



**HAL**  
open science

# Définition d'une expression temporelle de la performance des entreprises manufacturières

Hakam Hamadmad

► **To cite this version:**

Hakam Hamadmad. Définition d'une expression temporelle de la performance des entreprises manufacturières. Informatique [cs]. Université Grenoble - Alpes; Laboratoire d'Informatique, Systèmes, Traitement de l'Information et de la Connaissance (LISTIC) - Polytech Annecy-Chambéry, 2017. Français. NNT: . tel-01496298

**HAL Id: tel-01496298**

**<https://hal.science/tel-01496298>**

Submitted on 27 Mar 2017

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

## **THÈSE**

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE LA COMMUNAUTÉ UNIVERSITÉ  
GRENOBLE ALPES**

Spécialité : **STIC - Traitement de l'Information**

Arrêté ministériel : 25 mai 2016

Présentée par

**Hakam HAMADMAD**

Thèse dirigée par **Laurent FOULLOY** et  
codirigée par **Lamia BERRAH**

préparée au sein du **Laboratoire LISTIC**  
dans l'**École Doctorale SISEO**

## **Définition d'une expression temporelle de la performance des entreprises manufacturières**

Thèse soutenue publiquement le 17 janvier 2017,  
devant le jury composé de :

**M. Vincent Clivillé**

Maître de Conférences, Université Savoie Mont Blanc, Examineur

**M. Yves Ducq**

Professeur, Université Bordeaux 1, Rapporteur

**M. Thibaud Monteiro**

Professeur, INSA Lyon, Examineur

**M. Jacky Montmain**

Professeur, Ecole des Mines d'Alès, Rapporteur

**M. Laurent Foulloy**

Professeur, Université Savoie Mont Blanc, Directeur de thèse

**Mme. Lamia Berrah**

Maître de Conférences, HDR, Université Savoie Mont Blanc, Co-directrice de thèse





# THÈSE

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE LA COMMUNAUTÉ UNIVERSITÉ  
GRENOBLE ALPES**

Spécialité : **STIC - Traitement de l'Information**

Arrêté ministériel : 25 mai 2016

Présentée par

**Hakam HAMADMAD**

Thèse dirigée par **Laurent FOULLOY** et  
codirigée par **Lamia BERRAH**

préparée au sein du **Laboratoire LISTIC**  
dans l'**École Doctorale SISEO**

## **Définition d'une expression temporelle de la performance des entreprises manufacturières**

Thèse soutenue publiquement le 17 janvier 2017,  
devant le jury composé de :

**M. Vincent Clivillé**

Maître de Conférences, Université Savoie Mont Blanc, Examineur

**M. Yves Ducq**

Professeur, Université Bordeaux 1, Rapporteur

**M. Thibaud Monteiro**

Professeur, INSA Lyon, Examineur

**M. Jacky Montmain**

Professeur, Ecole des Mines d'Alès, Rapporteur

**M. Laurent Foulloy**

Professeur, Université Savoie Mont Blanc, Directeur de thèse

**Mme. Lamia Berrah**

Maître de Conférences, HDR, Université Savoie Mont Blanc, Co-  
directrice de thèse



*À LA MEMOIRE DE MON PERE*

## ***Remerciements***

Soyons reconnaissants aux personnes qui nous donnent  
du bonheur ; elles sont les charmants jardiniers  
par qui nos âmes sont fleuries.  
*Marcel Proust*

A l'issue de la rédaction de cette recherche, je suis convaincu que la thèse est loin d'être un travail solitaire. En effet, le seul moyen de se délivrer d'une tentation, c'est d'y céder paraît-il ! Alors j'y cède en disant un grand merci aux personnes qui ont cru en moi et qui m'ont permis d'arriver au bout de cette thèse.

Mes plus vifs remerciements s'adressent tout d'abord à mon directeur de thèse Monsieur Laurent Foulloy et ma co-directrice Madame Lamia Berrah. Les mots me manquent pour exprimer ma gratitude. Laurent et Lamia m'ont guidé, dirigé, conseillé pendant mes années de thèse. Ils auraient été pour moi des encadrants de thèse attentifs et disponibles malgré leurs nombreuses charges. Leurs compétences, leur rigueur scientifique et leur clairvoyance m'ont beaucoup appris.

Je tiens, également, à exprimer mes plus sincères remerciements à l'ensemble des membres de mon jury, messieurs : Yves Ducq, Jacky Montmain, Thibaud Monteiro et Vincent Clivillé, pour le temps qu'ils ont consacré à la lecture de cette thèse, et pour les suggestions et les remarques judicieuses qu'ils m'ont indiquées.

Je tiens à remercier vivement Monsieur Vincent Clivillé, pour ses nombreux conseils, tout le long de ma thèse. Au travers de nos discussions, Vincent m'a apporté une compréhension plus approfondie des divers aspects.

Je souhaite remercier Madame Ilham Alloui pour son soutien ininterrompu pendant mes années de thèse.

Je remercie très chaleureusement tous mes collègues ainsi que tous les membres du laboratoire LISTIC pour la sympathie et l'aide qu'ils m'ont témoignées durant le bon déroulement de cette thèse.

Enfin, je ne pourrais finir ces remerciements sans penser à ma mère, à mes frères Basher, Hanan, Samer, à ma petite famille Laya, Ayah, Hebah et Eyas dont l'amour, le soutien, l'affection et l'encouragement constants m'ont été d'un grand réconfort et ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

A tous mes amis, en espérant n'avoir oublié personne.

## Table des matières

<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>7</b>
<b>CHAPITRE I : ANALYSE DE LA PRISE EN COMPTE DU TEMPS DANS LA DEFINITION DE LA PERFORMANCE INDUSTRIELLE .....</b>	<b>10</b>
I.1. INTRODUCTION – PROBLEMATIQUE .....	11
I.2. LA NOTION DE PERFORMANCE .....	11
I.2.1. Généralités.....	11
I.2.2. Quelques définitions .....	13
I.2.2.1. La performance n'est plus synonyme de productivité mais de compétitivité.....	14
I.2.2.2. La performance est synonyme d'efficience, d'efficacité et d'effectivité .....	14
I.2.2.3. La performance est un résultat, lié à l'atteinte d'un objectif ou à l'exécution d'une action .....	15
I.2.2.4. La performance est synonyme de succès .....	16
I.2.3. Les critères de performance.....	16
I.2.3.1. Le critère « coût ».....	17
I.2.3.2. Le critère « qualité ».....	17
I.2.3.3. Le critère « délai » .....	18
I.2.3.4. Le critère « innovation ».....	20
I.2.3.5. Le critère « développement durable » .....	21
I.2.4. En résumé .....	22
I.3. LES OBJECTIFS .....	22
I.3.1. Définitions.....	23
I.3.2. Typologies.....	25
I.3.3. Une décomposition structurelle de l'objectif .....	26
I.3.4. Une décomposition temporelle de l'objectif.....	28
I.4. L'INDICATEUR DE PERFORMANCE .....	29
I.4.1. Définitions.....	29
I.4.2. Typologies.....	31
I.4.3. La mesure dans l'indicateur de performance.....	31
I.5. LES SYSTEMES D'INDICATEURS DE PERFORMANCE .....	32
I.5.1. Définitions.....	32
I.5.2. Quelques grands PMS.....	34
I.5.2.1. La méthode ECOGRAI .....	35
I.5.2.2. Le Balanced ScoreCard – BSC.....	35
I.5.2.3. Les travaux de Neely.....	35
I.5.2.4. Le QMPMS .....	38
I.5.2.5. L'IDPMS.....	39
I.5.2.6. Le PMS selon notre équipe .....	39
I.5.3. Bilan .....	39
I.6. CONTROLE DE GESTION, PILOTAGE ET MANAGEMENT DE LA PERFORMANCE.....	40
I.6.1. Quelques mots sur le contrôle de gestion.....	40
I.6.2. Pilotage et management de la performance.....	40
I.7. CONCLUSION .....	41
<b>CHAPITRE II : UNE PROPOSITION DE DEFINITION DE LA PERFORMANCE TEMPORELLE.....</b>	<b>42</b>
II.1. INTRODUCTION .....	43
II.2. L'OBJECTIF ET LA MESURE .....	44
II.2.1. L'objectif .....	44
II.2.2. La mesure .....	46
II.2.3. Exemple .....	46
II.3. LA PERFORMANCE INSTANTANEE.....	48
II.3.1. Définitions.....	48
II.3.2. Exemple .....	49
II.4. LA PERFORMANCE TENDANCIELLE.....	50
II.4.1. Définitions.....	50
II.4.2. Exemple .....	51
II.5. LA PERFORMANCE PREDICTIVE .....	52

