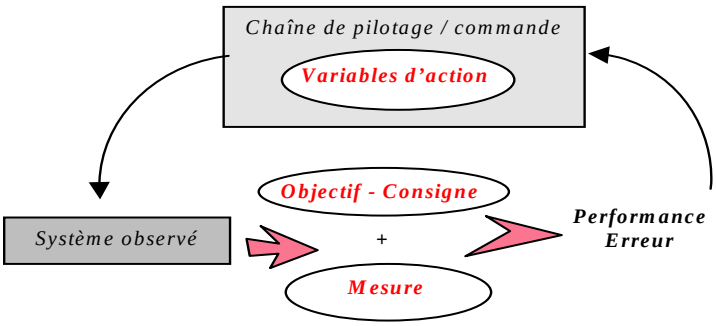

Figure 1 : La boucle de rétroaction illustrée par l'indicateur de performance ***[Berrah, 1997]***

[17] Le pilotage est vu comme étant *« un mécanisme multi-niveau, hiérarchisé (chaque niveau cadrant le suivant) et bouclé (répercussion et correction des écarts). Ces niveaux qui ne sont pas à confondre avec les niveaux hiérarchiques de l'organigramme de l'entreprise, sont chacun caractérisés par leur horizon (visibilité), leur période (réactualisation) et leur maille (résolution). Le processus consiste alors, niveau par niveau, par cadrages successifs, à préparer formellement, progressivement, en cohérence et avec une exécutabilité croissante les conditions de la réalisation pour se terminer par l'émission d'ordres exécutoires vers le processus physique, il est fait de comparaisons, d'itérations, de simulations…, et pour atteindre les objectifs fixés, nécessite entre autres des moyens de mesure et d'évaluation, (indicateurs ou cadrans) et des moyens d'action (variables de décision ou leviers)* » [AFGI, 1992].

2.4. Notre modèle d'indicateur de performance

Tandis que l'ensemble des considérations précédentes a concerné les caractéristiques générales de l'indicateur, ses paramètres constitutifs et sa fonctionnalité, d'autres réflexions, plus ciblées, ont permis d'approfondir certains aspects inhérents à sa variable de rattachement. Nous retrouvons de ce fait des travaux portant sur la prise en compte de la dimension non financière de l'indicateur, en l'occurrence sa prise en charge de critères techniques majeurs. Des indicateurs spécifiques sont proposés répondant à des objectifs déterminés. A la fin des années 1990, les entreprises avaient ainsi à leur disposition des listes d'indicateurs essentiellement centrées sur le triptyque « coût-qualité-délai » de l'activité industrielle. Nous pouvons citer à titre d'exemples: le *délai* [Stalk, 1988], la *qualité* [Schneidermann, 1988], la *capabilité* [Pillet, 1994], la *disponibilité*, le *TRS* (Taux de Rendement Synthétique) [Nakajima, 1988], le *throughput time* [Goldratt, 1992], [Johnson, 2003], et plus récemment le *takt time* [Arbós, 2002], le *lean index* [Womack, 1996] ou encore de manière plus large les aspects *environnementaux* [Comoglio, 2012]… L'idée véhiculée dans ces travaux est de proposer un indicateur type, avec un mode de calcul défini, dédié à l'expression de la performance au regard d'un critère précis. Un autre courant de pensée a porté sur le rôle de l'indicateur dans un dispositif de pilotage, et l'a plongé dans la notion de système, notion sur laquelle nous reviendrons ultérieurement dans ce chapitre.

Enfin, plus générique, certains travaux, en l'occurrence ceux de la norme et ceux de la commission IP de l'AFGI, ont porté sur la modélisation de l'indicateur dans son rôle d'expression de la performance [AFGI, 1992], [ISO 9000 00, 2001], [Popova, 2010]. Dans la logique de ce courant, nous avons proposé de traduire les propriétés requises pour l'expression de la performance en une représentation fondée. Plus particulièrement, nos travaux se sont centrés sur le caractère générique de l'expression de la performance, dans son aspect calculatoire. Première facette de l'indicateur, l'expression de la performance a été introduite comme étant le résultat de la comparaison de l'état atteint avec l'état espéré. Extension des ratios tayloriens, cette comparaison se fonde sur l'utilisation d'un opérateur mathématique. En outre, le calcul de cette expression soulève la question de la sémantique de l'expression de la performance, qui conditionnera à la fois le choix de l'opérateur de comparaison et le format d'expression. Dans ce sens, du point de vue de l'expression de la performance, notre définition pour l'indicateur est : « *un indicateur de performance est une expression - plus ou moins valide - qui mesure la performance de tout ou partie d'un processus ou activité d'un système (réel ou simulé, par rapport à un objectif. Cette expression est éventuellement exprimée de manière à être évaluée par rapport à la globalité des objectifs du système ; appréciée au regard du contexte de déroulement de l'activité ou processus ou système considéré* » **[Berrah, 1997]**.

Cette définition met l'accent sur l'exploitation éventuelle de l'expression retournée par l'indicateur, en veillant à :

- la validité de la mesure acquise ;
- l'analyse du contexte d'évolution du système considéré.

Notre approche a donné lieu au « modèle », décrit figure 2, qui décline l'expression de la performance en trois facettes. La première facette reprend l'étape de déclaration de l'objectif, telle que nous l'avons présentée dans le chapitre précédent. La deuxième facette du modèle se focalise sur l'étape d'expression de la performance. Dans la troisième facette, les aspects de validité et de contextualisation sont repris.

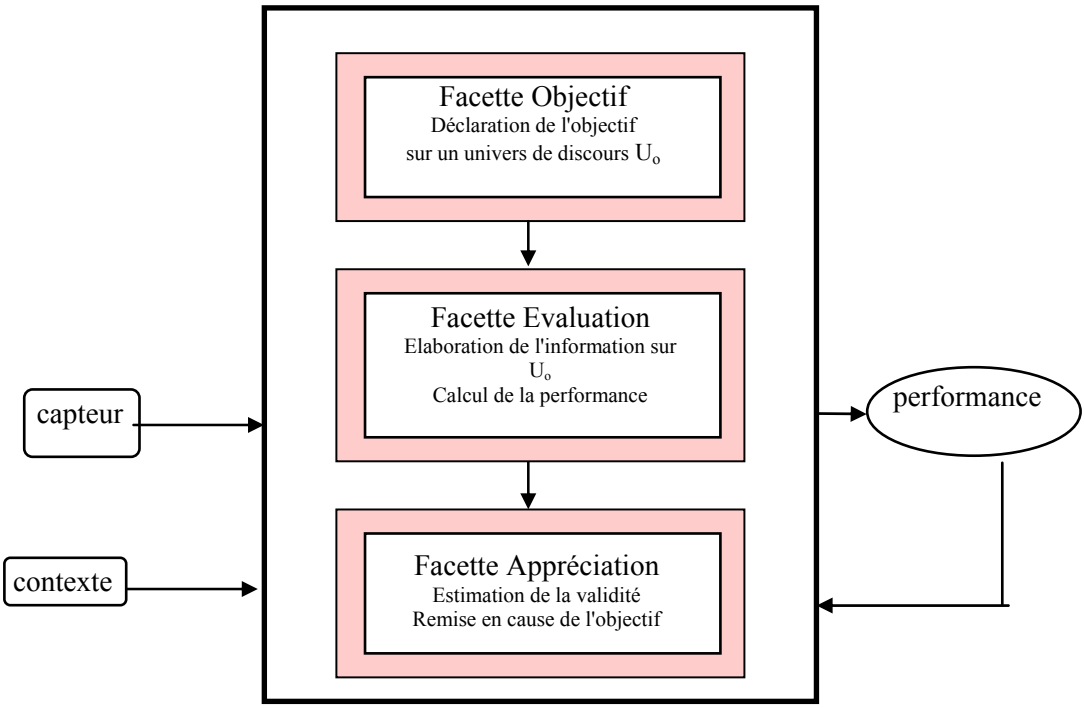

Figure 2 : Un modèle pour l'indicateur de performance, vu à travers sa fonctionnalité d'expression de la performance ***[Berrah, 1997]***

Plus particulièrement, dans la facette *Evaluation* du modèle, se pose la question de la nature des informations manipulées lors de l'expression de la performance, à savoir l'objectif et la mesure. Le caractère éventuellement imprécis, incertain ou qualitatif de ces informations nous a poussés à élargir le traitement ensembliste classique à celui de la théorie des sous-ensembles flous [Zadeh, 1965], [Dubois, 2000]. Nous avons proposé l'utilisation d'un certain nombre d'opérateurs de comparaison conformément à ce formalisme, comme nous le verrons dans le prochain chapitre. Dans la facette *Appréciation*, l'estimation de la validité est identifiée à l'aide d'un jeu de règles faisant intervenir les paramètres dont elle dépend, tels que la fiabilité du capteur, la pertinence du paramètre de mesure… Nous avons vu la contextualisation, pour sa part, comme étant une sorte de remise en cause de la valeur déclarée pour l'objectif. Cette valeur peut être modifiée selon qu'elle soit estimée inatteignable ou en-dessous des capacités du système physique considéré. Des approches fondées sur un traitement de la valeur initiale par des opérations de modification sont proposées.

Enfin, il nous semble important de signaler quelques points pouvant concerner les notions d'indicateur de performance et de mesure. Plus précisément, dans le cadre de réflexions épistémologiques sur la problématique de la mesure dans les "soft systems", L. Mari et son équipe [Mari, 2009] se posent la question de la « mesurabilité » de la performance industrielle, au sens de la consistance d'une théorie dans ce contexte. A ce titre, les auteurs soulignent la différence conceptuelle que l'on peut trouver autour de la notion de mesure, selon que l'on se positionne d'un point de vue « managérial » ou « Sciences Pour l'Ingénieur ». En effet, la mesure dénote dans le premier cas une valeur, quantitative ou qualitative, utilisée à des fins de comparaison, et ce indépendamment de la portée épistémologique et de la procédure d'acquisition de la mesure. En Sciences Pour l'Ingénieur, la mesure est le résultat d'un type d'évaluation particulier, dont l'hypothèse est que les résultats sont indépendants de l'objet de la mesure. Dans le domaine de la mesure de la performance industrielle, l'équipe souligne justement l'absence, d'une part, de lois et relations physiques à même de décrire le phénomène et, d'autre part, celle de références, d'étalon et de standard. Dans ce contexte, il

devient légitime, - et nous reviendrons sur le sujet dans le chapitre 3 -, de justifier du fondement théorique des résultats obtenus, au regard des théories du mesurage. La problématique du choix des indicateurs n'est pas tant celle de la prise de mesure que celle du choix de ces mesurandes pour représenter l'objectif global à atteindre ; et l'acte de mesurer revient autant à exprimer la performance qu'à choisir le mesurande. Dans cette vision, le processus de décomposition structurelle des objectifs fait partie inhérente du processus d'évaluation.

Conformément à ce que nous avions évoqué précédemment, l'ensemble de cette modélisation formelle et de ses outils mathématiques a reposé sur une sorte de catégorisation des types d'expression de performance requis pour la prise de décision dans le pilotage. Aussi, revenons pour l'heure sur les typologies d'indicateurs de performance proposées.

2.5. Typologies des indicateurs de performance

Lorsque l'idée d'indicateur est évoquée, le rôle de fournir un résultat est systématiquement associé. Tout indicateur peut être qualifié ainsi de résultat. C'est alors l'utilisation qui est faite de l'expression de performance retournée par l'indicateur qui affecte à ce dernier un second rôle. Les rôles attribués à l'indicateur ont fait l'objet de plusieurs typologies [Lorino, 1996a], [AFGI, 1992], [Boisvert, 1995], [Collectif, 1997], [ECOSIP, 1996] dont nous ne citerons que les plus importantes. Toutefois, si le choix des points de vue adoptés pour décrire cette typologie se rapproche de la pratique industrielle, ces points de vue ne sont pas sans recouvrement.

2.5.1. La complexité de l'indicateur

Le niveau de décomposition de l'objectif induit celui de l'indicateur. Sont distingués les indicateurs *élémentaires* de ceux *composés*. Les indicateurs élémentaires, qualifiés de locaux, primaires ou bruts, sont associés aux objectifs élémentaires (cf. Chapitre 1, § 4.4). Souvent opérationnels, ces indicateurs sont à vocation locale et interviennent pour une analyse fine du système physique. Les indicateurs composés, ou composites, répondent à un besoin de synthèse. Les expressions de performance qu'ils retournent résultent d'une agrégation plus ou moins poussée. Les indicateurs globaux sont un cas particulier de cette catégorie, agrégeant l'ensemble des expressions rattachées à la décomposition structurelle de l'objectif correspondant. Ce sont des « macro-indicateurs » qui aident à déceler les évolutions lourdes du système.

Dans cet ordre d'idées, le nombre de variables d'action associées à un indicateur renseigne de sa complexité. Un indicateur est *simple* si une seule variable d'action lui est associée, telle que l'indicateur de *capabilité* d'une machine, dont la variable d'action est la machine. Un indicateur est *complexe* si plusieurs variables lui sont associées, tel que le *taux de rebut*, dont les variables d'action sont, par exemple, la machine, la matière première et le procédé. La complexité est due, d'une part, à la multiplicité des variables d'action et, d'autre part, aux corrélations éventuelles entre les actions menées sur ces variables. Selon nous, et telle est l'hypothèse qui nous a menés à développer le modèle décrit dans les travaux de thèse de V. Clivillé [Clivillé, 2004], un indicateur complexe fait système. Nous reconsidérerons ultérieurement cette idée de complexité systémique en cherchant à intégrer dans la définition d'un système d'indicateurs les spécificités du système physique auquel il se rattache. Dans cette logique, les systèmes sont considérés comme étant des systèmes de systèmes et sont vus au travers des systèmes qui les composent **[Berrah, 2012]**.

Les indicateurs se rattachent également au niveau décisionnel ainsi qu'à l'horizon temporel des objectifs. Sont ainsi distingués les indicateurs *stratégiques*, *tactiques* et *opérationnels*.

2.5.2. La logique de la démarche d'amélioration associée à l'objectif

Les démarches d'amélioration liées à la réalisation des objectifs peuvent s'inscrire dans deux logiques : « progrès » ou « maîtrise/stabilisation ». Tandis que la première logique est une logique de « défi » ou de « record » (réduire les *délais de production* de 20% par exemple), la seconde en est une de « garantie » ou de « reproductibilité » (maîtriser les *délais* à *3 jours* par exemple). En général, une démarche « progrès » est suivie d'une démarche « maîtrise ». Les indicateurs *de progrès* sont rattachés aux objectifs prioritaires de la période (par exemple, le *nombre de remises en cause techniques* lors du lancement d'un nouveau produit). Leur durée de vie est liée à la maîtrise de ces objectifs. Tout comme les objectifs associés (cf. Chapitre 1, § 4.2), ces indicateurs sont qualifiés de *conjoncturels*. Les indicateurs de *maîtrise* ou d'activité ont pour objectif d'évaluer les tendances d'évolution (par exemple, les *écarts de qualité*, de *volume*). Stables, plus ou moins permanents, tout comme les objectifs associés (cf. Chapitre 1, § 4.2), ils sont dits *structurels*.

Nous pouvons par ailleurs citer [Collectif, 1997] :

- les indicateurs de *mobilisation*, qui expriment la performance de la dynamique de progrès d'un système, tels que le nombre de niveaux hiérarchiques, le degré de polyvalence…
- les indicateurs de référence, rattachés à ce que le système est capable d'accomplir une fois, non forcément de manière reproductible en régime permanent (meilleure pratique) ;
- les indicateurs *fétiches* permettant de « stimuler la démarche de progrès », tels que les indicateurs rattachés au *rangement* ou à la *propreté des locaux*.

Dans une logique d'optimisation, les indicateurs de *performance* sont dissociés des indicateurs de *contraintes* dans la mesure où la première catégorie se rattache à la mesure des effets des actions menées, tels que le *délai de livraison*. Les indicateurs de contraintes se rattachent à mesurer l'efficience du système, pour atteindre les performances, tel que par exemple le *coût d'une activité de planification d'une fabrication.*

Intégrant la dimension temporelle de l'objectif et rattachant l'indicateur à son utilisation le long de l'évolution du processus physique, H. Boisvert [Boisvert, 1995] distingue les indicateurs *guides*, définis *a priori* et rattachés à cette évolution et aux intrants des processus. Les indicateurs *témoins,* définis *a posteriori*, sont rattachés aux extrants des processus. Ces indicateurs valident les indicateurs guides et renseignent du résultat de l'évolution du processus, à travers des aspects tels le coût, la qualité et le délai.

Dans leurs réflexions sur les performances et coûts « cachés », non imputables à la partie visible de la production, H. Savall et V. Zardet introduisent les indicateurs *immédiats* et les indicateurs de *création de potentiel* [Savall, 1989]. Les indicateurs immédiats permettent de s'assurer de la bonne évolution de l'unité considérée. Les indicateurs de création de potentiel affichent des résultats n'apparaissant que dans les périodes ultérieures ; par exemple une action de formation se traduit par une augmentation ultérieure de la productivité.

2.5.3. La fonctionnalité pour le pilotage

2.5.3.1. Retour sur le pilotage et typologie des variables d'action

Le pilotage des plans d'action (cf. Chapitre 1, § 2.2) peut être décliné en deux fonctions complémentaires. La fonction « prospective » ou *a priori* analyse l'évolution des processus mis en œuvre. La fonction « rétrospective » ou *a posteriori* analyse le résultat de l'évolution de ces processus. Ces deux fonctions en appellent à deux types de variables [Mélèse, 1991], [AFGI, 1992]. Les variables *essentielles* sont observées rétrospectivement pour s'assurer de la

réalisation de l'objectif assigné. Les variables *d'action* ont une influence sur l'évolution des processus. Elles sont déclinées à leur tour, en variables internes ou endogènes au processus considéré et en variables externes, indépendantes ou exogènes. Les premières sont « maîtrisables » ou « contrôlables » par l'entité considérée ; les secondes ne sont qu'« utilisables » ou « observables ». La notion de variable d'action ou d'inducteur de performance [Lorino, 1996a], [Bouquin, 2006] est distinguée, dans le milieu industriel, selon les *5 M* : Méthodes, Milieu, Machines, Main-d'Oeuvre, Matière, ou, de manière plus illustrative, selon les Ressources techniques, le Produit / Process, la Gestion des flux, la Gestion des ressources humaines et la Gestion des ressources financières. C'est du reste l'émergence d'un nombre diversifié de variables qui a laissé penser au besoin de définir des indicateurs potentiellement utilisables pour le pilotage industriel (§ 2.3). En l'occurrence, cette idée nous avait poussés à effectuer un recensement de tels indicateurs, centrés autour du triptyque « coût-qualité-délai » **[Berrah, 2002b]**.

S.A. Melnyk et son équipe [Melnyk, 2004] proposent une typologie pour les métriques, fondée sur une distinction selon deux aspects : le « *focus* » des métriques, d'une part, et leur « *tense* », d'autre part. L'aspect « *focus* » de la métrique se rattache au type de variable considérée, financière ou opérationnelle. La notion de « *tense* » est liée à l'usage qui sera fait de la métrique, contrôle d'un résultat (outcome) ou prédiction. La mise en correspondance de ces deux points de vue aboutit à une classification des métriques en quatre catégories : financière / résultat ; financière / prédictive ; opérationnelle / résultat ; opérationnelle / prédictive.

2.5.3.2. Indicateurs de processus et indicateurs de résultat

En rupture avec les techniques traditionnelles, l'indicateur de processus est introduit. C'est un « *clignotant, appelant un acte décisif lorsqu'il s'allume, autrement dit, lorsqu'un écart est enregistré entre la réalité mesurée et l'objectif* » [Savall, 1989]. Les indicateurs de processus « *évaluent les résultats et efforts des interventions sur les composantes (structure et organisation) d'un système ou sous-système au niveau de ses ressources (circulantes et / ou structurelles), de ses processus et de leur pilotage, ainsi qu'à celui de des produits, de manière à ce que sa performance se rapproche de celle attendue* » [Collectif, 1997]. Conformément à son plan d'action et à sa décomposition d'objectifs (cf. Chapitre 1, § 4.2), le preneur de décision met en avant un certain nombre de variables d'action. En cohérence avec les philosophies d'amélioration continue, l'action sur ces variables permet de réduire les écarts entre la mesure atteinte et l'objectif. Les indicateurs de processus, qualifiés également d'action ou de principe, indiquent la manière dont le processus mis en œuvre évolue. Ces indicateurs ont une vocation prospective et sont associés aux variables d'action. Les indicateurs de résultat ou de succès sont associés aux variables essentielles et permettent de constater, *a posteriori*, l'efficacité des processus mis en œuvre. Ces indicateurs en appellent à la notion de vérification / contrôle. Afin d'illustrer l'aspect relatif de ces notions d'indicateur de résultat et de processus, considérons par exemple un indicateur classique relatif à *un taux de rebut* de produits finis. Supposons que la tendance soit à la hausse de ce taux. Plusieurs conclusions pourraient être tirées, concernant : *la sûreté de fonctionnement* d'une machine, *la maîtrise du procédé*, *la qualité de l'outillage*, *le plan qualité* mis en place…

Ainsi, dans un dispositif de pilotage, la fonctionnalité des indicateurs dépend de leur « positionnement » par rapport à l'action et au pouvoir de décision. En particulier, les expressions de performance retournées par les indicateurs de processus sont utilisées pour :

- expliquer les performances affichées par les indicateurs de résultat correspondants ;

- distinguer des systèmes ayant des résultats identiques mais des fonctionnements différents ;
- anticiper les résultats à venir, sous réserve de connaître les liens cause-effet entre les comportements et les résultats.

Vu la complexité et la hiérarchisation qui caractérisent les systèmes industriels, les variables d'action à un niveau peuvent être essentielles à un niveau inférieur. De même, toujours conformément à un raisonnement cause-effet, des indicateurs de processus à un niveau peuvent être de résultat, des indicateurs de processus leur étant à leur tour associés. Par exemple, si l'on considère un indicateur de résultat rattaché à une *quantité* produite, les indicateurs de processus, expliquant ce résultat, pourraient être la *qualité des composants utilisés*, le *taux d'absentéisme*, la *production du poste goulot*, le *délai entre deux réglages*… Ce délai peut s'expliquer à son tour par *l'outillage utilisé*, la *motivation du personnel*… Par ailleurs, si l'on considère l'indicateur de résultat identifiant *le temps de cycle*, celui-ci partage avec l'indicateur de *quantité* précédent des variables d'action telles que le poste goulot. De même, si l'on reprend l'exemple de décomposition du *délai de livraison* chez Bosch Rexroth (cf. Chapitre 1, figure 5), *le temps de passage* est d'une part de processus pour le *délai de livraison*, et de résultat pour celui des *fournisseurs*…

2.5.3.3. Indicateurs de reporting et indicateurs de pilotage

Les indicateurs de *reporting* ou d'information servent à informer (rendre compte) la hiérarchie du degré d'atteinte des objectifs. De tels indicateurs ne servent pas à un pilotage direct, *i.e.* effectué par le responsable de leur mise en place. Les indicateurs de *pilotage* servent au pilotage des activités. A usage essentiellement local, ils ne sont pas systématiquement agrégés ou transmis. De tels indicateurs sont souvent de processus, ils peuvent être également de résultat. Les indicateurs de pilotage peuvent être de plus liés à des actions dont les variables sont :

- internes, auquel cas une action sur ces variables est contrôlée ;
- externes, sur lesquelles un suivi veut être maintenu. Les indicateurs sont dits dans ce cas *latéraux* ou *de suivi*.

Par exemple, défini dans les ateliers, nous pouvons considérer que le *taux de rebut* soit utile aux analyses effectuées aux niveaux hiérarchiques supérieurs. C'est en ce sens un indicateur de reporting. Quant à un indicateur rattaché au *développement des compétences* des opérateurs en auto-contrôle, dans un îlot spécifique, il n'est pas nécessairement « remonté », l'action étant ponctuelle en l'occurrence. Aussi bien l'indicateur de résultat rattaché à la *quantité de composants fabriqués* que son indicateur de processus lié à la *maîtrise de l'assemblage* sont des indicateurs de pilotage de l'activité d'assemblage. En outre, autant la *maîtrise du processus* dépend de l'activité de production, autant la *conformité de l'outillage* est du ressort de l'activité d'industrialisation. L'indicateur associé à la *conformité de l'outillage* est de ce fait latéral pour la production.

2.6. Synthèse

En résumé et en complément aux analyses précédentes, reprenons la typologie proposée par l'AFGI [AFGI, 1992], [Gallois, 1990] (figure 3).

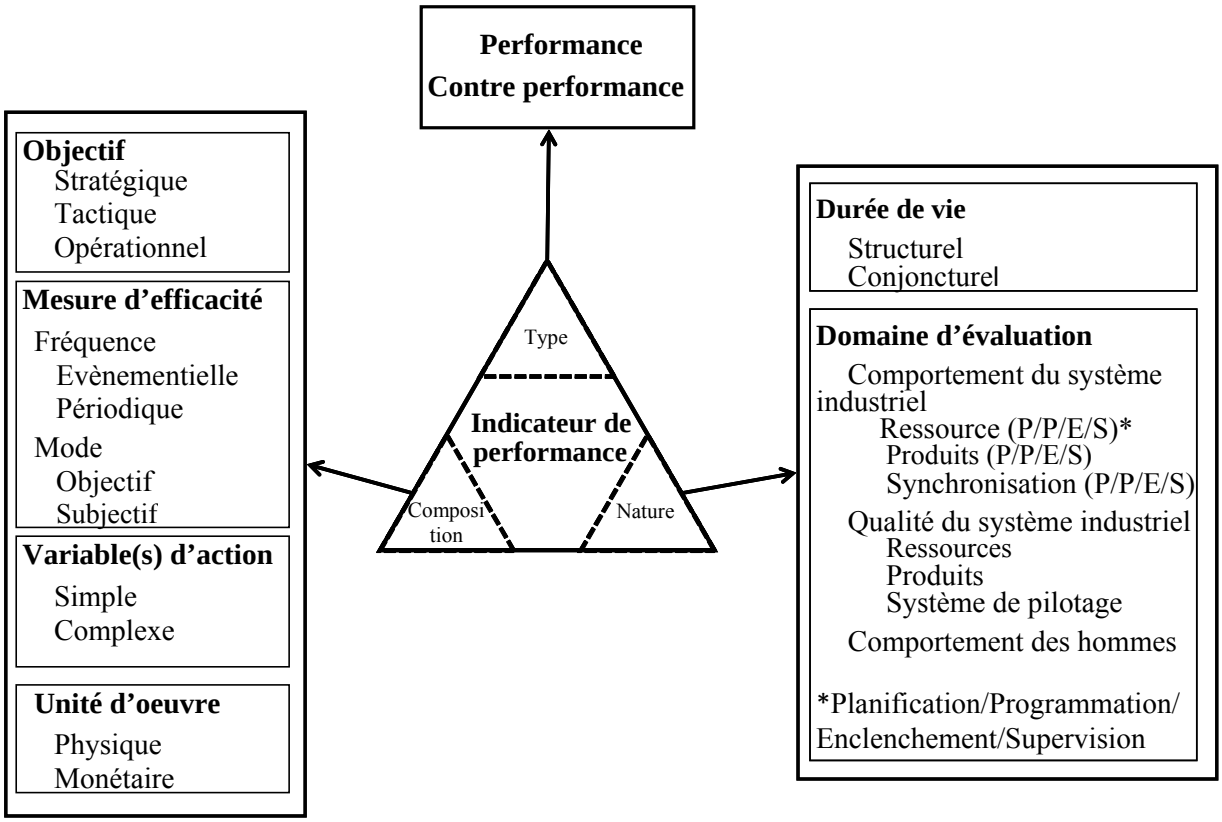

Figure 3 : Typologie des indicateurs de performance selon l'AFGI ***[Berrah, 1997]***

Précisons quelques éléments du tableau. Le paramètre rattaché au type de performance distingue les indicateurs de performance des indicateurs de contre-performance. Les indicateurs de contre-performance sont utilisés lorsque les phénomènes ne peuvent être mesurés directement (coûts de non qualité par exemple). Par ailleurs, si la mesure de la performance est effectuée dans une perspective générale d'amélioration, la mesure de la contre-performance est effectuée dans une perspective corrective (situation de dysfonctionnement : non qualité, non efficacité). Les unités d'œuvre sont les unités dans lesquelles les objectifs et mesures sont exprimés. Le domaine d'évaluation identifie le type de processus physique considéré. Sont alors distingués les indicateurs de comportement (productivité des ressources, flux des produits) des indicateurs de qualité (fiabilité des ressources, conformité des produits) et de comportement des hommes.

Notons que dans cette typologie, les « interactions » entre les différents paramètres sont soulignées. Les indicateurs associés à des objectifs opérationnels sont souvent évènementiels, objectifs, simples, exprimés en unités physiques. Plus les indicateurs s'éloignent du court terme, plus ils seront périodiques, complexes, subjectifs, incluant une part monétaire croissante.

2.7. Les évolutions de l'indicateur de performance

De ce passage en revue des définitions proposées pour l'indicateur ainsi que des typologies dressées, nous déduisons, sans prétendre à la généralité, deux sortes de conclusion. La première se rattache à l'organisation des indicateurs, tandis que la seconde porte sur le format d'expression requis pour la performance, selon le type d'indicateur mis en oeuvre.

Plus précisément, certains liens entre les catégories d'indicateurs décrites précédemment peuvent être mis en avant, en l'occurrence :

- un indicateur de performance a toujours une première vocation de résultat ;

et :

- un indicateur global est souvent stratégique et a une fonctionnalité de résultat ;
- un indicateur local est de processus pour les objectifs de niveaux supérieurs ; il est souvent de pilotage ;

et :

- plusieurs indicateurs de processus peuvent intervenir dans l'expression de la performance de l'objectif rattaché à l'indicateur de résultat ;
- plusieurs indicateurs locaux peuvent intervenir dans l'expression de la performance de l'objectif rattaché à l'indicateur global.

Ainsi :

- les notions d'indicateur local et global sont relatives les unes aux autres, de même que les notions d'indicateur de processus et de résultat.

Cette analyse nous a menés à conclure que les indicateurs, dans une logique de pilotage et de performance multicritère, font **système**. Dans ce sens, nous avons limité le périmètre de l'indicateur à une variable. Un indicateur de performance devient simple.

En outre, de par des rôles différents pour l'indicateur, nous pouvons imaginer des spécificités différentes de l'expression de performance qu'il retourne. En effet, dans ce cadre, l'indicateur de performance devient le mesurande, soit la « propriété » ou l'objet à mesurer. Les standards deviennent les indicateurs proposés et recensés dans la littérature et dans différents organismes [ECOSIP, 1996], [Browne, 1999], [ISO 9000 00, 2001], [Kaplan, 1983], [**Berrah, 2002b**], [NIST, 2002], [EFQM, 2002], [SCOR 11, 2012]. Usuellement, la mesure dans les indicateurs de performance est identifiée à la mesure physique, *i.e.* celle relevée par un capteur physique, et éventuellement traitée. Cette mesure décrit l'état réel du système considéré. Or, la définition retenue pour l'indicateur insiste sur une comparaison de cet état avec l'objectif. L'indicateur retourne ainsi une **mesure de performance [Berrah, 1997, 2000, 2004].** De plus, s'il est communément admis d'user indifféremment des termes « mesure » et « évaluation », il nous a toujours semblé important de souligner la différence entre les deux concepts. En effet, « *évaluer, c'est assigner une valeur bonne ou mauvaise, meilleure ou pire, à une chose ou à un évènement. Ce n'est donc pas simplement mesurer la valeur en quelque sorte intrinsèque des objets. C'est établir un ordre de préférences* » [Jacot 1990]. L'auteur rajoute : « *ce qui compte : ce n'est pas simplement mesurer la valeur en quelque sorte intrinsèque des objets, mais c'est établir un ordre de préférence* » [Jacot, 1990].

Dans cet ordre d'idées, V. Giard précise : « *L'évaluation d'un ensemble d'indicateurs implique la mesure de leurs écarts par rapport à l'ensemble correspondant de valeurs de référence mais aussi un jugement du caractère plus ou moins acceptable des écarts* » [Giard, 1990]. Dans ce sens, depuis de nombreuses années, nous soutenons une distinction fondamentale, dans l'expression de la performance, entre les notions de mesure et d'**évaluation**. Fournissant une information locale, la notion de mesure est enrichie par celle d'évaluation, pour intégrer une forme de satisfaction du preneur de décision au vu des mesures atteintes, et donner une interprétation par rapport à une vision globale ou cadre de référence. La notion d'évaluation induit des aspects de coordination et de cohérence entre indicateurs. « *La pertinence d'une évaluation tient bien plus à la qualité de l'interprétation qu'à l'exactitude et à la précision des calculs* » [Lerch, 1996]. Dans l'analyse que P. Folan et son équipe [Folan, 2007] proposent autour du concept de performance, nous retrouvons cette idée : "*For performance assessment we can input the analysis of Bourguignon and Chiapello*

[Bourguignon, 2005], who, using a trial-inspired model, worked to develop a three-step model of performance assessment, consisting of:

- *instrumentation-the step used to determine the preconditions of assessment;*
- *evaluation-the step for the actual production of a value judgement;*
- *consequences-where the value judgements reached result in numerous consequences."*

A titre indicatif, le tableau ci-après donne des exemples d'association entre les niveaux d'intervention des indicateurs dans le pilotage et le type d'expression de la performance.

Expression de la performance	**Types d'indicateurs**	***Exemple rapporté à une quantité de ski produite***
Mesure physique	locaux, processus…	$P = 2000\,skis$
Mesure de performance	suivi, reporting, alerte…	$P = 500\ skis\ de\ moins$
Evaluation de performance	stratégique, structurel…	$P = 0.80$

Figure 4. Des exemples d'expression de performance

3. Les systèmes d'indicateurs de performance

Bon nombre de travaux continuent aujourd'hui à traiter de la problématique de l'expression de la performance. Les réflexions menées se structurent autour d'un vocable commun qu'est le *Performance Measurement System* - PMS, qui trouve partiellement une traduction dans la notion de Système d'Indicateurs de Performance - SIP. Globalement, l'émergence de cette notion au début des années 1990 a fait écho à l'évolution de celle de critère dans l'entreprise. A.M. Ghalayini et son équipe [Ghalayini, 1997] associent l'émergence des PMS à l'insuffisance des "performance measures". De telles mesures étaient dédiées à la seule prise en compte des aspects financiers (productivité, ROI) et utilisées à des fins d'optimisations locales. Dans leur récent état de l'art sur les PMS, S.S. Nudurupati [Nudurupati, 2011] et son équipe reviennent de manière étayée sur les origines des PMS. Rappelons que si dans les années 1960, le coût était prédominant, il a été substitué par celui de productivité en 1970, puis de qualité en 1990 pour prendre pleinement une dimension multiple depuis. De ce fait, le PMS a été conceptualisé pour répondre à un besoin d'expression multicritère [Hon, 2005], [Ghalayini, 1996], [Gunaserakan, 2005], [Dossi, 2008], [Rezaei, 2011]. Si nous continuons notre relecture des évolutions industrielles, nous pouvons observer qu'en termes de pilotage, cet outil s'est progressivement accompagné de la mise en place de démarches d'amélioration dites « continues », fortement incitées par l'industrie japonaise, qui, à la fin des guerres mondiales, était confrontée à des problèmes de qualité et de dimensionnement de lots de production. Le concept de PMS est, de fait, essentiellement occidental. En effet, plutôt que de se focaliser sur la notion de mesure qui ferait se centrer sur l'état atteint, soit le *as-is* du problème, la philosophie japonaise se concentre sur la notion d'objectif d'amélioration et de celle d'écart à continûment combler. C'est dans cet esprit que les outils rattachés à la qualité totale sont définis, englobant en l'occurrence le Kaïzen, le juste-à-temps, les chantiers Hoschin... A pareille époque, l'industrie occidentale misait sur de meilleures gestion des stocks et planification des besoins. Elle était de ce fait à la recherche de solutions automatiques et intégrées telles que le MRP puis les CAD et plus récemment les ERP. L'innovation était mise en avant pour attirer le client. L'ensemble de ces actions avait pour but la performance financière. Au milieu des années 1990, les concepts respectifs de chaîne logistique et de durabilité sont venus étendre la problématique de gestion industrielle et celle

de satisfaction des clients à un ensemble d'entreprises et à davantage de critères. Sans vouloir nous étendre sur cet aspect, il nous semble intéressant de noter qu'un point de vue menant au même constat considère que l'évolution de la notion de PMS et de son rôle se rattache à l'évolution de la notion de commerce international. A. Dossi et L. Patelli [Dossi, 2008] expliquent comment cette évolution du commerce, d'« international » dans les années 1970, puis « global » dans les années 1980, à « transnational » dans les années 1990 a impacté les modèles organisationnels et de prise de décision et de ce fait le rôle des PMS. Les entreprises ont ainsi progressivement évolué de structures hiérarchiques vers des modèles organisationnels en réseaux : ce qui a conféré à la prise de décision un caractère centralisé, puis délégué et aujourd'hui hybride. Dans ce sens, initialement, les PMS avaient une logique comptable d'évaluation de l'impact d'une activité internationale. Plus tard, les PMS ont accompagné les logiques de planification et de décentralisation pour représenter aujourd'hui l'outil d'évaluation de la performance de multinationales.

Dépassant ainsi le cadre de l'évaluation économique de la rentabilité à court terme de l'entreprise, les expressions fournies par les PMS sont calculées pour accompagner l'évolution des processus d'amélioration mis en place, dans un contexte plus ou moins intégré et étendu. Les premières contributions méthodologiques se sont inscrites dans une logique revendicatrice de l'aspect non financier de la performance. C'est ainsi en l'occurrence que R.S. Kaplan et D.P. Norton ont annoncé une définition équilibrée de la performance, à travers leur « tableau de bord équilibré » (Balanced Scorecard - BSC) [Kaplan, 1992].

Nous souhaitons dans cette partie effectuer un retour sur la littérature dans le domaine des PMS. L'état de l'art en la matière étant très riche, nous ne ferons qu'évoquer les travaux ayant trait à nos propres développements. Nous plaçant d'un point de vue chronologique, nous commencerons par passer en revue les principaux précurseurs en termes de proposition de cadres globaux d'expression de la performance. Partant de leurs préconisations préliminaires, nous retiendrons les principales définitions posées. Nous insisterons alors sur la notion de cycle de vie d'un PMS pour récapituler les principales contributions. Pour finir cette partie, nous aborderons les problématiques actuelles concernant les PMS, notamment les aspects rattachés au « management » et aux systèmes d'information, aux critères de durabilité et à l'espace de la chaîne logistique.

3.1. L'émergence de la notion de PMS

3.1.1. Pour une expression multicritère de la performance

Dès 1985, S. Globerson propose un "*Performance Criteria System*" [Globerson, 1985] pour la prise en compte de l'aspect multidimensionnel de la performance. La démarche de mise en place d'un tel système repose sur quatre étapes : le choix de critères « critiques », la mise en place des indicateurs correspondants, la définition des objectifs, la conception d'une boucle de pilotage pour corriger les écarts entre la performance réalisée et les objectifs.

Un peu plus tard, toujours dans la mouvance d'une performance multicritère, le PMQ - "*Performance Measurement Questionnaire*" - est proposé [Dixon, 1990], pour l'identification des zones d'amélioration de l'entreprise et la définition des indicateurs correspondants. Les indicateurs sont organisés de manière hiérarchisée. La connaissance nécessaire pour les construire est organisée en un modèle de questionnaire en trois parties, relatives à, l'identité des dirigeants à questionner, aux objectifs d'amélioration prioritaires et à la pertinence des indicateurs existants. A l'issue du déploiement du PMQ, des indicateurs adaptés au contexte mis en avant sont proposés.

Alliant les aspects multicritère et multiniveau, le modèle SMART - "*System Measurement Analysis and Reporting Technique*" - [Cross, 1988-89] décline la stratégie jusqu'au niveau opérationnel, selon des critères mesurables, en l'occurrence la qualité, le délai, la productivité et la flexibilité. Mettant en avant les principes de décomposition des objectifs et d'agrégation des performances, la dite pyramide de la performance est alors obtenue, résultant de la hiérarchisation de ces critères en quatre niveaux décisionnels. Les objectifs sont décomposés selon ces critères du plus haut niveau vers le plus bas, et les indicateurs sont reportés du plus bas niveau vers le plus haut.

Allant plus loin par la mise en avant de la dépendance des critères, D. P. Keegan [Keegan, 1989] propose la "*Performance Measurement Matrix*" pour une vision équilibrée de la performance. Les critères de performance sont distingués selon qu'ils soient externes ou internes, financiers ou non financiers. La performance est envisagée à partir de ces différents critères, tout en tenant compte des liens de coordination entre eux.

Toujours dans cette mouvance de prise en compte de l'aspect multicritère de la performance, L. Fitzgerald et son équipe [Fitzgerald, 1991] distinguent la performance globale de l'entreprise de la performance des déterminants (ou facteurs d'influence) de cette performance. Dans le "*Results and Determinants Framework*", la performance globale est exprimée par des indicateurs de résultat tandis que celle des déterminants est exprimée à l'aide d'indicateurs de processus.

Signalons que c'est sur la base de ces typologies de critères que les approches ABC / ABM (cf. § 2.1) ont modifié l'instrumentation de la performance. Le principe est d'identifier les inducteurs permettant l'amélioration de la performance des activités et des processus de l'entreprise. Les méthodes ABC / ABM ont donné lieu à de nombreux développements durant les années 1990, et ont inspiré bon nombre de propositions en termes de PMS, dont celle développée dans notre équipe **[Berrah, 1997, 2000, 2011a].** L'idée est la définition d'une méthode de mise en place d'indicateurs dont la cohérence est garantie par le déploiement de la notion de contrôlabilité (cf. § 2.3), et ce, au travers de la mise en œuvre du triplet (objectif, mesure, variable) de l'indicateur [Lorino, 1996a], [AFGI, 1992], [Le Clainche, 2000].

Notons enfin, parmi les travaux sur la typologie des critères de performance, ceux de G. Azzone, C. Masella et U. Bertele [Azzone, 1991] autour de critères considérés comme « compétitifs ». Structurelle, l'approche proposée consiste à décliner ces critères sur les domaines de l'entreprise, et de leur associer des mesures, distinguées selon les facettes interne et externe au système considéré.

3.1.2. Recommandations et définitions pour un PMS

Dans les années 1990, les premiers cadres globaux d'expression de la performance apparaissent, essentiellement sous la forme de conditions ou principes que les mesures de performance ont à satisfaire. Dans ce sens, B.H. Maskell [Maskell, 1991] propose sept principes rattachés à, la nécessité que les mesures soient en lien avec la stratégie, qu'elles intègrent la dimension non financière, les changements contextuels, qu'elles soient définies au regard d'une entité de l'entreprise, qu'elles aident au pilotage réactif et à l'amélioration continue, et qu'elles soient faciles d'utilisation.

Pour leur part, J.D. Wisner et F.E. Fawcett [Wisner, 1991] formalisent, selon nous, la première procédure de mise en place d'indicateurs. Cette procédure repose sur deux étapes dont la première est rattachée au déploiement de la stratégie sur les « zones fonctionnelles », soient les zones critiques du système considéré. La seconde concerne la mise à jour, soit le rafraîchissement périodique du cadre mis en place. Les auteurs évoquent également certains aspects tels que ceux liés à la cohérence et à la compatibilité entre indicateurs du cadre.

A leur manière d'introduire l'évolutif *Balanced Scorecard* - BSC, R.S. Kaplan et D.P. Norton [Kaplan, 1992] mettent très vite l'accent sur le besoin de déploiement de la stratégie, remettant en cause la représentativité de la mesure financière. Les réflexions des auteurs représentent, selon nous, l'illustration du passage de la notion ensembliste de "performance measures" vers celle systémique de PMS. Nous retrouvons cette idée de lien avec la stratégie et son déploiement dans les réflexions de L. Clemens et son équipe [Clemens, 2004], qui considèrent que le "Performance Measurement" (PM) est une activité: "*that managers perform in order to reach predefined goals that are derived from the company's strategic objectives, and based on the firm's strategy*".

Sans évoquer la notion de PMS, V. Popova et A. Sharpanskykh [Popova, 2010] retiennent le caractère sélectif d'un tel système, en ayant une démarche inductive, incitant à considérer la totalité des indicateurs de performance de l'entreprise et à n'en retenir que les indicateurs clés (*key performance indicators*) au vu des objectifs.

Toutefois, il nous semble qu'aucune définition n'a véritablement cherché à couvrir la globalité du concept de PMS, autrement qu'en considérant le PMS comme une instance particulière de la notion de système, soit "*a set of interrelated elements*" [Bertallanfy, 1968], ou « *une représentation d'un phénomène actif, perçu identifiable par ses projets, dans un environnement actif, dans lequel il fonctionne et se transforme téléologiquement* » [Le Moigne, 1990]. Dans cet état d'esprit, nous avons proposé, dans les travaux de V. Clivillé [Clivillé, 2004], une définition sytémique d'un PMS, vu à travers : ses finalités, son environnement, son organisation, son comportement. Notons néanmoins qu'à proprement parler nous avions plus formalisé la notion de SIP, qui a relativement peu d'écho dans la littérature, que celle de PMS. Surlignant l'importance de la notion d'interaction, le SIP devient : *« un système d'indicateurs de performance en interaction »*. Cette idée est formulée plus tard par RR. Rodriguez et son équipe [Rodriguez, 2009] : "*In general terms, a PMS defines some objectives derived from strategy and one associated set of key performance indicators following a top-down process. (KPIs)*". Toujours dans cette logique, annonçant une volonté calculatoire d'exprimer la performance rattachée à un objectif global, à partir de l'ensemble des performances retournées par les indicateurs du SIP, nous avons considéré: "*a PMS can be seen as a multi-criteria instrument, made of a set of performance expressions (also referred to as "metrics" [Cooke, 2001], [Melnyk, 2004], i.e. physical measures as well as performance evaluations, to be consistently organized with respect to the objectives of the company. Generally, the considered global objectives are broken down into elementary ones along organizational levels (strategic, tactical or operational)*" **[Clivillé, 2007]**.

Dans le cadre du projet ENAPS (cf § 2.2), les auteurs insistent sur la dimension procédurale rattachée au PMS qu'ils définissent, comme un « ensemble complet de mesures de performance et d'indicateurs obtenus de manière consistante, conformément à un ensemble défini de règles et d'indications » [Browne, 1999]. Dans ce courant de pensée, adoptant le point de vue de la mesure - dans leur étude des fondements d'un système de mesures -, R. Bullock et R. Deckro [Bullock, 2006] partent également de la définition générale d'un système. Les auteurs insistent sur l'importance de l'environnement du système, qui dicte non seulement les interactions internes au système mais aussi l'intérêt (contrôle, explication, prédiction…) et la manière de définir des mesures. Les auteurs donnent ainsi au PMS le sens suivant : "*systems communicate physical and behavioral information through relevant attributes [Ackoff, 1971]. System measurement is the process of identifying these attributes and retrieving this information*". Les mesures d'un système sont, liées à la stratégie, pertinentes au regard du choix du calendrier de leurs prises de mesure, objectives, économiques, complètes et mesurables.

Pour leur part et assez exceptionnellement, Lohman et son équipe [Lohman, 2004] inscrivent le PMS dans le prolongement de l'indicateur de performance - PI, conformément à la définition proposée par L. Fortuin (§ 2.2). Les auteurs distinguent respectivement le PI, le Performance Measurement - PM du PMS : "*PM is the activity of measuring performance using PIs. A PMS is a system (software, databases, and procedures) to execute PM in a consistent and complete way*".

Dans la lignée des courants insufflés par le TQM - Total Quality Management - et le BE - Business Excellence -, des cadres normatifs sont introduits, définissant les critères à retenir pour évaluer la performance ainsi que leur mode de déploiement [ISO 9000, 2001], [NIST, 2002], [EFQM, 2002], [Chin, 2003], [Rezaei, 2011]. Politiques et stratégiques, de tels outils constituent une aide à l'évaluation de la performance atteinte, à la définition des facteurs dits de compétitivité, tels que le leadership, l'orientation marché et client, le management des processus… et à l'identification des zones d'amélioration. Pour sa part, la norme ISO fournit aux entreprises un guide de mise en place des indicateurs en vue du pilotage de leurs processus. La norme distingue pour ce faire la conception des indicateurs, leur exploitation et leur révision [ISO 9000, 2001], **[Clivillé, 2009]**.

A l'issue d'un état de l'art en la matière, A. Neely et son équipe [Neely, 1995, 1996] préconisent une réflexion sur la fonctionnalité quantificative d'un PMS, en le voyant comme "*the process of quantifying effectiveness and efficiency of actions*". Pour sa part, l'équipe de A. Ghalayini [Ghalayini, 1997] est convaincue de la nécessité d'avoir une approche à la fois intégrée et dynamique du PMS, afin de couvrir la globalité des aspects du système physique d'une part, et de dépasser le cadre de l'optimisation financière d'autre part[18]. De manière plus opérationnelle, U. Bititci [Bititci, 1995] défend les mêmes idées d'intégration et de dynamique[19], en insistant sur certains aspects tels que le déploiement des objectifs stratégiques, la recherche permanente d'une amélioration, la dimension multicritère de la performance d'une organisation.

L'idée d'intégration est considérée par l'équipe de S.A. Melnyk [Melnyk, 2004] qui, travaillant sur les métriques (cf. § 2.2), distingue, les métriques individuelles, les ensembles de métriques et les systèmes de métriques. Un système de métriques est identifié à un PMS. Il est défini au plus haut niveau décisionnel et a pour vocation d'intégrer l'ensemble des métriques. Ceci sous-entend pour les auteurs une problématique de structuration et d'expression d'une performance globale à partir des métriques regroupées, pour répondre à la question : "*Overall, how well are we doing?*"

K.K.B. Hon [Hon, 2005] résume également les conditions qu'un PMS idéal satisfait, en soulignant la tendance à la surinformation en termes de mesures considérées. Nous retrouvons

---

[18] Les auteurs déduisent de leurs propres propositions qu'un PMS : "*provides performance measurement integration at several levels: integration of process improvement teams, management, and factory shop floor performance measurement, integration of general areas of success with associated performance measures and indicators, and integration of relevant financial measures with operational performance measures*" [Ghalayini, 1997].

[19] Les auteurs proposent aux concepteurs de PMS le cahier des charges suivant : "*Performance measurement systems must be researched in a holistic context applying to all aspects of a manufacturing business in order to avoid suboptimisation. Performance measurement systems must provide a vehicle for deploying business objectives and strategies through all levels of the organisation to maximise integration. Performance measurement systems must facilitate continuous improvement in line with the strategic objectives of the business. Performance measurement systems should facilitate understanding of the structures and relationships between various measures and promote conscious management of inevitable conflicts. The traditional accounting based performance measures and the non-financial performance measures should not be mutually exclusive but should be integrated under one system of performance measurement. Performance measurement system design should consider information systems capabilities to provide the necessary level of data in terms of accuracy and reliability [Kehoe, 1993]. Performance measurement systems design should consider the organisational, behavioural and cultural aspects of the organisation concerned. Some background work on this area has been carried out by Rotter [Rotter, 1966]*".

la simplicité, l'aptitude à l'anticipation (predictive ability), le « pervasiveness ». Centré sur la définition d'un cadre d'expression de performance pour les systèmes manufacturiers, l'auteur préfère toutefois continuer à utiliser le vocable de "performance measures" et a une forme de définition *a posteriori* des PMF "Performance Measurement Frameworks". K.K.B. Hon pense que la majorité des cadres conçus l'ont été pour répondre à des besoins de management de l'entreprise, en termes de "*review, monitor, intervene, control and predict its performance*". Positionnant le PMF dans son rôle d'aide à la décision, l'auteur le rattache à l'ensemble des étapes nécessaires à l'expression de la performance. Ainsi, un PMF satisfait aux conditions suivantes :"*the choice of what to measure, how and when to measure and how to interpret the results*". L'auteur reprend par ailleurs les préconisations de M.W. Meyer [Meyer, 2002] : "*look back - look ahead - roll up - roll down - compare - compensate - motivate*". L'idée de considérer un PMS à travers ses fonctions d'aide à la décision est également défendue par J.F. Henri [Henri, 2006] dans ses réflexions sur le lien entre, les cultures d'entreprise et leur organisation d'une part, et l'utilisation et la diversité des mesures dans les PMS d'autre part. L'auteur résume le rôle d'un PMS dans trois fonctionnalités, la coordination, le monitoring et le diagnostic[20].

3.2. Les grands PMS

Les courants de pensée en termes de PMS ont globalement été impulsés par les réflexions menées sur l'insuffisance de l'expression financière de la performance et sont, pour certains, le prolongement de travaux menés autour de la modélisation d'entreprise, et pour d'autres, une réponse à certaines prérogatives des PMS, pour aboutir à des solutions opérationnelles et ciblées.

Avant de passer à une synthétique description de ces propositions, il nous semble important de rappeler quelques principes de modélisation. Plus précisément, R. Bullock et R. Deckro [Bullock, 2006] se placent au niveau de la conception des PMS et posent la nécessité d'un cadre pour conceptualiser le système de mesures et décrivent ces cadres comme étant « verticaux » ou « horizontaux ». La représentation verticale est hiérarchique tandis que celle horizontale s'apparente à une représentation par processus. Cette classification est en cohérence avec ce que nous avons considéré pour la décomposition des objectifs, d'une part, et avec la typologie des indicateurs de performance (cf. § 2.5), d'autre part. Les auteurs soulignent par ailleurs une approche de modélisation systémique, fondée sur la description des *input-output* des systèmes, mettant l'accent sur les liens cause-effet entre les mesures. Cette réflexion rejoint celle plus large de la considération qu'un système de mesures n'est rien d'autre qu'un système de sous-systèmes de mesures [Ackoff, 1971], **[Berrah, 2012]**. Une hiérarchie peut alors être obtenue entre les sous-systèmes et les entrées de certains sous-systèmes deviennent les sorties d'autres. Dans la même logique, P. Folan et J. Brown [Folan, 2005] déduisent que les frameworks ne sont que le représenté d'un ensemble de recommandations. Les auteurs distinguent les frameworks structurels de ceux procéduraux. Les cadres structurels sont ceux qui résultent d'une réflexion sur une typologie des mesures de performance et de leur management. Les cadres procéduraux se consacrent à la définition

---

[20] *"…The coordinating role refers to the use of PMS to direct and focus decision makers attention on the primary and secondary objectives of the organization. The monitoring aspect is associated with the measurement and reporting of performance… The diagnostic role refers to the assessment of the cause-and-effect relationships among process performance, organizational learning and organizational performance. Simons [Simons, 1990] distinguished the diagnostic and interactive use of control systems. The diagnostic use refers to the formal feedback systems used to monitor predictable goal achievement while the interactive use focuses attention and force dialogue throughout the organization by reflecting signals sent by top managers*" [Henri, 2006].

d'une procédure de détermination des mesures de performance pour une stratégie donnée. Selon P. Folan et J. Brown, la notion de PMS, peu formalisée dans la littérature en tant que telle, englobe les deux types de cadres ainsi que d'autres « outils » tels qu'une liste de mesures…

Dans les travaux de thèse de V. Clivillé [Clivillé, 2004], nous avions retenu dix contributions qui nous paraissaient significatives. Les revues proposées à l'époque de ces travaux [Globerson, 1985], [Neely, 1999], [Bourne, 2003], et plus tard dans la littérature confirment globalement ce nombre et ces contributions [Folan, 2005], [Hon, 2005], [Pinheiro de Lima, 2009], [Elbaz, 2011], [Nudurupati, 2011]. Nous choisissons de les faire apparaître dans l'ordre chronologique. Nous nous proposons également de positionner l'ensemble de ces propositions par rapport au cycle de vie d'un PMS, à savoir ses trois grandes phases de conception, d'exploitation et de révision.

3.2.1. ECOGRAI (1990)

Développée dans la mouvance du modèle GRAI d'entreprise, et évolutive sur une quinzaine d'années, la méthode ECOGRAI est procédurale et trouve un certain écho dans le monde industriel. ECOGRAI a pour objet la conception et l'implantation d'un système de mesures de performance d'une unité de production ou du système industriel de l'entreprise [Bitton, 1990], [Doumeingts, 2006], [Ducq, 1999, 2001].

En termes de conception, ECOGRAI se fonde sur la « grille » GRAI, à savoir une décomposition de l'entreprise par fonctions et par niveaux. La structure de pilotage se superpose à cette grille, mettant en avant la notion de Centre de Décision - CD. Un CD se définit par une fonction et un niveau et se caractérise par des liens de « subordination », entre CD de niveaux différents, et de « synchronisation », entre CD d'un même niveau. La méthode propose un modèle d'indicateur fondé sur le triplet (objectif, mesure, indicateur). Les objectifs sont décomposés selon la structure de pilotage, sur la base des liens de subordination et de synchronisation entre les CD. La déclaration des objectifs associés aux activités s'identifie à la performance attendue des activités. Une approche d'agrégation, critère par critère, des « indicateurs » est adoptée. Les opérateurs d'agrégation utilisés sont la « somme », le «produit», le « min » et le « max ». Le choix de l'opérateur d'agrégation se fait en fonction du triptyque (coût, qualité, délai) et du type de fonction qui permet la composition des activités correspondantes, suivant une analyse descendante, cohérente avec les niveaux de la grille GRAI. Les fonctions de composition envisagées dans la méthode sont « ou », « et », « séquence » [Ducq, 1999]. La cohérence de l'approche, prônée par les auteurs, se vérifie à trois niveaux, celui de l'indicateur dans son triplet constitutif, celui des indicateurs, d'une même fonction à un niveau décisionnel et contribuant aux niveaux supérieurs, et enfin, et celui des tableaux de bord des différentes fonctions et coordonnés entre eux.

Dans la phase d'exploitation du PMS, chaque indicateur est spécifié conformément à une fiche de référence, qui précise en particulier les variables d'action associées à l'indicateur. Chaque activité est pilotée par un petit nombre d'indicateurs, rattachés à un CD. La question posée au niveau de chaque CD concerne l'arbitrage des actions à associer aux variables d'action. Une matrice type QFD permet de relier les variables d'action aux indicateurs pour disposer d'une vision globale de l'effet de l'ensemble des actions sur le système. ECOGRAI ne prévoit pas spécifiquement de révision si ce n'est par la remise en cause des objectifs stratégiques de l'entreprise.

3.2.2. Le BSC - Balanced Scorecard (1992)

Qualifié de système de management par ses auteurs [Kaplan, 1992, 1998], le BSC ou tableau de bord équilibré, a pour vocation de proposer un déploiement de la stratégie de l'entreprise

en mesures et actions opérationnelles. Structurel, ce modèle est le résultat de l'évolution des techniques comptables de contrôle de gestion et des pratiques de mise en place des tableaux de bord. Le BSC se fonde sur trois concepts. Le premier concerne le modèle de la chaîne de valeur au niveau des unités de production. Le deuxième concept reprend la vision processus / activités des approches ABC / ABM. Enfin, le troisième concept se rattache à l'équilibrage des performances, conformément à la typologie de critères de la "*Performance Measurement Matrix*" (cf. § 3.1.2).

Dans le BSC, le système se conçoit à partir d'une décomposition des objectifs stratégiques. Le modèle de décomposition repose sur une structure hiérarchisée de l'entreprise et est fondé sur le principe que la performance d'une entreprise dépend respectivement de, ce qu'elle apporte aux actionnaires et aux clients, des processus considérés conséquemment, et enfin du changement requis. Cette performance s'exprime alors suivant quatre axes : « financier - clients - processus opérationnels - apprentissage organisationnel et innovation ». Dans le tableau de bord généré, sont distingués les indicateurs de résultat standards, essentiellement stratégiques, et les indicateurs avancés, conformément aux variables d'action retenues (cf. § 2.5.3.2). Cette spécificité lui confère un caractère prospectif, mis en avant par les auteurs. Les indicateurs avancés sont directement reliés à des « initiatives » (actions). Ils se retrouvent indirectement reliés dans la carte stratégique [Kaplan, 2001], qui montre les interactions entre les initiatives prises selon chacun des axes du tableau de bord. La mise en place des tableaux de bord se fait à chaque niveau décisionnel, de sorte que les actions menées soient corrélées aux objectifs stratégiques. Si le lien entre la contribution des actions à la performance financière est garanti, sa quantification n'est pas réalisée pour autant.

Le BSC est ainsi organisé en quatre tableaux de bord, chaque tableau de bord étant associé à un axe et relié aux autres tableaux de bord. En termes d'exploitation, le tableau de bord « processus opérationnels » est subordonné à celui « apprentissage organisationnel », subordonné lui-même à l'axe « clients », subordonné à son tour à l'axe « financier ». A chaque indicateur sont associés son objectif, les variables d'action considérées ainsi que les actions mises en œuvre. En termes de révision, le BSC est reconsidéré dans le seul cas de déclaration de nouveaux objectifs stratégiques.

Un peu plus tard, R.S. Kaplan et D.P. Norton [Kaplan, 1996, 1998] donnent une dimension procédurale au BSC initial en considérant leur outil comme un système, qui a pour mission le déploiement de la vision, sa communication et l'élaboration des liens entre la vision et les objectifs individuels, la planification opérationnelle ainsi que le feedback et l'apprentissage.

3.2.3. Le QMPMS - Quantitative Model for Performance Measurement System (1995)

Structurel, procédural et à vocation de quantification, le QMPMS [Bititci, 1995, 2001], [Suwignjo, 2000] est défini sur la base qu'un PMS est un système d'information particulier auquel les techniques de modélisation des systèmes d'information peuvent être appliquées. Le QMPMS repose sur les idées du VSM - Viable System Model [Beer, 1984], sur une vision intégrée de l'entreprise et sur la décomposition des objectifs stratégiques et le pilotage des démarches d'amélioration. Des outils tels que la matrice QFD, les diagrammes d'état, les diagrammes cause-effet, la carte des connaissances (cognitive map), les représentations IDEF'0, la méthode AHP - Analytic Hierarchy Process - [Saaty, 1977], sont utilisés.

Le QMPMS est intégré dans le système de pilotage et a pour missions la décomposition des objectifs, d'une part, et l'expression des performances, par un principe d'agrégation des performances des unités, des processus et des activités, d'autre part. Similaire à notre approche **[Berrah, 1997, 2000], [Clivillé, 2004, 2007]**, la conception du QMPMS se fonde sur la notion de variable à laquelle un objectif et une mesure sont associés pour constituer l'indicateur. Par décomposition des objectifs, U. Bititci et son équipe entendent

l'identification des variables d'action pour la quantification des liens de subordination et de coordination entre les indicateurs. L'identification, sur plusieurs niveaux, des variables se fait à l'aide d'outils d'analyse causale. Deux types de lien sont mis en avant, décrivant l'effet, d'une action sur une variable, sur la performance d'une autre, selon que cet effet soit :

- direct ou vertical (hiérarchique) entre une variable et une variable de niveau supérieur, influencée par cette variable ; la quantification des liens se fait par la méthode AHP et aboutit à l'expression des « poids » ;
- indirect ou horizontal (mutuel) entre deux variables d'un même niveau et qui s'influencent mutuellement. Ce type de lien est quantifié par expertise.

Les auteurs distinguent également les auto-effets (self-interactions), soit l'effet d'une variable sur elle-même. L'ensemble de ces effets est représenté dans une carte de connaissances hiérarchisée. Les effets directs sont corrigés par la teneur des effets indirects. L'effet combiné obtenu intervient dans l'agrégation, par la moyenne pondérée, des performances associées aux variables d'un même niveau pour obtenir la performance du niveau supérieur. Plus tard, J. Sarkis [Sarkis, 2003] propose de revisiter le modèle QMPMS, par l'introduction de la méthode ANP - Analytic Network Process - [Saaty, 2005], pour une plus grande prise en compte des interactions entre variables.

En termes d'exploitation, les tableaux de bord du QMPMS considèrent un nombre réduit d'indicateurs, dont la périodicité de mise à jour dépend de l'importance de la variable associée. La révision du QMPMS s'effectue au gré de la mise en œuvre du cycle PDCA associé à une démarche d'amélioration. L'étape *Check* se traduit par une observation des évolutions internes et externes à l'entreprise. Le pilotage propose de nouveaux objectifs (*Act*) et en planifie (*Plan*) l'atteinte. A l'étape *Do*, de nouveaux tableaux de bord sont construits.

3.2.4. Le PBA - Process Based Approach (1995)

Procédural, le PBA s'identifie à une méthodologie d'intégration du système d'indicateurs, sur la base de la définition donnée par A. Neely et son équipe [Neely, 1995, 1999, 2000], [Bourne, 2000]. En tant que PMS, le PBA est défini à des fins de pilotage et d'identification des zones d'amélioration de la performance. Reprenant les travaux menés sur le PMQ (cf. § 3.1.1), ceux de J.D. Wisner et F.E. Fawcett sur leur cadre méthodologique (cf. § 3.1.2) ainsi que les travaux sur le BSC, les auteurs proposent un guide complémentaire, validé dans le monde industriel. Les différentes phases du cycle de vie du PMS sont considérées comme constitutives d'un processus.

Dans la phase de conception, les indicateurs sont conçus et validés. Les objectifs stratégiques sont déclarés et décomposés. Indicateurs de résultat et de processus sont distingués. Le système d'indicateurs est implémenté dans le système d'information de l'entreprise. L'exploitation des tableaux de bord définis dans le guide méthodologique (workbook) de cette approche se base sur une comparaison temporelle des expressions et pousse à réfléchir aux actions à mettre en œuvre. La révision du système obtenu n'est pas spécifiée en tant que telle, si ce n'est qu'elle se conforme aux préceptes d'amélioration continue, et dépend des évolutions des « forces » de l'entreprise, en l'occurrence les influences externes ou internes, les processus impliqués, le niveau de risque induit par un changement… [Waggoner, 1999].

Plus tardivement, l'équipe a proposé un PMS structurel et plutôt stratégique, le "*Performance Prism*", sur la base d'une pondération de cinq faces : la satisfaction des actionnaires, les stratégies, les processus, les capacités et la contribution des actionnaires [Neely, 2002].

3.2.5. Le IDPMS - Integrated Dynamic Performance Measurement System (1997)

Intégration et Dynamique sont les mots-clés de ce modèle. Assez fédérateurs, A. Ghalayini et son équipe [Ghalayini, 1997] reprennent les points forts des modèles proposés auparavant. En l'occurrence, l'approche PBA est considérée pour l'actualisation du système. Le modèle SMART (cf. § 3.1.1) est repris pour son déploiement de la stratégie, le PMQ (cf. § 3.1.1) pour l'identification des points d'amélioration et le BSC pour l'équilibrage dans l'expression de la performance. Dans IDPMS, l'entreprise est considérée au travers de trois domaines, celui du management (chargé du pilotage stratégique), celui des processus d'amélioration (chargé du pilotage tactique) et enfin, celui des ateliers (chargé du pilotage opérationnel). L'intégration prend son sens par le biais de la spécification, du reporting et de la mise à jour des mesures de performance.

Dans la phase de conception, soit de décomposition des objectifs et des horizons temporels ainsi que de définition des indicateurs, les liens entre indicateurs sont identifiés sur la base de graphes des FCS et FCP considérés par le management. Le choix des indicateurs est du ressort de l'équipe chargée des démarches d'amélioration. Ces liens sont quantifiés par expertise, en fonction du contexte. La décomposition des objectifs se fait via le modèle "*Value Focus Cycle Time*", qui permet une vision agrégée et détaillée du système physique, et distingue, pour les activités considérées, les opérations à valeur ajoutée des opérations à non valeur ajoutée [Noble, 1994]. La fixation des jalons temporels se fait par le biais du demi-cycle de vie (half-life cycle) [Schneiderman, 1988]. Le principe de cette méthode est de prédire les taux d'amélioration des processus TQM, selon qu'ils soient organisationnels ou techniques. La prédiction s'effectue à partir d'une matrice qui croise la complexité des processus et leur « demi-cycle » de vie, sur la base d'une observation des améliorations produites à l'issue de la demi-vie des processus.

Le pilotage exploite les tableaux de bord associés aux FCP de l'entreprise, sur les niveaux stratégique, tactique et opérationnel. Le modèle considère des indicateurs de résultat, retournant des performances élémentaires ou agrégées ainsi que des indicateurs de processus, réservés aux niveaux opérationnel et tactique. Pour un plan d'action, les liens entre tableaux de bord sont identifiés, par le biais des graphes de FCS / FCP, sur la base du PMQ, puis quantifiés par expertise. La révision se fait conformément aux approches QMPMS et PBA, *i.e.* lors d'une redéfinition des FCS et FCP de l'entreprise, soit une redéfinition des objectifs stratégiques. En outre, les objectifs décomposés sont révisés périodiquement, en accord avec les préceptes de l'amélioration continue. Cette révision a pour objectif de garantir l'atteignabilité des objectifs à court ou moyen termes. L'aspect dynamique de l'approche, revendiqué par les auteurs, est caractérisé par cette révision des FCS et FCP et objectifs stratégiques. De plus, les objectifs peuvent être modulés dans le temps selon le concept de demi-cycle de vie.