II.5.1. La mesure prédictive .....	52
II.5.2. Exemple .....	53
II.5.3. Définition .....	53
II.5.4. Exemple .....	54
II.5.5. Analyse de l'influence du paramètre $k$ sur la valeur de la performance prédictive .....	55
II.5.6. La pertinence de la performance prédictive .....	56
II.6. METHODE D'UTILISATION DES PERFORMANCES TEMPORELLES .....	57
II.6.1. Agrégation des performances instantanée et tendancielle .....	58
II.6.2. Agrégation de la performance prédictive et de la pertinence .....	61
II.6.3. Agrégation de la performance instantanée et de la performance prédictive corrigée .....	62
II.6.4. Synthèse .....	63
II.7. CONCLUSION .....	64
<b>CHAPITRE III : UNE FORMALISATION FLOUE DES PERFORMANCES INSTANTANEE, TENDANCIELLE ET PREDICTIVE.....</b>	<b>66</b>
III.1. INTRODUCTION .....	67
III.2. QUELQUES NOTIONS SUR LES SOUS-ENSEMBLES FLOUS .....	68
III.2.1. Généralités .....	68
III.2.2. Signification et description floues .....	69
III.2.2.1. Signification floue .....	71
III.2.2.2. Description floue .....	73
III.3. MECANISME DE CALCUL DES PERFORMANCES TEMPORELLES .....	75
III.3.1. La performance instantanée .....	75
III.3.2. La performance tendancielle .....	78
III.3.3. La performance prédictive .....	82
III.3.4. Calcul de la pertinence de la performance prédictive .....	84
III.4. AGREGATION DES PERFORMANCES TEMPORELLES .....	85
III.4.1. Agrégation des performances instantanée et tendancielle .....	85
III.4.2. Agrégation de la performance prédictive et de la pertinence .....	87
III.4.3. Agrégation des performances instantanée et prédictive corrigée .....	88
III.4.4. Agrégation des informations $Score_i(v)$ et $Score_{i,j}(v)$ .....	89
III.5. CONCLUSION .....	90
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>91</b>
<b>ANNEXE A : LA PERFORMANCE TEMPORELLE DANS LE TRS CHEZ FOURNIER.....</b>	<b>93</b>
A.1. UNE DES DECLINAISONS DU TRS DANS L'ENTREPRISE .....	94
A.2. LES CALCULS DE PERFORMANCE TEMPORELLE .....	94
A.2.1. Calcul de la performance instantanée .....	95
A.2.1.1. Calcul numérique de la performance instantanée .....	95
A.2.1.2. Calcul linguistique de la performance instantanée .....	96
A.2.2. Calcul de la performance tendancielle .....	97
A.2.3. Agrégation des performances instantanée et tendancielle .....	99
A.2.4. Calcul de la performance prédictive .....	99
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>101</b>



## Introduction générale

Toutes les directions des entreprises ont dans l'idée d'améliorer leurs performances. Nous pouvons considérer ainsi que le fonctionnement d'une entreprise consiste à se définir des objectifs et à chercher à les atteindre, par la mise en œuvre de plans d'action associés aux différentes parties de son système (lignes de production, ressources techniques, ressources humaines...). Certains objectifs sont structurels et relèvent de la mission de l'entreprise. D'autres objectifs sont plus conjoncturels, liés au renforcement des valeurs de l'entreprise, à la réorganisation de son système, et, de manière plus générale, à l'évolution de son environnement. Ainsi, si l'atteinte d'un objectif se réalise globalement par la planification puis la mise en œuvre d'actions, ces actions sont plus ou moins récurrentes ou plus ou moins systématiques selon la nature de l'objectif considéré.

Pourquoi certaines entreprises sont-elles plus performantes que d'autres ? En d'autres termes, quels sont les paramètres qui font que, dans certains cas, les objectifs assignés sont atteints et que, dans d'autres cas, ils ne le sont que partiellement ou pas du tout ? Fournir des éléments de réponse à cette question est globalement la vocation du « génie industriel ». Cela revient en tout premier lieu à réussir à comprendre le fonctionnement de l'entreprise, puis à mener des actions en vue de la pérennité de celle-ci. De telles actions peuvent se rattacher à avoir un dispositif de « gestion » adapté, à créer un climat de travail favorable à l'atteinte des objectifs et à l'amélioration de la performance... Il s'agira notamment de veiller à déclarer des objectifs atteignables, en cohérence avec le contexte du système industriel. Et en particulier, il sera question de se doter d'un système d'information à même d'aider à un pilotage réactif.

Chercher à disposer de la « bonne » information au « bon » moment pour prendre la « bonne » décision. Tel est le *leitmotiv* général des réflexions menées dans cette thèse. Nos travaux se sont ainsi inscrits dans une optique de développement d'un cadre pour l'évaluation de la performance, fondé sur la notion de Système d'Indicateurs de Performance (PMS – Performance Measurement System).

En effet, il y a plus d'un siècle, l'expression de la performance industrielle était « taylorienne », monocritère, rattachée aux résultats financiers de l'entreprise. La performance était exprimée, en fin d'exercice comptable, à l'aide de ratios de volumes et de coûts de production. Petit à petit, cette expression a dépassé le cadre financier pour se fonder sur le triptyque (coût – qualité – délai). De ce fait, la performance a adopté une dimension multicritère. En termes organisationnels, l'appréhension de cette performance s'est accompagnée de dispositifs de déploiements multiples, des objectifs, des mesures, des décisions, des actions..., le long des niveaux décisionnels de l'entreprise. L'aspect multi-niveaux de la performance industrielle a ainsi été exacerbé, engendrant la nécessité d'un pilotage à base de systèmes d'information de plus en plus évolués. En effet, au-delà du fait que le système d'indicateurs avait pour mission de fédérer un ensemble d'indicateurs, la mission de prendre en compte les interactions entre les paramètres des indicateurs est apparue. Aujourd'hui encore, les dimensions de la performance industrielle ne cessent d'évoluer. Cette performance s'exprime, notamment, en plus des critères du fameux triptyque industriel, de critères en lien avec l'écologie et de manière plus globale le développement durable, l'innovation, que ce soit dans la manière de produire et de commercialiser les produits que dans les services intégrés aux produits eux-mêmes.... En outre, l'utilisation des nouvelles technologies, les organisations interentreprises et l'avènement du paradigme de l'usine du futur ont conféré au système d'indicateurs de performance des dimensions à la fois

technologiques et managériales, soulevant ainsi des problématiques « modernes » de conception de ces systèmes ainsi que d'expression des performances.

Globalement, un indicateur de performance peut être perçu comme étant une donnée quantifiée, renseignant de l'atteinte d'un objectif. Un système d'indicateurs est un ensemble d'indicateurs en interaction. L'expression de performance se rattache au degré d'atteinte d'un objectif. Partant de ces définitions communément admises et dans la continuité des travaux menés dans ce domaine, les propositions avancées dans cette thèse concernent une forme de prise en compte de l'aspect temporel dans l'expression de la performance des systèmes industriels.

Bon nombre de travaux ont été proposés dans la littérature autour des indicateurs et systèmes d'indicateurs de performance. Méthodologies de conception de tels outils, mécanismes de déploiement des objectifs, modèles d'expressions de performance – élémentaire et agrégée –, ont été développés et appliqués à des problématiques industrielles. Concernant plus précisément l'aspect « expression de performance », nous pouvons observer que la prise en compte de la nature des données impliquées dans l'expression de performance, à savoir respectivement le caractère imprécis et/ou flexible de l'objectif et l'incertitude rattachée aux mesures, a été réalisée. Le recours à la théorie des sous-ensembles flous a été opportun dans ce cadre. Aujourd'hui, les affichages proposés par le management visuel permettent d'aller dans ce sens. Par ailleurs, des mécanismes d'agrégation de la performance ont été définis, sur la base de jeux de règles ou de moyennes arithmétiques, selon le format des expressions de performance et la connaissance du lien entre les performances à agréger. Des opérateurs plus sophistiqués, tels l'intégrale de Choquet, ont été également introduits, en vue de proposer un traitement des interactions entre les indicateurs. Parallèlement à ces réflexions, d'autres travaux ont porté sur la définition d'indicateurs « phares » pour le pilotage, tels le TRS (Taux de Rendement Synthétique) notamment.