3.2.6. Le PPMS - Process Performance Measurement System (1999)

Procédural, le PPMS a pour objet une expression à la fois quantitative, qualitative et globale de la performance [Kueng, 1999, 2000, 2001]. Le PPMS trouve ses fondements dans les approches ABC / ABM, le BSC, les approches TQM et EQA (cf. § 3.1.2). Le système d'indicateurs collecte les mesures de performance des processus, les compare aux valeurs passées et attendues. Les résultats obtenus sont affichés sous forme de tableaux de bord.

L'évolution du PPMS s'effectue selon quatre phases « conception - implémentation - exploitation - démantèlement ». Les objectifs stratégiques sont décomposés selon chaque processus opérationnel, conformément à cinq aspects génériques « financier - clients - employés - société civile - innovation ». Les objectifs sont décomposés tant que la performance qui leur est associée ne peut être mesurée directement. Des indicateurs et des

actions sont associés aux objectifs obtenus. Ainsi, la performance de chaque processus est exprimée au moyen d'arborescences d'indicateurs à cinq branches. Avant d'être implémentés, les indicateurs sont soumis à certaines vérifications, en termes « d'aptitude à être quantifié - de sensibilité - de linéarité - de fiabilité - d'efficience ». Pour leur part, les tableaux de bord exploités sont structurés selon plusieurs niveaux, avec des liens de subordination entre les indicateurs et une collecte automatique des données.

3.2.7. ENAPS - European Network for Advanced Performance Studies (1999)

Résultat d'un projet européen ESPRIT [Browne, 1999], cette approche se veut proposer une base de données européenne commune, prônant un système d'indicateurs générique, et ce, à des fins de benchmarking. ENAPS reprend certains principes énoncés dans les approches décrites précédemment telles que ECOGRAI, BSC, PMQ (cf. § 3.1.1). Fondé sur une vision processus de l'entreprise, ENAPS considère en l'occurrence deux autres systèmes d'indicateurs existants : TOPP et AMBITE.

Structurel, le TOPP system, développé par un consortium norvégien, cherche une vision intégrée de la profitabilité de l'entreprise et propose d'évaluer la performance d'une vingtaine de ses processus critiques, suivant les critères de coût, qualité et délai. Trois indicateurs sont mis en avant, l'efficacité, l'efficience et l'adaptabilité [SINTEF, 1992], [Rolstadås, 2000]. La démarche s'appuie sur un questionnaire de plus de 300 questions, qui permet à l'entreprise de s'étalonner et d'identifier ses projets d'amélioration. Structurel aussi, le système AMBITE - Advanced Manufacturing Business Implementation Tool for Europe - propose un mécanisme de décomposition des objectifs stratégiques en indicateurs opérationnels. Le PMS est bâti sur une réflexion sur le croisement de trois dimensions, les processus opérationnels, les facteurs de compétitivité et les typologies de production (conception à la commande, production sur stock, production ou assemblage à la commande). Des indicateurs standard sont définis, selon cinq FCS « coût - qualité - délai - flexibilité - environnement », pour les cinq principaux processus opérationnels de l'entreprise « ingénierie collaborative - conception - production - achats - ventes » [Bradley, 1996], [Rolstadås, 2000], [Folan, 2005].

ENAPS s'inspire des indicateurs génériques du TOPP system et utilise une approche descendante, basée sur un modèle processus tel celui du système AMBITE. L'entreprise est considérée au travers de quatre fonctions principales : « développement produit - traitement des commandes - service client - marketing ». Les indicateurs sont mis en place aux niveaux stratégique et tactique (processus majeurs). Un indicateur se définit relativement à des modèles de mesures basés sur des opérateurs tels que le ratio ou la différence. Les indicateurs sont génériques, fournis sous forme de listes relatives à un niveau, un processus et un critère. L'utilisation d'indicateurs stratégiques et tactiques standards (95) est complétée par des indicateurs opérationnels spécifiques à l'entreprise. Les indicateurs opérationnels ont pour propriété de se définir selon les FCS du système AMBITE. ENAPS étant standard par définition, il n'a pas véritablement vocation d'évoluer, même si une revue semestrielle des indicateurs est réalisée.

3.2.8. Le PM framework - Performance Measurement framework (2000)

Dans leur approche, D. Medori et D. Steeple [Medori, 2000] insistent sur l'importance des mesures non financières dans un PMS, en mettant l'accent sur la nécessité de définir des mesures, temporelles, mesurables et précises, en cohérence avec les objectifs globaux. Les auteurs pensent que les mesures doivent également être changeables et flexibles mais mettent en avant la problématique de leur nombre, qui peut induire des erreurs quant à la sélection et à l'évaluation des performances. Dans le PM framework, six critères de performance sont considérés : qualité - coût - flexibilité - délai - livraison (taux de service) - croissance.

Procédural, le PM framework a pour objet la conception et l'audit des PMS de l'entreprise. Le cadre proposé est fondé sur, d'une part, un plan structuré en six étapes et sur, d'autre part, un document de synthèse et de vérification (sepctrum/checklist). La première étape du plan définit la stratégie ainsi que les FCS de l'entreprise. La deuxième étape consiste en une mise en correspondance entre les besoins stratégiques et les critères compétitifs. Dans l'étape trois, se fait la sélection des mesures, sur la base d'une liste prédéfinie de 105 mesures non financières, dotées de leur méthode de calcul. Dans le document joint, les nouvelles mesures sont ajoutées. L'étape quatre est effectuée dans le cas de l'existence d'un PMS, et est celle de l'audit des nouvelles et anciennes mesures de performances, de sorte à détecter, obsolescences, redondances, incohérences ou « fausses alarmes ». La cinquième étape identifie celle de l'implémentation des nouvelles mesures retenues et de leur exploitation. Autorisant le feed-back, l'étape six exprime une forme de révision par un retour sur l'étape une, pour une maintenance périodique des mesures définies.

3.2.9. Le système de management de la qualité ISO 9000 (2000)

Sur ces dix dernières années, la mise en place de systèmes d'indicateurs est considérée comme étant un pré-requis pour les entreprises lorsque celles-ci souhaitent une certification. Les préconisations de la norme ISO 9000 se présentent sous la forme d'un guide de mise en place des indicateurs nécessaires pour l'évaluation des processus, préalablement formalisés (fascicules FD X 50-171, FD X 50-176).

Les indicateurs sont conçus conformément au modèle préétabli dans la norme (cf. § 2.2). Les liens entre indicateurs sont fournis par les liens entre les processus de la cartographie. En termes d'exploitation, les indicateurs sont regroupés en tableau de bord, selon les centres de décision associés aux processus considérés. La norme définit les critères à considérer (conformité - disponibilité - coûts de cycle de vie - impact environnemental), les processus (conception - achats - production…) ainsi que les aspects (personnes - infrastructures - information - partenaires) de l'entreprise à prendre en compte dans le cadre de l'amélioration de la performance. Le cycle de vie du système repose sur quatre phases « identification - conception - mise en œuvre - examen périodique du système ». La révision du système s'effectue conformément à l'évolution des démarches d'amélioration mises en place.

4. Notre synthèse sur les PMS et l'expression de la performance

Nous avions commencé par étudier, dans nos travaux, les contours de l'indicateur de performance, en tant qu'outil élémentaire pour l'expression de la performance. Les caractéristiques de la performance nous ont alors poussés, conformément à la littérature en la matière, à nous pencher sur les SIP et PMS. Aussi nous proposons-nous, dans la dernière partie de ce chapitre de rappeler, en les actualisant éventuellement, les conclusions tirées concernant les spécificités de l'expression de la performance, selon qu'elle soit retournée par l'indicateur ou par le système.

Si certains sujets inhérents à l'expression de la performance sont aujourd'hui d'actualité, la vocation des indicateurs de performance et des PMS reste toujours la même, soit l'expression d'une performance, *i.e.* d'un score atteint, au regard de référents préalablement fixés, implicitement ou explicitement, qualitativement ou quantitativement. Nous commencerons pour ce faire par passer en revue les problématiques modernes traitées aujourd'hui dans le cadre de l'expression de la performance, des PMS et des indicateurs de performance. Nous positionnerons alors notre proposition de cadre systémique pour l'expression de la performance. Nous effectuerons enfin un retour sur les invariants et avancées rencontrés dans la littérature. Nous conclurons en nous focalisant sur l'aspect calculatoire de l'expression de la performance et les déductions que nous tirons de l'ensemble de cette analyse.

4.1. Les problématiques modernes d'expression de la performance

Aujourd'hui, l'expression de la performance industrielle induit des questionnements dans des champs d'investigation, relativement nouveaux [Gunaserakan, 2005], [Abdelmaksoud, 2005], en l'occurrence, le management de la chaîne logistique (Supply Chain Management - SCM) [Ayers, 2000], [Zhu, 2008], [Elgazzar, 2012], [Olugu, 2012], l'intégration des nouvelles technologies [Nudurupati, 2011], [Braz, 2011], le développement durable [GRI, 2011], [LCSP, 1998], [Veleva, 2001], [Tseng, 2009], [Singh, 2009], [Rametsteiner, 2011], le lien aux structures organisationnelles [Lee, 2011], l'extension du concept de "measurement" vers celui de management [Brignall, 2004], [Folan, 2005], [Broadbent, 2009], [Melnyk, 2010a].

Plus particulièrement, depuis le début des années 2000, les PMS ont pour vocation l'expression de la performance d'entreprises étendues aux chaînes logistiques (SC). Des problématiques ciblées sont mises en avant dans le cadre du SCM. Citons à titre d'exemple la conception de PMS dédiés [Lohman, 2004], [Gunaserakan, 2004], [Elbaz, 2011] ; la quantification des impacts des différentes variables et parties prenantes dans l'expression de la performance des SC collaboratives [Angerhofer, 2006] ; la définition des nouveaux critères requis pour la réussite d'une SC [Melnyk, 2010b] ; l'extension d'approches utilisées dans le cas de l'expression de la performance d'une entreprise pour la prise en compte des relations entre donneur d'ordres et fournisseurs **[Berrah, 2007]** ; l'utilisation de la méthode ECOGRAI dans le contexte de SC à fonctionnements hétérogènes et qui recherchent à être inter opérables [Blanc, 2007], ou encore celle du BSC [Bhagwat, 2007], **[Berrah, 2011b]**.

Le modèle SCOR (*Supply Chain Operations Reference*) a alors été proposé par le Supply Chain Council, avec la vocation d'instrumenter une démarche de configuration d'une chaîne logistique, et d'aider à l'obtention d'une bonne performance sur quatre FCS « fiabilitié - réactivité - coût - rotation des coûts ». Résultant de la mise en commun des pratiques industrielles en termes de mise en place de chaînes logistiques, le modèle SCOR est aujourd'hui un standard [Ayers, 2000], [SCOR 11, 2012] sur lequel nous souhaitons donner quelques précisions.

L'utilisation de SCOR repose sur un modèle de la chaîne logistique fondé sur les processus. La chaîne logistique se définit selon quatre niveaux. Global, le niveau 1 définit six processus majeurs : « planification P - approvisionnement S - production M - livraison D - retour des produits S - processus supports S ». Le niveau 2 détaille chaque processus majeur en processus génériques de base. Le processus « production M » est décliné par exemple en les trois processus génériques « produire pour stock M1 - produire à la commande M2 - concevoir à la commande M3 ». Au niveau 3 sont identifiés les éléments des processus précédents. Pour le processus générique « planifier la production », quatre éléments sont identifiés : « identification des nomenclatures - identification des ressources - ajustement charge - capacité - calcul des besoins nets ». Au niveau 4, les activités propres aux entreprises sont incluses dans la chaîne logistique, conformément aux éléments du niveau 3.

A la fois procédural et structurel, SCOR propose au niveau 1 cinq indicateurs « coût du SCM - performance de la livraison - délai du traitement des commandes - productivité - productivité du capital ». Les objectifs correspondants sont fixés par étalonnage concurrentiel. Les indicateurs qui retournent des performances insuffisantes sont déclinés jusqu'au niveau 3 du modèle. La déclinaison est générique. A leur tour, les objectifs correspondants sont déclarés par étalonnage concurrentiel. La déclinaison au niveau 4 est spécifique à l'entreprise concernée. En termes d'exploitation, les tableaux de bord sont associés aux différents processus cartographiés. Les indicateurs d'un niveau à un niveau subordonné héritent de ce

lien. Enfin, le système d'indicateurs conçu pour une chaîne logistique n'est révisé que lors de la reconfiguration de la chaîne.

4.2. Un cadre systémique pour l'expression de la performance

Pour décrire notre proposition de SIP, dans le cadre de la thèse de V. Clivillé, nous avons repris la forme canonique d'un système, telle qu'elle a été présentée par J.L Lemoigne. Ainsi, un système se caractérise-t-il par : « sa finalité - son environnement - son organisation - son comportement ». Dans nos travaux, un système poursuit des finalités, concrétisées sous forme de buts et objectifs, dans un environnement donné. Pour un observateur, le système est vu comme une organisation douée d'un comportement, lié aux objectifs. L'organisation est décomposée sur plusieurs niveaux de détails en un ensemble d'entités et un ensemble d'interactions entre ces entités. Les objectifs exogènes définissent les sorties attendues du système. Les objectifs endogènes se rattachent à l'organisation requise pour atteindre les objectifs exogènes. Au vu de son organisation, le système fonctionne et se transforme pour atteindre ses objectifs, exogènes et endogènes [Clivillé, 2004].

Cette vision du système trouve une déclinaison relativement naturelle pour les SIP.

- La finalité d'un SIP est une aide à la génération, au choix, à la mise en œuvre et à la clôture d'un plan d'action, associé à un objectif global considéré.
- L'environnement du SIP est le système de pilotage et le système piloté. Le système de pilotage fournit au SIP les entrées suivantes ; « objectif global - variable correspondante - ensemble des variables associées à la variable de l'objectif global - mécanismes d'expression de la performance ». Le système piloté fournit les signaux retournés par le capteur. Les sorties du SIP sont les expressions de performance, destinées au système de pilotage.
- L'organisation du SIP se présente sous la forme d'un ensemble d'indicateurs en interaction. Ces interactions sont héritées de la décomposition des objectifs. L'entité de base du SIP est l'indicateur, tel que nous l'avions introduit précédemment. Notre perception de l'interaction à cette époque était en premier lieu définie entre deux indicateurs : « *Deux indicateurs sont en interaction si l'expression de performance élaborée par l'un d'entre eux modifie l'expression de performance élaborée par l'autre indicateur. Une interaction concerne des indicateurs d'un même niveau, et se limite généralement à deux indicateurs. Elle peut être unidirectionnelle… ou mutuelle (bidirectionnelle)* » [Clivillé, 2004]. Délicate et fondamentale dans nos travaux de formalisation, nous reviendrons sur cette notion d'interaction dans le prochain chapitre.

Par ailleurs, au niveau d'abstraction le plus élevé, le SIP se résume à l'indicateur associé à l'objectif global. Aux autres niveaux, le SIP est organisé sous forme de sous-systèmes d'indicateurs, chaque sous-système regroupant les indicateurs correspondant aux objectifs issus de la décomposition d'un même objectif.

Mentionnons enfin que les objectifs exogènes du SIP sont les expressions de performance associées respectivement à la génération et au choix du plan d'action, à sa mise en œuvre et à sa clôture. Les objectifs endogènes corollaires sont rattachés respectivement à la conception, la révision et la suppression de l'organisation du SIP.

En termes de comportement, le SIP fonctionne, en temps réel, pour atteindre ses objectifs exogènes, *i.e.* fournir des expressions de performance. Le SIP se transforme, dans le temps, *i.e.* adapte son organisation afin de fournir les expressions de performance.

4.3. Globalité, interaction et dynamique dans les PMS

Aujourd'hui, la définition de l'indicateur, celle du PMS ou SIP, leur rôle et leur positionnement dans une démarche d'amélioration permanente trouvent un large consensus dans la littérature. Il est admis que l'indicateur de performance retourne une expression qui reflète une forme d'atteinte d'un objectif. De plus, pour qu'un indicateur intègre la boucle rétroactive du pilotage, la notion de contrôlabilité doit être vérifiée, illustrée par le triplet (objectif, mesure, variable).

Si l'ensemble des concepts inhérents à l'indicateur sont posés et quasi-normalisés - définition - fonctionnalité - paramètres - typologie - contexte d'application -, il nous a semblé que le processus d'expression de la performance a moins été au cœur des préoccupations, pratiques et théoriques. Les expressions de performance sont ainsi autorisées à revêtir diverses formes. Nous en avons retenu en l'occurrence trois : la mesure physique, la mesure de performance et l'évaluation de performance. La première étape de nos réflexions sur l'expression de la performance a ainsi porté sur la formalisation du mécanisme calculatoire d'une telle expression, selon la forme adoptée.

La notion d'indicateur de performance a moins fait couler d'encre que celle de PMS ou SIP. Ceci peut s'expliquer assez vite par le caractère multidimensionnel de la performance. Ainsi, si la définition de l'indicateur est relativement simple, celle du système est plus complexe. Cette complexité est liée à l'aspect systémique de cet « ensemble d'indicateurs en interaction ». Nous pouvons de ce fait comprendre les "frameworks", les procédures, les points de vue ainsi que les typologies proposés. La littérature propose, de plus, des distinctions entre, systèmes et "frameworks", systèmes de mesures de performance et systèmes de management de performance. Ayant fait le choix d'aborder le mécanisme de l'expression de la performance du point de vue du traitement des informations impliquées, ces considérations n'ont pas fait l'objet de notre analyse.

Généralement, les approches considèrent l'indicateur de performance - ou la mesure qu'il retourne - comme la brique de base de conception d'un SIP ou d'un PMS. Elles se fondent alors sur deux principes. Le premier principe est relatif à une complémentarité des indicateurs financiers et non financiers. Le second concerne l'instrumentation des démarches d'amélioration, par le déploiement des triplets (objectif, mesure, variable), pour un modèle d'entreprise retenu. Dans ce sens, nous pouvons également trouver une explication à l'importance accordée à la phase de conception du cycle de vie du système, celle-ci étant dédiée à la définition de celui-ci. En revanche, si la dynamique est considérée par certains auteurs comme étant un aspect important d'un PMS, le traitement de cette problématique reste relativement peu approfondi. Il nous semble en effet que la dynamique est abordée le plus souvent sous l'angle des revues temporelles des objectifs puis indicateurs considérés et d'une analyse de cohérence des nouveaux systèmes générés. Des analyses tendancielles sont également suggérées.

En omettant également d'évoquer cette notion de dynamique, nous considérons que « globalité » et « interaction » sont les deux grandes spécificités d'un SIP ou PMS. Ces deux notions ont induit, selon nous, bon nombre de problématiques posées et traitées dans la littérature. En effet, nous pouvons considérer que la décomposition des objectifs comme relevant de l'aspect global de la stratégie d'entreprise et de ses missions. La décomposition des objectifs, vue pour le moins comme un intrant du PMS si ce n'est comme une de ses prérogatives, implique une réflexion sur la cohérence globale des plans d'action à définir. La problématique de l'agrégation des performances n'est alors que le corollaire de cette décomposition. Du moment que l'on décompose les objectifs, l'on agrège les expressions de

performance. De la manière dont la décomposition sera effectuée, dépendra le mécanisme d'agrégation des performances.

Comme la deuxième étape de nos réflexions sur l'expression de la performance a porté sur le mécanisme d'agrégation, au regard de ce lien à la décomposition, nous avons positionné, dans nos travaux, expression élémentaire et expression agrégée. L'expression élémentaire est par essence associée à un objectif et est retournée par un indicateur. Il est donc possible de l'exprimer directement par la comparaison d'une mesure à l'objectif. L'expression agrégée est également associée à un objectif. Elle est toutefois indirectement obtenue à partir de l'agrégation des expressions associées aux objectifs déclarés lors de la décomposition de l'objectif initial. En particulier, l'expression globale d'une performance, celle qui est associée à l'objectif global considéré, peut être élémentaire ou agrégée.

La globalité, dans le contexte actuel, implique une seconde spécificité, rattachée aux interactions. Ce concept, largement évoqué, traité et formalisé dans les propositions existantes, trouve plusieurs synonymes, tels que relations, impacts, effets, synergies, selon les auteurs. Les interactions peuvent être « verticales », identifiant une forme de contribution ou subordination. Elles peuvent également être « horizontales », identifiant une forme de coordination et de dépendance.

La notion d'interaction, aujourd'hui non complètement cernée dans le domaine de l'expression de la performance peut être intuitivement associées aux indicateurs, aux objectifs ou aux variables. Elle sous-entendra, notamment aux niveaux opérationnels et tactiques, l'interaction entre les actions menées sur les variables, soit une interaction « physique ». L'interaction peut également se définir, dans le cas de l'explicitation d'un modèle de préférence du preneur de décision, au regard des préférences entre les critères mis en jeu. Présente dans le mécanisme d'agrégation, la notion d'interaction a été prise en compte dans le formalisme que nous proposons.

Par ailleurs, l'exploitation des PMS ou SIP conçus trouve généralement un sens dans l'utilisation des indicateurs mis en place pour évaluer l'impact des actions mises en œuvre. Le système est exploité à des fins de pilotage et de prise de décision. Une des exploitations possibles, non explicitement traitée dans la littérature, concerne une forme d'aide au diagnostic, par l'explication des performances atteintes. Cette explication se fonde sur les résultats obtenus d'une part et les liens entre les différentes expressions impliquées d'autre part.

5. Conclusion

Le modèle taylorien a été la référence en termes de gestion et d'expression de la performance, quand celle-ci était purement financière - rattachée à des objectifs de productivité -, additive et définie à long terme. C'est la recherche de l'adaptation de ce dispositif qui a permis l'émergence de nouveaux outils, complémentaires, pour répondre aux nouvelles données industrielles. Les réflexions occidentales se sont alors focalisées sur les moyens de faire évoluer les outils du contrôle de gestion, ce qui a fait émerger l'indicateur « technique » de performance. En parallèle, l'école japonaise est venue pondérer cette approche orientée résultat, en proposant des philosophies dites d'amélioration continue, prônant que la recherche continuelle des progrès intermédiaires était la garantie des résultats finaux. Indicateurs de performance et démarches d'amélioration sont ainsi devenus les principaux outils associés à la performance, dans son expression et dans la mise en œuvre des actions pour l'améliorer. C'est ainsi en l'occurrence que, au service d'un indicateur de résultat, l'indicateur « de processus » est mis en avant en tant qu'indicateur majeur de pilotage réactif.

Plus précisément, les indicateurs techniques ont pour vocation de compléter les tableaux de bord en couvrant l'ensemble des critères non financiers impliqués désormais dans la performance « globale » du système considéré. En effet, le contexte d'après-guerre, la complexité des systèmes industriels et du contexte environnant ont progressivement engendré une problématique d'interaction, de dynamique et de globalité dans l'expression de la performance. Les objectifs ont de ce fait adopté un caractère global, qui a poussé à la définition de mécanismes de décomposition. En corollaire, les indicateurs de performance ont fait système.

Après avoir étudié les mécanismes de déclaration des objectifs dans le chapitre précédent, nous avons fait le choix dans ce chapitre de nous concentrer sur les propositions de la littérature en termes de définitions et de modèles concernant respectivement l'indicateur puis le système. Ce choix a toujours été motivé par la recherche, d'une part, d'un meilleur ciblage des problématiques inhérentes à l'expression de la performance et, d'autre part, de l'ancrage des réponses que nous avons fournies dans le cadre des modèles référents en la matière. Cet état de l'art nous a permis de faire ressortir certains invariants autour de l'expression de performance, tels que la globalité des objectifs, leur dimension multicritère, les interactions induites par les dépendances entre la satisfaction des objectifs et les actions mises en œuvre. La plupart des propositions recommandent du reste une vision processus du système et son inscription dans une démarche d'amélioration permanente.

Les objectifs déclarés, les cadres méthodologiques d'expression de la performance définis, la troisième étape dans ces travaux a concerné la formalisation de cette expression, d'un point de vue calculatoire. Cette formalisation fait l'objet de notre prochain chapitre.

Méthodes de quantification pour l'expression de la performance industrielle - élémentaire et agrégée

1. Introduction

Nous choisissons de décrire, dans cette ultime partie, notre modèle de calcul de l'expression de la performance. Ce modèle s'est progressivement construit sur la base d'investigations menées autour de la notion de performance en premier lieu, puis, des paramètres qui lui sont inhérents, et, enfin, des outils qui lui sont associés. Ces réflexions, qui ont été le propos des chapitres précédents, nous ont permis de mettre en avant les spécificités de l'expression de la performance, de sorte à leur faire correspondre les formalismes qui nous ont semblé adéquats.

Plus précisément, de notre analyse, il ressort qu'une expression de performance reflète l'atteinte d'un objectif. Elle se définit en lien avec une sorte de degré d'atteinte de cet objectif, pour faire écho à la théorie de la rationalité limitée selon Simon [Simon, 1982]. Ce degré d'atteinte pouvant ne pas être maximal, il illustre la notion de « satisfaisant » qui vient se substituer à la notion de « meilleur » (cf. Chapitre 1, § 3.1).

Une manière directe de calculer ce degré est la comparaison d'un état atteint - mesuré à l'issue d'une réalité d'évolution du système considéré - à l'état espéré - correspondant à l'objectif -. A leur tour, les états espéré et atteint sont respectivement déclaré et mesuré au regard d'une variable. Par conséquent, l'expression de la performance se trouve liée à ces trois paramètres - valeur espérée, valeur atteinte et variable -. Ce lien se crée de par la déclaration de la première, la mesure de la deuxième et le type de la troisième. Caractères imprécis, incertain et qualitatif sont alors parmi les considérations à intégrer dans le calcul de l'expression de la performance. La théorie des sous-ensembles flous est la voie que nous avons choisie pour la prise en compte de ces aspects.

D'autre part, vu le caractère décomposable de l'objectif, l'expression de la performance peut être associée à un objectif ou à un des sous-objectifs nés de la décomposition de cet objectif. L'aspect multicritère est également une des spécificités dont le calcul de l'expression de la performance a à tenir compte. Peuvent justement être conceptuellement distinguées les expressions respectivement globale et élémentaire. L'expression est globale lorsqu'elle correspond à un objectif global, soit à un objectif décomposable. L'expression est élémentaire lorsqu'elle correspond à un objectif élémentaire, soit à un objectif non décomposable. Dans ce contexte, le calcul d'une expression élémentaire est direct. Pour sa part, le calcul d'une expression globale peut être direct ou indirect. Il est direct dans le cas de la disponibilité d'une mesure, ou indirect dans le cas de l'indisponibilité de cette mesure, ou encore de la volonté d'expliciter les liens et interactions entre les performances élémentaires associées aux sous-objectifs. Mécanismes de comparaison et d'agrégation multicritère viennent faire écho à ces deux variantes de calcul. Plus précisément, en termes de cadrage méthodologique, les structures d'expression de la performance seront celles déduites de la décomposition des objectifs. Naturellement récursive, la décomposition d'un objectif conduit, dans la majorité des cas, à une représentation par une structure d'arbres. La racine de l'arbre représente l'objectif global, les nœuds sont les sous-objectifs et les feuilles sont associées aux objectifs élémentaires (cf. Chapitre 1, §4.4). Il devient alors intéressant d'appréhender le calcul de l'expression de la performance globale comme un parcours d'arbre **[Berrah, 2013]**. Une telle

approche conduit ainsi à distinguer le calcul au niveau des feuilles qui conduit à l'expression de performance élémentaire et celui au niveau des nœuds qui va agréger les expressions issues des nœuds fils.

Le dispositif d'agrégation d'une expression de performance à partir d'expressions élémentaires véhicule une forme de connaissance sur les liens - interactions et contributions - existants. En particulier, les contributions peuvent être de deux natures, selon qu'elles relèvent d'un lien préférentiel ou d'un lien physique (cf. Chapitre 1, § 4.2). La prise en compte de ces interactions peut équilibrer, d'un point de vue global, le couple (efficacité, efficience) associé à l'atteinte de l'objectif global considéré. L'efficacité identifie l'atteinte de l'objectif global. L'efficience quantifie les efforts accomplis pour améliorer les performances élémentaires au vu d'une meilleure performance globale. Recherche d'optimisation et d'amélioration sont ainsi une manière d'exploiter les modèles de calcul posés.

Toujours au regard d'une vocation de pilotage, le format de l'expression de la performance est adapté à son usage. En réponse à la notion générale d'atteinte de l'objectif, nous distinguons en effet les mesures physiques, les mesures de performance et les évaluations de performance (cf. Chapitre 2, §2.7). La mesure physique est un cas dégénéré qui, à rigoureusement parler, ne nécessite pas de calcul. La mesure de performance, à usage souvent local, se veut seulement satisfaire à la contrainte de renseigner de l'atteinte de l'objectif associé. Plus subjective, l'évaluation de la performance en appelle, quant à elle, à une forme de jugement de valeur, selon la satisfaction du preneur de décision par rapport aux mesures physiques réalisées. Le choix de l'expression d'une mesure de performance ou d'une évaluation fera également partie des caractéristiques impactant le calcul de cette expression.

Nous nous focaliserons, dans ce chapitre, sur une expression statique de la performance, sans aller à la prise en compte de la dimension temporelle de cette expression. Nous nous positionnons de ce fait à l'issue de l'exécution des actions associées à l'objectif considéré. Aussi, traiterons-nous dans un premier temps de l'expression élémentaire puis en deuxième lieu de l'expression agrégée de la performance. Dans une troisième partie, nous décrirons notre manière d'exploiter le modèle d'agrégation obtenu à des fins de diagnostic, d'aide à l'amélioration et l'optimisation.

2. L'expression élémentaire de la performance

La formalisation de l'expression élémentaire de la performance a fait l'objet de bon nombre de nos travaux initiaux que nous référencerons dans les paragraphes suivants et constitue la brique de base du cadre que nous cherchons à proposer pour l'expression de la performance. Cette expression est associée à un objectif, plus particulièrement à une appréciation de son degré d'atteinte. L'idée qui a initié l'ensemble de nos réflexions a été alors de quantifier cette appréciation. Cherchant en cela à étendre les ratios tayloriens, nous avons défini l'obtention de ce degré comme le résultat de la comparaison d'une mesure acquise, reflet d'un état réellement atteint, avec la valeur espérée associée à l'objectif **[Berrah, 1997, 1998]**. De ce fait, le mécanisme d'expression de la performance repose sur trois étapes :

- la déclaration de l'objectif ;
- l'acquisition de la mesure ;
- la comparaison de la mesure à l'objectif.

Plus particulièrement, dans une volonté de proximité avec la pratique intuitive, il nous a semblé important de donner, au-delà d'une interprétation « tout ou rien », deux interprétations possibles à cette opération de comparaison, aboutissant à la quantification d'un degré d'atteinte. La première en est une de « correspondance » qui identifie une forme de part

commune entre la mesure et l'objectif. La seconde identifie l'« éloignement » entre les deux **[Berrah, 2001, 2002b]**. Par ailleurs, usuellement habitués à raisonner sur des univers numériques, nous avons suggéré que la comparaison s'effectue par un opérateur mathématique, identifié à l'application définie ci-après.

Définition 1 (cf. Chapitre 1, § 5.1) : Soit v la variable associée à l'objectif. L'expression élémentaire de la performance $p(v)$ *est donnée par :* $p(v) = f(o(v), m(v))$ *, où* $f : O \times M \to P$ *est la fonction de comparaison,* $o(v) \in O$ *la valeur espérée associée à l'objectif et* $m(v) \in M$ *la mesure.* O*,* M *et* P *représentent respectivement les domaines de définition de* $o(v)$ *- soit l'univers de déclaration de cette valeur,* $m(v)$ *- soit l'univers d'acquisition de cette mesure, et* $p(v)$ *- soit l'univers d'expression de cette performance.*

En l'absence d'ambiguïté sur les variables, nous utiliserons la notation simplifiée : $p = f(o, m)$. Nous considèrerons également que les domaines de définition de o et de m sont identiques.

A titre d'illustration, nous pouvons citer les deux opérateurs typiques de l'expression de la performance, à savoir, le ratio $p = \frac{o}{m}$ et la distance $p = |o - m|$. Le ratio a une sémantique de correspondance, tandis que la distance en a une d'éloignement.

De cette définition, nous avons déduit que la manière d'obtenir l'expression élémentaire de la performance introduisait la problématique de la construction de f. Nous avons considéré que la caractérisation de f - opérateur et domaines de définition - était conditionnée, d'une part, par la nature de o et de m, conformément aux deux premières étapes du processus d'expression de la performance, d'autre part, par la sémantique de p. C'est ainsi que nous avons opté pour le formalisme de la théorie des sous-ensembles flous et sa batterie d'opérateurs de comparaison. L'argumentation de ce choix ainsi que son illustration par quelques exemples sont le propos des paragraphes suivants.

2.1. La nature de o et de m, la sémantique de p

Dans le milieu industriel, la prise de décision inhérente à la mise en œuvre de démarches d'amélioration reste fortement humaine. Aussi, même si la tendance reste à la recherche d'une formulation numérique précise des informations intervenant dans la prise de décision, en l'occurrence le calcul des expressions de performance, ce cadre peut trouver ses limites. L'objet de ce paragraphe est d'analyser la nature de l'objectif et de la mesure dans ce sens.

Pour leur part, les objectifs industriels partagent les critères impliqués dans la performance globale de l'entreprise ainsi que les ressources mises en œuvre pour les atteindre. Ces considérations poussent les preneurs de décision, dans leur déclaration d'objectifs, à dépasser la logique maximaliste taylorienne pour aller vers des attitudes de tolérance, de flexibilité et de compromis. La valeur associée à l'objectif ne devient plus, dans certains cas, une valeur précise nette mais un ensemble de valeurs. La flexibilité intervient dans l'acceptation d'une forme de progression dans l'atteinte de l'objectif, plutôt qu'une atteinte « tout ou rien ». De plus, les objectifs étant le résultat d'un mécanisme cognitif propre à chaque preneur de décision (cf. Chapitre 1, § 3), le résultat de ce mécanisme est une déclaration pouvant être précise ou imprécise, selon le tempérament du preneur de décision, sa sincérité, ses exigences, les synergies qu'il se définit entre les différents objectifs déclarés et sa perception du système physique considéré.

Par ailleurs, déployant la stratégie, les objectifs sont déclarés selon différents horizons décisionnels et temporels. Conformément à toute décomposition, le degré de précision dans les déclarations varie d'un niveau à un autre, allant généralement du plus vague au plus précis. Les objectifs portent également sur un ensemble de critères ou variables, qui peuvent être aussi bien objectifs et aisément quantifiables que subjectifs, estimables qualitativement.

Outre leur diversification, les objectifs industriels peuvent avoir différentes logiques d'amélioration (cf. Chapitre 2, § 2.5). Un objectif peut s'inscrire dans une logique de progrès et être exprimé en termes de tendances d'évolution. Un objectif peut également avoir pour vocation la maîtrise d'une performance, et être déclaré alors autour d'une valeur nominale.