Concernant toujours l'expression de la performance, nous pouvons constater que les calculs proposés identifient souvent une sorte de photographie de ce qui s'est *a posteriori* produit, à un instant donné, au regard de l'atteinte de l'objectif. Héritage taylorien, l'expression de la performance renseigne ainsi de l'atteinte de l'objectif, de manière instantanée. Bien que les notions relatives à des concepts de tendance et de prédiction, autour de l'objectif et de la performance, soient aujourd'hui intuitivement utilisées dans la pratique du pilotage, elles restent, selon nous, exprimées dans des formes implicites. Notre propos est alors de les expliciter, par le biais de définitions textuelles d'une part et de formalisations mathématiques d'autre part. L'objet de la thèse porte ainsi sur une définition d'une performance que nous qualifions de « temporelle ».

*Organisation de la thèse* : ce manuscrit est organisé en trois parties.

Le premier chapitre traite d'un état de l'art sur la notion de performance, en particulier la performance industrielle. Nous rappellerons sommairement l'évolution de l'expression de la performance dans le temps. Les principaux paramètres inhérents à la performance seront abordés, en l'occurrence, les critères, l'objectif et les outils de mesure de la performance (indicateurs et systèmes d'indicateurs de performance). Nous terminons ce chapitre en évoquant les dispositifs de pilotage de la performance. Ceci nous permettra de conclure sur la pertinence de prendre en compte le temps dans l'expression de la performance.

Le deuxième chapitre de ce manuscrit traite de la définition de la performance temporelle telle que nous la voyons. Les définitions proposées s'inscrivent dans la continuité des travaux

menés par notre équipe. Après un rappel sur les définitions des notions d'objectif, de mesure et de performance instantanée, nous introduisons la performance « tendancielle », d'une part, et la performance « prédictive », d'autre part. Associée à un jalon temporel fixé, la performance temporelle est ainsi définie par l'ensemble des trois performances, respectivement instantanée, tendancielle et prédictive. Une méthodologie d'utilisation de ces performances est proposée en fin de chapitre, fondée sur un mécanisme d'agrégation, deux à deux, de ces performances.

Enfin, nous abordons, en troisième chapitre, la description de notre modèle d'expression des performances précédentes. Notre choix se centrant sur des expressions qualitatives de ces performances, nos propositions seront fondées sur des formalisations linguistiques et symboliques, en cohérence avec les développements proposés dans la théorie des sous-ensembles flous. Les agrégations des performances seront effectuées dans ce contexte par des jeux de règles linguistiques également.

Nous terminons enfin notre étude par une conclusion générale qui nous permettra, par la même occasion, de dresser un certain nombre de perspectives à ces travaux, en particulier la nécessité de valider les idées avancées dans le contexte industriel. A cet effet, une illustration de l'utilisation des performances temporelles dans un contexte d'amélioration du TRS chez un cuisiniste partenaire (Société Fournier) est brièvement présentée en annexe de ce manuscrit.

**Chapitre I : Analyse de la prise en compte du temps dans la  
définition de la performance industrielle**

## I.1. Introduction – Problématique

L'analyse proposée dans ce chapitre traite de la prise en compte de la dimension temporelle de la performance industrielle, dans sa définition et dans son expression. Par le terme « définition de la performance », nous entendons la définition du concept « performance », tandis que nous regroupons, dans le terme « expression de la performance », l'ensemble des informations et mesures relatives au calcul et à la quantification de cette performance. Si bon nombre de travaux ont porté sur la notion de performance, sur son outil de mesure, sur son pilotage, peu d'études, selon nous, s'intéressent, à l'heure actuelle, à cette dimension temporelle.

A cet effet, nous commencerons par énoncer quelques généralités sur la notion de performance, prise dans son sens commun. Puis nous plongerons ce concept dans le contexte industriel, et en rappellerons les définitions proposées dans la littérature. Nous nous pencherons plus particulièrement sur quelques notions qui nous semblent fortement liées à la performance, à savoir les notions respectives de critère de performance, d'objectif et de système d'indicateurs de performance. La dernière partie de ce chapitre sera consacrée au rappel des dispositifs utilisés pour le pilotage de la performance.

A la lumière des bilans que nous dresserons le long des différentes parties de ce chapitre, nous présenterons en guise de conclusion notre manière de considérer l'aspect temporel dans la performance. L'approche proposée s'inscrit dans une logique de complémentarité des cadres de définition et d'expression de la performance d'ores et déjà existants. En particulier, l'ensemble de cette analyse nous fera émettre le postulat – assez naturel – rattaché au fait que le caractère temporel de la performance est celui de l'objectif. En d'autres termes, c'est parce que l'objectif a une temporalité associée à son atteinte qu'un dispositif d'expressions de la performance, dans le temps, est nécessaire pour en piloter l'atteinte.

## I.2. La notion de performance

Associé à tout système ou activité, le terme performance est largement utilisé et étudié dans, son concept, sa mesure, son mode de gestion. Son caractère temporel, bien que présent dans l'ensemble de ces aspects reste toutefois peu ou implicitement abordé. Dans le but d'analyser cette dimension de la performance, commençons par nous faire une idée sur la notion de performance, et en particulier la performance industrielle.

### I.2.1. Généralités

Le terme performance vient du latin et a pour origine le terme « *performare* », qui signifie « *former entièrement* »<sup>1</sup>. Ce terme se réfère donc à la réalisation d'une action. Au quinzième siècle, le terme « *performare* » a trouvé son pendant en anglais dans le verbe “*to perform*”, qui signifie « *accomplir* ». Le Robert définit la performance par « *un accomplissement, une exécution* » [Le Robert 2016]. En outre, la performance est également associée à une forme de compétition sportive. En effet, le Larousse définit la performance comme étant « *le résultat obtenu par un athlète, un cheval de course dans une épreuve* ». La performance y est également définie comme étant « *un résultat heureux obtenu dans une entreprise, un travail,*

---

<sup>1</sup> <http://www.la-definition.fr/definition/performance>

*une épreuve sportive* » [Larousse 2016]. On pressent dès lors que la performance peut être synonyme de succès rattaché à un résultat atteint, voire de satisfaction ressentie à l'issue de ce résultat.

Dans cette logique, Folan, Browne et Jagdev précisent: *“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 et al 2007].

Dans son analyse, Lebas met le doigt sur les différentes perceptions que l'on peut avoir du terme performance. *“Few people agree on what performance really means: It can mean anything from efficiency, to robustness or resistance or return on investment, or plenty of other definitions never fully specified”* [Lebas 1995].

Pour sa part, souhaitant approcher la notion de performance et en montrer le caractère relatif, Le Moigne utilise la métaphore de la course des chevaux. *« 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].

Selon Pesqueux, la performance *« comporte donc l'idée de qualité de réalisation et de mise en scène à visée identitaire venant reposer sur la croyance qu'elle puisse se mesurer et qu'il est bon de se repérer par rapport à quelque chose qui s'est passé »* [Pesqueux 2004]. L'auteur identifie ainsi la performance à une forme de qualité et donc de succès, et l'associe systématiquement à la condition que cette qualité puisse se mesurer.

Dans le domaine de la recherche, nous pouvons observer que le terme « **performance** », au sens général, est présent dans plusieurs champs scientifiques et qu'il fait l'objet d'un grand nombre de publications. En l'occurrence, pour l'année 2015, environ 200000 articles scientifiques (200143 exactement) sont parus<sup>2</sup>. Parmi ces articles, 50 000 articles environ (43761 exactement) contiennent dans leur titre le terme<sup>3</sup> « **performance industrielle** ».

Dans le contexte industriel, particulièrement l'entreprise manufacturière, rappelons que la performance est restée longtemps rattachée à sa dimension financière [Bouquin 2001], [Bescos et al 1993], [Bourguignon 1995], [Lebas 1995], [Bessire 1999], [Dohou et Berland 2007]. La performance industrielle a été présentée comme l'illustration de la productivité et la rentabilité de l'entreprise [Anthony 1965]. Mais, avec les évolutions diverses, la performance n'est plus restée attachée à une seule dimension financière : *« la performance revêt (...) des aspects multiples, sans doute convergents, mais qui méritent d'être abordés dans une logique plus globale que la seule appréciation de la rentabilité pour l'entreprise ou pour l'actionnaire »* [Marmuse 1997]. Progressivement, la notion de performance s'est élargie (Figure I.1), embrassant à la fois une dimension interne à l'entreprise, jugée par l'efficacité et l'efficience de ressources utilisées, et une dimension externe [Bitton 1990], [Najar 1994],

---

<sup>2</sup> [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

<sup>3</sup> Estimation effectuée fin novembre 2015.

[Dohou 2009], [Essid et Berland 2011]. Cette même performance est aujourd’hui impactée par un certain nombre d’aspects dont le contexte de mondialisation [Lallement 2006] et le développement durable [Capron et Quairel 2006], [ISO 26000], [Spangenberg et al 2002]. La performance externe est liée notamment à la position concurrentielle de l’entreprise, à la relation aux différentes parties prenantes, aux prix des produits, à leur qualité et délai de mise à disposition [Stalk 1988], [Wilson 1994], [Verma et Pullman 1998], ainsi qu’à leur caractère innovant et éco-responsable. La performance interne continue à se rattacher essentiellement à l’utilisation des ressources, au pilotage des systèmes, à la motivation des employés, à la flexibilité du système industriel et à l’apprentissage organisationnel [Kaplan et Norton 2005], [Berland et Essid 2009], [Colledani et al 2014].

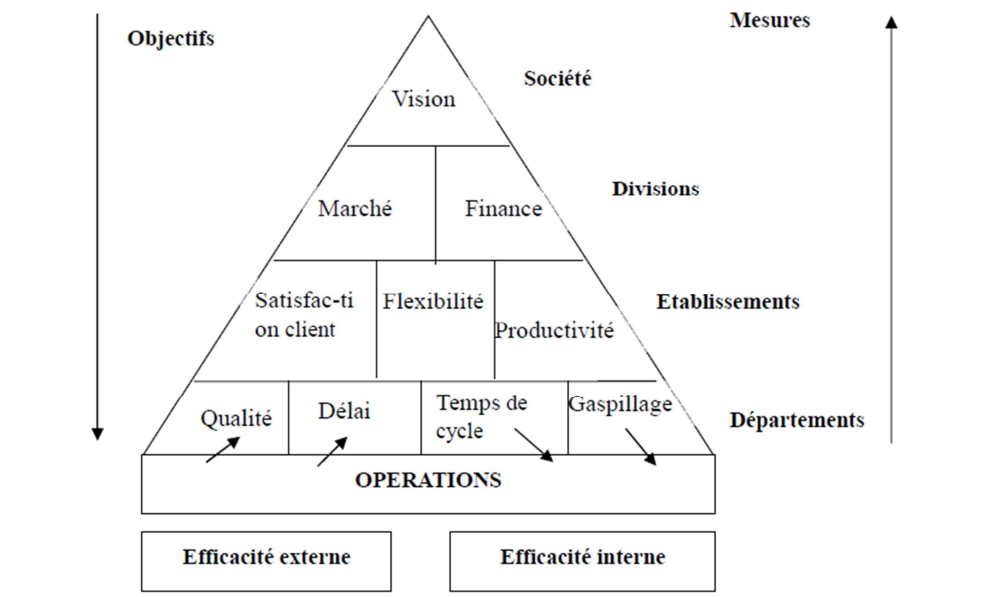


Figure I.1 : La pyramide des performances – [Cross et Lynche 1989].

Ainsi, la performance industrielle s’explique-t-elle par des résultats obtenus, conformément à une stratégie, afin d’atteindre des objectifs. Aujourd’hui, ces objectifs se déclinent conformément à des critères de performance multiples, tels que le coût, la qualité, le délai [Lorino 1996<sub>b</sub>], [Clivillé 2004], [Kaplan et Norton 2004], [Humez 2008], et, plus récemment, l’innovation [Azzone et Noci 1998] et le développement durable [Capron et Quairel 2006]. Les objectifs ont également été associés, successivement, à différentes méthodes et approches pour piloter leur atteinte, précisément les méthodes de gestion, de pilotage puis de management de la performance [AFGI 1992], [Frein 1998], [Berland 2009], [Ducq 2007], [Ali Shah 2012], [Vernadat et al 2013], [Giannopoulos 2015].

## I.2.2. Quelques définitions

“What is performance?” [Lebas 1995]. Pour répondre à cette question, passons en revue les définitions de la performance proposées dans la littérature, en nous focalisant sur la performance industrielle.

### ***1.2.2.1. La performance n'est plus synonyme de productivité mais de compétitivité***

Jacot et son équipe ont analysé l'évolution de la performance. « *Désormais, au niveau marchand, la performance doit s'évaluer de manière au moins autant extrinsèque qu'intrinsèque à l'entreprise. En d'autres termes, à ce niveau, on quitte l'espace des seuls ateliers et services connexes, pour se situer au niveau de l'entreprise à la fois prise toute entière et immergée dans les marchés amont et aval. Du même coup, on passe de la notion de productivité, ou aptitude à bien produire, à celle de compétitivité, ou aptitude à bien entrer en compétition sur les marchés. La compétitivité ne se mesure alors plus par un rapport output/input, mais par une différence entre la valeur et le coût* » [Jacot et Micaelli 1996]. L'auteur et son équipe ont ainsi associé à la dimension interne de la performance une dimension externe, rattachée à la position de l'entreprise sur le marché.

### ***1.2.2.2. La performance est synonyme d'efficience, d'efficacité et d'effectivité***

Dans sa dimension financière, la performance industrielle a longtemps été synonyme d'efficience avant de s'élargir au triptyque (Efficience – Efficacité – Effectivité) [Neely et al 1996], [Marion et al 2012], [Vernadat et al 2013], [Berrah 2013] (Figure I.2).

L'**Efficience** illustre le rendement des équipements ainsi que la productivité de la Main d'Œuvre Directe (MOD), [Taylor 1911], [Le Moal et Tarondeau 1979], [Cosmetatos et Eilon 1983], [Pouget 1998], [Kanigel 2005]. L'efficience se mesure par le rapport entre les ressources mises en œuvre, par les acteurs, et les résultats obtenus [Bouleau 2013].

Dohou et Berland définissent l'efficience à travers quelque exemples : « *le fait de maximiser la quantité obtenue de produits ou de services à partir d'une quantité donnée de ressources : la rentabilité (rapport d'un bénéfice à des capitaux investis) et la productivité (rapport d'un volume obtenu à un volume consommé) sont deux exemples d'efficience* » [Dohou et Berland 2007].

L'équipe de Swink pose que l'efficience implique une amélioration « multicritère » de la performance. « *However, efficiency based arguments suggest that the managers of project A may indeed achieve performance improvements in multiple dimensions simultaneously through a significant process change, a fundamental change in the technology used to transform inputs into output* » [Swink et al 2005].

Pour Le Moigne, l'**Efficacité** est « *un concept monocritère, monodimensionnel, simple et très structuré* » [Le Moigne 1990]. Elle est définie par l'atteinte des objectifs [Calmé et al 2013]. L'efficacité se mesure par l'écart entre les objectifs et les résultats obtenus [Neely et al 1995]. Bouquin identifie l'efficacité à la capacité d'atteindre les objectifs fixés [Bouquin 2008].

Selon Marion et son équipe, l'efficacité est une logique essentielle d'évaluation de la performance dans une entreprise [Marion et al 2012]. L'efficacité se définit par un lien entre l'objectif et son atteinte. « *En rapportant les résultats aux objectifs, l'efficacité traduit l'aptitude de l'entreprise à atteindre ses objectifs* ».

La notion d'**Effectivité** est liée à la finalité. Le Moigne définit l'effectivité par : « *l'évaluation de triptyque (objectifs – moyens – résultats), c'est-à-dire en remontant jusqu'aux finalités qui sont à l'origine même du système dont on cherche à évaluer la performance* » [Le Moigne 1973]. L'effectivité permet d'établir le lien entre ce que l'entreprise a fait et ce qu'elle voulait faire. La notion d'effectivité peut également trouver une sorte de synonyme dans la notion de



« cohérence » entre, les objectifs, les moyens et les résultats. C'est du reste le point de vue de Marion et son équipe qui pensent : « *en rapportant les objectifs aux moyens, la cohérence (Ecosip, Cohendet et al 1995) traduit l'adéquation censée garantir l'équilibre du système. En renvoyant à une exigence de coordination interne de l'action collective, la cohérence traduit l'harmonie des composants de base de l'organisation qui permet d'évaluer le performance en matière organisationnelle* » [Marion et al 2012].

Notons un quatrième synonyme donné à la performance : **la Pertinence**. La pertinence permet de savoir si l'entreprise s'est munie des moyens nécessaires pour atteindre ses objectifs [Barabel et Meier 2015].