Ce sont là les spécificités essentielles qui nous ont menés à élargir le cadre de formalisation de la déclaration de l'objectif à un cadre qui puisse prendre en compte le caractère précis ou imprécis de la déclaration de l'objectif, flexible ou catégorique de sa satisfaction, quantitatif ou qualitatif de la variable qui lui est associée **[Berrah, 1997, 1998, 2000, 2001]**.

A l'instar des objectifs, le mode d'expression des mesures dépend de la nature de celles-ci. A l'instar des mesures en général, les mesures industrielles sont tributaires du mode d'acquisition **[Berrah, 1997], [Mauris, 2000]**. Elles peuvent donc être entachées d'incertitudes, en raison de la source, *i.e.* des caractéristiques des capteurs, de la nature de la variable considérée, des conditions de prise de mesure... Le recours à des « capteurs humains » (opérateurs) est fréquent dans les procédures de contrôle de qualité portant sur des grandeurs qualitatives. Généralement, un opérateur fournit, de manière plus fiable, une caractérisation qualitative de sa perception plutôt qu'une caractérisation quantitative. Une telle caractérisation a le mérite de représenter la globalité du phénomène observé. Ce sont ainsi des aspects liés à l'imprécision ou la subjectivité, mais aussi à l'incertitude qui sont à considérer lors de l'élaboration de la mesure. En guise de prise en compte de ces erreurs de mesure, le principe du calcul d'erreurs consiste à attacher un intervalle à la mesure. Si l'intervalle choisi pour modéliser l'erreur est étroit, il ne sera pas sûr. Si en revanche, il est pris large, la certitude s'acquiert au détriment de la précision. Quant aux probabilités, un bon usage de ce formalisme nécessite des conditions qui ne sont pas toujours remplies (observation de la variable sur une taille d'échantillons significative, mesures disjointes et précises, connaissances des lois...).

Concernant l'expression de la performance, nous défendons l'idée que, selon l'usage qui en est fait dans le processus de décision, celle-ci revêt une sémantique respectivement de mesure physique, de mesure de performance ou d'évaluation de performance **[Berrah, 1997, 2004]**. Exprimer la performance sous la forme d'une mesure physique revient à identifier p à m. Exprimer la performance sous la forme d'une mesure de performance revient à chercher à comparer m à o, sans imposer un format préalable à l'expression résultant du calcul. L'expression de performance peut être alors définie sur le même univers que l'objectif et la mesure, *i.e.* donnée dans les mêmes unités. En revanche, exprimer la performance sous forme d'une évaluation revient à donner à l'atteinte de l'objectif une sémantique de satisfaction du preneur de décision. Nous avions alors traduit cette exigence par une expression de p sur un domaine de définition spécifique, en choisissant de considérer essentiellement l'univers numérique $[0,1]$, de sorte que la valeur 0 identifie une satisfaction nulle au regard de l'atteinte de o, et la valeur 1 en identifie une satisfaction totale. Toute autre valeur dans l'intervalle traduirait un degré de satisfaction intermédiaire. Dans le même ordre d'idées, en accord avec la pratique industrielle, des univers linguistiques ordinaux fondés sur des variantes de l'ensemble $\{mauvais, moyen, bon\}$ ont également été introduits. D'autres univers numériques pourraient être considérés, par exemple l'univers $[-1,1]$ - si l'on se place dans une logique de recherche d'expression bipolaire de la performance **[Berrah, 2006]** - ou $[0,\infty]$. En outre, il est

possible également de passer d'une mesure de performance à une évaluation de performance. Selon la nature de l'opérateur choisi, le retour de l'expression de la performance sur un univers spécifique peut se faire directement ou à l'issue d'une opération de normalisation supplémentaire. En effet, traduire les performances obtenues dans l'intervalle $[0,1]$ revient à trouver une transformation qui permette cette traduction [Cérutti, 2000], [Kaufmann, 1973]. Notons que lorsque nous avions proposé cette dernière définition, nous pensions ainsi obtenir en premier lieu des informations « techniques », sans unité, typiques du niveau opérationnel. Nous avions également pensé, en partie à tort, que les performances élémentaires calculées étaient commensurables dans la mesure où elles étaient exprimées sur le même univers, et donc comparables ou éventuellement aptes à être traitées, notamment agrégées.

2.2. Les spécificités de l'expression élémentaire de la performance

Nous retenons que le calcul de l'expression élémentaire de la performance requiert la représentation de l'objectif ainsi que de la mesure, puis la comparaison de ces deux grandeurs, avec dans certains cas, des spécificités relatives au format du résultat obtenu.

Nous nous retrouvons en premier lieu avec une déclaration d'objectif pouvant être précise ou imprécise, flexible ou catégorique, quantitative ou qualitative. Nous convenons de retenir qu'une déclaration est *précise* si elle peut être exprimée par un singleton sur l'univers considéré, et qu'elle est *imprécise* dès lors qu'elle n'est pas précise, c'est-à-dire qu'elle est exprimée, sur l'univers considéré, autrement que par un singleton.

Considérant par définition qu'un objectif n'est jamais entaché d'incertitudes, nous déduisons qu'il peut être représenté par une valeur numérique nette ou un ensemble de valeurs numériques dans le cas d'une déclaration quantitative. Il peut par ailleurs être représenté par une valeur ou un ensemble de valeurs linguistiques, dans le cas d'une déclaration imprécise, *i.e.* vague. Selon la nature de la variable mise en jeu, cette valeur peut éventuellement être signifiée numériquement. Quant à la mesure, celle-ci pouvant véhiculer de l'incertitude, nous avons choisi de la représenter par des distributions de probabilités ou de possibilités dans le cas d'une acquisition numérique précise ou imprécise. Du reste, une manière de construire une distribution de possibilités numérique consiste à demander à l'expert de préciser les intervalles le plus et le moins possibles, puis d'effectuer une interpolation linéaire entre les deux extrêmes, conformément à la construction d'un sous-ensemble flou. Des méthodes plus évoluées sont proposées (voir notamment [Turksen, 1991]). Concernant les distributions de probabilités, elles peuvent être spécifiées avec le capteur utilisé, estimées à partir d'observations statistiques, ou construites à partir des indications de l'exploitant (sur les modes, les fractiles...). Dans le cas d'une estimation qualitative, nous avons imaginé une représentation par un terme linguistique, pondéré le cas échéant par un modificateur. Notons toutefois qu'au vu de la pratique industrielle, ce cas est resté peu approfondi dans nos travaux, et également dans la littérature. En outre, nous avons opté pour des univers d'expression de performance, pouvant être quelconques ou, au contraire, spécifiques, en l'occurrence l'univers $[0,1]$.

L'opération de comparaison revient, de ce fait, à comparer deux grandeurs floues. Dans notre modèle, cette opération est commune à la mesure et à l'évaluation de la performance. Pour maintenir une forme de cohérence avec les exigences industrielles, nous avons désiré que l'expression élémentaire de la performance soit donnée sous la forme d'une valeur précise, plutôt numérique. Des extensions à des expressions numériques imprécises peuvent être envisagées, dans le cas où l'on souhaite véhiculer les sémantiques respectives d'imprécision des objectifs et/ou d'incertitude des mesures **[Berrah, 1997]**. Dans ce cas, des dispositifs tels

que le principe d'extension de L. Zadeh [Zadeh, 1975] et l'arithmétique floue de manière plus générale peuvent être utilisés [Dubois, 1978, 1987], [Boukezzoula, 2012].

Bon nombre d'opérateurs de comparaison sont proposés dans la littérature [Bouchon-Meunier, 1996], [Dubois, 1982, 1984]. Essentiellement définis pour des grandeurs numériques, ces opérateurs sont à même de retourner des résultats sous la forme de valeurs pouvant être nettes ou floues. La problématique du choix de l'opérateur le plus adéquat avec le contexte de son utilisation a été relativement peu abordée dans nos travaux. En effet, nous nous sommes seulement focalisés sur les opérateurs les plus communément utilisés, au regard d'une quantification de correspondance ou d'éloignement, cherchant en cela à étendre les opérateurs de ratio et de distance. Néanmoins, la perspective d'intégrer à ce choix des aspects tels que l'attitude du preneur de décision, l'importance de l'objectif considéré serait à envisager.

La correspondance de deux ensembles concerne les fonctions caractéristiques ou d'appartenance des deux ensembles. Elle est mesurée à partir de l'appartenance des éléments aux ensembles considérés [Dubois, 1984]. La notion de correspondance trouve des illustrations dans les notions de similarité [Wang, 1995], [Fan, 1999], [Zhang, 2009], d'équivalence et de ressemblance [Kaufmann, 1973]. Bon nombre d'opérateurs ou d'indices de correspondance sont basés sur les propriétés mathématiques des ensembles (intersection, inclusion, égalité...) [Dubois, 1982], [Zwick, 1987]. Généralement, ces opérateurs donnent un résultat compris entre 0 et 1 (0 signifiant une correspondance nulle et 1 une correspondance totale), mais ont un comportement et des propriétés différents, par rapport notamment aux conditions à satisfaire pour obtenir les valeurs extrêmes.

En revanche, la notion d'éloignement entre deux ensembles prend en compte une forme de distance entre les éléments de ces ensembles [Dubois, 1984], [Rosenfeld, 1985], et trouve donc une illustration parmi les différents opérateurs de distance entre ensembles, tels que la distance Euclidienne, la distance de Hausdorf, celle de Hamming... [Cheng, 1998], [Chaudhuri, 1999], [Foulloy, 2003], [Guha, 2010], [Tran, 2002]. Pour certaines d'entre elles, le principe consiste à défuzzifier les sous-ensembles flous, généralement par un vecteur de caractéristiques (centre de gravité, cardinal...). Dans le cas de l'utilisation du centre de gravité par exemple, la performance est exprimée par le calcul de la distance entre les centres de gravité respectifs de l'objectif et de la mesure.

Enfin, nous dirons que dans le cas où l'objectif est linguistique, le calcul de la performance peut être abordé de deux manières, soit en défuzzifiant les expressions linguistiques pour se rapporter au cas numérique, soit en étendant les opérations définies dans le cas numérique.

Par ailleurs, à définir la satisfaction à partir des notions de correspondance et d'éloignement, nous pouvons concevoir que les mesures de correspondance relèvent davantage de la notion de satisfaction par rapport à l'atteinte de l'objectif, tandis que les mesures d'éloignement traduisent une sorte d'insatisfaction. Ces mesures peuvent ainsi être utilisées pour exprimer des non performances ou des tendances. Exprimant toutes les deux des performances, ces deux notions peuvent ainsi se voir comme étant bipolaires, complémentaires dans certains cas [Dubois, 2008].

Signalons enfin le cas de la déclaration de l'objectif que nous avons qualifiée de flexible et que nous choisissons de représenter par le biais d'une valeur précise. La flexibilité dans la satisfaction de l'objectif peut être introduite à travers la notion de « fonction de satisfaction » [Bellman, 1970] qui identifie un sous-ensemble flou associé à l'objectif. La comparaison est donc intégrée dans cette fonction.

Nous choisissons ici de seulement illustrer nos propos à travers quelques exemples qui nous semblent représentatifs des différentes situations mentionnées précédemment. Nous nous

focalisons sur le cas où des écritures numériques sont possibles, le cas linguistique « pur » ayant été traité dans nos travaux de manière similaire au cas numérique. A ce propos, nous chercherons à considérer les cas suivants :

- une déclaration catégorique de l'objectif et une acquisition précise et certaine de la mesure :
- une déclaration vague de l'objectif et des acquisitions précise et imprécise de la mesure ;

et de manière plus atypique de l'indicateur de performance :

- une déclaration flexible de l'objectif et une acquisition certaine de la mesure.

Dans un souci de simplification, nous ne reviendrons pas sur la grammaire et l'introduction des différents paramètres nécessaires à une description formelle de la représentation de l'objectif et de la mesure, ainsi que du calcul de l'expression élémentaire de la performance **[Berrah, 1997, 2000, 2002b]**. Nous choisissons également d'exprimer les trois grandeurs dans le même univers de discours, au regard de la même variable. Les variables retenues sont la *durée d'une opération d'assemblage* et la *quantité de skis moulés* .

2.3. Exemples de calcul

2.3.1. Déclaration catégorique de l'objectif et acquisition précise et certaine de la mesure

Considérons l'objectif rattaché à une *quantité de skis moulés* . Soit $o = 1000$, et supposons $m = 800$. Dans une logique de correspondance, le calcul le plus simple pour la performance est de considérer : $p = f(o,m) = \begin{Bmatrix} 1 \; si \; m = o \\ 0 \; \text{sinon} \end{Bmatrix}$. La correspondance entre m et o est nulle. Une manière d'introduire de la nuance consiste à calculer la performance au moyen d'opérations quantifiant l'éloignement entre m et o. En l'occurrence, le ratio $p = f(o,m) = \begin{Bmatrix} \frac{m}{o} \; \text{si} \; m \neq o \\ 1 \; \text{sinon} \end{Bmatrix}$ constitue un exemple classique d'opérateur dans ce cas. Notons que la performance exprimée, $p = 0.80$, identifie une mesure de performance.

2.3.2. Déclaration vague de l'objectif et acquisitions précise et imprécise de la mesure

Supposons que l'objectif rattaché à la *quantité de skis moulés* soit déclaré comme étant *suffisante*, au regard des skis moulés bons du premier coup. La première étape dans le mécanisme de calcul de l'expression de performance, identifiée à la représentation de l'objectif, concernera dans ce cas la signification numérique de *suffisante*, soit sa traduction en un ensemble de valeurs numériques (cf. figure 1). La variable *quantité de skis moulés* devient alors une variable numérique floue [Zadeh, 1975], [Dubois, 1987, 2000].

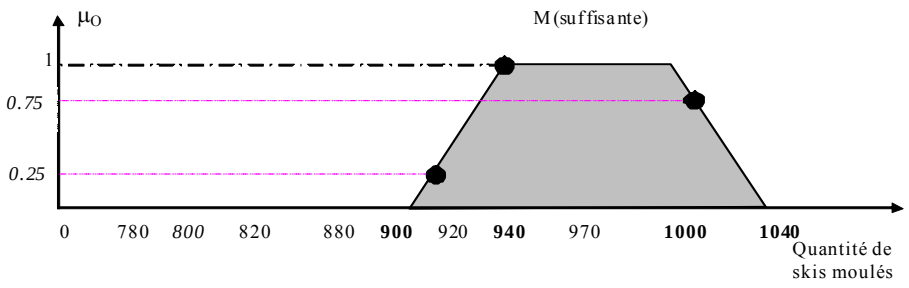

Figure 1 : Représentation par une signification numérique d'une déclaration vague d'objectif

Dans notre exemple, la signification du terme linguistique *suffisante* est représentée par l'intervalle flou *[900/940/1000/1040]*.

La figure 2 représente à la fois la valeur de l'objectif et 3 valeurs différentes pour la mesure, respectivement : $m_1 = [920/940/960]$; $m_2 = [880/900/920]$ et $m_3 = [780/800/820]$. Les nombres flous considérés cette fois identifient des distributions de possibilité, de sorte que par exemple, dans le cas de $m = m_1$, la possibilité que $m = 940$ sachant qu'elle est décrite par le nombre flou m_1 est de 1.

Dans un tel cas, la performance est intrinsèquement incertaine, du fait de l'incertitude générée par l'objectif flou [Dubois, 2003a] (cf. Chapitre 1, § 3.2) d'une part et les différentes manières d'effectuer la comparaison d'autre part. Le preneur de décision peut toutefois désirer identifier l'expression de performance à une valeur. A titre d'illustration, des mesures de correspondance peuvent être définies par deux indices communément utilisés [Dubois, 1982], [Lee, 1992] :

$$p = f(o,m) = \max_{u_j}(\min(\mu_o(u_j), \mu_m(u_j))) \tag{1}$$

$$p = f(o,m) = \frac{\sum_{u_j} \min(\mu_m(u_j), \mu_o(u_j))}{\sum_{u_j} \mu_m(u_j)} \tag{2}$$

Le principe de la comparaison à l'aide de (1) est de mesurer l'intersection de m et o, dans une vision optimiste (sémantique de possibilité), qui consiste à considérer le degré d'intersection le plus élevé. Pour des visions plus exigeantes, des opérateurs d'inclusion tels que (2) peuvent être utilisés.

Sur la base de (1) nous obtenons les résultats suivants (cf. figure 2) :

$p = f(o,m_1) = 1$; $p = f(o,m_2) = 0.25$; $p = f(o,m_3) = 0$.

Sur la base de (2) nous obtenons les performances suivantes (cf. figure 2) :

$p = f(o,m_1) = 1$; $p = f(o,m_2) = 0.12$; $p = f(o,m_3) = 0.$

En termes d'éloignement, une manière de procéder consiste à utiliser le centre de gravité pour représenter le sous-ensemble flou. Dans ce cas, la performance est exprimée par le calcul de la distance entre les centres de gravité respectifs de o et de m :

$$p = f(o,m) = |o_G - m_G| \tag{3}$$

Ainsi, $p = f(o,m_3) = |970 - 800| = 170$, soit 170 skis manquants.

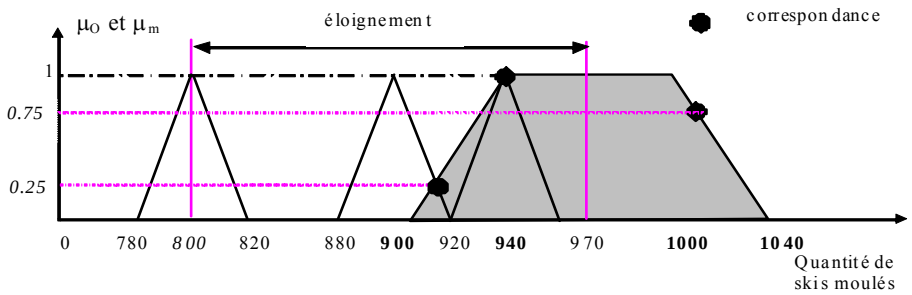

Figure 2 : Calcul de la performance par rapport à un objectif vague et des mesures imprécises

Cette approche peut se révéler limitée, dans la mesure où elle ne prend en compte que la moyenne des intervalles et non leur étendue. En l'occurrence, $m = m_3 = [780/800/820]$ et $m = m_4 = [750/800/850]$ sont à la même distance de o. Une amélioration de cette approche de calcul consiste à utiliser en plus du centre de gravité, une seconde caractéristique des sous-ensembles flous (par exemple la surface délimitée par la fonction d'appartenance). Un sous-ensemble flou est ainsi représenté par un point dans un espace de dimension 2. L'éloignement est défini par une distance dans cet espace, telle que la distance euclidienne [Zwick, 1987] :

$$p = f(o,m) = \sqrt{(o_G - m_G)^2 + (S(o) - S(m))^2} \tag{4}$$

Ainsi,

$$p = f(o,m_3) = \sqrt{170^2 + (100-20)^2} = 190 \;;\; p = f(o,m_4) = \sqrt{170^2 + (100-50)^2} = 180.$$

La première mesure est plus éloignée de o que la seconde. Ceci peut s'expliquer du fait de son étalement qui est plus petit que l'étalement de l'objectif.

Une autre approche consiste à prendre le sous-ensemble flou « en bloc », par l'intermédiaire de ses α-coupes. La distance entre les sous-ensembles flous est vue comme une fonction des distances entre les α-coupes, qui sont des ensembles nets. Un exemple de distance entre 2 ensembles nets est la distance minimale $d(A,B) = \min_{x \in A, y \in B} |x - y|$. La distance entre les sous-ensembles flous o et m s'obtient alors par exemple en effectuant une intégration sur les α-coupes [Zwick 1987].

$$p = f(o,m) = \int_0^1 d(o_\alpha, m_\alpha) \mathrm{d}\alpha \tag{5}$$

En appliquant (5) avec, pour d, la distance minimale entre deux ensembles, nous obtenons :

$$p = f(o,m_3) = 110 \;;\; p = f(o,m_4) = 100.$$

Supposons maintenant l'acquisition d'une mesure précise, soit $m = 1010$. Il s'agit dans ce cas de calculer la correspondance entre m et o. Une manière de procéder consiste à identifier cette correspondance au degré d'appartenance de m à l'ensemble flou caractérisant o. Ainsi, sur la base aussi bien de (1) que de (2), $p = f(o,m_5) = 0.75$.

2.3.3. Déclaration flexible de l'objectif et acquisition certaine de la mesure

L'exemple décrit dans la figure 3 ci-après décrit la représentation à la fois de la déclaration de l'objectif et de la fonction de performance qui lui est associée. Ainsi, concernant la *durée d'une opération d'assemblage*, on associe à l'objectif $o = 20$ le sous-ensemble flou *autour de* 20. Dans ce cas, le calcul de la performance est simplifié dans le sens où la performance est (pour une information donnée) directement déterminée par la valeur de la fonction d'appartenance.

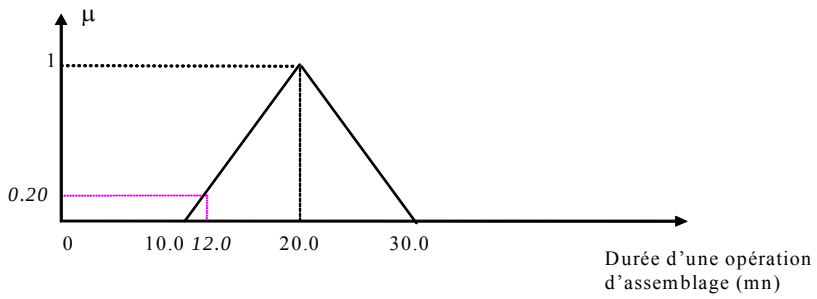

Figure 3 : Calcul de la performance dans le cas d'un objectif déclaré de manière flexible

Pour $m = 12$minutes par exemple, la performance associée sera de 0.20 . Dans ce cas, l'incertitude ne se rattache qu'à celle de la mesure, le mécanisme de comparaison étant identifié à la fonction de satisfaction. Dans le cas où la mesure se présente de manière incertaine, le calcul s'effectue sur la base du principe d'extension de Zadeh [Zadeh, 1965], **[Berrah, 1997]**.

3. L'expression agrégée de la performance

Dans notre logique de construction du cadre global d'expression de la performance, l'agrégation des expressions de performance est un corollaire de la décomposition des objectifs (cf. Chapitre 1). Par expression agrégée, nous entendons, en accord avec K. Boskma [Boskma, 1992] : « *une forme d'abstraction par laquelle un ensemble de variables présentant certaines caractéristiques communes peut être remplacée par une variable agrégée* ».

L'hypothèse sous-jacente à nos travaux sur ce point est la disponibilité ainsi que la validité d'un modèle de décomposition des objectifs, qui permet de poser qu´un objectif est atteint si l´ensemble des sous-objectifs qui le composent le sont. L'expression de la performance étant le reflet de l'atteinte d'un objectif, elle est élémentaire pour les objectifs élémentaires, agrégée pour les objectifs composés ou globaux. L'expression agrégée de la performance a représenté la deuxième étape dans l'élaboration de notre cadre global, succédant ainsi, par construction, à l'expression élémentaire. Les réflexions sur l'agrégation ont concerné, dans un souci de simplification, un niveau de l'arbre de décomposition identifiant la décomposition d'un objectif à un ensemble de sous-objectifs. L'objectif décomposé sera considéré comme étant global, les sous-objectifs seront considérés comme étant élémentaires. De plus, ces réflexions ont été menées en deux temps. La première étape a été liée à nos travaux sur les indicateurs de performance et a concerné l'agrégation des expressions élémentaires telles qu'elles ont été définies précédemment **[Berrah, 2004, 2006]**. Dans un second temps, l'agrégation a été vue sous l'angle de l'analyse multicritère, conférant de ce fait aux expressions élémentaires une interprétation de satisfaction **[Clivillé, 2004, 2007]**. En effet, dans les deux cas, la problématique de l'agrégation n'a pas pour autant été posée comme celle de l'agrégation des degrés d'atteinte des objectifs, dans les différentes formes qu'ils peuvent adopter. Ainsi, nous

n'aurons pas traité de l'agrégation des mesures de performance obtenues à l'aide de mesures de correspondance ou d'éloignement.

Le principe d'agréger est adopté dans de nombreux domaines, en l'occurrence la structuration des données, le traitement d'images, la géoscience… et peut aussi bien se rattacher à un espace de données physiques [Hall, 1992], [Bloch, 1996] qu'à un espace d'atteintes [Hwang, 1981], [Figueira, 2005], [Grabisch, 2009]. L'agrégation en général peut avoir plusieurs finalités, telles que la réduction de la dimensionnalité ou de l'incertitude véhiculée par les données, l'augmentation de la robustesse de l'information acquise, la comparabilité de situations non comparables, l'obtention d'informations qu'il est difficile d'obtenir autrement... Les informations à agréger peuvent être alors complémentaires ou redondantes, à recouvrement ou coopératives.

L'agrégation - ou encore la fusion - est parfois assimilée au processus qui en identifie les différentes étapes, à savoir l'extraction des données, leur représentation, leur combinaison ainsi que leur interprétation [Valet, 2001]. Dans tous les cas, la forme prise par cette opération dépend du format de représentation des informations à agréger ainsi que du lien entre ces informations. Dans le cas d'une représentation numérique, les liens peuvent être en effet physiques ou décisionnels. Quand les liens sont physiques, *i.e.* la connaissance porte sur les relations physiques entre les informations, ils peuvent être décrits par des fonctions analytiques, telle que les opérateurs arithmétiques ou les intégrales. De telles fonctions peuvent également être obtenues à partir d'expertise humaine, sur la base de jeux de règles ou de points caractéristiques [Grabot, 1998], [Rangone, 1996]. Les liens décisionnels ou de préférences, *i.e.* ceux dont la connaissance porte sur les relations décisionnelles entre les informations, sont souvent décrits par une sorte de « poids » d'interaction entre les informations. Ces liens sont globalement rattachés à une sémantique de satisfaction des preneurs de décision au regard des informations décisionnelles en présence. Les opérateurs suggérés fournissent généralement des résultats bornés à des intervalles tels que $[0,1]$ ou $[-1,1]$. Ils cherchent à décrire le comportement du preneur de décision, tolérant ou sévère, au regard de la combinaison, c'est le cas par exemple des t-normes et les t-conormes. L'intégrale de Choquet est utilisée dans le cas d'une volonté de compromis de satisfaction, pondéré par les différentes formes d'interactions entre les informations.

Pour notre part, nous avons retenu en guise de définition générale[21] de l'agrégation de l'information celle donnée par L. Wald : "*Information fusion is a formal framework in which are expressed means and tools for the alliance of information originating from different sensors. It aims at obtaining information of greater quality; the exact definition of greater quality will depend upon the application*" [Wald, 1998]. Nous avions alors précisé cette définition pour notre problématique : "*The aggregation problem turns out to be the definition of a way of combining the expressions of elementary pieces of information in order to determine the expression of the global information. The combination is generally a function of the expressions of the elementary pieces of information. In this view, the latter must be represented in a way that fits with the combination function format and meaning. Finally, the result of the combination can also be transformed to provide an interpretation adapted to its further use*" **[Berrah, 2004]**. La démarche que nous avons adoptée a été de considérer en premier lieu que l'expression agrégée de la performance se définissait, sur un univers numérique, comme étant le résultat de la combinaison d'un ensemble d'expressions

[21] Une autre definition générale est donnée part B.V. Dasarathy : "*Information aggregation, sometimes called information fusion or integration or revision (when time is involved), encompasses the pre-existing fields of data fusion and multicriteria decision-making, and extends them to a general framework*" [Dasarathy, 2001].

élémentaires. A cette étape de nos réflexions, la nature du lien était implicitement identifiée à celle du lien décisionnel. L'expression agrégée s'identifie alors à la fonction décrite ci-après.

Définition 2 (cf. Chapitre 1, § 5) : Soient $\mathcal{V}$ l'ensemble des variables du système considéré, v la variable associée à l'objectif global, et $\{v_i\}$, $i = \overline{1,n}$ l'ensemble des variables associées aux objectifs élémentaires. Soit $(p(v_1), p(v_2),..., p(v_n))$ le vecteur d'expressions élémentaires correspondant. L'expression agrégée de la performance $p_{ag}(v)$ est donnée par : $p_{ag}(v) = Ag(p(v_1), p(v_2),..., p(v_n))$, où $Ag : P_1 \times P_2 \times ... \times P_n \to P$ est la fonction d'agrégation. P_1, P_2, …, P_n et P représentent respectivement les domaines de définition de $p(v_1)$, $p(v_2)$, …, $p(v_n)$.

Par la suite, nous utiliserons la notation simplifiée : $p_{ag} = Ag(p_1, p_2,..., p_n)$. Nous noterons $\vec{p} = (p_1, p_2,..., p_n)$.

Etant donné que Ag formalise une opération de combinaison, la première question qu'il est légitime de se poser porte sur la cohérence de cette opération au sens des informations à combiner. Il s'agit ainsi de vérifier le caractère commensurable des expressions élémentaires [Labreuche, 2011], ce qui permet une détermination plus aisée de Ag. La problématique de la commensurabilité des informations a été vue dans un premier temps, dans nos travaux, sous l'angle de la comparabilité de ces informations et de la normalisation de leur format. Elle a ainsi été solutionnée par l'élaboration des expressions de performance comme étant des évaluations, définies particulièrement dans l'univers $[0,1]$, *i.e.* $P_1 = P_2 = ... = P_n = [0,1]$. Les expressions élémentaires valant 0 signifient de ce fait une satisfaction nulle, celles valant 1 une satisfaction totale, et toute valeur intermédiaire identifiant le même degré de satisfaction.

Une fois la condition de la commensurabilité supposée vérifiée, nous nous sommes penchés sur l'identification de Ag. A cet effet, remémorons-nous que la construction du modèle d'agrégation est le représenté du regard du preneur de décision sur cette agrégation, dans une sémantique de satisfaction. Selon son comportement, tolérant ou exigeant, optimiste ou pessimiste, les paramètres de ce modèle peuvent varier. Plus précisément, le comportement du preneur de décision intervient dès la déclaration des objectifs, dans le mécanisme de quantification (cf. Chapitre 1, § 3.1). Le choix des opérateurs de comparaison, dans le calcul des expressions élémentaires, est également de son ressort et peut traduire son attitude. Une autre manière de tenir compte de cette attitude, et c'est celle que nous avons retenue dans cette première phase, est dans la manière de définir la fonction d'agrégation. En effet, afin d'agréger les expressions élémentaires de performance, nous avions supposé qu'aussi bien la déclaration des objectifs que le calcul des expressions élémentaires de performance étaient effectués par un seul preneur de décision, donc avec une seule logique. Ce même preneur de décision est alors à même d'effectuer dans une troisième étape le choix de l'opérateur d'agrégation.

A la lumière des différentes considérations évoquées, nous nous proposons maintenant de passer très sommairement en revue quelques opérateurs d'agrégation disponibles dans la littérature, afin de mettre en avant celui que nous avons retenu, soit l'intégrale de Choquet, dans sa forme 2-additive.

3.1. De la moyenne pondérée à l'intégrale de Choquet

Bon nombre d'opérateurs d'agrégation sont proposés dans la littérature[22] [Dubois, 1985, 1986], [Grabisch 1996, 1998, 2009]. Le choix de l'opérateur dépend des propriétés que l'on souhaite véhiculer [Grabisch, 2003]. L'on peut considérer en effet, au regard de notre problématique, quelques propriétés telles celle de l'unanimité pour les valeurs extrêmes qui annule l'expression agrégée si toutes les expressions élémentaires sont nulles, et la rend totale si toutes les expressions élémentaires le sont. De manière plus générale, l'idempotence ou l'unanimité valide une situation de consensus. La propriété du compromis borne l'expression agrégée entre la plus petite expression élémentaire et la plus grande. L'associativité permet d'étendre à plus de deux arguments la définition d'un opérateur, la commutativité ou neutralité permet de garantir le même résultat quel que soit l'ordre de prise en compte des expressions à agréger.

Pour ce qui peut nous intéresser, nous avons retenu trois grandes familles d'opérateurs d'agrégation : les opérateurs conjonctifs, les opérateurs disjonctifs et les opérateurs de compromis. L'utilisation d'un opérateur conjonctif véhicule l'idée que l'expression agrégée est élevée si les expressions élémentaires le sont. Opérateurs de compromis, les opérateurs conjonctifs vérifient la propriété $Ag(1, p) = p \ \forall p \in [0,1]$. En particulier, les opérateurs conjonctifs qui vérifient la non-décroissance, la neutralité et l'associativité sont les t-normes T. Les t-normes vérifient $T(0, p) = 0 \ \forall p \in [0,1]$. L'opérateur *min* est la plus grande des t-normes. Quant aux opérateurs disjonctifs, leur principe repose sur le fait que l'expression agrégée est élevée si l'une des expressions élémentaire l'est. Ces opérateurs vérifient la propriété $Ag(0, p) = p \ \forall p \in [0,1]$. Les opérateurs disjonctifs vérifiant la neutralité, l'associativité et la non-décroissance sont les t-conormes $\perp$, duales des t-normes. Dans ce sens, les t-conormes vérifient $T(p_1, p_2) = 1 - \perp(1 - p_1, 1 - p_2)$ et $\perp(1, p) = 1 \ \forall p \in [0,1]$. L'opérateur *max* est la plus petite des t-conormes. Notons qu'avec de tels opérateurs, la notion d'importance n'est pas prise en compte.

Les opérateurs de compromis bornent l'expression agrégée entre le *min* et le *max*, et vérifient la propriété de la monotonie. Donc :

$$min(p_1,..., p_i,..., p_n) \leq p_{ag} \leq max(p_1,..., p_i,...p_n).$$

$$p_i^{'} \geq p_i \Rightarrow Ag\left(p_1,...p_i^{'},...p_n\right) \geq Ag\left(p_1,..., p_i,...p_n\right).$$

Le compromis borne ainsi, dans notre modèle, l'expression agrégée dans l'intervalle $[0,1]$, vu que les expressions élémentaires ont été bornées par cet intervalle. Les cas extrêmes de valeur minimum - attitude exigeante - et valeur maximum - attitude tolérante - identifient des situations exceptionnelles pouvant être prises en compte. La vérification de la monotonie permet de garantir que l'expression agrégée calculée pour un vecteur d'expressions élémentaires augmente dès lors qu'une des expressions élémentaires augmente, les autres expressions élémentaires restant constantes.

A l'instar des autres fonctions d'agrégation, le compromis vérifie également l'unanimité pour les valeurs extrêmes, à savoir :

$$Si \ \forall \mathrm{i} = \overline{1,\mathrm{n}} \ p_i = 1 \ alors \ p_{ag} = 1.$$

---

[22] En matière d'agrégation de façon générale, sur l'ensemble de la partie 3, l'on pourra largement se référer aux travaux et publications de M. Grabisch. Les références mentionnées dans le manuscrit restent indicatives.

$Si\ \forall \mathrm{i} = \overline{1,\mathrm{n}}\ p_i = 0\ alors\ p_{ag} = 0$.