La figure ci-dessous propose un positionnement de l'ensemble des synonymes considérés pour la performance.

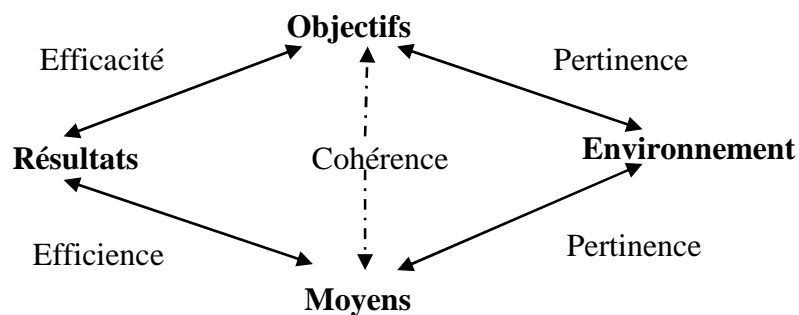


Figure I.2 : La performance et ses synonymes – [Marion et al 2012].

### 1.2.2.3. La performance est un résultat, lié à l'atteinte d'un objectif ou à l'exécution d'une action

La performance industrielle est associée à plusieurs termes : mesure, management, évaluation, pilotage... [Cameron 1978], [Berrah 1997], [Neely 1999], [Kerbrat et al 2013]. Mais dans tous les cas, la performance reste toujours associée à un objectif et une mesure. En particulier, la performance est attachée à la réalisation d'un objectif. Elle est justifiée par une mesure qui donne le **résultat** obtenu au regard de l'atteinte de cet objectif [Saada et al 1995], [Bititci et al 1998], [Kaplan et Norton 2000], [Neely et al 2000] [Berrah 2013].

En effet, nous avons toujours posé dans notre équipe le postulat suivant : « *une entreprise performante est une entreprise qui atteint les objectifs qu'elle annonce* », pourvu que ces objectifs soient cohérents avec le contexte de l'entreprise [Berrah 2002]. Nous considérons de plus que la performance est le résultat d'une comparaison de l'objectif est la mesure de son atteinte. De même, Burlaud voit que la performance contient la notion de résultat qui identifie un « *niveau de réalisation des objectifs* » [Burlaud 1995].

Une façon équivalente de considérer la performance est de l'associer au résultat d'une action, l'action n'étant en effet, rien d'autre que le moyen d'atteindre l'objectif. A cet effet, Baird considère que : « *la performance est l'action faite de nombreux composants, non un résultat qui apparaît à un moment dans le temps* » [Baird 1986]. Dans la même logique, Bourguignon définit la performance comme : « *la réalisation des objectifs organisationnels, quelles que soient la nature et la variété de ces objectifs. Cette réalisation peut se comprendre au sens strict (résultat, aboutissement) ou au sens large du processus qui mène au résultat (action)* »

[Bourguignon 2000]. Besqueux pense : « *il y aurait performance dès qu'il serait possible de constater le passage d'une potentialité à une réalisation* » [Besqueux 2004].

Enfin et en guise de synthèse, Bourguignon voit la performance à la fois comme « *l'action, son résultat et éventuellement son exceptionnel succès* » [Bourguignon 1995]. L'auteure positionne ainsi la performance par rapport à cette notion de succès évoquée précédemment.

#### **1.2.2.4. La performance est synonyme de succès**

La performance peut se traduire par le succès lié à l'exécution d'une action. Mais ceci implique en réalité certaines étapes, explicitées par Catelnau et son équipe. « *En effet, la performance d'entreprise se réalise avant tout par rapport à ses ambitions déterminées dans ses propres objectifs stratégiques. Elle se vérifie ensuite sur ses marchés* » [Castelnau 1999]. La mesure de la performance dans ce cas a pour rôle de vérifier le succès rattaché à l'atteinte de l'objectif. Ce succès dépend donc à la fois de l'objectif fixé et de son atteinte. « *La performance d'une entreprise est avant tout, d'être compétitive sur ses marchés, conformément à ses choix stratégiques. Il ne peut pas y avoir d'autre performance d'entreprise hors de sa réussite stratégique. Cette réussite passe par l'adéquation durable de l'offre, de ses produits et de ses services, aux attentes des marchés, en intégrant dans la réflexion, l'omniprésence des concurrents principaux. En vision interne, la performance est en fait la traduction de sa compétitivité sur ses marchés* » [Castelnau 1999].

Dans cet ordre d'idées, Boisvert 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* » [Boisvert 1995].

Etablissant le lien entre la performance et la dimension organisationnelle de l'entreprise, Miles et Snow considèrent que : « *la performance est la capacité de l'organisation à réaliser une satisfaction minimale des attentes de sa clientèle stratégique* » [Miles et Snow 1986].

### **1.2.3. Les critères de performance**

La performance ne prend de sens que si elle se mesure. “*What you measure is what you get*” [Kaplan et Norton 2005]. Faisant écho à Kaplan et Norton, Folan et son équipe attachent le concept de performance non seulement à son évaluation mais aussi à la décision associée. “*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 et al 2007]. Et en particulier, performance, mesure et décision ne vont prendre de sens que par rapport à la notion de « critère ».

Rappelons au préalable la définition d'un critère. Selon Marcotte, qui place sa définition dans le domaine de l'optimisation, un critère est une fonction que l'on cherche à optimiser et qui permet de choisir entre les différentes variables de décision d'un système pour atteindre l'objectif souhaité [Marcotte 1995]. Dans le domaine de l'aide à la décision multicritère, l'équipe de Bogaerdi positionne le critère de la manière suivante : “*the dictionary meaning of criteria is standards, rules or tests on which judgements or decisions can be based. In decision making theory, however, a criterion may represent either an attribute or an objective. In this sense, a multicriterion decision problem means either a multiattribute or a*

*multiobjective decision problem or both. Multicriterion Decision Making (MCDM) is, therefore, used to indicate the general field of study which includes decision making in the presence of two or more conflicting objectives and/or decision analysis processes involving two or more attributes*” [Bogardi et Nachtnebel 1994]. Dans ce contexte, Grabisch considère qu’un attribut est une information objective qui renseigne sur un objet, alors qu’un critère n’identifie pas seulement un attribut mais aussi une performance [Grabisch 2005].

Dans cette partie, nous nous proposons de rappeler brièvement quelques-unes des définitions des principaux critères intervenant dans la performance industrielle, à savoir : le coût, la qualité, le délai, l’innovation et le développement durable.

### **1.2.3.1. Le critère « coût »**

Le coût d’une entité, produit ou service, peut être défini comme étant : « *la somme des charges relatives à un élément produit, activité, fonction* » [Boisselier 2010]. Critère taylorien, le coût représente « *la somme des charges ou supplétives relatives à toute chose désignée, que ce soit un bien ou un service* » [Bellut 1990]. Lorino définit le coût de revient d’un produit comme étant la « *somme des charges supportées par une entreprise pour fabriquer et vendre un produit* » [Lorino 1996<sub>b</sub>]. Le prix d’un produit est déterminé alors par le coût de revient en rajoutant un marge [Ducq 1999].

En accord avec les principes de la comptabilité, du contrôle de gestion et de l’activité économique, les coûts sont généralement distingués selon deux catégories respectives, les coûts directs et les coûts indirects [Burlaud et Simon 1981].

- « *Les coûts directs représentent l'ensemble des ressources consacrées à la réalisation de la prestation et pouvant être imputées directement et sans ambiguïté à cette prestation* ».
- « *Les coûts indirects sont les ressources qui ne peuvent pas être imputées exclusivement à la réalisation d'une seule et unique prestation dont on cherche à calculer le coût car ils contribuent également à d'autres prestations - les dépenses de personnel indirectes : coûts transversaux induits par les agents des fonctions support contribuant à la réalisation de la prestation considérée ; les autres dépenses bénéficiant également à d'autres prestations (charges mutualisées)* »<sup>4</sup>.

Les entreprises cherchent toujours à réduire au maximum les coûts de production, soit, pour augmenter leurs marges, soit, pour augmenter leur pouvoir attractif sur les clients en diminuant les prix de vente. Le coût de revient du produit est un élément concurrentiel essentiel entre les entreprises, « *une entreprise n’obtenant un avantage de coût que dans la mesure où elle exerce une activité créatrice de valeur à un coût total inférieur à celui de ses concurrents* » [Bellut 1990].

### **1.2.3.2. Le critère « qualité »**

La norme ISO 8402 définit la qualité comme étant la « *satisfaction aux exigences spécifiées* ». La qualité identifie « *l'ensemble des caractéristiques d'une entité qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites* » [ISO 8402]. De ce sens, Pillet insiste sur le fait

---

<sup>4</sup> Guide méthodologique de calcul du coût d’une prestation - SG - octobre 2012.

[http://www.performance-publique.budget.gouv.fr/sites/performance\\_publicue](http://www.performance-publique.budget.gouv.fr/sites/performance_publicue)

que la qualité est un minimum exigé ou une évidence lorsqu'un client achète un produit. Pillet définit la qualité comme : « *l'aptitude à rendre le plus probable possible la conformité du produit final* » [Pillet 1999]. La qualité est ainsi : “*The conformance to requirements meaning both the product and the customer's requirements*” [Crosby 1967]. En d'autres termes, la qualité est “*the uniformity around a target value*” [Taguchi 1992].

Falzon et son équipe montrent que la qualité d'un produit ou d'une organisation dépend de l'ensemble du processus associé respectivement à la réalisation du produit ou à la définition et au management de l'organisation. L'équipe distingue de plus la qualité dite « réglée » de la qualité dite « gérée ». « *Ce que l'on pourrait appeler qualité réglée repose sur la formulation de règles (procédures, référentiels, prescriptions, etc.), leur diffusion auprès des acteurs et la volonté de s'assurer de leur application. La qualité gérée repose à l'inverse sur les capacités d'initiative des opérateurs, seuls ou en groupe, à faire face à l'imprévisible et à la variabilité naturelle du réel* » [Falzon et al 2013]. Dans ces travaux, « *la seule réelle innovation a consisté à étendre ce qui était au départ orienté vers la façon de produire (la « one best way ») au produit lui-même (le zéro défaut)* » [Falzon et al 2013].

Dans leur étude sur la qualité, le management et l'innovation de la performance. Raja et Wei expliquent que la qualité est une condition nécessaire, dans tous les secteurs de l'entreprise, à l'innovation et à la performance. Cette équipe a présenté différents *scenarii* dans lesquels la qualité peut avoir une influence aussi bien positive que négative sur la performance. Cette recherche a montré la nécessité d'une synergie entre les pratiques respectives de qualité, d'innovation et de manière plus générale, de la performance de l'entreprise [Raja et Wei 2015].

En résumé, nous pourrions considérer que la qualité – totale – est un critère englobant qui peut même être assimilé à la performance.

### **1.2.3.3. Le critère « délai »**

D'une manière générale, la notion de délai est associée au temps et peut être définie comme étant : « *le temps accordé pour l'accomplissement de quelque chose* » [Linternaute.com]. Dans une entreprise, nous distinguons plusieurs sortes de délais, notamment les délais rattachés aux processus physiques et opérants, comme par exemple : le délai de production, le délai de stockage, le délai de mise en circulation de nouveaux produits ou services, le délai de livraison... Les délais rattachés aux processus de pilotage sont également importants, tels les délais de prise de décision, de réaction...

Globalement, le délai lié à la réalisation des produits est représenté par l'intervalle de temps entre l'instant de réception de la commande et celui de la livraison du produit. Cohendet décompose ce délai en trois délais respectifs : « *délai de réaction, temps d'adaptation et cycle de fabrication* » [Cohendet et Llerena 1990].

Le délai de production ou « lead time » est défini par Burlat comme étant le « *temps nécessaire pour qu'un lot d'articles passe du point d'entrée au point de sortie d'une ligne* » [Burlat 2015]. Par rapport à ce délai de production, nous trouvons plusieurs définitions qui font intervenir notamment la notion de temps de cycle (Figure I.3) : « *il s'agit de l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux produits sortants du poste. Pour une ligne, c'est l'intervalle de temps entre deux produits sortants de la ligne* » [Burlat 2015]. Ainsi, d'une manière générale, le temps de cycle est vu comme le temps de traversée d'un produit ou d'un lot de produits et « *il est mesuré depuis l'entrée dans le processus jusqu'à sa sortie* » [Hohmann

1998]<sup>5</sup>. Xie définit le temps de cycle comme : “*the period of time between the receipt of a customer service request and the completion of the server request*” [Xie et al 2015]. Ce temps peut être mesuré par rapport à un poste de fabrication ou par rapport à une ligne de production. Nakade définit le temps de cycle de production comme étant : “*a time interval between successive outputs of finished products*” [Nakade 2015].

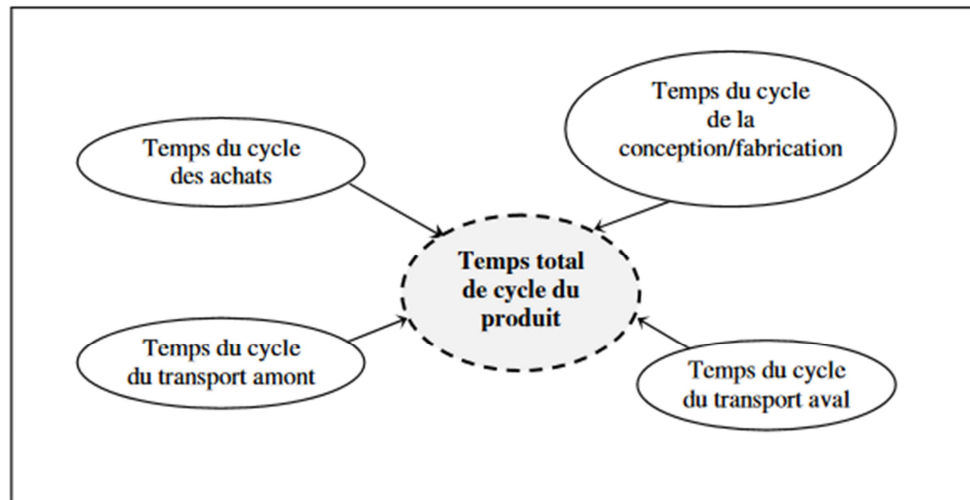


Figure I.3 : Le temps total de cycle – [Aguzzoul 2005].

Par ailleurs, introduit par le Lean Manufacturing, signalons le « takt time », utile pour quantifier les capacités d’une ligne de production. Le « takt time » est une sorte de référence de temps qui lie le temps disponible avec le nombre d’unités vendues. “*First of all, the takt time can be said to lead to adjustment of rhythms in the manufacturing systems. Following the customer demand, the takt time determines how much time each of the assembly line workstations has available to execute its task. A change in the takt time would lead to changes in the times for all workstations*” [Chankov et al 2014]. Le « takt time » est un indicateur d’équilibrage des postes de travail. Le « takt time » devient « *la maille de temps unitaire disponible pour accomplir une tâche selon la demande client* » [Hohmann 1998]. Dans le cas où chaque produit est réalisé sur un certain intervalle de temps, une synchronisation entre le flux de produit et la demande client est nécessaire. Dans ce sens, le « takt time » est une « *expression du rythme de la demande client, il détermine la vitesse de production* » [Bassetto 2010].

Pour sa part, le délai de livraison est défini par le : « *temps s’écoulant entre la réception d’une commande client et sa livraison* »<sup>6</sup>.

De plus, le délai en appelle à un critère aujourd’hui important dans la performance industrielle, qui est la réactivité. En effet, dans un contexte de forte concurrence qui exige un coût bas, une grande qualité et un délai court, l’entreprise doit s’adapter aux évolutions de demandes du marché, et, être capable en particulier de répondre à de nouveaux besoins-client ou à des changements dans l’environnement. « *La réactivité s’inscrit dans un contexte économique (...) la vitesse de réaction aux variations de l’environnement devient primordiale*

<sup>5</sup> <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/lean-entreprise/les-basiques-du-lean/259-lead-time-cycle-time-value-added-time>

<sup>6</sup> <http://www.agrojob.com/dictionnaire/definition-Delai-de-livraison-Delivery-lead-time-3282.html>

*face à l'exacerbation de la concurrence et à la personnalisation accrue des produits et services* » [Dauty et Larré 2001].

En outre, nous pouvons imaginer que ce critère de réactivité, typique du pilotage des systèmes post-tayloriens ainsi que des systèmes actuels, repose sur des informations qui vont au-delà de la vérification *a posteriori* de l'atteinte des objectifs.