Cette propriété traduit le principe de contribution des sous-objectifs à l'objectif dont ils sont la décomposition, dans le sens où un objectif est nécessairement atteint si tous les objectifs qui le composent sont atteints. De même, un objectif n'est pas du tout atteint si tous les objectifs qui le composent ne sont pas du tout atteints.

Dans la logique du compromis, la famille des moyennes - arithmétique, arithmétique pondérée, quadratique, géométrique, harmonique - est la plus utilisée [Marichal, 2006]. L'opérateur usuel reste la moyenne arithmétique pondérée - *Weighted Average Mean* WAM -, pour des raisons de simplicité, de proximité avec le raisonnement intuitif, et de prise en compte de ce qui est communément appelé les « poids » des expressions élémentaires. La moyenne pondérée relie expression agrégée et expressions élémentaires de la manière suivante :

$$p_{ag} = Ag(p_1,...,p_i,...,p_n) = \sum_{i=1}^{n} \omega_i p_i .$$

où ω_i est le poids de l'expression élémentaire p_i dans p_{ag}, avec $\sum_{i=1}^{n} \omega_i = 1$.

Plus généralement, les opérateurs de moyenne prennent la forme suivante :

$$p_{ag} = Ag(p_1,...,p_i,...,p_n) = f^{-1}\left(\sum_{i=1}^{n} \omega_i f(p_i)\right).$$

où f est une fonction continue et strictement croissante et $\sum_{i=1}^{n} \omega_i = 1$.

Outre la *WAM*, deux opérateurs ont suscité notre intérêt, d'une part, la moyenne pondérée ordonnée - *Ordered Weighted Average Mean* OWA - et, d'autre part, l'intégrale de Choquet. Introduit par R.R. Yager [Yager, 1988], le principe de l'opérateur OWA est d'affecter les poids ω_i en fonction du rang de l'expression p_i. L'utilisation d'un tel opérateur permet de pondérer le plus les expressions élémentaires les plus élevées, conformément à la formulation suivante :

$$p_{ag} = Ag(p_1,...,p_i,...,p_n) = OWA_{\omega}(p_1,...,p_i,...,p_n) = \sum_{i=1}^{n} \omega_i p_{(i)} ,$$

où $(p_{(1)},...,p_{(i)},...,p_{(n)})$ est une permutation des indices telle que $p_{(1)} \leq ... \leq p_{(i)} \leq ... \leq p_{(n)}$.

Quant à l'intégrale de Choquet [Labreuche, 2003], [Grabisch, 2006b], [Denneberg, 1999], elle fait partie de la famille des intégrales floues [Grabisch, 2000], [Marichal, 2006], et englobe les opérateurs WAM et OWA. Soient $N = 1...n$ et μ une mesure floue sur N, *i.e.* une application de 2^N (l'ensemble de tous les sous-ensembles des N critères) dans $[0,1]$. L'expression conventionnelle de l'intégrale de Choquet qui relierait expression agrégée et expressions élémentaires est la suivante :

$$p_{ag} = Ag(p_1,...,p_i,...,p_n) = \sum_{i=1}^{n} \left(p_{(i)} - p_{(i-1)}\right) \mu\left[\{(i),...,(n)\}\right],$$

où (.) indique une permutation sur les indices telle que $p_{(1)} \leq ... \leq p_{(i)} \leq ... \leq p_{(n)}$ et $p_{(0)} = 0$.

Ainsi, $\mu(\{(i),...,(n)\})$ représente une forme d'importance de la coalition des $(n-i)$ derniers critères au vu de la contribution des expressions élémentaires correspondantes à l'expression agrégée, les expressions élémentaires étant rangées de la moins importante à la plus importante.

Considérons à titre d'exemple un vecteur d'expressions élémentaires $(p_1, p_2, p_3) = (0.3, 0.1, 0.2)$. Ici, $N = \{1,2,3\}$. Comme $0{,}1 \leq 0{,}2 \leq 0{,}3$ alors $p_2 \leq p_3 \leq p_1$, soit $p_{(1)} \leq p_{(2)} \leq p_{(3)}$. Dans ce cas, $(1) = 2$, $(2) = 3$ et $(3) = 1$. L'intégrale de Choquet se calcule à l'aide de la mesure floue des ensembles $\{(1),(2),(3)\}$, $\{(2),(3)\}$ et $\{(3)\}$. Elle prend ainsi la force des coalitions $\{2,3,1\}$, $\{3,1\}$ et $\{1\}$.

Dans sa forme 2-additive, l'intégrale de Choquet ne considère que les interactions deux à deux, les interactions d'ordre supérieur étant considérées comme étant nulles. L'expression de l'intégrale de Choquet 2-additive reliant expression agrégée et expressions élémentaires peut s'écrire ainsi :

$$p_{ag} = Ag(p_1, \ldots, p_n) = \sum_{i \in N} \phi_i p_i - \frac{1}{2} \sum_{\{i,j\} \subset N} I_{ij} \left| p_i - p_j \right|,$$

où :

- ϕ_i est l'indice de Shapley, soit une sorte de poids du critère *i*, qui prend en compte son importance dans les coalitions où il intervient, $\sum_{i=1}^{n} \phi_i = 1$;
- I_{ij} est le coefficient d'interaction mutuelle entre les critères v_i et v_j, soit une moyenne des interactions mutuelles entre les deux critères, au vu de l'ensemble des critères avec $I_{ij} \in [-1,1]$ et $\left(\phi_i - \frac{1}{2} \sum_{\{i,j\} \subset N} \left| I_{ij} \right| \right) \geq 0 \quad \forall i \in N.$ Cette condition permet le respect de la monotonie de la fonction d'agrégation.

Si les expressions p_i et p_j sont différentes, ce coefficient vient ajuster la valeur de p_{ag} en conséquence. p_{ag} s'améliore si $I_{ij} < 0$ et on parlera de synergie entre les critères. p_{ag} se dégrade si $I_{ij} > 0$ et on parlera de contradiction ou d'antagonisme. p_{ag} reste inchangée si $I_{ij} = 0$ et on parlera d'indépendance. Dans ce cas, l'écriture de l'intégrale de Choquet rejoint celle de l'opérateur WAM.

Notons que pour notre part, dans un souci de simplicité d'usage, nous avons opté pour les écritures suivantes :

$$p_{ag} = Ag(p_1, ..., p_i, ..., p_n) = \sum_{i=1}^{n} \phi_i p_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1, j>i}^{n} I_{ij} \left| p_i - p_j \right|,$$

avec $\left(\phi_i - \frac{1}{2} \sum_{j=1, j>i}^{n} \left| I_{ij} \right| \right) \geq 0 \quad \forall i \in [1, n].$

Par ailleurs, sur le simplexe $H_{(.)}$ défini par l'ensemble des expressions élémentaires respectant l'ordre fixé par la permutation $(.)$, soit :

$$H_{(.)} = \left\{ (p_1, p_2, ..., p_n) \in [0,1]^n \,/\, p_{(1)} \leq p_{(2)} \leq ... \leq p_{(n)} \right\},$$

l'intégrale de Choquet est un opérateur linéaire qui s'écrit :

$$Ag(p_1,...,p_n) = \sum_{i=1}^{n} \Delta\mu_{(i)}.p_{(i)},$$

avec $\Delta\mu_{(i)} = \mu(\{(i),...,(n)\}) - \mu(\{(i+1),...,(n)\})$ et $\mu(\{n+1\}) = 0$.

Ainsi, dans chaque simplexe, les $\Delta\mu_{(i)}$ sont des coefficients constants, ne variant qu'en fonction des interactions et de l'ordre des expressions de performance. L'intégrale de Choquet se comporte comme une moyenne pondérée. Dans le cas particulier où les $\Delta\mu_{(i)}$ sont identiques dans tous les simplexes, l'intégrale de Choquet s'identifie à la moyenne pondérée. Dans le cas 2-additif, il a été montré dans les travaux de thèse de A. Akharraz [Akharraz, 2004] que :

$$\Delta\mu_{(i)} = \phi_{(i)} + \frac{1}{2}\sum_{j>i} I_{(i)(j)} - \frac{1}{2}\sum_{j<i} I_{(j)(i)} \quad .$$

En cohérence avec la pratique industrielle, nous nous sommes orientés vers une logique de compromis, identifiant, dans la majorité des cas, la fonction d'agrégation à un opérateur de la famille des moyennes. Ce choix a été conforté par le besoin de vérifier certaines propriétés, ce qui a écarté les opérateurs conjonctifs et disjonctifs. En effet, l'agrégation de la performance industrielle requiert la vérification des propriétés d'idempotence, de non-décroissance ainsi que la prise en compte des liens entre les expressions de performance. Quant aux attitudes de tolérance ou de non tolérance, voire de veto vis-à-vis de certains critères, elles peuvent également être prises en compte dans cette logique, au travers en l'occurrence des opérateurs *max* et *min*.

Plus particulièrement, la vision de compromis, véhiculée dès la description d'un objectif global à travers un arbre d'objectifs, soulève deux points :

- d'une part la nature des liens de contributions des expressions élémentaires à l'expression agrégée ;
- d'autre part, la nature des liens ou interactions entre les critères rattachés aux expressions élémentaires.

Bien que l'opérateur *WAM* soit assez représentatif des phénomènes industriels, le recours à cet opérateur suppose une hypothèse d'indépendance entre les différentes expressions à agréger, ce qui ne peut être le cas dans la réalité. C'est ce qui nous a menés à aller au-delà de la moyenne pondérée. Nous avons ainsi eu recours à l'intégrale de Choquet **[Berrah, 2004], [Clivillé, 2004, 2007]**.

Si les notions de poids, de coalition et d'interaction semblent intuitives de premier abord, nous avons pu constater progressivement qu'une forme de confusion pouvait s'opérer dans la manière de les quantifier. En effet, la quantification des paramètres de l'opérateur d'agrégation s'est effectuée dans un premier temps à partir d'une collecte d'expertise, auprès des preneurs de décision concernés par l'étude. Il s'est alors avéré que la notion de poids était interprétée comme la contribution d'un objectif à un objectif plus global. Quant à l'interaction, elle pouvait être synonyme, non plus d'interaction entre les préférences du preneur de décision, mais entre les plans d'action associés aux objectifs [Felix, 1994, 2008]. Nous retrouvons ainsi la distinction entre objectifs fondamentaux et objectifs de moyens, décrite précédemment (cf. Chapitre 1 § 4.2). Le questionnement d'un preneur de décision sur les interactions nous est du reste toujours apparu délicat, dans la mesure de sa difficulté à les quantifier directement.

3.2. Utilisation d'une méthodologie d'analyse multicritère

Dans la première phase de nos travaux, nous avions pour idée d'exprimer les performances élémentaires dans un premier temps, d'effectuer le choix d'un opérateur d´agrégation dans un deuxième temps, puis de réaliser, en dernier lieu, l'opération d'agrégation pour exprimer une performance agrégée. La problématique du choix de l'opérateur d'agrégation, l'hypothèse de commensurabilité des expressions élémentaires, l'impact, sur les résultats obtenus, de la manière de renseigner des paramètres de l'opérateur, nous ont poussés, dans le cadre des travaux de thèse de V. Clivillé [Clivillé, 2004] à aller au-delà, en termes méthodologiques, de cette première approche adoptée. C'est ainsi que, conjointement, tandis qu'initialement, nous avions cherché à définir l'indicateur de performance, nous avons, en second lieu, réfléchi au système d'indicateurs, en nous centrant sur sa fonctionnalité (cf. Chapitre 2, § 3.1.2), soit l'expression d'une performance agrégée à partir d'un modèle de décomposition d'objectifs d'une part et d'expressions élémentaires d'autre part.

Notre postulat a été alors de considérer que la manière dont les expressions élémentaires, en tant que degrés de satisfaction, sont ultérieurement traitées induit la façon de les calculer. En d'autres termes, les expressions élémentaires seront élaborées sachant qu'elles seront agrégées. L'opération d'agrégation conditionne désormais, dans cette étape de nos réflexions, l'expression des performances élémentaires. Si nous en sommes arrivés à cette inversion de pensées, c'est pour être en accord avec les préceptes de la théorie du mesurage [Krantz, 1971], pouvoir identifier un *Ag* interprétable et aller ainsi vers un traitement cohérent des expressions de performance. Plus particulièrement, signifiance de l'opérateur d'agrégation et commensurabilité des expressions à agréger sont apparues comme les propriétés traduisant cette cohérence. La première propriété est un pré-requis à l'usage fondé du résultat de l'agrégation. La seconde porte sur la cohérence de l'opérateur d'agrégation. Sans rechercher une définition nette et rigoureuse de ces deux notions, nous comprenons que deux expressions sont commensurables si elles donnent lieu à une même interprétation. La notion de signifiance en appelle à celle d'échelle, soit le concept qui décrit l'intervalle dans lequel les expressions sont définies, ainsi que les relations qui lui correspondent. Une opération portant sur deux expressions de performance est signifiante si deux résultats identiques de cette opération donnent lieu à une même interprétation. Concernant les expressions de performance, les opérations signifiantes sont globalement l'ordre, la différence ainsi que le ratio, correspondant respectivement aux échelles, ordinale, d'intervalle et de ratio.

Ainsi, pour un modèle de décomposition d'objectifs valide, la problématique de l'expression agrégée de la performance s'est traduite en la recherche d'un cadre méthodologique intégrant l'expression des performances élémentaires pour leur agrégation. Bien que notre problématique ait été initialement une problématique pure d'aide à l'évaluation, la dimension multicritère de l'expression de la performance ainsi que son lien à la prise de décision nous ont menés vers les méthodes proposées par le courant de l'analyse multicritère - *Multi Criteria Decision Analysis* MDCA - [Figueira, 2005] (cf. Chapitre 1, § 3.1).

Des variantes sont introduites dans ce domaine, selon que l'on considère que le résultat de la mise en œuvre de la méthode multicritère considérée identifie directement la décision - *Multi Criteria Decision Making* - ou ne constitue qu'une aide dans ce sens - *Multi Criteria Decision Aiding* -. Au vu de l'intervention humaine dans nos problématiques, nous parlons pour notre part d'aide à la décision, et la comprenons telle que définie par B. Roy : "*Decision aiding is the activity of the person who, through the use of explicit but not necessarily completely formalised models, helps obtain elements of responses to the questions posed by a stakeholder in a decision process*" [Roy, 1996].

Plus précisément, un problème multicritère se traduit par [Grabisch, 2003] :

- un ensemble de solutions potentielles : les alternatives si elles sont exclusives, ou les actions ;
- un ensemble d'au moins deux points de vue retenus pour le problème considéré : les critères ;
- des fonctions permettant l'évaluation des performances selon chaque point de vue ;
- au moins un preneur de décision ;
- la définition d'une problématique parmi celles de choix, de rangement, ou de tri.

Trois grandes familles de problèmes sont identifiées en décision multicritère. La première qui relève du choix - choice - a pour objet la sélection de la (des) meilleure(s) solution(s) parmi celles potentielles. La problématique du rangement ou classement - ranking - vise la définition d'un ordre, total ou partiel, des solutions. Quant au tri ou à la classification - sorting -, il consiste à affecter des solutions à des classes éventuellement prédéfinies. A proprement parler, rappelons que notre problématique s'est rattachée à un mécanisme d'aide à l'évaluation multicritère de la performance sans explorer en profondeur les pistes d'exploitation du résultat d'évaluation pour la prise de décision et sans les rattacher nécessairement à l'une des catégories évoquées. En effet, tandis que la notion d'objectif est fondamentale dans notre approche, la notion d'action ne l'est pas. Toutefois, au regard de la finalité donnée pour le système d'indicateurs, soit *« l'aide à la génération, au choix, à la mise en œuvre et à la clôture d'un plan d'action, associé à un objectif global considéré »* (cf. Chapitre 2, § 4.3), nous avons apparenté notre problématique à celle d'un choix. En effet, nous avions imaginé l'exploitation du système d'indicateurs comme étant rattachée au choix des plans d'action impactant le plus l'atteinte d'un objectif global, soit une expression globale. Les plans d'action deviennent ainsi nos solutions. Les points de vue représentent les critères de performance dans notre vocabulaire[23]. Ils ont à satisfaire aux conditions d'exhaustivité, de cohérence et de non redondance (et pas forcément d'indépendance). Ces conditions qui relèvent dans notre contexte du mécanisme de décomposition des objectifs sont supposés vérifiées. Les fonctions d'évaluation sont les fonctions utilisées pour exprimer ce que nous qualifions d'expressions élémentaires. La spécification des objectifs intervient dans cette étape de définition de telles fonctions. L'objectif, dans sa valeur espérée, devient dans ce sens la valeur du critère pour laquelle ces fonctions retourneraient la satisfaction totale. C'est ainsi que dans notre cas, nous avons décrit les plans d'action à travers des vecteurs d'expressions élémentaires de performance. Ces expressions élémentaires sont associées aux objectifs issus de la décomposition de l'objectif global.

Le preneur de décision cherche à trouver la meilleure solution à son problème, au vu d'une satisfaction globale, soit un point de vue de synthèse. L'agrégation signifie dans ce contexte le fait de prendre en compte l'ensemble des critères et de leur expression de performance pour pouvoir conclure à un résultat. Dans le courant de pensée du MDCA, « *le problème de l'agrégation multicritère consiste à synthétiser des informations traduisant des aspects ou des points de vue différents et parfois conflictuels au sujet d'un même ensemble d'objets. Il se pose de manière cruciale dans nombre de procédures d'évaluation, de comparaison ou de classification utilisés en aide à la décision* » [Grabisch, 2003]. L'intérêt d'agréger s'explique par le fait de la diversité des points de vue sur les solutions, des « pour » et des « contre » pour chacune d'elles, des « intensités » d'avantages et d'inconvénients. Dans ce sens, il y a rarement une solution idéale parmi celles considérées, *i.e.* une solution qui soit satisfaisante

[23] Dans cette dernière partie du manuscrit, en cohérence avec la terminologie utilisée en MDCA, nous parlerons de critères plutôt que de variables (cf. Chapitre 1, § 3.3), donnant à celle-ci une dimension décisionnelle.

sur l'ensemble des critères [Roy, 1976], [Zeleny, 1982]. Quelle que soit la problématique posée, la démarche de résolution nécessite la comparaison des solutions envisagées, que ce soit entre elles ou à des profils fictifs normatifs. Cette comparaison s'effectue généralement à partir des vecteurs d'expressions élémentaires de performance.

Deux approches peuvent être utilisées pour solutionner les problèmes d'agrégation multicritère. La première approche se fonde sur le principe d'agréger, pour chaque solution, l'ensemble des points de vue, puis de comparer les scores globaux obtenus. C'est l'approche « agréger puis comparer » [Grabisch, 2003] des méthodes dites d'agrégation de satisfactions ou à critère de synthèse unique. La seconde approche se fonde sur le principe de comparer, critère par critère, les solutions entre elles, définissant de ce fait des indices de préférences partielles. En dernière étape vient l'agrégation, pour chaque solution, des préférences partielles. C'est l'approche « comparer puis agréger » [Grabisch, 2003] des méthodes dites de surclassement ou de synthèse des relations de préférence.

Les méthodes d'agrégation de satisfactions reposent sur l'utilisation de formules mathématiques pour une définition explicite d'un critère de synthèse unique de l'ensemble des critères du problème. Elles fournissent un préordre complet sur l'ensemble des solutions, n'autorisant aucune incomparabilité. Ces méthodes nécessitent la définition d'échelles appropriées. Chaque solution se voit attribuer une note agrégée, élaborée à partir de la satisfaction des différents critères, par le biais d'un opérateur d'agrégation [Pomerol, 1993] tel que la moyenne pondérée. Le choix de l'opérateur ainsi que la quantification de ses paramètres restent délicats dans cette approche. Parmi ces méthodes, nous pouvons citer la MAUT, AHP et MACBETH.

Les méthodes de surclassement viennent fournir une sorte de procédure à l'approche basée sur la synthèse des relations de préférence. L'agrégation ne concerne plus les expressions élémentaires mais les préférences partielles, même si les mêmes opérateurs d'agrégation que pour la famille précédente peuvent être envisagés. Les notions de seuil et de veto y sont introduites. Les expressions de performance peuvent être non quantitatives et il n'est pas nécessaire pour elles de vérifier l'hypothèse de comparabilité. En revanche, l'intransitivité ainsi que l'incomparabilité y sont possibles. Une solution surclasse ou domine une autre si elle satisfait mieux, au sens du preneur de décision, les critères considérés. Dans la Pareto dominance, qui est la méthode de surclassement la plus classique [Pomerol, 1993], une solution domine au sens de Pareto une autre si elle la domine sur tous les critères. Les solutions Pareto dominantes sont celles qui ne sont dominées par aucune autre. Elles constituent la frontière de Pareto. Il est toutefois impossible de discriminer entre elles, conformément au théorème d'Arrow, elles sont donc supposées équivalentes. Dans ce sens, de nombreuses méthodes de surclassement ont été proposées, affinant la discrimination entre les solutions. Nous pouvons citer ELECTRE, PROMETHEE, ORESTE, TACTIC. Ces méthodes requièrent généralement moins d'informations que la comparaison des satisfactions de critères, mais il peut être plus difficile d'effectuer, à partir des résultats retournés, des analyses telles que le diagnostic, les contributions, les prévisions.

3.3. Le choix de la méthodologie MACBETH

Nous avons identifié la problématique de l'agrégation de la performance à une problématique de choix multicritère. Néanmoins, le problème posé reste un problème d'agrégation d'expressions élémentaires, ce qui nous a fait spontanément pencher vers les méthodes à critère de synthèse unique. Les contraintes de quantification numérique et d'exhaustivité des informations nous ont semblé cohérentes avec les données industrielles. Les caractéristiques de notre problème étant, d'une part, la présence de critères et d'objectifs et la recherche

d'expressions de performance fondées, élémentaires et agrégées, d'autre part, l'agrégation à l'aide d'un opérateur de compromis, il ne nous restait alors plus qu'à choisir la méthode la plus adéquate.

La méthode AHP - *Analytical Hierarchy Process* - [Saaty, 1977, 1984, 2006] qui relève de ce courant a été la plus utilisée dans le milieu industriel [Rangone, 1996], [Millet, 2000], [Sarkis, 2000, 2002], [Ishizaka, 2011]. Initialement conçue pour la détermination des poids dans une arborescence, AHP s'est fondée sur d'une part la moyenne pondérée pour réaliser l'agrégation et d'autre part une méthode de comparaison pour déterminer les paramètres (poids des critères) de cet opérateur. AHP se fonde sur le principe que le poids est vu comme intrinsèque au critère, et non comme un paramètre lié à une compensation avec un autre critère. Cette méthode compare les critères selon cinq niveaux d'importance, par rapport à une satisfaction globale : *égale* - *faible* - *déterminante* - *attestée* - *absolue*. L'élaboration des expressions élémentaires se fait conformément à une échelle de ratio. AHP aurait été totalement adaptée à notre problématique, toutefois la décomposition des objectifs y est implicite dans la mesure où la quantification des critères n'y est pas pensée philosophiquement, même si un arbre de variables y est considéré. Nous avions pensé également que le fait d'élaborer les expressions élémentaires de performance de manière indépendante de leur agrégation ne garantissait pas la commensurabilité. Ces constats nous ont menés alors à retenir la méthode MACBETH - *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation TecHnique* - [Bana, 1994, 1997, 1999] qui justement, se fonde sur le principe d'élaboration des expressions élémentaires en cohérence avec leur agrégation (cf. figure 4). Plus précisément, MACBETH ne procède pas à la décomposition des objectifs au sens où nous l'entendons, mais considère toutefois un arbre de variables associé à un objectif global, et définit une expression de performance *good* associée à la situation espérée, soit à ce que nous pouvons assimiler aux objectifs. Les expressions élémentaires de performance sont déterminées par transformation des informations qualitatives en informations quantitatives, sur une échelle d'intervalle bornée sur $[0,1]$, pour laquelle la moyenne pondérée est signifiante. Les paramètres de cet opérateur sont déterminés de la même façon que les expressions élémentaires de performance. Si l'opérateur d'agrégation retenu dans MACBETH est initialement la moyenne pondérée, une extension à l'intégrale de Choquet a été suggérée.

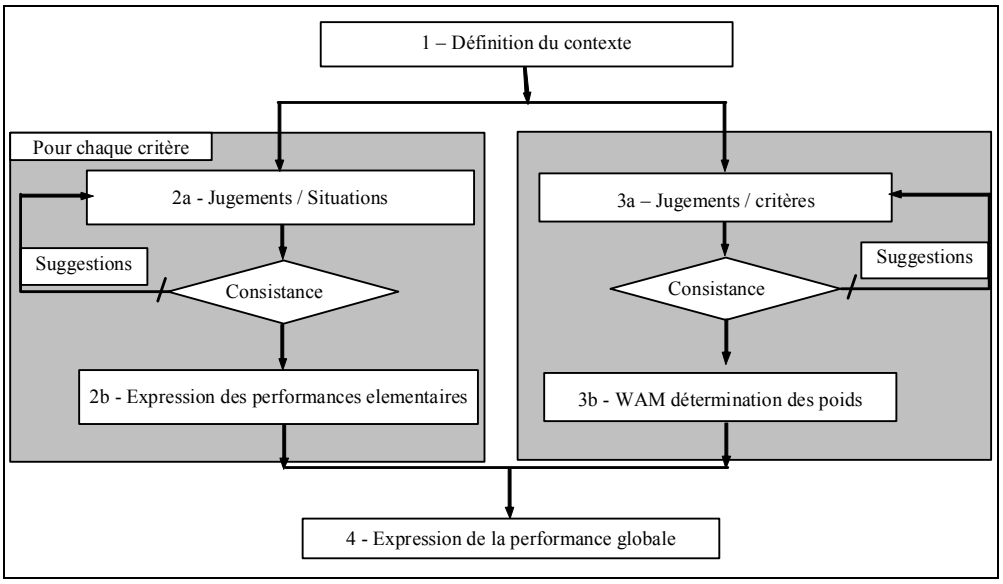

Figure 4 : Procédure MACBETH et système d'indicateurs [Bana, 2003] [Clivillé, 2007]

3.4. Exemple d'application

En guise d'illustration de notre application de MACBETH, nous choisissons de résumer l'application menée dans le cadre des travaux de thèse de V. Clivillé avec l'entreprise Fournier. L'étude a visé la conception d'un système d'indicateurs de performance rattaché à la *satisfaction_clients*, particulièrement dédiée au choix des plans d'action les plus impactants pour améliorer cette dernière. L'horizon temporel considéré a été d'une année.

3.4.1. Définition du contexte

Il s'agit dans cette étape d'identifier le problème d'aide à la décision (cf. § 3.2). Les critères retenus, par le preneur de décision, en l'occurrence le responsable qualité, sont ceux donnés par la décomposition de l'objectif rattaché à la *satisfaction_clients* (cf. tableau 1). La problématique soulevée s'apparente à une problématique de choix sur l'ensemble des plans d'action :

- Investissement matériel, noté *Invest* ;
- Mise en place d'un suivi de production, noté *Suivi Prod* ;
- Formation à la polyvalence, noté *Polyval* ;
- Renforcement des contrôles, noté *Contrôle* ;
- Mise en place d'une politique d'amélioration continue, noté *Kaïzen* ;
- Constitution des gammes commerciales, noté *Gam Com* ;
- Refonte du système d'information, noté *Sys info*.

Concernant les fonctions d'évaluation des performances, MACBETH propose un recueil d'expertise qu'elle traite pour déduire les expressions élémentaires de performance. L'agrégation se fait par la moyenne pondérée des expressions élémentaires. Les paramètres de l'opérateur d'agrégation sont également déduits par expertise.

3.4.2. Recueil des jugements

Il s'agit d'élaborer l'ensemble des expressions élémentaires, pour chacun des plans d'action considérés. Pour ce faire, le preneur de décision est interrogé sur ses jugements (préférences) sur les différentes situations rencontrées, en termes d'expressions de performance, et ce, pour chaque critère.

Le tableau ci-après résume, conformément à MACBETH, les quantifications associées aux niveaux *good* et *neutral*, soit aux situations où les expressions de performance sont totales et nulles. Dans notre cas, le preneur de décision a associé le niveau *good* à ses objectifs et le niveau *neutral* au moins bon état atteint sur l'année écoulée. Le preneur de décision n'a pas associé de quantification directe à la variable globale.

Critère	*taux_SAV*	*taux_service*	*offre_produit*	*délai_commercial*	*prix*	*climat_social*
Niveau *good*	$1,2\%\ CA$	$97,5\%$	*complète*	*5 à 7semaines*	$1\ (coeff.)$	*excellent*
Niveau *neutral*	$1,32\%\ CA$	90%	*incomplète*	*9 à 11semaines*	$1\ (coeff.)$	*bon*

Tableau 1 : Définition des critères, la déclaration des objectifs et du niveau neutral (source Fournier)

Dans MACBETH, les préférences peuvent être exprimées avec différentes intensités, sur une échelle à 7 niveaux : « *nulle* », « *très faible* », « *faible* », « *modérée* », « *forte* », « *très forte* », « *extrême* ». En cas de connaissance insuffisante, le preneur de décision exprime une

préférence ordinale notée « *P* » ou une préférence inconnue, notée « *?* » ou encore sur un intervalle borné par deux intensités de préférence, par exemple [« *faible* », « *forte* »].

Dans notre cas, il s'agit d'exprimer 6 performances élémentaires, par rapport aux 7 plans d'action envisagés. Nous nous retrouvons ainsi avec 42 inconnues à déterminer. Ceci induit la nécessité de disposer d'au moins 48 comparaisons. La matrice de la figure 5 donne un exemple de recueil de jugements (au moins 8), au regard du *taux _ SAV* .

3.4.3. Elaboration des expressions élémentaires

Il s'agit de déduire, à partir des jugements prononcés, les expressions de performance élémentaires. Le traitement des informations de préférences collectées peut se faire de deux façons, dans la mesure où la méthode permet une expression élémentaire nette (une valeur), ou nuancée (un intervalle), tel que décrit figure 5.

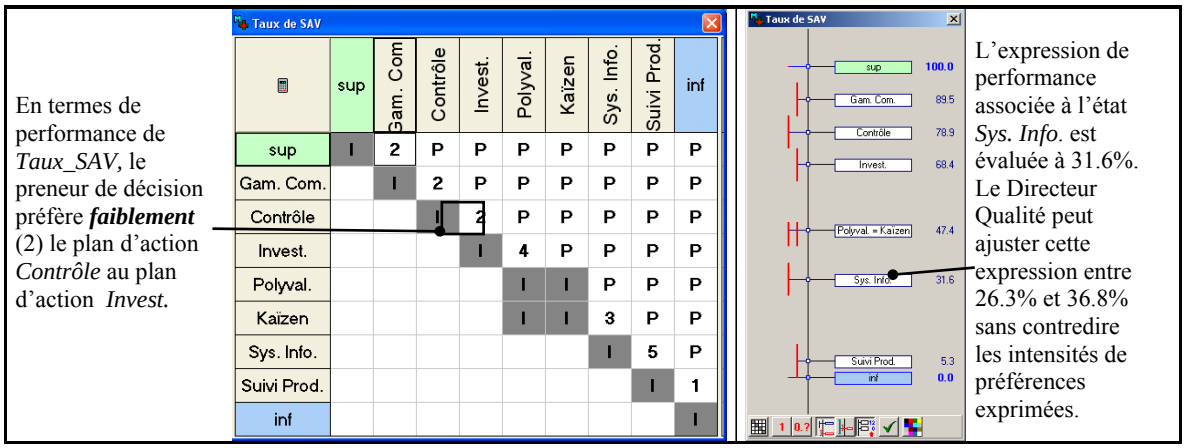

Figure 5 : Matrice des intensités de préférence et Vecteur d'expressions élémentaires pour le critère *taux _ SAV*

3.4.4. Recueil des jugements

Il s'agit de déterminer maintenant les paramètres de l'opérateur d'agrégation. MACBETH, ayant initialement développée pour la moyenne pondérée et pour des raisons de concision, nous choisissons de ne pas l'illustrer ici pour son extension à l'intégrale de Choquet **[Clivillé, 2004, 2007]**. Ainsi, 6 inconnues sont à déterminer. Le principe est le même que pour l'élaboration des expressions de performance élémentaires. Le preneur de décision est interrogé sur ses jugements concernant les différents critères, toujours sur la base d'une comparaison entre plusieurs situations (cf. figure 6). Dans ce cas, il s'agit de comparer les expressions agrégées associées à des vecteurs d'expressions élémentaires simplifiés. MACBETH préconise de considérer des vecteurs, identifiant des situations fictives, qui annulent à chaque fois toutes les expressions de performance sauf une, qui prend la valeur 1. Ces vecteurs sont de type $(0,...0,1,0...,0)$. En fait, nous avons opté pour des vecteurs qui annulent à chaque fois une seule expression, soit des vecteurs de la forme $(1,...1,0,1...,1)$, qui correspondent à des cas plus adaptés à la pratique. La méthode permet également la prise en compte des situations fictives respectivement *all high* et *all low*, qui correspondre aux états où toutes les expressions élémentaires sont respectivement totales et nulles. Le preneur de décision décide dans notre cas que l'état au début de l'étude identifie *all low*.

3.4.5. Elaboration des poids

Il s'agit de déduire, à partir des jugements prononcés, les poids associés aux expressions élémentaires, tel que décrit figure 6.

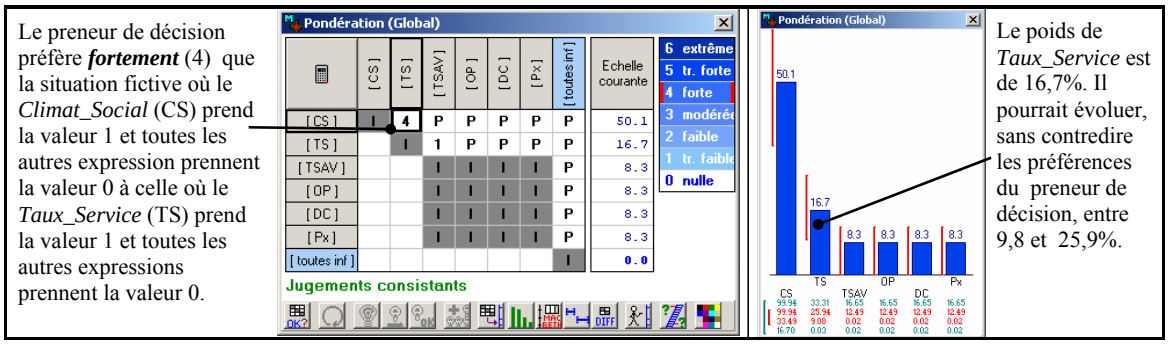

Figure 6 : Matrice des jugements et des poids

3.4.6. Expression de la performance agrégée

L'expression de performance agrégée associée à chaque état est alors obtenue en agrégeant les différentes expressions de performance (figure 7).