La réactivité est à son tour liée à un autre critère dominant, qui est la flexibilité. Dans un système automatisé de production, Trentesaux montre que la réactivité et la flexibilité sont deux notions principales pour que le système de production réduise les contraintes externes imposées aux industries [Trentesaux 1996]. Dans ce sens, Reix définit la flexibilité comme étant : « *un moyen de faire face à l'incertitude... qui traduit l'aptitude de l'entreprise à répondre à des conditions nouvelles : développer une capacité d'apprentissage en utilisant l'information additionnelle* » [Reix 1997].

Notons que Coulon a établi un lien entre la flexibilité et l'innovation. « *Appliquée à l'entreprise, la flexibilité est associée aux idées d'innovation et de performance. Elle ne renvoie pas seulement au travail, mais elle est aussi liée aux notions de diversité des produits, réduction de leur durée de vie, segmentation des marchés* » [Coulon 2006].

#### **1.2.3.4. Le critère « innovation »**

L'innovation est devenue une nécessité pour la pérennité des entreprises [Florida 2002], [Lattuf 2006]. « *Dans un contexte concurrentiel et face aux perpétuels changements de leur environnement, les entreprises mènent une réflexion sur l'innovation qui est essentielle pour assurer leur croissance et leur développement. En effet, les entreprises peuvent grâce à l'innovation développer une compétitivité durable. Ainsi, les entreprises cherchent à développer des innovations tout en prenant en compte les risques liés à celle-ci* » [Elmoukafih et Rhanmi 2010].

Cipriani lie l'innovation à la capacité de l'entreprise à augmenter ses ventes. « *Les différents types d'innovations permettant d'une part l'allongement du cycle de vie du produit et d'autre part un accroissement des ventes* » [Cipriani 2012].

Giannopoulos définit l'innovation comme suit. “*Innovation is commonly defined as the process of converting a new idea into a new product, service, or process or a new business model, resulting in new value being created that will benefit the company and its customers*” [Giannopoulos 2015]. Selon Halle, “*the primary output of innovation investment is the knowledge of how to make new goods and services*” [Hall 2009].

L'innovation peut se décliner selon plusieurs points de vue. En l'occurrence, « *l'innovation sociale représente de nouvelles pratiques ou approches introduites en vue d'améliorer les performances économiques et sociales, de résoudre un problème important pour les acteurs sociaux, de combler un déficit de régulation et de coordination ou afin de combler de nouvelles aspirations* » [Ale et al 2010].

Nous retenons que l'innovation représente aujourd'hui un critère majeur pour la performance industrielle. Globalement, l'innovation identifie une nouvelle idée pour réaliser un produit, un service, un procédé.

### I.2.3.5. Le critère « développement durable »

La Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement (CMED ou Brundtland) a défini le Développement Durable (DD) comme suit. « *Le développement durable est un développement qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de « besoins », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir* » [CMED 1987]. Cette commission considère que le Développement Durable se définit par un équilibre entre trois domaines interconnectés, le domaine économique, le domaine environnemental et le domaine sociétal (Figure I.4).

Ces trois domaines ont été également repris par Capron pour préciser le lien entre la performance globale et le Développement Durable. Selon l'auteur, la performance globale d'une entreprise devrait prendre en considération trois dimensions :

- « *la dimension publique qui s'attache à tous les biens ou services produits qui ont, d'une manière ou d'une autre, un caractère collectif,*
- *la dimension écologique qui s'affirme du fait des rejets ou prélèvements de l'activité productive vis-à-vis de la nature,*
- *la dimension sociale qui s'exprime au travers de phénomènes tels le chômage et l'exclusion* » [Capron et Quairel 2006].

En 2012, la commission CMED souligne qu'un état « éco-systémique » est dit durable dans le cas où « *les composantes de l'écosystème et leur fonctions sont préservées pour les générations présentes et futures* » [CMED 2012].

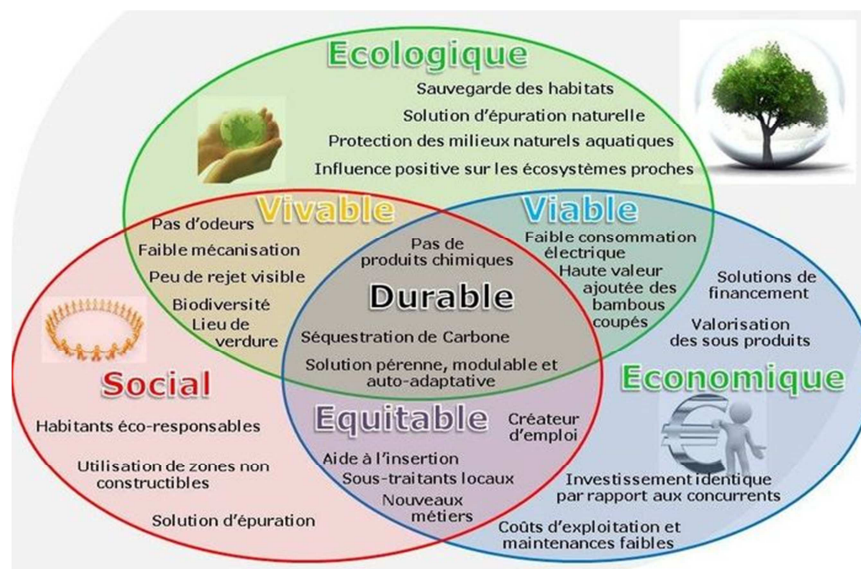


Figure I.4 : « Le schéma entrecroisé du développement durable » – [http://www.phytorem.com].

## I.2.4. En résumé

De cette partie, nous retenons que la performance est un concept qui s'attache à un résultat obtenu, lié à l'atteinte d'un objectif, et de manière équivalente, à l'exécution d'une action. La performance peut être identifiée en effet au résultat obtenu par le système en charge d'atteindre l'objectif, mais aussi au succès potentiellement associé à ce succès. Par ailleurs, constitutionnellement, la performance dépasse le cadre de l'efficiency taylorienne et s'articule autour du triptyque (Efficience – Efficacité – Effectivité). Selon le contexte, elle peut trouver un déploiement au regard des critères industriels actuels, en l'occurrence le coût, la qualité, le délai, l'innovation et le développement durable.

Toutefois, si la dimension multicritère de la performance ainsi que son évolution depuis le taylorisme sont bien admises, les définitions et propriétés proposées restent attachées à une sorte d'image « instantanée » du système considéré. La performance est en effet un résultat immédiat et instantané qui témoigne d'un acte posé. Nous convenons de considérer une telle vision de la performance comme étant *instantanée*. Les caractères *a posteriori* et ponctuel associés à l'expression de la performance étaient certes cohérents avec des logiques de contrôle. De telles expressions offrent assurément des informations utiles à un pilotage réactif mais restent toutefois insuffisantes dans le contexte industriel moderne, dans lequel une « distance temporelle » peut être opportune à la planification et au lancement d'actions proactives.

Nous avons fini d'étudier globalement les contours de la performance industrielle. Passons maintenant à l'étude de la notion d'objectif, concept indissociable de celui de la performance.

## I.3. Les objectifs

Avant d'aborder la notion d'objectif, présentons deux concepts qui sont reliés à cette notion [Mélèse 1972] et qui sont respectivement la finalité et le but.

- La finalité peut signifier la motivation, l'orientation ou la tendance d'une action. « *La finalité est le rôle que doit remplir un décideur au sein de la structure décisionnelle. Elle définit la nature des problèmes que le décideur est amené à résoudre* » [Marcotte 1995]. Elle peut exprimer aussi l'état futur d'un système à partir de son état initial. Mélèse voit que : « *la finalité d'une entreprise est sa raison d'être, en terme économique et sociologiques. Elle reflète l'idée qu'un groupe humain se fait d'un système, en ce sens qu'elles ne sont pas directement opératoires* » [Mélèse 1972]. La finalité selon l'auteur diffuse l'idée qu'un groupe humain se fait des missions d'un système. Dans ce cas, la finalité est indirectement opérationnelle.
- Les buts sont « *les intentions qui sous-tendent l'action, les aspirations fondamentales sur un horizon temporel généralement non borné précisément. Comme tels, ils ne sont jamais véritablement atteints mais toujours à poursuivre* » [Desreumaux et al 2009]. Les buts réalisent les finalités par l'exécution des composantes opératoires [Mélèse 1972].

Mélèse a établi un lien entre les finalités, les buts et l'environnement quand il a proposé la définition suivante. « *Des finalités et des buts étant exprimés sur un environnement, un système finalisé est un ensemble organisé de moyens, méthodes, règles et procédures qui permet d'obtenir des réponses satisfaisantes de l'environnement* » [Mélèse 1972].