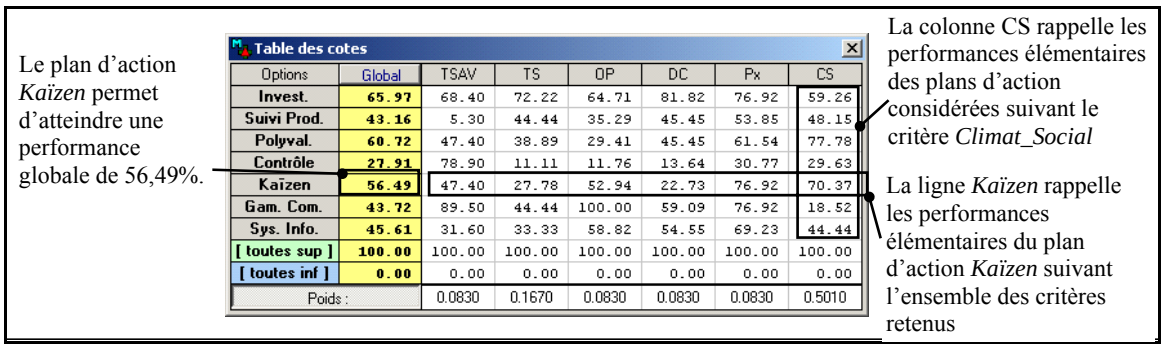

Figure 7 : Expression de la performance agrégée

Nous conclurons cette partie en précisant que ce modèle d'expression agrégée de la performance, fondé sur l'utilisation conjointe de MACBETH et de l'intégrale de Choquet a été appliqué à certaines des problématiques inhérentes au contexte industriel. En l'occurrence, au-delà des applications menées dans la société Fournier **[Clivillé, 2004, 2007]**, nous l'avons suggéré pour la sélection des fournisseurs dans une chaîne logistique. Nous avions adopté en premier lieu une définition de la chaîne logistique axée sur le modèle SCOR **[Berrah, 2007], [Clivillé, 2012a]**, puis ultérieurement sur la notion de système de systèmes **[Berrah, 2012].** Le preneur de décision a été identifié dans cette situation à un donneur d'ordres, fabricant de roulements, face à une problématique de choix du fournisseur satisfaisant au mieux ses critères. Par ailleurs, une approche de quantification du BSC, appliquée à des fabricants de textile, a également été proposée sur la base de ce modèle, prônant l'expression d'une performance globale à partir de l'agrégation des performances de chaque axe **[Berrah, 2011b]**. De telles modélisations ont permis à l'industriel non seulement de mieux clarifier ses problématiques, mais de quantifier ses appréciations, et de visualiser les relations entre les expressions de performances, les critères et les variables.

4. Application : Aide au diagnostic et à l'amélioration

Dans cette étape, la dernière que nous choisissons de décrire dans ce manuscrit, nous nous sommes penchés sur l'exploitation des expressions de performance retournées par le système d'indicateurs. Au-delà de la construction d'un tableau de bord faisant écho à la décomposition d'un objectif global, l'intérêt que nous voyons à considérer les deux types d'expressions de performance - agrégée et élémentaires - est dans le lien entre elles. Ainsi, ce lien nous a semblé utile en premier lieu à l'aide au diagnostic, soit à l'explication *a posteriori* des résultats atteints. L'approche cardinale retenue - les performances sont exprimées sur une

échelle d'intervalle - facilite la quantification des contributions des expressions élémentaires à l'expression globale. Dans ce sens, la première question soulevée est :

- *comment diagnostiquer et expliquer les performances atteintes suite à la mise en œuvre d'une démarche d'amélioration ?* *(a)*

Vu que notre modèle d'agrégation est fondé sur un opérateur de compromis, en l'occurrence l'intégrale de Choquet, nous pouvons retrouver dans ces liens entre expressions de performance des informations relatives au poids de contribution de chaque expression élémentaire (poids), à l'expression agrégée, soit l'objectif global d'amélioration. Nous pouvons y trouver également cette forme de poids, mais conditionné par les interactions entre les expressions élémentaires (indices de Shapley), et enfin les interactions entre ces expressions élémentaires.

Par ailleurs, par définition, un objectif est atteint si l'expression de performance qui lui correspond en témoigne. En reconsidérant le postulat qui fonde la performance sur le triptyque efficacité - efficience - effectivité (cf. Chapitre 1, § 1.2), nous pouvons constater que cette expression de performance illustre la notion d'efficacité rattachée à l'atteinte de l'objectif. Notre idée a été alors d'associer à l'efficacité la notion d'efficience. Allant au-delà de la quantification de l'atteinte de l'objectif, nous avons suggéré de quantifier la manière de l'atteindre. La recherche de la satisfaction du couple (efficacité, efficience) peut, de ce fait, se comprendre comme rechercher l'efficacité en recherchant la plus grande efficience possible, l'efficience se rapportant au rendement du moyen utilisé pour atteindre l'objectif, soit à la « meilleure » stratégie utilisée pour ce faire. Cette vision objectifs - contraintes devient une variante d'une vision où tous les objectifs sont sur le même plan.

Les expressions de performance sont définies pour aider au pilotage d'un plan d'action mis en œuvre (cf. Chapitre 1, § 2.2). Le second postulat sur lequel nous nous sommes basés porte sur l'hypothèse de rattachement de ces plans d'action à des démarches d'amélioration (cf. Chapitre 1, § 4.2). Ceci nous a menés à introduire une reformulation qui propose de considérer la notion d'« objectif d'amélioration » plutôt que celle d'objectif. L'objectif d'amélioration est un objectif qui porte sur l'amélioration d'une performance, elle-même rattachée à un objectif. La première différence que nous faisons entre les deux notions est dans la façon de les déclarer, l'un et l'autre, dans la mesure où l'objectif d'amélioration est exprimé directement sur l'univers de discours de la performance. La valeur espérée associée à un objectif devient ainsi une expression de performance espérée, $o(v) = p^*$. Notons que cette valeur n'est pas forcément égale à 1. Cette manière de déclarer l'objectif peut se rencontrer dans la pratique, dans les cas notamment où le souhait est une augmentation du degré d'atteinte de l'objectif, au vu d'un degré d'atteinte initial. Généralement, les objectifs peuvent être complexes, leur atteinte dépendant d'un certain nombre de critères. C'est le cas par exemple d'objectifs rattachés à la satisfaction clients, à l'innovation, au coût... [Melnyk, 2010b]. Dans de tels cas, la sémantique de l'expression de la performance s'identifie généralement au degré d'atteinte de l'objectif auquel elle est associée. A ce propos, la deuxième particularité est dans la manière d'exprimer et d'obtenir ce degré d'atteinte de l'objectif d'amélioration. Nous choisissons de ne pas effectuer de comparaison entre l'état atteint et l'état espéré et d'identifier l'expression de performance réalisée à la mesure acquise. De plus, nous nous mettons dans le cas où cette mesure, soit l'expression de performance réalisée, est obtenue de manière indirecte, par agrégation des expressions élémentaires qui la composent.

Plus précisément, en reprenant notre modèle d'expression de la performance, l'objectif global d'amélioration s'identifiera à l'expression globale souhaitée, que nous identifions à son tour à

l'expression agrégée souhaitée p_{ag}^{*}. Conformément à la logique de décomposition des objectifs, plusieurs vecteurs d'expressions élémentaires $\vec{p} = (p_1, p_2, ..., p_n)$ peuvent alors permettre d'atteindre cette expression. En cela, l'objectif global d'amélioration n'est plus décomposé en un ensemble d'objectifs élémentaires, dont l'atteinte est suffisante à son atteinte. La recherche de la satisfaction du couple (efficacité, efficience) peut se comprendre comme le choix, *a priori*, des meilleures stratégies d'amélioration pour atteindre l'objectif global. L'efficacité se définit par l'atteinte de p_{ag}^{*}. Nous avons fait le choix de donner à la notion de « meilleure » la sémantique de l'efficience. Chaque stratégie étant identifiée au vecteur d'expressions de performance correspondant, il s'agit de déterminer le vecteur d'expression le plus efficient, soit le moins coûteux. Dans ce sens, nous avons proposé de considérer que l'amélioration δ_i sur une expression élémentaire p_i s'accompagnait d'un coût $c_i(p_i, \delta_i)$. Ce coût peut être associé à celui de la mise en œuvre de l'action correspondante. Il s'agit donc de maximiser l'efficacité sous une contrainte de réduction des coûts. Cette formulation nous a permis d'identifier un problème d'optimisation. Ainsi, les questions que nous nous sommes posées sont :

- *comment atteindre au mieux l'objectif d'amélioration fixé ?* *(b)*
- *quelle amélioration le système considéré peut-il réaliser ?* *(c)*

Répondre aux trois questions précédemment posées requiert d'un point de vue méthodologique une démarche structurée, qui permette le positionnement des différents problèmes évoqués ainsi que des solutions proposées. Inscrire la mise en œuvre des plans d'action dans le cadre des démarches d'amélioration nous a fait justement nous baser sur le principe de telles démarches, en l'occurrence la roue de Deming, qui a donné lieu à la démarche PETRA[24], développée en collaboration avec le LGIPM de l'Université de Metz. PETRA est un guide méthodologique structuré regroupant un certain nombre de phases reliées entre elles et initialisées par l'expression d'un besoin d'amélioration :

- PA : Constat du besoin de réorganisation dans un domaine.
- PB : Analyse de l'environnement du domaine d'étude.
- PC : Analyse de l'existant du domaine d'étude et déploiement des objectifs.
- PD : Choix de l'opportunité.
- PE : Elaboration conceptuelle de la nouvelle organisation.
- PF : Mise en œuvre.
- PG : Clôture.

Nous avons positionné les questions précédentes dans, la phase PC qui comprend l'étape de diagnostic et dans la phase PD dans laquelle le choix des meilleures stratégies est effectué.

Le traitement des problématiques soulevées dans cette partie a fait l'objet d'une coopération avec le LGI2P de l'Ecole des Mines d'Alès **[Berrah, 2008a, 2008b, 2011a]**, notamment autour de l'encadrement de la thèse de S. Sahraoui [Sahraoui, 2009] et a trouvé une expérimentation industrielle auprès de l'entreprise Bosch Rexroth et de son projet de développement du lean manufacturing. En supposant que les expressions élémentaires sont exprimées sur une même échelle d'intervalle, définie sur $[0, 1]$, nous résumons dans ce qui suit les différents développements proposés dans ce sens, conformément aux cas listés

[24] http://www.polytech.univ-savoie.fr/index.php?id=listic-projet-petra

précédemment, en distinguant les problématiques liées au diagnostic de celles liées au choix des opportunités.

4.1. Le diagnostic

Sur la base de la structuration proposée par PETRA, nous nous concentrons sur l'étape d'identification des points forts et des points faibles du système. Ceci se traduit par l'analyse des impacts des différentes expressions élémentaires sur l'expression globale. Nous décomposons de ce fait la question *(a)* en les questions suivantes.

- *Quelles expressions élémentaires constituent les points forts et les points faibles de l'expression globale ?* *(a1)*
- *Quelles expressions élémentaires expliquent la différence entre deux situations donnant des performances globales différentes ?* *(a2)*

L'identification des expressions élémentaires tenues pour points forts ou points faibles repose sur la quantification de leur contribution à l'expression agrégée. L'idée de la contribution relève de la participation d'une expression élémentaire à l'expression agrégée. La quantification de la contribution dans le cas d'une moyenne pondérée est simple et a inspiré les propositions élaborées dans notre équipe. Pour ce faire, pour $H_{(.)}$ défini par l'ensemble des expressions élémentaires respectant l'ordre fixé par la permutation $(.)$, soit :

$$H_{(.)} = \left\{ (p_1, p_2, ..., p_n) \in [0,1]^n / p_{(1)} \leq p_{(2)} \leq ... \leq p_{(n)} \right\},$$

l'écriture considérée pour l'intégrale de Choquet est celle donnée par la formule suivante (cf. § 3.1) :

$$p_{ag} = Ag(p_1, ..., p_i) = \sum_{i=1}^{n} \Delta\mu_i p_i.$$

On définit, pour un simplexe, $C_i = \Delta\mu_i p_i$ comme étant la contribution de p_i à p_{ag}. Cette notion intègre à la fois le « poids » de l'expression et sa valeur. A partir de travaux menés par J. Montmain, G. Mauris et A. Akharraz [Akharraz, 2004], une forme d'explication des résultats obtenus est proposée dans les travaux de thèse de S. Sahraoui [Sahraoui, 2009], rapportant la contribution élémentaire à une proportion.

Par ailleurs, concernant l'explication de deux expressions agrégées différentes (cf. *(a2)*), le principe reste fondé sur la notion de contribution. L'idée est de considérer que la différence entre deux expressions agrégées s'explique par les variations des expressions élémentaires. De plus, quand une expression élémentaire s'améliore, le simplexe change. Nous avons ainsi cherché à quantifier un poids moyen par expression élémentaire, qui prend en considération la somme du produit des poids et des améliorations réalisées sur les différents simplexes traversés pour passer d'une expression agrégée à une autre, cette somme étant rapportée à la différence entre les deux expressions agrégées considérées. Ainsi, pour deux expressions agrégées p_{ag}^1 et p_{ag}^2, sachant que $p_{ag}^2 \geq p_{ag}^1$:

$p_{ag}^2 - p_{ag}^1 = \sum_{i=1}^{n} C_i^{p_{ag}^2 - p_{ag}^1}$ avec $C_i^{p_{ag}^2 - p_{ag}^1} = \Delta\mu_i^2 p_i^2 - \Delta\mu_i^1 p_i^1$ la contribution de l'expression élémentaire p_i à la différence $p_{ag}^2 - p_{ag}^1$. Cette contribution peut être vue comme : $C_i^{p_{ag}^2 - p_{ag}^1} = \sum_{H_{\sigma_k}} \Delta\mu_i^k . \delta_i^k$, où H_{δ_k} sont les simplexes traversés pour aller de p_{ag}^1 à p_{ag}^2, et δ_i^k

l'augmentation de l'expression élémentaire p_i entre deux simplexes $H_{\delta_{k-1}}$ et H_{δ_k}. Ainsi, pour $\delta_i = \sum_{H_{\sigma_k}} \delta_i^k$, nous définissons le poids moyen $\widetilde{\mu}_i$ comme étant la moyenne des $\Delta\mu_i$ sur la trajectoire suivie, soit sur l'ensemble des simplexes traversés :

$$\widetilde{\mu}_i = \frac{\sum \Delta\mu_i^k \delta_i^k}{\delta_i}.$$

Dans un souci de concision, nous invitons le lecteur à consulter la thèse de S. Sahraoui pour les illustrations de ces propositions. Signalons toutefois que si l'idée d'estimer la contribution d'une expression élémentaire à une amélioration de l'expression agrégée est intéressante, l'approche que nous proposons requiert un certain nombre de connaissances, notamment concernant la trajectoire suivie et les simplexes traversés, ce qui nous pousse actuellement à reconsidérer la question en introduisant une décomposition temporelle de l'expression de performance souhaitée **[Clivillé, 2012b]**.

4.2. Le choix de l'opportunité

A cette étape, il s'agit de réfléchir aux opportunités envisageables pour atteindre l'amélioration recherchée. Nous avons choisi de considérer que nous étions face à un problème d'optimisation de l'amélioration, vue à travers la détermination du meilleur état final, au vu d'un état initial et de la présence d'un coût associé à toute amélioration. Plus précisément, nous définissons des fonctions coûts $c_i(p_i, \delta_i)$ à partir d'une fonction coût unitaire cu_i, associée à p_i, que l'on suppose se présenter comme une fonction constante par morceaux, une valeur de coût étant associée à des intervalles de valeurs d'expressions de performance. L'idée est de supposer que les coûts d'amélioration sont constants par paliers. Nous pouvons imaginer par exemple qu'ils sont élevés pour des améliorations à partir d'expressions qui sont faibles ou élevées. Pour un vecteur d'expressions élémentaires initial $\vec{p}^I$, le coût associé à l'ensemble des améliorations sera le résultat de la somme suivante :

$$c(\vec{p}^I, \delta) = \sum_{i=1}^{n} \int_{p_i}^{p_i+\delta_i} cu_i(p).dp.$$

Notons toutefois que la quantification des coûts peut s'avérer délicate dans la pratique industrielle.

Dans notre approche, une opportunité est identifiée au vecteur d'expressions élémentaires correspondant. Les questions *(b)* et *(c)* sont précisées en respectivement :

- *pour une performance p_{ag}^* souhaitée et un état initial identifié par une expression globale p_{ag}^I et un vecteur d'expressions élémentaires $\vec{p}^I = (p_1^I, p_2^I, ..., p_n^I)$ tel que $p_{ag}^I = Ag(p_1^I, p_2^I, ..., p_n^I)$, quel est le vecteur d'améliorations $(\delta_1, \delta_2, ..., \delta_n)$ qui minimise la somme des coûts $c_i(p_i, \delta_i)$?* *(b)*
- *pour un coût total fixé θ et un état initial identifié par une expression globale p_{ag}^I et un vecteur d'expressions élémentaires $\vec{p}^I = (p_1^I, p_2^I, ..., p_n^I)$ tel que $p_{ag}^I = Ag(p_1^I, p_2^I, ..., p_n^I)$, quelle est l'amélioration globale maximale possible ?* *(c)*

Ici, l'expression globale de la performance est le résultat de l'agrégation par l'intégrale de Choquet des expressions élémentaires. L'intégrale de Choquet pouvant être vue comme une fonction linéaire par simplexe des expressions élémentaires, le problème d'optimisation peut se traduire localement en un problème de programmation linéaire, conformément à l'écriture suivante :

$$(P_1) \quad \begin{cases} \min c\left(\vec{p}_I, \vec{\delta}\right) = \min\left(\sum_{i=1}^{n} c_i\left(p_i^I, \delta_i\right)\right) \\ \textit{sous les contraintes} \\ Ag\left(p_1, p_2, ..., p_n\right) = Ag\left(p_1^I + \delta_1, ..., p_n^I + \delta_n\right) = p_{ag}^* \\ \forall i \in N \;\; p_i^I + \delta_i \leq U_i \leq 1 \\ \forall i \in N \;\; 0 \leq B_i \leq p_i^I + \delta_i \end{cases}$$

$\forall i \in N \; \delta_i \in \left[L_i, U_i\right] \subseteq \left[p_i^I, 1\right]$. L_i est la limite inférieure des améliorations admissibles, U_i la borne supérieure à ne pas dépasser et p_i^I est l'expression de performance élémentaire initiale, associée à la variable v_i. Nous supposons que, $\forall i$, les bornes inférieures B_i sont nulles et que les bornes supérieures U_i sont égales à 1. Nous n'autorisons pas de diminution des expressions élémentaires, *i.e.* $L_i \geq p_i^I$ et donc $\delta_i \geq 0$.

A l'exception de la contrainte dans laquelle l'intégrale de Choquet intervient, les contraintes du problème (P_1) sont toutes linéaires. La linéarité de l'intégrale de Choquet dans chaque simplexe (au nombre de $n!$) pousse à résoudre au maximum $n!$ sous-problèmes linéaires. Nous avons alors montré que chacun de ces problèmes admettait un optimum, l'optimum du problème (P_1) étant alors le minorant de ces optimums. Il a de plus été montré que les vecteurs optimums présentaient une structure dans laquelle une première partie de m expressions élémentaires restait inchangée, une deuxième de $(n-m-k)$ expressions égalait une valeur β et une troisième de k expressions était égale à 1, soit la forme suivante : $\left(p_1^I, ..., p_m^I, \beta, ..., \beta, 1, ..., 1\right)$, β étant déterminé par l'équation donnant l'expression globale de la performance.

Quant à la question *(c)*, nous l'avons traduite en le problème (P_2) suivant, dont le principe de résolution est similaire à celui de (P_1).

$$(P_2) \quad \begin{cases} \max_{\vec{\delta}} Ag\left(p_1^I + \delta_1, ..., p_n^I + \delta_n\right) \\ \textit{sous les contraintes} \\ c\left(\vec{p}_I, \vec{\delta}\right) = \sum_{i=1}^{n} c_i\left(p_i^I, \delta_i\right) = \theta \\ \forall i \in N \;\; p_i^I + \delta_i \leq U_i \leq 1 \\ \forall i \in N \;\; 0 \leq B_i \leq p_i^I + \delta_i \end{cases}$$

Enfin, d'autres questions peuvent être soulevées dans cette phase auxquelles notre modèle peut répondre **[Berrah, 2011c]**, **[Clivillé, 2012b]**, en l'occurrence :

- *quelles expressions élémentaires a-t-on à améliorer en premier pour avoir une augmentation maximale de l'expression globale ?*

5. Conclusion

Les réflexions menées dans le cadre de la formalisation de l'expression de la performance nous ont permis de mettre en avant deux idées principales. La première concerne le rattachement de cette expression à l'atteinte d'un objectif. La seconde porte sur l'aspect multidimensionnel de la performance en tant que telle.

L'expression de la performance devient, par définition, relative à l'atteinte d'un objectif. Elle peut être obtenue directement par la comparaison d'une mesure - qui identifie l'état atteint - à cet objectif. Modélisée par un opérateur mathématique, cette comparaison fait intervenir la nature des données manipulées ainsi que le format souhaité pour le résultat à obtenir. L'extension des opérateurs tayloriens de ratio et de distance est alors envisagée. La littérature propose dans ce sens bon nombre de familles d'opérateurs de correspondance ou d'éloignement, à même de traiter des données précises ou imprécises, certaines ou incertaines. La représentation que nous avons préconisée aussi bien pour la prise en compte de la déclaration des objectifs que pour l'acquisition des mesures est celle proposée par le formalisme de la théorie des sous-ensembles flous. Le format privilégié pour l'expression de la performance est généralement l'intervalle $[0,1]$, qui accorde la valeur 0 à une non atteinte totale de l'objectif, et la valeur 1 à une atteinte totale de cet objectif. Tel est le propos de l'expression dite élémentaire de la performance.

Le caractère global des objectifs est induit notamment par l'aspect multicritère - dans la vision qui donne au degré d'atteinte la sémantique de la satisfaction - de la performance. Un objectif global se décompose en sous-objectifs. L'atteinte des sous-objectifs devient une condition suffisante pour l'atteinte de l'objectif global. L'expression de la performance de l'objectif global peut, de ce fait, être obtenue par un mécanisme d'agrégation des expressions de performance correspondant aux objectifs qui le composent. Si bon nombre d'opérateurs d'agrégation sont proposés dans la littérature, ce sont les opérateurs de compromis qui nous ont semblé les plus adéquats avec notre problématique, particulièrement l'intégrale de Choquet, dans sa forme 2-additive. En revanche, les préceptes de la théorie du mesurage nous ont poussés à relier les modes d'élaboration des expressions élémentaires et agrégées. C'est ainsi que nous avons eu recours aux méthodes d'analyse multicritère, qui sont à même d'offrir un cadre formel pour l'élaboration fondée des deux expressions. Notre propos étant le calcul d'une expression agrégée, nous avons particulièrement retenu les méthodes à critère de synthèse unique, identifiant de surcroît notre problématique d'analyse à une problématique de choix. La méthode MACBETH a ainsi été retenue. Cette approche s'est vue cohérente avec notre perception des fonctionnalités d'un système d'indicateurs, à savoir la décomposition des objectifs, les expressions élémentaires et agrégées de la performance, pour le choix des plans d'action.

Toutefois, à proprement parler, la question que nous nous sommes posés lors de l'élaboration de ce cadre d'expression de la performance se rattache à l'évaluation et peut s'apparenter à des problématiques autres que celles mentionnées dans le courant de la décision multicritère. Cela a fait l'objet de nos réflexions les plus récentes, qui ont concerné l'exploitation du cadre d'expression de la performance à des fins de pilotage de démarches d'amélioration. C'est ainsi que des propositions de calculs de contribution des expressions élémentaires à l'expression globale ont été faites pour aider au diagnostic des résultats atteints. Des modèles de programmation linéaire sont d'autre part proposés à des fins d'optimisation de stratégies d'amélioration. Ces modèles reposent sur la recherche conjointe des facteurs d'efficacité et d'efficience rattachés à la performance.

Conclusion et perspectives

1. Conclusion

Au-delà de la volonté de révéler l'exploit accompli, caractériser la performance d'un système trouve sa motivation dans la recherche de l'amélioration de cette performance. Cette caractérisation, en renseignant d'un certain niveau atteint, vient alimenter la décision quant à l'amélioration de ce niveau. Intuitivement, l'expression de ce niveau peut être vue comme le résultat de la comparaison de l'état atteint, mesuré sur le système considéré, à un état référent. Inscrivant nos travaux dans cette forme d'analyse, la problématique que nous avons traitée a trouvé justement une formulation dans la définition du mécanisme de quantification de l'expression de la performance. Notre champ d'investigation a été le milieu industriel et ses entreprises manufacturières. Si le principe de calcul de la performance est simple et si ratios et taux sont les opérateurs adéquats pour ce faire, ce sont les spécificités du contexte industriel qui ont induit une complexité dont l'expression de la performance a hérité. Et cela aura été l'étude de ces spécificités qui aura impulsé, progressivement, les différentes problématiques que nous avons soulevées. Nous nous proposons, en guise de conclusion, de résumer nos travaux à la lumière de ces spécificités et de leur évolution chronologique.

En cohérence avec les avancées de la pratique industrielle des années 1990, nous avons choisi de nous pencher, en premier lieu, sur l'expression de la performance, du point de vue de l'outil utilisé pour son acquisition, soit l'indicateur de performance. L'ère était à l'émergence des notions de processus, d'indicateur technique et de pilotage réactif. Constitué du triplet (objectif, mesure, variable), l'indicateur vient instrumenter la roue de Deming dans ses étapes Plan - Check - Act. Raison d'être et fonctionnalité de l'indicateur sont de ce fait distinguées. La raison d'être de l'indicateur en appelle à la quantification de l'expression de la performance, résultat d'une comparaison entre l'objectif, représenté de l'état espéré, et la mesure, reflet de l'état atteint. La fonctionnalité de l'indicateur se rattache, quant à elle, à l'exploitation de l'expression de la performance retournée à des fins de pilotage. La variable associée à l'indicateur devient le levier d'action. Recherchant un modèle pour l'indicateur dans sa raison d'être, nous avons identifié l'opération de comparaison à une fonction. La volonté de prendre en compte flexibilité, imprécision et incertitude dans les données manipulées pour l'expression de la performance nous ont fait choisir la théorie des sous-ensembles flous pour formaliser l'opération de comparaison. Opérateurs de correspondance et d'éloignement ont été suggérés pour exprimer la performance. A la lumière des typologies d'indicateurs proposées, nous avons imaginé trois formats possibles pour l'expression de la performance, la mesure physique, la mesure de performance et l'évaluation de la performance.

Puis, la question de l'exploitation de la diversité des expressions de performance retournées par les indicateurs a été posée. Les interactions dans les plans d'action envisagés pour atteindre les objectifs associés devenaient un élément important dans les prises de décision. La complexité du système entreprise a finalement fait émerger le recours aux représentations systémiques et cybernétiques, en l'occurrence pour les indicateurs de performance. Un système d'indicateurs se définit alors par un ensemble d'indicateurs en interactions. Notre propos aura été, de ce fait, la quantification de l'expression de la performance retournée par le système d'indicateurs. C'est ainsi que la problématique de l'agrégation des expressions de performance nous est apparue. La notion d'expression agrégée a été introduite pour quantifier

l'atteinte d'un objectif qualifié de global, entrée du système. De par son caractère global, cet objectif se décompose en un arbre d'objectifs, cet arbre étant le pendant du plan d'action correspondant à l'atteinte de l'objectif global. La décomposition proposée se fonde sur deux étapes. La première consiste en une hiérarchisation des variables impliquées dans l'atteinte de l'objectif global. La seconde est relative à la quantification des objectifs, soit la déclaration des valeurs espérées. Lorsqu'elle n'est pas exprimée directement, soit par comparaison de la mesure à l'objectif, nous proposons que l'expression globale de performance soit le résultat de l'agrégation des expressions de performances rattachées aux objectifs de l'arbre. Nous qualifierons de telles expressions d'élémentaires. Les opérateurs de moyenne nous ont permis de réaliser, dans un premier temps, un compromis entre les expressions retournées par les indicateurs du système. L'intégrale de Choquet aura plus particulièrement retenu notre intérêt pour sa capacité à prendre en compte les interactions entre les critères de performance. Puis, progressivement, s'est posé le problème de la commensurabilité des expressions élémentaires. Si le choix d'exprimer les performances élémentaires dans l'intervalle $[0,1]$ a répondu à un besoin de normalisation, nous nous sommes aperçus qu'il ne répondait pas à celui de la commensurabilité. Dans un deuxième temps, nous nous sommes alors penchés sur des méthodes d'agrégation multicritère, en l'occurrence MACBETH, donnant, dans ce cas, une sémantique de satisfaction à l'expression de performance, élémentaire et agrégée. L'expression de performance quantifie non plus le degré d'atteinte de l'objectif mais la satisfaction du preneur de décision par rapport au résultat atteint.

L'aboutissement de ces travaux aura été la définition d'un cadre, que nous qualifions de formel et méthodologique, pour l'expression de la performance. Fondé sur la distinction de deux types d'expression de performance, l'élémentaire et l'agrégée, ce cadre a eu pour intérêt de fédérer outils et formalismes pour élaborer ces deux types d'expression. Générique dans les idées, nous avons pu l'appliquer à l'expression d'une performance globale dans une entreprise ou dans une chaîne logistique. L'instrumentation des démarches d'amélioration, dans des phases de diagnostic et d'optimisation de moyens a également été une application assez naturelle de notre approche. Cette étude nous aura permis notamment de considérer la performance comme une association d'efficacité et d'efficience. Au niveau du diagnostic, nous nous sommes basés sur notre modèle d'agrégation, par l'intégrale de Choquet, pour proposer une explication de la performance globale atteinte au vu des différentes performances élémentaires obtenues et de leurs interactions. Cette forme d'explication permet ainsi de mettre en avant les critères les plus impactants sur l'expression globale. Toujours sur la base de notre modèle d'agrégation, nous avons entendu, par optimisation, l'utilisation de la programmation linéaire pour optimiser une expression globale, soit l'efficacité, sous contrainte d'une dépense moindre au niveau des expressions élémentaires, soit l'efficience.

Finalement, la spécificité du cadre proposé est d'avoir été conçu en deux grandes étapes, en écho à l'évolution des besoins industriels en termes d'expression de la performance. En accord avec les idées avancées dans la littérature, la définition de l'indicateur de performance et la formalisation de l'expression élémentaire sont venues prendre en compte la dimension technique de la performance, d'une part, et le caractère réactif du pilotage, d'autre part. La définition du système d'indicateurs de performance et la formalisation de l'expression agrégée sont venues, quant à elles, prendre en compte les aspects multicritère et multi-niveau de la performance ainsi que les interactions mises en jeu. Le long de nos réflexions, certaines idées ont été mises en avant tout comme certaines hypothèses ont été émises. Notre souhait est d'effectuer maintenant une relecture de l'approche adoptée, ce qui serait un moyen de faire ressortir certaines de nos perspectives. Par ailleurs, par la même occasion, nous détaillerons quelques pistes de recherche, qui nous apparaissent en cohérence avec les travaux décrits dans ce manuscrit.

2. Perspectives

En tout premier lieu, il nous paraît important d'effectuer un retour sur le modèle d'expression de la performance dans son côté formel. Fondamentalement, nous retenons du mécanisme de quantification de la performance le lien à l'objectif. Si l'objectif, dans le cas élémentaire est généralement identifié à une valeur espérée, nous lui avons reconnu la globalité et l'horizon temporel qui le caractérisent dans le cas agrégé. Cette complexité a induit deux mécanismes de décomposition, le mécanisme structurel et celui temporel. Cette structuration nous a permis de mettre en avant une expression temporelle de la performance, d'une part, et une expression que nous pouvons qualifier d'instantanée, d'autre part, soit l'expression élaborée *a posteriori* de l'atteinte de l'objectif considéré. Dans le cas d'une expression instantanée, sur laquelle nous avons essentiellement travaillé, nous avons distingué l'expression élémentaire de performance de l'expression agrégée. Dans le but d'enrichir de cohérence notre modèle, nous envisageons, dans une première étape, de revisiter le mode d'expression élémentaire, puis celui de l'expression agrégée. Enfin, nous engloberons ces résultats dans un modèle d'expression temporelle. Ces travaux s'inscriront dans la suite la plus directe de ceux menés précédemment.

Dans ce sens, nous nous proposons de distinguer en tout premier lieu le cas où les expressions élémentaires sont exploitées en tant que telles, en l'occurrence pour constituer des tableaux de bord, du cas où elles seront dédiées à des traitements ultérieurs, tels l'agrégation. La réflexion sur la décomposition structurelle des objectifs a permis la différenciation des objectifs fondamentaux, déclarés par rapport à des critères de décision, d'une part, et des objectifs de moyens, d'autre part, déclarés par rapport à des variables d'action. Il nous semble intéressant de propager cette différence dans la manière d'exprimer la performance des uns et des autres. Dans le cas d'objectifs fondamentaux, nous pourrions identifier l'expression de la performance à la satisfaction du preneur de décision tandis que l'expression de la performance rattachée aux objectifs de moyens relèverait de l'atteinte de ces derniers, définie de manière plus systématique (ou normative). Ainsi, opérateurs de correspondance et d'éloignement concerneraient la performance des objectifs de moyens. L'intérêt principal d'une telle expression est de la dissocier des préférences d'un preneur de décision, lui donnant ainsi un caractère universel mieux adapté aux niveaux de décision plus opérationnels. Une réflexion sur le choix de ces opérateurs est à mener, pour signifier au mieux le degré d'atteinte de l'objectif considéré. Une typologie des objectifs industriels pourrait être opportune pour l'aide à ce choix. Par ailleurs, plusieurs moyens de construire la satisfaction rattachée aux objectifs fondamentaux sont possibles, selon le niveau de disponibilité des connaissances. L'on peut effectivement imaginer une interrogation directe du preneur de décision, pour définir un objectif flexible ou des points de référence suivis d'une interpolation ; ou encore pour l'élaboration de ses relations de préférence en ayant recours aux méthodes d'aide à la décision pour ce faire. Les satisfactions pourraient également être obtenues à partir d'une interprétation, par le preneur de décision, de mesures de correspondance ou d'éloignement calculés dans un premier temps.

Nous pensons que la distinction des expressions de performance rattachées aux objectifs fondamentaux de celles des objectifs de moyens est également à répercuter sur le mécanisme d'agrégation des expressions élémentaires. Les interactions seraient de préférence dans le cas des objectifs fondamentaux et des critères de décision associés, et plutôt physiques (ou structurelles) dans le cas des objectifs de moyens et des variables d'action associées. L'identification du modèle des interactions physiques, dépendantes par nature du « système entreprise » considéré serait alors une nouvelle problématique. La considération de MACBETH, voire éventuellement d'autres méthodes d'agrégation multicritère, serait, dans ce sens, réservée à l'agrégation des performances des objectifs fondamentaux. Dans le cas

d'expressions de performance identifiées à des mesures de correspondance ou à des mesures d'éloignement, la recherche d'opérateurs d'agrégation cohérents avec les mesures considérées reste un problème à résoudre. Une approche envisageable, appliquée parfois en milieu industriel, est de ne combiner exclusivement que des mesures d'éloignement ou que des mesures de correspondance. Toutefois, la sémantique de l'expression agrégée, véhiculée dans ce mécanisme, reste à définir.

Toutefois, au vu des besoins industriels, il nous semble philosophiquement intéressant d'envisager une façon différente d'exprimer la performance, *i.e.* autrement que par une valeur ou un jugement absolu, en considérant une forme de rangement des performances. Des approches de type bipolaires pourraient être utilisées, permettant d'exprimer de surcroît les aspects positifs et négatifs des situations à comparer. De même, positionner les résultats obtenus dans différentes classes, par exemple à partir de seuils, est une voie qui peut être suffisante dans certaines exploitations des expressions de performance. Dans cette optique, la combinaison des expressions élémentaires pourrait également être vue sous l'angle de jeux de règles modélisant les préférences relationnelles entre les critères.

Pour conclure sur ce modèle enrichi d'expression de la performance industrielle, il s'agira, pour globaliser l'approche, de prendre en compte le temps dans le mécanisme d'expression de la performance. La proposition ainsi que l'approfondissement de quelques définitions seront nécessaires dans ce sens, en l'occurrence concernant la notion d'objectif temporel, celle d'expression temporelle de la performance ainsi que celles de trajectoire d'objectif ou de performance. Les débuts de réflexions menées dans notre équipe autour du sujet ont permis une première identification des formules développées aux instants ultimes de l'horizon temporel fixé. La question de l'expression de la tendance est assez naturellement apparue. Néanmoins, dans ce cas, la construction des trajectoires résultant de la décomposition temporelle est impactée par le caractère décomposable de l'objectif considéré, selon la nature de la variable associée. Un autre aspect qui nous semble important se rattache à l'identification de la portée des différents horizons temporels considérés, et ce, en cohérence avec les horizons décisionnels de l'entreprise. Dans ce contexte dynamique, la problématique de la sémantique de l'agrégation d'un vecteur d'expressions élémentaires reste posée de notre point de vue, tout comme celle de l'expression de la performance d'une trajectoire.

En outre, délimitant les contours d'une recherche pouvant être vaste, nous nous sommes particulièrement intéressés, jusqu'à présent, à un niveau décisionnel tactico-opérationnel, et à l'expression d'une performance technico-économique. Au-delà de la relecture du cadre d'expression proposé, en accord avec la littérature sur les "Performance Management Systems", nous souhaitons nous interroger sur l'approfondissement du modèle proposé pour le système d'indicateurs de performance. Plus précisément, et cela constitue un deuxième axe de nos futurs travaux, une étude plus élargie pourrait être envisagée et étendue à la définition puis à l'expression d'une performance stratégique. En effet, l'imprégnation de notre cadre dans les systèmes de management, leurs problématiques de choix stratégiques, d'analyses de risques, d'affectation de récompense, de motivation… nous apporterait un autre regard sur le rôle du système d'indicateurs de performance. Une idée est d'étendre les fonctionnalités du système d'indicateurs, tel que nous l'avons défini, à des fonctionnalités autres que l'agrégation des performances, en l'occurrence, la pondération par une notion de risque, la mise en lumière de critères prépondérants, voire veto, dans la performance stratégique... Ces réflexions, d'ores et déjà formulées par quelques équipes de recherche dans le domaine, nécessiteraient une étude assez approfondie du concept de performance stratégique, des modèles d'analyse et des enjeux qui lui sont associés. Par ailleurs, d'un point de vue de l'agrégation, l'application de méthodes ordinales d'agrégation ou de classification, telles que

l'intégrale de Sugeno ou la méthode ELECTRE, pourrait être poursuivie pour l'aide aux choix stratégiques.

Une autre voie qui nous semble intéressante à explorer en conséquence de nos travaux sur l'expression de la performance concerne l'adoption du point de vue de la décision associée à cette expression. Une manière de procéder est de poursuivre l'instrumentation de la roue de Deming, mais en considérant l'étape Act, et d'envisager que la réflexion sur cette étape puisse impacter les étapes Plan et Do. Cela nous mènerait assez naturellement à adopter un second point de vue, plus général, qui est celui du preneur de décision dans son mécanisme de déclaration d'objectifs, expression de performance et réaction. La prise de décision concernant l'ensemble des niveaux décisionnels de l'entreprise - stratégique, tactique, opérationnel - et pouvant s'effectuer aussi bien par un preneur de décision ou par un groupe, des concepts de compétence, ou encore sincérité et de confiance, développés et formalisés par ailleurs, pourraient être appliqués dans les divers échanges d'information, entre les preneurs de décision et les niveaux. Une étude des différents mécanismes de décision « collective » serait également opportune. De nouvelles fonctionnalités seraient alors ajoutées au système d'indicateurs dans ce sens.

Transverse à l'ensemble des problématiques soulevées précédemment, la notion d'incertitude, au sens large du terme, trouve aussi pleinement son sens dans la poursuite de nos travaux. En effet, celle-ci apparaît dans plusieurs des aspects à considérer dans l'expression de la performance. Plus précisément, le choix des critères de performance dépendant assez fortement de l'environnement de l'entreprise, une incertitude est introduite dès la première étape de décomposition des objectifs. La présence de plusieurs preneurs de décision dans le système ainsi que leurs caractères peut entrainer des divergences dans la déclaration des objectifs, de même pour leurs expressions de préférence qui interviennent dans la quantification de leurs satisfactions. L'incertitude peut apparaître également au niveau des impacts des plans d'action mis en œuvre. Les analyses de risque peuvent alors être vues comme une aide à la meilleure satisfaction des objectifs. Modéliser l'ensemble de ces incertitudes peut également être un point d'entrée pour fiabiliser le processus d'expression de performance et donc améliorer la prise de décision corollaire.

Enfin, parallèlement à l'ensemble des pistes décrites précédemment, nous envisageons de poursuivre le transfert de nos développements à des problématiques voisines telles l'élaboration durable des bâtiments. Ces réflexions ont déjà été initiées par notre équipe, en partenariat avec le laboratoire LOCIE de l'Université de Savoie. En effet, incertitude et expression de performance sont deux notions que nous avons en commun avec le monde du bâtiment. Doter le preneur de décision d'informations et d'outils pour le pilotage du processus d'élaboration d'un bâtiment type, dans un contexte de durabilité est un enjeu majeur dans ce domaine. L'information traitée revêt, au-delà de sa nature variée et multi-technique, un aspect multicritère. Cette dimensionnalité peut s'expliquer notamment par, l'intervention dans le processus d'élaboration d'un bâtiment d'acteurs multiples et spécialisés, la diversité des objectifs à atteindre, le nombre de niveaux d'abstraction ainsi que l'horizon temporel, généralement long, typiques d'ouvrages complexes de ce type. Le second enjeu évoqué est méthodologique, et concerne l'exploitation des informations collectées pour la prise de décision. Il s'agira de doter le preneur de décision d'outils à même de fournir les informations opportunes au bon moment. Le processus de pilotage des différentes étapes du cycle de vie d'un bâtiment pourrait être assimilé à une démarche d'amélioration industrielle, avec toutefois des particularités propres à l'activité. La philosophie est la même dans la mesure où un besoin est exprimé, un objectif est déclaré et un ensemble d'étapes d'outils sont mis en œuvre pour décomposer l'objectif considéré en sous-objectifs et actions. Des expressions de performance sont alors nécessaires pour renseigner des différents états intermédiaires obtenus. En outre, un

fort caractère d'incomplétude dans les informations manipulées spécifie les bâtiments. En effet, incertitude, imprécision, et risque marquent les objectifs, les mesures, les choix des partenaires impliqués, les décisions prises, et ce, de manière différente, selon le positionnement dans le cycle de vie du bâtiment. Par ailleurs, en plus d'être éventuellement d'origine aléatoire, ou liée à l'innovation technologique, l'incertitude peut être épistémique, dans la mesure où les différents acteurs peuvent avoir une connaissance limitée de la globalité de l'ouvrage, et donc doivent traiter cette ignorance partielle dans leur prise de décision.

Références

[Abdel-Maksoud, 2005] A. Abdel-Maksoud, D. Dugdale, R. Luther, Non-financial performance measurement in manufacturing companies, *The British Accounting Review*, 37, 2005, pp. 261-297.

[Ackoff, 1971] R. Ackoff, Towards a system of systems concepts, *Management Science*, 17(11), 1971, pp. 661-671.

[AFGI, 1992] Association Française de Gestion Industrielle, *Evaluer pour évoluer, les indicateurs de performance au service du pilotage industriel*, ouvrage collectif, 1992.

[Akharraz, 2004] A. Akharraz, *Acceptabilité de la décision et risque décisionnel : un système explicatif de fusion d'informations par l'intégrale de Choquet*, Thèse de Doctorat en Electronique, Electrotechnique, Automatique, Université de Savoie, 2004.

[Angerhofer, 2006] B.J. Angerhofer, M.C. Angelide, A model and a performance measurement system for collaborative supply chains, *Decision Support Systems*, 42(1), 2006, pp. 283-301.

[Anthony, 1965] R.N. Anthony, *Planning and control systems: a framework for analysis*, Boston, Graduate School of Business Administration, Harvard University, 1965.

[Arbós, 2002] L.C. Arbós, Design of a rapid response and high efficiency service by lean production principles: Methodology and evaluation of variability of performance, *International Journal of Production Economics*, 80(2), 2002, pp. 169-183.

[Ariely, 2010] D. Ariely, You Are What You Measure, *Harvard Business Review*, 88(38), (june) 2010.

[Ayers, 2000] J.B. Ayers, *Handbook of Supply Chain Management*, APICS Series on Resource management, Alexandria, Virginia, USA, 2000.

[Azzone, 1991] G. Azzone, C. Masella, U. Bertele, Design of performance measures for time-based companies, *International Journal of Operations and Production Management*, 11(3), 1991, pp. 77-85.

[Babic, 1998] Z. Babic, N. Plazibat, Ranking of enterprises based on multicriteria analysis, *International Journal of Production Economics*, 56-57, 1998, pp. 29-35.

[Bana, 1994] C.A. Bana e Costa, J.C. Vansnick, MACBETH - an interactive path towards the construction of cardinal value functions, *International transactions in operational Research*, 1, 1994, pp. 489-500.

[Bana, 1997] C.A. Bana e Costa, J.C. Vansnick, Applications of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 6(2), 1997, pp. 107-114.

[Bana, 1999] C.A. Bana e Costa, J.C. Vansnick, The MACBETH approach: Basic ideas, software and an application, dans *Advances in Decision Analysis*, N. Meskens et M. Roubens (eds), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1999, pp. 131-157.

[Bana, 2003] C.A. Bana e Costa, J.M. De Corte, J.C. Vansnick, *MACBETH*, London School of Economics, Dpt of Opérational Research, Working paper 03-56, 2003.

[Bhagwat, 2007] R. Bhagwat, M.K. Sharma, Performance measurement of supply chain management: A balanced scorecard approach, *Computers & Industrial Engineering*, 53(1), 2007, pp. 43-62.

[Beer, 1984] S. Beer, The viable system model: Its provenance, development, methodology and pathology, *Journal of the Operational Research Society*, 35(1), 1984, pp. 7-25.

[Behzadian, 2010] M. Behzadian, R.B. Kazemzadeh, A. Albadvi, M. Aghdasi, PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications, *European Journal of Operational Research*, 200(1), 2010, pp. 198-215.

[Bellman, 1970] R. Bellman, L. Zadeh, Decision-Making in a Fuzzy Environment, *Management Science*, 17(4), 1970, B-141-B-164.

[Berge, 1973] C. Berge, *Graphes et hypergraphes*, Bordas, 1973.

[Berger, 1996] P.L. Berger, T. Luckmann, *The Social Construction of Reality*, Doubleday, Garden Coty, NY, 1996, cité dans [Folan, 2007].

[Berliner, 1988] C. Berliner, J. Brimson (eds), *Cost management for today's advanced manufacturing: The CAM-I Conceptual Design*, Harvard Business School Press, 1988.

[Bernus, 2003] P. Bernus, L. Nemes, G. Schmidt, *Handbook on enterprise architecture*, Springer-Verlag, 2003, cité dans [Popova, 2010].

[Belton, 2002] V. Belton, T. Stewart, *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*, Massachusetts: Kluwer AcademicPublishers, 2002.

[Berrah, 1997] L. Berrah, Une approche d'évaluation de la performance industrielle : Modèle d'indicateur et techniques floues pour un pilotage réactif, Thèse de Doctorat de l'INP Grenoble en Génie Industriel, 1997.

[Berrah, 1998] L. Berrah G. Mauris L. Foulloy, A. Haurat, Fuzzy Performance Indicators for Manufacturing Processes, dans *Fuzzy System Design: Social and Engineering Applications*, 17, L. Reznik, V. Dimitrov, J. Kaprzyk (eds), Physica-Verlag, 1998, pp. 225-248.

[Berrah, 2000] L. Berrah, G. Mauris, L. Foulloy, A. Haurat, Global vision and performance indicators for an industrial improvement approach, *Computers in Industry*, 43, 2000, pp. 211-225.

[Berrah, 2001] L. Berrah, G. Mauris, Une expression floue de la performance pour une prise en compte unifiée des grandeurs quantitatives et qualitatives, dans *Indicateurs de performance*, A. Courtois, C. Bonnefous (eds), Hermès, 2001, pp. 229-256.

[Berrah, 2002a] L. Berrah, F. Vernadat, Perception et évaluation de la performance dans le pilotage, pp. 181-203, dans [Pujo, 2002a].

[Berrah, 2002b] L. Berrah, *L'indicateur de performance : concepts et applications*, Cépaduès, 2002.

[Berrah, 2003] L. Berrah, V. Clivillé, C. Farat, A. Haurat, L'emploi d'indicateurs pour l'amélioration de la performance : le cas de la Société Fournier, dans *Evaluation des performances des systèmes de production*, C. Tahon (ed), Hermès, 2003, pp. 177-191.

[Berrah, 2004] L. Berrah, G. Mauris, F. Vernadat, Information aggregation in industrial performance measurement: rationales, issues and definitions, *International Journal of Production Research*, 42(20), 2004, pp. 4271-4293.

[Berrah, 2006] L. Berrah, G. Mauris, F. Vernadat, Industrial performance measurement: an approach based on the aggregation of unipolar or bipolar expressions, *International Journal of Production Research*, 18-19, 2006, pp. 4145-4158.

[Berrah, 2007] L. Berrah, V. Clivillé, Towards an aggregation performance measurement system model in a supply chain context, *Computers in Industry*, 58(7), 2007, pp. 709-719.

[Berrah, 2008a] L. Berrah, G. Mauris, J. Montmain, Monitoring the improvement of an overall industrial performance based on a Choquet integral aggregation, *The International Journal of Management Science OMEGA*, 36(3), 2008, pp. 340-351.

[Berrah, 2008b] L. Berrah, G. Mauris, J. Montmain, V. Clivillé, Efficacy and efficiency indexes for a multi-criteria industrial performance synthesized by Choquet

integral aggregation, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 7(4), 2008, pp. 1-11.

[Berrah, 2011a] **L. Berrah, J. Montmain, G. Mauris, V. Clivillé, Optimising industrial performance improvement within a qualitative multi-criteria aggregation framework, *International journal of Data Analysis Techniques and Strategies*, 3(1), 2011, pp. 42-65.**

[Berrah, 2011b] **L. Berrah, V. Clivillé, Towards an industrial performance quantification model according to the balanced scorecard, *Supply Chain Forum*, 12(3), 2011, pp. 64-73.**

[Berrah, 2011c] **L. Berrah, J. Montmain, V. Clivillé, G. Mauris, Management decision-aiding with a fuzzy integral based Performance Measurement System, 7th conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT-2011) et les rencontres francophones sur la Logique Floue et ses Applications (LFA-2011), Aix-les-Bains, France, 18-22 juillet 2011.**

[Berrah, 2012] **L. Berrah, F. Vernadat, Towards a system-based model for overall performance evaluation in a supply chain context, *The Open Industrial & Manufacturing Engineering Journal*, 6, 8-18, 2102, pp. 1874-1525.**

[Berrah, 2013] **L. Berrah, L. Foulloy, Towards a unified descriptive framework for industrial objective declaration and performance measurement, *Computers in Industry*, 2013,**
http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2013.03.006

[Bertalanffy, 1968] L. Von Bertalanffy, *General System Theory*, éditions George Braziller, NY, 1968 ; *Théorie générale des systèmes*, traduction française de J.P. Chabrol, Dunod, 2ème édition, 1976.

[Bescos, 2000] P.L. Bescos, L. Véran, *Dialogues autour de la performance en entreprise : les enjeux*, ouvrage collectif ECOSIP, l'Harmattan, 2000.

[Bititci, 1995] U.S. Bititci, Modelling of performance measurement systems in manufacturing enterprises, *International Journal of Production Economics*, 42(2), 1995, pp. 137-147.

[Bititci, 2001] U.S. Bititci, P. Suwignjo, A.S. Carrie, Strategy management through quantitative modelling of performance measurement systems, *International Journal of Production Economics*, 69, 2001, pp. 15-22.

[Bitton, 1990] M. Bitton, Ecograi : méthode de conception et d'implantation de systèmes de mesure de performances pour organisations industrielles, Thèse de Doctorat de l'Université de Bordeaux I en Automatique, 1990.

[Blanc, 2007] S. Blanc, Y. Ducq, B. Vallespir, Evolution management towards interoperable supply chains using performance measurement, *Computers in Industry*, 58, 2007, pp. 720-732.

[Bloch, 1996] I. Bloch, Information combination operators for data fusion: a comparative review with classification, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetic - part A: systems and humans*, 26(1), 1996, pp. 52-67.

[Boisvert, 1995] H. Boisvert, Comprendre, mesurer et gérer la productivité, la comptabilité par activités, Congrès international de Génie industriel de Montréal : la productivité dans un monde sans frontières, Montréal, Canada, 18-20 octobre 1995, pp. 835-844.

[Boskma, 1982] K. Boskma, Aggregation and the design of models for medium term planning of production, *European Journal of Operations Research*, 10, 1982, pp. 244-249.

[Bouchon-Meunier, 1996] B. Bouchon-Meunier, M. Rifqui, S. Bothorel, Towards general measures of comparison objects, *Fuzzy Sets and Systems*, 84, 1996, pp. 143-153.

[Bouchon-Meunier, 2003] B. Bouchon-Meunier, C. Marsala (eds), *Logique floue, principes, aide à la décision*, Hermès, 2003.

[Bouchon-Meunier, 2007] B. Bouchon-Meunier, *La logique floue*, Que sais-je, PUF, 4ème édition, 2007.

[Boukezzoula, 2012] R. Boukezzoula, L. Foulloy, S. Galichet, Model inversion using extended gradual interval arithmetic, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems,* 20(1), 2012, pp. 82-95.

[Bourguignon, 2005] A. Bourguignon, E. Chiapello, The role of criticism in the dynamics of performance evaluation systems, *Critical Perspectives on Accounting*, 16, 2005, pp. 665-700, cité dans [Folan, 2007].

[Bourne, 2000] M. Bourne, J.F. Mills, M. Wilcox, A.D. Neely, Designing, implementing and updating performance measurement systems, *International Journal of Operations Production Management*, 20(7), 2000, pp. 754-771.

[Bourne, 2003] M. Bourne, A.D. Neely, J.F. Mills, K.W. Platts, Implementing performance measurement systems: a literature review, *International Journal of Business Performance Management*, 5(1), 2003, pp. 1-21.

[Bouquin, 2006] H. Bouquin, *Comptabilité de gestion*, Economica, 4ème édition, 2006.

[Bradley, 1996] P. Bradley, A Performance Measurement Approach to the Re-engineering of Manufacturing Enterprises, Thèse de Doctorat, University College Galway, 1996.

[Braz, 2011] R.G.F. Braz, L.F. Scavarda, R.A. Martins, Reviewing and improving performance measurement systems: An action research, *International Journal of Production Economics*, 133(2), 2011, pp. 751-760.

[Brignall, 2004] S. Brignall, J. Ballantine, Strategic Enterprise Management Systems: new directions for research, *Management Accounting Research*, 15, 2004, pp. 225-240.

[Broadbent, 2009] J. Broadbent, R. Laughlin, Performance management systems: A conceptual model, *Management Accounting Research*, 20, 2009, pp. 283-295.

[Browne, 1999] J. Browne, J. Devlin, A. Rolstadås, B. Andersen, Performance Measurement: The ENAPS Approach, disponible sur le site : http://www.prestasjonsledelse.net/publikasjoner/Performance%20Measurement%20The%20ENAPS%20Approach.pdf

[Brunel, 2009] S. Brunel, *Le Développement durable*, Que sais-je, PUF, nouvelle édition 2009.

[Bullock, 2006] R. Bullock, R. Deckro, Foundations for system measurement, *Measurement*, 39, 2006, pp. 701-709.

[Cérruti, 2000] O. Cérruti, B. Gattino, *Indicateurs et tableaux de bord*, Afnor, (1992 : 1ère édition), 2000.

[Cha, 2003] Y. Cha, M. Jung, Satisfaction assessment of multi-objectives schedules using neural fuzzy methodology, *International Journal of Production Research*, 41(8), 2003, pp. 1831-1849.

[Chan, 2002] L.K. Chan, M.L. Wu, Quality Function Deployment: a literature review, *European Journal of Operational Research*, 143, 2002, pp. 463-497.

[Chandler, 1977] A.D. Chandler, *The visible hand: the managerial revolution in american business*, Harvard University Press, 1977.

[Chaudhuri, 1999] B. Chaudhuri, A. Rosenfeld, A modified Hausdorf distance between fuzzy sets, *Information Sciences*, 118, 1999, pp. 159-171.

[Chauvel, 2000] A.M. Chauvel, *Méthodes et outils pour résoudre un problème : 45 outils pour améliorer les performances de votre organisation*, éditions d'Organisation, 2000.

[Cheng, 1998] C.-H. Cheng, A new approach for ranking fuzzy numbers by distance method, *Fuzzy Sets and Systems*, 95, 1998, pp. 307-317.

[Chin, 2003] K-S. Chin, K-F. Pun, H. Lau, Development of a knowledge-based self-assessment system for measuring organisational performance, *Expert Systems with Applications*, 24, 2003, pp. 443-455.

[CIMOSA, 1993] *CIMOSA-Open System Architecture for CIM*, ESPRIT Consortium AMICE, Spinger-Verlag, Berlin, 1993.

[Clark, 1922] W. Clark, *The Gantt chart: a working tool of management*, The Ronald Press Company, 1922.

[Clemens, 2004] L. Clemens, L. Fortuin, M. Wouters, Designing a performance measurement system: A case study, *European Journal of Operational Research*, 156, 2004, pp. 267-286.

[Clivillé, 2004] V. Clivillé, Approche systémique et méthode multicritère pour la définition d'un système d'indicateurs de performance, Thèse de Doctorat de l'Université de Savoie en Génie Industriel, 2004.

[Clivillé, 2007] V. Clivillé, L. Berrah, G. Mauris, Quantitative expression and aggregation of performance measurements based on the Macbeth multi-criteria method, *International Journal of Production Economics*, 105(1), 2007, pp. 171-189.

[Clivillé, 2009] V. Clivillé, L. Berrah, Conception et révision d'un système d'indicateurs de performance dans le cadre d'un plan stratégique, *livret AFNOR*, mis à jour périodiquement sur les indicateurs et les tableaux de bord, 15ème mise à jour, 2009.

[Clivillé, 2010] V. Clivillé, L. Berrah, G. Mauris, Using ELECTRE and MACBETH MCDA methods in an industrial performance improvement context, The Operational Research Society 52nd Annual Conference OR 52, Royaume-Uni, 7-9 septembre 2010.

[Clivillé, 2012a] V. Clivillé, L. Berrah, Overall performance measurement in a supply chain: towards a supplier-prime manufacturer based model, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(6), 2012, pp. 2459-2469.

[Clivillé, 2012b] V. Clivillé, L. Berrah, J. Montmain, G. Mauris, Decision-making aiding for the improvement of an overall performance issued from a Choquet integral-based aggregation, Incom'2012 14th IFAC Symposium Information Cntrol Problems in Manufacturing, Bucharest, Roumanie, 23-25 mai 2012.

[Collectif, 1997] Collectif, *De la pierre à la cathédrale, les indicateurs de performance*, Club Production et Compétitivité, Londez Conseil, 1997.

[Comoglio, 2012] C. Comoglio, S. Botta, The use of indicators and the role of environmental management systems for environmental performances improvement: a survey on ISO 14001 certified companies in the automotive sector, *Journal of Cleaner Production*, 20, 2012, pp. 92-102.

[Cooke, 2001] J.A. Cooke, Metrics systems, *Logistics Management and Distribution Report*, 40(10), 2001, pp. 45-49.

[Cooper, 1988] R. Cooper, R.S. Kaplan, Measures costs right: make the right decision, *Harvard Business Review*, 66(5), 1988, pp. 96-103.

[Cosmetatos, 1983] G.P. Cosmetatos, S. Eilon, Effects of productivity definition and measurement on performance evaluation, *European Journal of Operational Research,* 4(1), 1983, pp. 31-35.

[Cross, 1988-89] K.F. Cross, R.L. Lynch, The SMART way to define and sustain success, *National Productivity Review*, 8(1), 1988-1989, pp. 23-33.

[Dasaharaty, 2001] B.V. Dasarathy, Information fusion - what, where, why, when, and how?, *Information Fusion*, 2, 2001, pp.75-76.

[Demeestère, 2004] R. Demeestère, P. Lorino, N. Mottis, *Contrôle de gestion et pilotage de l'entreprise*, Dunod, 2ème édition, 2004.

[Deming, 1951] W.E. Deming, *Elementary principles of the statistical Control of Quality*, JUSE (Union of Japanese Scientists and Engineers), 1951.

[Deming, 1982] W.E. Deming, *Quality, Productivity and Competitive Position*, MIT Press, 1982.

[Denneberg, 1999] D. Denneberg, M. Grabisch, Shapley value and interaction index. *Information Sciences*, 121, 1999, pp. 149-170.

[Dindeleux, 1998] R. Dindeleux, L. Berrah, A. Haurat, A Formal Modelling of Control Processes, *European Journal of Operational Research*, 109, 1998, pp. 377-389.

[Dixon, 1990] J.R. Dixon, A.J. Nanni, T.E. Volmann, The new performance challenge: measuring operations for world class competition, Dow Jones-Irwin, Homewood II, 1990.

[Dolgui, 2012] A. Dolgui, V. Gordon, V. Strusevich, Single machine scheduling with precedence constraints and positionally dependent processing times, *Computers & Operations Research*, 39(6), 2012, pp. 1218-1224.

[Doran, 1981] G.T. Doran, There's a SMART way to write management's goals and objectives, *Management Review*, 70, 1981, pp. 35-36.

[Dossi, 2008] A. Dossi, L. Patelli, The decision-influencing use of performance measurement systems in relationships between headquarters and subsidiaries, *Management Accounting Research*, 19, 2008, pp. 126-148.

[Doumeingts, 2006] G. Doumeingts, B. Vallespir, D. Chen, GRAI grid decisional modelling, dans *Handbook on Architecture of Information Systems*, P. Bernus, K. Mertins, G.Schmidt (eds), Springer, 2006 (2nde édition), pp. 321-346.

[Dubois, 1978] D. Dubois, H. Prade, Operations on fuzzy numbers, *Journal of Systems Science*, 9, 1978, pp. 613-626.

[Dubois, 1982] D. Dubois, H. Prade, A unifiying view of comparison indices, dans *Fuzzy Sets and Possibility Theory Recent Advances*, R.R. Yager (ed), Pergamon Press, 1982.

[Dubois, 1984] D. Dubois, H. Prade, On distances between fuzzy points and their use for plausible reasoning, IEEE International Conference on Cybernetics & Society, pp. 300-303, Bombay, New Delhi, 30 décembre 1983 - 7 janvier 1984.

[Dubois, 1985] D. Dubois, H. Prade, A review of fuzzy set aggregation connectives, *Information Sciences*, 36, 1984, pp. 85-121.

[Dubois, 1986] D. Dubois, H. Prade, Weighted minimum and maximum operations in fuzzy set theory, *Information Sciences*, 39, 1986, pp. 205-210.

[Dubois, 1987] D. Dubois, H. Prade, *Théorie des possibilités : applications à la représentation des connaissances en informatique*, éditions Masson, 1987.

[Dubois, 2000] D. Dubois, H. Prade. Fundamentals of Fuzzy Sets, Kluwer, Boston, Mass., *The Handbooks of Fuzzy Sets Series*, 2000.

[Dubois, 2003a] D. Dubois, H. Prade, Le calcul des intervalles flous, dans [Bouchon-Meunier, 2003].

[Dubois, 2003b] D. Dubois, H. Fargier, P. Fortemps, Fuzzy scheduling: modelling flexible constraints vs. coping with incomplete knowledge, *European Journal of Operational Research*, 147(2), 2003, pp. 231-252.

[Dubois, 2008] D. Dubois, H. Fargier, On the qualitative comparison of decisions having positive and negative features, *Journal of Artificial Intelligence Research*, 32, 2008, pp. 385-417.

[Ducq, 1999] Y. Ducq, Contribution à une méthodologie d'analyse de la cohérence des systèmes de production dans le cadre du modèle GRAI, Thèse de Doctorat de l'Université de Bordeaux I en Productique, 1990.

[Ducq, 2001] Y. Ducq, B. Vallespir, G. Doumeingts, Coherence analysis method for production systems by performance aggregation, *International Journal of Production Economics*, 69(1), 2001, pp. 239-252.

[Dyer, 2005] J.S. Dyer, MAUT Multriattribute Utility Theory, dans [Figueira, 2005].

[ECOSIP, 1990] ECOSIP, *Gestion industrielle et mesure économique, approches et applications nouvelles*, ouvrage collectif, Economica, 1990.

[ECOSIP, 1996] ECOSIP, Cohérence, pertinence et évaluation, ouvrage collectif, P. Cohendet, J.H. Jacot, P. Lorino, C. Lerch (eds), *Economica*, 1996.

[Eden, 1988] C. Eden, Cognitive mapping: A review, *European Journal of Operational Research*, 36, 1988, pp. 1-13.

[EFQM, 2002] European Foundation for Quality Management, The European Quality Award, 2002, http://www.EFQM.org/

[Elbaz, 2011] M.A. El-Baz, Fuzzy performance measurement of a supply chain in manufacturing companies, *Expert Systems with Applications*, 38, 2011, pp. 6681-6688.

[Elgazzar, 2012] S.H. Elgazzar, N.S. Tipi, N.J. Hubbard, D.Z. Leach, Linking supply chain processes' performance to a company's financial strategic objectives, *European Journal of Operational Research*, 223(1), 2012, pp. 276-289.

[Eom, 2005] S. Eom, E. Kim, A survey of decision support system applications (1995-2001), *Journal of the Operational Research Society*, 57, 2005, pp. 1264-1278.

[Epstein, 1998] M. Epstein, J.F. Mansoni, Inplementing corporate strategy; from tableaux de bord to balanced scorecards, *European Management Journal*, 16(1), 1998, pp. 190-203.

[Esquirol, 1999] P. Esquirol, P. Lopez, *L'ordonnancement*, Economica, 1999.

[Fan, 1999] J. Fan, W. Xie, Some notes on similarity measure and proximity measure, *Fuzzy Sets and Systems*, 101, 1999, pp. 403-412.

[Felix, 1994] R. Felix, Relationships between goals in multiple attribute decision making, *Fuzzy Sets and Systems*, 67, 1994, pp. 47-52.

[Felix, 2008] R. Felix, Multicriteria Decision Making (MCDM): Management of Aggregation Complexity Through Fuzzy Interactions Between Goals or Criteria, 12th Int. Conference IPMU Information Processing and Management of Uncertainty, Malaga, Spain, 2008.

[Figueira, 2005] J. Figueira, S. Greco, M. Ehrgott (eds.), *MCDA Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art*. Surveys, Kluwer Academic Publishers, 2005.

[Finke, 2009] G. Finke, P.Lemaire, J.-M. Proth, M. Queyranne, Minimizing the number of machines for minimum length schedules, *European Journal of Operational Research*, 199(3), 2009, pp. 702-705.

[Fitzgerald, 1991] L. Fitzgerald, R. Johnston, S. Brignall, R. Silvestro, C. Voss, *Performance Measurement in Service Business*, CIMA, London, 1991.

[Folan, 2005] P. Folan, J. Browne, A review of performance measurement: Towards performance management, Performance, *Computers in Industry*, 56, 2005, pp. 663-680.

[Folan, 2007] P. Folan, J. Browne, H. Jagdev, Performance, its meaning and content for today business research, *Computers in Industry*, 58(7), 2007, pp. 605-620.

[Foulloy, 2003] L. Foulloy, S. Galichet, Fuzzy control with fuzzy inputs, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 11(4), 2003, pp. 437-449.

[Forrester, 1968] J.W. Forrester, *Principle of Systems*, MIT Press, 1968.

[Fortuin, 1988] L. Fortuin, Performance indicators, why, where and how?, *European Journal of Operations Research*, 34, 1988, pp. 1-9.

[Fray, 1990] C. Fray, V. Giard, Méthode d'analyse et d'évaluation économique des décisions stratégiques en production, dans [ECOSIP, 1990].

[Gallois, 1990] P.M. Gallois, Evaluation et pilotage de la performance industrielle, dans [ECOSIP, 1990].

[Gervais, 2009] M. Gervais, *Contrôle de gestion*, Economica, 9ème édition, 2009.

[Ghalayini, 1996] A.M. Ghalayini, J.S. Noble, The changing basis of performance measurement, *International Journal of Operations & Production Management*, 16(8), 1996, pp. 63-80.

[Ghalayini, 1997] A.M. Ghalayini, J.S. Noble, T.J. Crowe, An integrated dynamic performance measurement system for improving manufacturing competitiveness, *International Journal of Production Economics*, 48, 1997, pp. 207-225.

[Giard, 1990] V. Giard, *Une comptabilité de gestion en crise, Gestion industrielle et mesure économique, approches et applications nouvelles*, ouvrage collectif ECOSIP, Economica, 1990.

[Giard, 2003] V. Giard, *Gestion de production*, Collection Gestion, Economica, 2003.

[Giraud, 2008] F. Giraud, O. Saulpic, C. Bonnier, F. Fourcade, *Contrôle de gestion et pilotage de la performance*, Gualino éditeur, 3ème édition, 2008.

[Glavan, 2013] M. Glavan, D. Gradišar, S. Strmčnik, G. Mušič, Production modelling for holistic production control, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 23, 2013, pp. 1-20.

[Globerson, 1985] S. Globerson, Issues in developing a performance criteria system for an organisation, *International Journal of Production Research*, 23(4), 1985, pp. 639-646.

[Goldratt, 1992] E.M. Goldratt, J. Cox, *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*, North River Press, Great Barrington, MA, 1992.

[Goldratt, 2002] E.M. Goldratt, *Critical Chain : la chaîne critique*, AFNOR, 2002.

[Gomez, 2001] T. Gomez, M. Gonzales, M. Luque, Multiple objectives decomposition-coordination methods for hierarchical organizations, *European Journal of Operational Research*, 133, 2001, pp. 323-341.

[Gordon, 2002] V. Gordon, J.-M. Proth, C. Chu, A survey of the state-of-the-art of common due date assignment and scheduling research, *European Journal of Operational Research*, 139(1), 2002, pp. 1-25.

[Gotha, 2004] Groupe Gotha, P. Baptiste, E. Néron, F. Sourd (eds), Modèles et algorithmes en ordonnancement, ellipses Marketing, 2004.

[Grabisch, 1996] M. Grabisch, The application of fuzzy integrals in multicriteria decision-making, *European Journal of Operational Research*, 89(3), 1996, pp. 445-456.

[Grabisch, 1998] M. Grabisch, S.A. Orlovski, R.R. Yager, Fuzzy aggregation of numerical preferences, dans *The Handbook of Fuzzy Sets Series, Vol. 4: Fuzzy Sets in Decision Analysis, Operations Research and Statistics*, R. Slowinski (ed), Kluwer Academic, 1998.

[Grabisch, 2000] M. Grabisch, T. Murofushi and M. Sugeno, *Fuzzy Measures and Integrals - Theory and Applications*, Physica Verlag, 2000.

[Grabisch, 2003] M. Grabisch, P. Perny, Agrégation multicritère, dans [Bouchon-Meunier, 2003].

[Grabisch, 2005a] M. Grabisch, Une approche constructive de la décision multicritère, *Traitement du Signal*, 22(4), 2005, pp. 321-337.

[Grabisch, 2005b] M. Grabisch, C. Labreuche, Fuzzy measures and integrals, dans [Figueira, 2005].

[Grabisch, 2006a] M. Grabisch, Évaluation subjective. dans *Concepts et Méthodes pour l'Aide à la Décision*, D. Bouyssou, D. Dubois, M. Pirlot and H. Prade (eds.), IC2 Séries, Hermès, 2006.

[Grabisch, 2006b] M. Grabisch, L'utilisation de l'intégrale de Choquet en aide multicritère à la décision, Newsletter of the European Working Group "Multicriteria Aid for Decisions", 3(14), 2006, pp. 5-10.

[Grabisch, 2009] M. Grabisch, J.L. Marichal, R. Mesiar, E. Pap, *Aggregation Functions*, Cambridge University Press, Encyclopedia of Mathematics and its Applications, 127, 2009.

[Grabot, 1998] B. Grabot, Objective satisfaction assessment using neural nets for balancing multiple objectives, International *Journal of Production Research*, 36(6), 1998, pp. 2377-2395.

[Grabot, 2001] B. Grabot, Artificial intelligence and soft computing for planning and scheduling: how to efficiently solve more realistic problems, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 14(3), 2001, pp. 265-267.

[Gray, 2006] C.F. Gray, E.W. Larson, adaptation française de Y. Langevin, *Management de projet*, Dunod, 2006.

[Greif, 1989] M. Greif, *L'usine s'affiche, communication visuelle et management*, éditions d'Organisation, 1989.

[GRI, 2011] Global Report Initiative, Sustainability Reporting Guidelines, https://www.globalreporting.org/resourcelibrary/G3.1-Guidelines-Incl-Technical-Protocol.pdf/(2011).

[Guha, 2010] D. Guha, D. Chakraborty, A new approach to fuzzy distance measure and similarity measure between two generalized fuzzy numbers, *Applied Soft Computing*, 10, 2010, pp. 90-99.

[Gunaserakan, 2004] A Gunasekaran, C Patel, R.E McGaughey, A framework for supply chain performance measurement, *International Journal of Production Economics*, 87(3), 2004, pp. 333-347.

[Gunaserakan, 2005] A. Gunasekarana, H.J. Williams, R.E. McGaughey, Performance measurement and costing system in new enterprise, *Technovation*, 25, 2005, pp. 523-533.

[Hall, 1992] D.L. Hall, *Mathematical techniques in multisensor data fusion*, Artech House, 1992.

[Hauser, 1998] J.R. Hauser, G.M. Katz, Metrics: You Are What You Measure, *European Management Journal*, 16(5), 1998, pp. 517-528.

[Henri, 2006] J.F. Henri, Organizational culture and performance measurement systems, *Accounting, Organizations and Society*, 31, 2006, pp. 77-103.

[Héran, 1990] F. Héran, Outils de gestion et modes d'organisation, dans [ECOSIP, 1990].

[Hon, 2005] K.K.B. Hon, Performance and evaluation of manufacturing systems, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 54(2), 2005, pp. 139-154.

[Howard, 1984] R.A. Howard, J.E. Matheson, Influence Diagrams, dans *The Principle and Applications of Decision Analysis, Vol. 2, Strategic Decision Group*, R.A. Howard and J.E. Matheson (eds.), 1984.

[Hronec, 1995] S.M. Hronec, *Vital signs : des indicateurs - coûts, qualité, délais - pour optimiser la performance de l'entreprise*, éditions d'Organisation, 1995.

[Hwang, 1981] C. L. Hwang, *Multiple attribute decision making: Methods and applications: a state-of-the-art survey*, Springer-Verlag, 1981.

[Imai, 1992] M. Imaï, Kaizen, *La clé de la compétitivité japonaise*, Eyrolles, 1992.

[Ishikawa, 1990] K. Ishikawa, *Introduction to Quality Control*, 3A Corporation, 1990.

[Ishizaka, 2011] A. Ishizaka, A. Labib, Review of the main developments in the analytic hierarchy process, Expert *Systems with Applications*, 38(11), 2011, pp. 14336-14345.

[ISO 9000 00, 2001] Qualité et Systèmes de management ISO 9000 version 2000, AFNOR, 2001.

[ISO 26000, 2008] Lignes directrices relatives à la responsabilité sociétale, Traduction française de la version ISO 26000, AFNOR, 2008.

[ISO 14000, 2009] Environnement - La famille des normes ISO 14000, Sur CD Rom, 2009. ISBN : 978-2-12-213011-7.

[Jacot, 1990] J.H. Jacot, A propos de l'évaluation économique des systèmes intégrés de production, dans [ECOSIP, 1990].

[Jacot, 1996] J.H. Jacot, J.P. Micaelli, La question de la performance globale, dans *La performance économique en entreprise*, J.H. Jacot et J.P. Micaelli (eds), Hermès, 1996.

[Johnson, 1975] H.T. Johnson, Management accounting in early integrated industry - E.I. dupont de Nemours Powder Company 1903-1912, *Business History Review*, 1975, pp. 184-204, cité dans [Clivillé, 2004].

[Johnson, 2003] D.J. Johnson, A framework for reducing manufacturing throughput time, *Journal of Manufacturing Systems*, 22(4), 2003, pp. 283-298.

[Jonsson, 1999] P. Jonsson, M. Lesshammar, Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - the role of OEE, *International Journal of Operations and Production Management*, 19(1), pp. 55-78.

[Kanigel, 2005] R. Kanigel, *The One Best Way: Frederick Winslow Taylor And The Enigma Of Efficiency*, MIT Press; New edition, 2005.

[Kaplan, 1983] R.S. Kaplan, measuring manufacturing performance: a new challenge for managerial accounting research, *The Accounting Review*, 58(4), 1983 (october), pp. 686-705.

[Kaplan, 1987] R.S. Kaplan, H.T. Johnson, *Relevance Lost: The Rise and Fall of Management Accounting*, Harvard Business School Press, Boston, 1987.

[Kaplan, 1992] R.S. Kaplan, D.P. Norton, The balanced scorecard: Measures that drives performances, *Harvard business Review*, 70(1), 1992 (january-february), pp. 71-79.

[Kaplan, 1996] R.S. Kaplan, D.P. Norton, Using the balanced scorecard as a strategic management system, *Harvard business Review*, 74(1), 1996 (january-february), pp. 75-85.

[Kaplan, 1998] R.S. Kaplan, D.P. Norton, *Le tableau de bord prospectif. Pilotage stratégique : les 4 axes du succès,* éditions d'Organisation, 1998.

[Kaplan, 2001] R.S. Kaplan, D.P. Norton, *Comment utiliser le tableau de bord prospectif*, éditions d'Organisation, 2001.

[Kaufmann, 1973] A. Kaufmann, *Introduction à la théorie des sous-ensembles flous*, tome 1, Masson, 1973.

[Keegan, 1989] D.P. Keegan, R.G. Eiler, C.R. Jones, Are your performance measures obsolete?, *Management Accounting*, 70(12), 1989, pp. 45-50.

[Keeney, 1992] R.L. Keeney, *Value-Focused thinking, A path to Creative Decision making*, Harvard University Press, 1992.

[Kehoe, 1993] D.F. Kehoe, D. Little, A.C. Lyons, Strategic planning for information systems enhancement, *International Journal of Integrated Manufacturing Systems*, 4(2), 1993, pp. 29-36, cité dans [Bititci, 1995].

[Kelley, 1961] J. Kelley, Critical Path Planning and Scheduling: Mathematical Basis, *Operations Research*, 9(3), 1961.

[Krantz, 1971] D.H. Krantz, R.D. Luce, P. Suppes, A. Tversky, *Foundations of measurement, Vol. 1 : Additive and Polynomial Representation*, Academic Press, NY, 1971.

[Kueng, 1999] P. Kueng, A.J. Krahn, Building a process performance measurement system: some early experiences, *Journal of scientific and industrial research*, 58, 1999, pp. 149-159.

[Kueng, 2000] P. Kueng, Process performance measurement system: A tool to support process-based organizations, *Total Quality Management*, 11(1), 2000, pp. 67-85.

[Kueng, 2001] P. Kueng, A. Meier, T. Wettstein, Performance measurement systems must be engineered, *Communication of the Association for Information Systems*, 7(3), 2001, pp. 1-17.

[Labreuche, 2003] C. Labreuche, M. Grabisch, The Choquet integral for the aggregation of interval scales in multi-criteria decision-making, *Fuzzy Sets and Systems*, 137(1), 2003, pp. 11-26.

[Labreuche, 2011] C. Labreuche, Construction of a Choquet integral and the value functions without any commensurateness assumption in multi-criteria decision making, 7th conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT-2011) et les rencontres francophones sur la Logique Floue et ses Applications (LFA-2011), Aix-les-Bains, France, 18-22 juillet 2011.

[Lebas, 1995] M.J. Lebas, Performance measurement and performance management, *International Journal of Production Economics*, 41, 1995, pp. 23-35.

[Le Clainche, 2000] J.F. Le Clainche, Balancing scorecard et autres méthodes pour évaluer le score d'une entreprise, dans *Indicateurs de performance*, C. Bonnefous, A. Courtois (eds), Hermès, 2001.

[LCSP, 1998] Lowell Center for Sustainable Production, Sustainable Production: A Working Definition, Informal Meeting of the Committee Members, 1998.

[Lee, 1992] K.M. Lee, K.A. Seong, H. Lee-Kwang, Fuzzy matching and fuzzy comparison in fuzzy expert system, 2nd International Conference on Fuzzy Logic and Neural Networks, 1992, pp. 313-316.

[Lee, 2011] C.-L. Lee, H.-J. Yang, Organization structure, competition and performance measurement systems and their joint effects on performance, *Management Accounting Research*, 22, 2011, pp. 84-104.

[Le Moal, 1979] P. Le Moal, J.C. Tarondeau, Un défi à la fonction production, *Revue Française de Gestion Industrielle*, 1979, pp. 9-13.

[Le Moigne, 1990] J.L. Le Moigne, *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, 1990.

[Le Moigne, 1996] J.L. Le Moigne, Les deux sources de la performance des organisations : incohérence du contrôle, impertinence de l'intelligence, dans [ECOSIP, 1990].

[Lerch, 1996] C. Lerch, P. Llerena, M. Sonntag, Cohérence et performance : évaluation d'une réorganisation dans une PME, dans [ECOSIP, 1996].

[Lohman, 2004] C. Lohman, L. Fortuin, M. Wouters, Designing a performance measurement system: A case study, *European Journal of Operational Research*, 156, 2004, pp. 267-286.

[Lorino, 1995] P. Lorino, *Comptes et récits de la performance : essai sur le pilotage de l'entreprise*, éditions d'Organisation, 1995.

[Lorino, 1996a] P. Lorino, *Le contrôle de gestion stratégique : la gestion par les activités*, Dunod, 1ère édition en 1991, 1996.

[Lorino, 1996b] P. Lorino, *Méthodes et pratiques de la performance*, éditions d'Organisation, 1996.

[Malone, 1999] T.W. Malone, K.G. Crowston, J Lee, B. Pentland, C. Dellarocas, G. Wyner, J. Quimby, C.S. Osborn, A. Bernstein, G. Herman, M. Klein, E.O'Donnell, Tools for inventing organizations: Toward a handbook of organizational processes, *Management Science*, 45(3), 1999, pp. 425-443.

[Mari, 2009] L. Mari, V. Lazzarotti, R. Manzini, Measurement in soft systems: Epistemological framework and a case study, *Measurement*, 42, 2009, pp. 241-253.

[Marichal, 2006] J.L. Marichal, Fonctions d'agrégation pour la décision, dans *Concepts et Méthodes d'Aide à la Décision*, ouvrage collectif, D. Bouyssou, D. Dubois, M. Pirlot, H. Prade (éds.) Hermès, 2006.

[Marmuse, 1997] C. Marmuse, Performance, dans *Encyclopédie de gestion*, Y. Simon, P. Joffre (eds), Economica, 1997, pp. 2194-2208.

[Marques, 2010] G. Marques, D. Gourc, M. Lauras, Multi-criteria performance analysis for decision making in project management, *International Journal of Project Management*, 29, 2010, pp.1057-1069.

[Maskell, 1991] B.H. Maskell, *Performance measurement for world class manufacturing: A model for American companies*, Cambridge: Productivity Press, 1991.

[Mauris, 2000] G. Mauris, L. Berrah, L. Foulloy, A. Haurat, Fuzzy handling of measurement errors in instrumentation, *IEEE Transactions on Measurement and Instrumentation*, 49(1), 2000, pp. 89-93.

[Mauris, 2003] G. Mauris, N. Perrot, L. Berrah, S. Hamlaoui, Determining a confidence index of cheese ripening prediction by fuzzy trend sensory indicators, 20th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC 2003, USA, 20-22 Mai 2003, pp. 1005-1008.

[Medori, 2000] D. Medori, D. Steeple, A Framework for Auditing and Enhancing Performance Measurement Systems, *International Journal of Operations and Production Management*, 20(5), 2000, pp. 520-533.

[Mélèse, 1991] J. Mélèse, *L'analyse modulaire des systèmes AMS*, éditions d'Organisation, 1991.

[Melnyk, 2004] S.A. Melnyk, D. Stewart, M. Swin, Metrics and performance measurement in operations management: dealing with the metrics maze, *Journal of Operations Management*, 22(3), 2004, pp. 209-218.

[Melnyk, 2010a] S.A. Melnyk, J.D. Hanson, R.J. Calantone, Hitting the Target but Missing the Point: Resolving the Paradox of Strategic Transition, *Long Range Planning*, 43, 2010, pp. 555-574.

[Melnyk, 2010 b] S.A. Melnyk, E.W. Davis, R.E. Spekman, J. Sandor, Outcome-driven supply chain, *MITSloan Management Review*, 51(2), 2010, pp. 32-39.

[Mesarovic, 1980] M.D. Mesarovic, D. Macko, Y. Takahara, *Théorie des systèmes hiérarchiques à niveaux multiples,* Economica, 1980.

[Mévellec, 1994] P. Mévellec, Coûts à base d'activités : un succès construit sur un malentendu, *Revue Française de Gestion*, Janvier-Février, 1994, pp.20-29.

[Meyer, 2002] M.W. Meyer, *Rethinking Performance Measurement*, Cambridge University Press, 2002, cité dans [Hon, 2005].

[Meyer, 2005] P. Meyer, M. Roubens, Choice, ranking and sorting in fuzzy multiple criteria decision aid, dans [Figuera, 2005].

[Millet, 2000] I. Millet, T.L. Saaty: On the relativity of relative measures - accommodating both rank preservation and rank reversals in the AHP, *European Journal of Operational Research*, 121(1), 2000, pp. 205-212.

[Mintzberg, 1982] H. Mintzberg, *Structure et dynamique des organisations*, éditions d'Organisation, 1982.

[Montmain, 2010] J. Montmain, V. Clivillé, L. Berrah, G. Mauris, Preference and causal fuzzy models for manager's decision aiding in industrial performance improvement, IEEE World Congress on computational intelligence, IEEE Conference on Fuzzy Systems, Espagne, 18-23 juillet 2010.

[Nakajima, 1988] S. Nakajima, *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*, Cambridge, MA, Productivity Press, 1988.

[NASA, 1960] National Aeronautics and Space Administration, *PERT, Program evaluation and review technique*, Handbook, Government printing office, 1961.

[Neely, 1995] A. Neely, M. Gregory, K. Platts, Performance measurement system design: A literature review and research agenda, *International Journal of Operations and Production Management*, 15(4), 1995, pp. 80-116.

[Neely, 1996] A. Neely, J. Mills, K. Platts, M. Gregory, H. Richards, Performance measurement system design: Should process based approaches be adopted?, *International Journal of Production Economics*, 46-47, 1996, pp. 423-431.

[Neely, 1999] A. Neely, The performance measurement revolution: why now and what next?, *International Journal of Operations & Production Management*, 19(2), 1999, pp. 205-228.

[Neely, 2000] A. Neely, J. Mills, K. Platts, H. Richards, M. Gregory, M. Bourne, M. Kennerley, Performance measurement system design: developing and testing a process-based approach, *International Journal of Operations and Production Management*, 20(10), 2000, pp. 1119-1145.

[Neely, 2002] A. Neely, C. Adams, M. Kennerley, *The Performance Prism: The Scorecard for Measuring and Managing Business Success*, Financial Times Prentice Hall, London, 2002.

[NIST, 2002] National Institute of Standards and Technology, Malcolm Baldrige National Quality Award, http://www.nist.gov/

[Noble, 1994] J.S. Noble, C.W. LaHay, Cycle time modelling for process improvement teams, Proceedings of the Institute of Industrial Engineers Research Conference, Atlanta, GA, 1994, pp. 372-377, cité dans [Ghalayini, 1996].

[Nudurupati, 2011] S. Nudurupati, U. Bititci, V. Kumar, F. Chan, State of the art literature review on performance measurement, *Computers & Industrial Engineering*, 2, 2011, pp. 279-290.

[Ohno, 1988] T. Ohno, *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity Press, 1988.

[Olugu, 2012] E.U. Olugu, K.Y. Wong, An expert fuzzy rule-based system for closed-loop supply chain performance assessment in the automotive industry, *Expert Systems with Applications*, 39, 2012, pp. 375-384.

[Orlicky, 1975] J. Orlicky, *Material Requirement planning: The New Way of Life in Production and Inventory Management*, Mac Graw & Hill, 1975.

[Pillet, 1994] M. Pillet, *Appliquer la maîtrise statistique des procédés MSP / SPC*, éditions d'Organisation, 1994.

[Pinheiro de Lima, 2009] E. Pinheiro de Lima, S.E. Gouvea da Costa, J.J. Angelis, Strategic performance measurement systems: a discussion about their roles, *Measuring Business Excellence*, 13(3), 2009, pp. 40-48.

[Pomerol, 1993] J.C. Pomerol, S.R. Barba-Romero, *Choix multicritère dans l'entreprise, principe et pratique*, Hermès, 1993.

[Popova, 2010] V. Popova, A. Sharpanskykh, Modeling organizational performance indicators, *Information Systems*, 35, 2010, pp. 505-527.

[Porter, 1985] M. Porter, *Competitive Strategy*, Free Press, NY, 1985.

[Pouget, 1998] M. Pouget, *Taylor et le Taylorisme*, Que sais-je, 1998.

[Proth, 2007] J.-M. Proth, Scheduling: New trends in industrial environment, *Annual Reviews in Control*, 31(1), 2007, pp. 157-166.

[Pujo, 2002a] P. Pujo, J.P. Kieffer (eds), *Fondements du pilotage des systèmes de production*, Hermès, 2002.

[Pujo, 2002b] P. Pujo, J.P. Kieffer, Concepts fondamentaux du pilotage des systèmes de production, dans [Pujo, 2002a].

[Quezada, 2009] L.E. Quezada, F.M. Cordova, P. Palominos, K. Godoy, J. Ross, Method for identifying strategic objectives in strategy maps, *International Journal of Production Economics*, 122(1), 2009, pp. 492-500.

[Rametsteiner, 2011] E. Rametsteiner, H. Pülzl, J. Alkan-Olsson, P. Frederiksen, Sustainability indicator development-Science or political negotiation? *Ecological Indicators*, 11(1), 2011, pp. 61-70.

[Rangone, 1996] A. Rangone, An analytical hierarchy process framework for comparing the overall performance of manufacturing departments, *International Journal of Operations and Production Management*, 1996, 16, pp. 104-119.

[Raviart, 2000] D. Raviart, C. Tahon, Comment piloter la performance ? dans *Dialogues autour de la performance en entreprise : les enjeux*, ouvrage collectif ECOSIP, l'Harmattan, 2000.

[Rezaei, 2011] A.R. Rezaei, T. Çelik, Y. Baalousha, Performance measurement in a quality management system, *Scientia Iranica*, 18(3), 2011, pp. 742-752.

[Ribeiro, 1996] R.A. Ribeiro, Fuzzy multiple attribute decision making: A review and new preference elicitation techniques, *Fuzzy Sets and Systems*, 78, 1996, pp. 155-181.

[Rodriguez, 2009] R.R. Rodriguez, J.J.A. Saiz, A.O. Bas, Quantitative relationships between key performance indicators for supporting decision-making processes, *Computers in Industry*, 60, 2009, pp. 104-113.

[Rolstadås, 1995] A. Rolstadås, Enterprise modelling for competitive manufacturing, *Control Engineering Practice*, 3(1), 1995, pp. 43-50.

[Rolstadås 2000] A. Rolstadås, B. Andersen (eds), *Enterprise Modeling: Improving Global Industrial Competitiveness*, Kluwer Academic Publishers, 2000, pp 101-106.

[Ron, 1995] A.J. Ron, Measure of manufacturing performance in advanced manufacturing systems, *International Journal of Production Economics*, 41, 1995, pp. 147-160.

[Rosenfeld, 1985] A. Rosenfeld, Distance between fuzzy sets, *Pattern Recognition Letters*, 3, 1985, pp. 229-233.

[Rotter, 1966] J.B. Rotter, Generalised expectancies for internal v external control of reinforcement, *Psychological Nomographs*, 80, 1966, pp. l-28, cité dans [Bititci, 1995].

[Roy, 1976] B. Roy, A conceptual framework for a normative theory of "decision-aid", Cahier du LAMSADE, 3, Paris, 1976.

[Roy, 1993] B. Roy, D. Bouyssou, *Aide Multicritère à la Décision : Méthodes et Cas*, Economica, 1993.

[Roy, 1996] B. Roy, *Multicriteria Methodology of Decision Aiding*, Springer, 1996.

[Saaty, 1977] T. Saaty, A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 1977, pp. 234-281.

[Saaty, 1984] T. Saaty, *Décider face à la complexité : une approche analytique multi-critère d'aide à la décision*, Entreprise Moderne d'Edition, 1984.

[Saaty, 2000] T. Saaty, *Fundamentals of the Analytic Hierarchy process*, RWS Publications, 2000.

[Saaty, 2005] T. Saaty, The Analytic Hierarchy and Analytic Network Process for the Measurement of Intangible Criteria and for Decision-Making, dans [Figueira, 2005].

[Saaty, 2006] T. Saaty, Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy network processes, *European Journal of Operational Research*, 168, 2006, pp. 557-570.

[Sahraoui, 2009] S.A. Sahraoui, Un système d'aide à la décision pour une amélioration optimisée de la performance industrielle, Thèse de Doctorat de l'Université de Savoie en Génie industriel, 2009.

[Sarkis, 2000] J. Sarkis, A comparative analysis of DEA as a discrete alternative multiple criteria decision tool, *European Journal of Operational Research*, 123(3), 2000, pp. 543-557.

[Sarkis, 2002] J. Sarkis, A methodology for monitoring system performance, *International Journal of Production Research*, 40(7), 2002, pp. 1567-1582.

[Sarkis, 2003] J. Sarkis, Quantitative models for performance measurement systems - alternate considerations, *International Journal of Production Economics*, 86, 2003, pp. 81-90.

[Savall, 1989] H. Savall, V. Zardet, *Maîtriser les coûts et les performances cachés*, Eyrolles, 1989.

[Schneiderman, 1988] A.M. Schneiderman, Setting quality goals: Use observed rates of continuous improvement to position targets, *Quality Progress*, 2(1), 1988, pp. 5l-75.

[SCOR 11, 2012] SCOR model 11 December 1, 2012 disponible sur le site : http://supply-chain.org/node/19144.

[Shachter, 1986] R.D. Shachter, Evaluating influence diagrams, *Operational Research*, 34, 1986, pp.871-882.

[Shewhart, 1939] W. A. Shewhart, *Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control*, W.E. Deming (ed), NY, 1939.

[Sikdar, 2003] S.K. Sikdar, Sustainable development and sustainability metrics, *AIChE Journal*, 49(8), 2003, pp. 1928-1932.

[Simon, 1969] H. Simon, *The science of the Artificial*, MIT Press, 1969.

[Simon, 1977] H. Simon, *The new science of management decision*, Prentice-Hall, 1977.

[Simon, 1982] H. Simon, *Model of bounded rationality*, MIT Press, 1982.

[Simons, 1990] R. Simons, The role of management control systems in creating competitive advantage: New perspectives, *Accounting, Organizations and Society*, 15(1/2), 1990, pp. 127-143.

[Singh, 2009] R.J. Singh, H.R. Murty, S.K. Gupta, A.K. Dikshit, An overview of sustainability assessment methodologies, *Ecological Indicators*, 9(2), 2009, pp. 189-212.

[SINTEF, 1992] SINTEF, TOPP: A Productivity program for Manufacturing Industry, NTNF/NTH, Norvège, 1992.

[Stalk, 1988] G. Stalk, Time - the next source of competitive advantage, *Harvard Business Review*, 66, 1988, pp. 41-51.

[Starr, 1977] M.K. Starr and M. Zeleny, MCDM - state and future of the arts, *TIMS Studies in Management Sciences*, 6, 1977, pp. 5-29, cité dans [Ribeiro, 1996].

[Suwignjo, 2000] P. Suwignjo, U.S Bititci, A.S Carrie, Quantitative models for performance measurement system, *International Journal of Production Economics*, 64, 2000, pp. 231-241.

[Taylor, 1911] F. W. Taylor, *The Principles of Scientific Management*, Harper Bros, 1911.

[Titli, 1979] A. Titli, *Commande hiérarchisée et optimisation des processus complexes*, Dunod, 1979.

[Tran, 2002] L. Tran, L. Duckstein, Comparison of fuzzy numbers using a fuzzy distance measure, *Fuzzy Sets and Systems*, 130, 2002, pp. 331-341.

[Trentesaux, 1996] D. Trentesaux, Conception d'un système de pilotage distribué, supervisé et multicritère pour les systèmes automatisés de production, Thèse de Doctorat en Automatique / Productique, INP Grenoble, 1996.

[Turksen, 1991] I.B. Turksen, Measurement of membership functions and their acquisition, *Fuzzy Sets and Systems*, 40, 1991, pp. 5-38.

[Tseng, 2009] M.-L. Tseng, L. Divinagracia, R. Divinagracia, Evaluating firm's sustainable production indicators in uncertainty, *Computers & Industrial Engineering*, 57 (4), 2009, pp. 1393-1403.

[Valet, 2001] L. Valet. Un système flou de fusion coopérative : application au traitement d'images naturelles, Thèse de l'Université de Savoie en Electronique, Electrotechnique, Automatique, 2001.

[Vanderpooten, 2009] D. Vanderpooten, Introduction à l'aide multicritère à la décision, dans *Précis de recherche opérationnelle*, R. Faure, B. Lemaire, C. Picouleau (eds), 6ème édition Dunod, 2009, pp 419-441.

[Van Gigh, 1991] J.P. Van Gigh, *System Design modelling and metamodelling*, Plenum Press, 1991.

[Veleva, 2001] V. Veleva, M. Hart, T. Greiner, C. Crumbley, Indicators of Sustainable Production, *Journal of Cleaner Production*, 9, 2001, pp. 447-452.

[Vernadat, 1996] F.B. Vernadat, *Enterprise modelling and integration, principles and applications*, Chapman & Hall, 1996.

[Von Witerfeldt, 1986] D. Von Witerfeldt, W. Edwards, *Decision Analysis and Behavioral Research*, Cambridge University Press, NY, 1986.

[Waggoner, 1999] D.B. Waggoner, A. Neely, M.P. Kennerley, The forces that shape organisational performance measurement systems: An interdisciplinary review, *International Journal of Production Economics*, 60-61, 1999, pp. 53-60.

[Wald, 1998] L. Wald, A European proposal for terms of reference in data fusion, *International Archives* of *Photogrammetry* and *Remote Sensing*, XXXII(7), 1998, pp. 651-654.

[Wang, 1995] X. Wang, B. De Baets, E. Kerre, A comparative study of similarity measures, *Fuzzy Sets and Systems*, 73, 1995, pp. 259-268.

[WCED, 1987] WCDE: World Commission on Environment and Development. Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, 1987.

[Wholey, 1996] J. Wholey, Formative and summative evaluation: related issues in performance measurement, *Evaluation Practice*, 17(2), 1996, pp. 145-149, cité dans [Folan, 2007].

[Wiener, 1948] N. Wiener, *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Hermann & Cie (eds), MIT Press, Wiley, 1948, 2nde révision en 1961 (MIT Press).

[Wilenski, 1983] R. Wilenski, *Planning and understanding: a computational approach to human reasoning*, Addison Wesley Publishing Company, 1983.

[Wiseman, 1988] C. Wiseman, *Strategic Information Systems*, Dow-Jones Irwin, Homewood IL, 1988.

[Wisner, 1991] J.D. Wisner, S.E. Fawcett, Link firm strategy to operating decisions through performance measurement, Production and Inventory Management Journal, Third quarter, 1991, pp. 5-11.

[Womack, 1996] J.P. Womack, D.T. Jones, *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*, Simon and Schuster, NY, 1996.

[Yager, 1988] R.R. Yager, On ordered weighted averaging aggregation operators in multo-criteria decision making, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernectics*, 18, 1988, pp. 183-190.

[Zadeh, 1965] L.A. Zadeh, Fuzzy sets, *Information and Control*, 8, 1965, pp. 338-353.

[Zadeh, 1975] L.A. Zadeh, The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning, *Information Sciences*, 8-9, 1975, 1:8, pp. 199-249 ; 2:8, pp. 301-357; 3:9, pp. 43-80.

[Zadeh, 1996] L. Zadeh, Fuzzy Logic = Computing with Words, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2, 1996, pp. 103-111.

[Zeleny, 1982] M. Zeleny, *Multiple Criteria Decision Making*, Mac Graw Hill, NY, 1982.

[Zhang, 2009] H.-Y. Zhang, W.-X. Zhang, Hybrid monotonic inclusion measure and its use in measuring similarity and distance between fuzzy sets, *Fuzzy Sets and Systems*, 160, 2009, pp. 107-118.

[Zhu, 2008] Q. Zhu, J. Sarkis, K.-H. Lai, Confirmation of a measurement model for green supply chain management practices implementation, *International Journal of Production Economics*, 111(2), 2008, pp. 261-273.

[Zwick, 1987] R. Zwick, E. Carlstein, D.V. Budescu, Measures of similarity among fuzzy concepts: a comparative analysis, *International Journal of Approximate Reasoning*, 1, 1987, pp. 221-242.

Résumé :

Les travaux menés ont été guidés par une volonté de quantifier la performance des activités des entreprises manufacturières. Cette performance se définit au regard de l'atteinte d'un objectif assigné au préalable. Dans un contexte global et multicritère, les indicateurs et systèmes d'indicateurs sont les outils méthodologiques pour retourner les expressions de performance. Un cadre d'expression de la performance est proposé, fondé sur la distinction de deux expressions, l'une élémentaire et l'autre agrégée. La structuration du modèle de quantification repose sur une décomposition d'un objectif dit global en un arbre de sous-objectifs. L'expression élémentaire est définie comme le résultat de la comparaison d'un état atteint avec l'objectif. L'expression agrégée est le résultat de l'agrégation d'un ensemble d'expressions élémentaires. En termes de modélisation, nous avons eu recours à la théorie des sous-ensembles flous pour la prise en compte du caractère flexible des objectifs et de celui imprécis des mesures. Par ailleurs, nous avons utilisé les outils d'aide à la décision multicritère afin de réaliser une agrégation fondée. La méthode MACBETH a été retenue, associée à l'intégrale de Choquet, qui est un opérateur d'agrégation à même de prendre en compte les interactions entre critères. Le modèle proposé a été expérimenté auprès de partenaires industriels, autour de leurs problématiques d'amélioration de la performance.

Abstract:

This work deals with the industrial performance quantification of manufacturing companies. Such a performance is defined with regards to the achievement of an assigned objective. Performance indicators and performance measurement systems are, in the overall and multicriteria context, the methodological tools for providing the performance expressions. A performance expression framework is proposed, based on the quantification of two kinds of performance expressions, respectively the so-called elementary expression and the aggregated expression. The model is structured in accordance with a hierarchical break-down of overall objectives into sub-objective trees. The elementary expression is the result of the comparison of achieved states with the objectives. The aggregated expression is the result of the combination of the expressed elementary performances. Fuzzy subset theory as well as multicriteria decision-aiding tools are used for handling, on the one hand, flexible and imprecise aspects that characterise both industrial objectives and measures; and, on the other hand, a sound aggregation. The MACBETH method is used, being associated with the Integral Choquet operator. This compromise aggregation operator has been chosen because of its ability to take criteria interactions into account. The developed model has been experimented with regards to improvement performance problematics submitted by our industrial partner.