### I.3.1. Définitions

Plusieurs définitions sont données pour l'objectif [Le Moigne 1973], [Marchesnay 1986], [Gallois 1990], [Marcotte 1995], [Kaplan et Norton 1996<sub>b</sub>], [Ducq 1999], [Berrah 2002], [Giard 2003], [Berrah 2013]. Nous citerons dans cette partie celles qui nous semblent essentielles et en lien avec l'objet de notre étude. Nous commencerons par rappeler la définition « SMART » de l'objectif [Doran 1981] qui précise qu'un objectif présente les caractéristiques suivantes.

- *Spécifique* : la définition d'un objectif doit être suffisamment détaillée et précise pour être compréhensible.
- *Mesurable* : un objectif doit être quantifiable, dans un but de pouvoir mesurer le degré de son atteinte.
- *Acceptable* : un objectif est acceptable si son atteinte fait l'unanimité des différentes entités concernées.
- *Réalisable* : un objectif doit être atteignable, en termes de capacités du système concerné.
- *Temporellement défini* : la définition d'un objectif doit tenir compte de l'horizon temporel nécessaire à son atteinte. Cet horizon peut être découpé selon un échéancier précis.

La caractéristique « *temporellement défini* » de l'objectif attire particulièrement notre attention dans le cadre de ces travaux. Cette dimension identifie l'existence, partant d'un instant initial, d'un instant final associé à l'atteinte d'un objectif et éventuellement d'instant intermédiaires. Nous pouvons supposer que la performance qui exprimera le degré d'atteinte d'un objectif temporellement défini puisse à son tour être caractérisée par une expression à l'état final mais aussi aux instants intermédiaires. A ces instants intermédiaires, nous pourrions même imaginer des variantes de performance véhiculant des sémantiques temporelles autres que celle de la performance instantanée. Telle est la motivation de nos réflexions.

Dans cet ordre d'idées, Mèlèse considère que les objectifs sont « *des buts précis à atteindre dans un temps donné* » [Mèlèse 1972].

Le positionnant dans un environnement de pilotage, Marcotte définit l'objectif par : « *le résultat, la cible que doit atteindre le système piloté par le décideur* » [Marcotte 1995].

Pour sa part, Ducq rattache l'objectif à une amélioration de la performance et distingue les objectifs quantitatifs et les objectifs qualitatifs. « *Un objectif traduit l'intention de passer de l'état de performance existant à l'état de performance souhaité pour le système physique piloté par le centre de décision. Cet objectif doit s'exprimer sous la forme d'un verbe exprimant la variation souhaitée associée à un domaine de performance. Lorsque l'objectif est quantitatif, l'état de performance souhaité sera quantifié. Lorsque l'objectif est qualitatif, la variation souhaitée sera exprimée sous la forme d'une tendance* » [Ducq 1999]. De par cette définition et l'introduction de la notion de variation, nous pouvons comprendre que l'auteur associe également à l'atteinte de l'objectif une sorte d'horizon temporel, sur lequel il serait pertinent de se munir d'observations utiles au pilotage de l'objectif [Foulloy et Berrah 2015].

Considérant également l'idée d'amélioration, Kromm met l'accent sur la relation entre l'objectif et la performance : « *un objectif traduit l'intention du décideur, dans un cadre décisionnel donné, de passer de l'état de performance existant à l'état de performance souhaité pour le système piloté. Il constitue donc une représentation anticipatrice de la performance à atteindre* » [Kromm 1997].

Quant à nous, en cohérence avec les choix précédemment effectués par notre équipe, nous sommes repartis de la définition sémantique des objectifs telle qu'elle a été suggérée par Mélèse [Mélèse 1972], d'une part, et des caractéristiques « SMART » de l'objectif, d'autre part. L'analyse menée a conduit à la vision suivante. « *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 « précision » de sa déclaration* » [Berrah 2013]. Cette vision a eu pour objet l'élargissement de la notion d'objectifs industriel à des dimensions autres que la dimension financière. Dans ses travaux de thèse, Clivillé reprend une idée mise en avant par Kaplan et Norton, autour du lien entre l'objectif et le plan d'action<sup>7</sup> [Clivillé 2004]. En effet, une analyse effectuée par ces auteurs insiste sur le fait que l'atteinte de l'objectif nécessite la réalisation d'un plan d'action [Kaplan et Norton 1996<sub>a</sub>]. De cette idée, Kaplan et Norton voient que l'objectif doit être déployé conformément à tous les niveaux de l'entreprise, du niveau stratégique au niveau opérationnel. Selon les auteurs, la définition d'un objectif stratégique à long terme doit être en effet associée au déploiement des actions à court terme. Le plan d'action retrace alors la décomposition ainsi que les niveaux décisionnels de l'objectif.

Ainsi, les notions respectives de valeur à atteindre, de variable, de déploiement, d'horizon temporel et de plan d'action ont été considérées par l'équipe comme les paramètres d'un 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 (...) 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* » [Berrah 2013]. En particulier, l'horizon temporel identifie la durée du plan d'action.

Plus précisément, dans l'objectif, nous pouvons distinguer deux facettes.

- La première facette de l'objectif se rattache à l'ensemble de ses caractéristiques. Ces caractéristiques ressortent de son étape de déclaration. Ce sont essentiellement la variable, la valeur à atteindre, l'horizon temporel associé à cette atteinte – court, long ou moyen termes –, le niveau décisionnel – stratégique, tactique, opérationnel –, le type – numérique ou linguistique –, ..., [Le Moigne 1990], [Lebas 1995], [Berrah 1997], [Bourguignon 2000], [Vernadat et al 2013].
- La deuxième facette de l'objectif concerne le plan d'action associé à son atteinte [Kaplan et Norton 2005], [Neely 1999], [Kaplan et Norton 2000], [Lorino 2001], [Clivillé 2004], [Ducq 2007], [Folan et al 2007], [Berrah 2013]. Le plan d'action est en quelque sorte le lien entre la valeur attendue et l'horizon temporel associé. Cette facette identifie les aspects rattachés à la « *dynamique* » d'atteinte de l'objectif, soit l'exécution des actions.

---

<sup>7</sup> Rappelons qu'« *un plan d'action bien préparé présente sommairement le but et les objectifs à atteindre, les activités connexes à entreprendre, les concernant les ressources et les méthodes d'évaluation* » [Unitar 2009].

Ainsi, un objectif va représenter une forme de concrétisation d'une finalité ou but attendus d'un système. Il se caractérise par une valeur à atteindre, un horizon temporel ainsi qu'une action associée à cette atteinte. Par essence, un objectif est donc temporel dans la mesure où son atteinte se fait dans le temps. L'on peut alors envisager assez naturellement que la performance qui lui soit associée soit elle aussi « *temporelle* », prenant éventuellement des formes différentes le long de l'horizon temporel considéré.

### I.3.2. Typologies

Nous pouvons distinguer plusieurs types d'objectifs et plusieurs typologies peuvent donc être considérées. Toutefois, les paramètres qui permettent de distinguer les objectifs restent les mêmes et sont généralement, le niveau décisionnel des objectifs, leur dimension, la nature du critère auquel ils se rattachent. Passons en revue quelques-unes des typologies rencontrées dans la littérature ou dans la pratique industrielle.

Gallois et Giard rappellent les trois niveaux décisionnels associés à l'objectif : les niveaux respectivement stratégique, tactique et opérationnel [Gallois 1990], [Giard 2003]. Sur la base des travaux de [CGP 1997], Ducq propose les définitions suivantes [Ducq 1999].

- Les objectifs stratégiques : « *ce sont les objectifs qui définissent la trajectoire d'évolution du système, dont l'horizon et la période sont les plus longs. Ils sont la traduction des facteurs clés de succès de l'entreprise* ».
- Les objectifs tactiques : « *ce sont les objectifs qui visent à la mise en place des moyens de production, et qui sont la traduction des objectifs stratégiques au niveau moyen terme* ».
- Les objectifs opérationnels : « *ce sont les objectifs d'évolution continue. Ils sont la traduction des objectifs tactiques au niveau opérationnel, court terme et temps réel* ».

Un autre regard sur l'objectif a porté sur sa complexité. Ceci a donné naissance à la notion d'objectif « *global* » et d'objectif « *élémentaire* » [Kaplan et Norton 2007], [Dohou et Berland 2007], [Berrah 2013]. Nous devons notamment à Schweyer et Haurat la perception suivante : « *a global objective, belonging to a strategic, organizational, social and economic universe and using the know-how of the enterprise* » [Schweyer et Haurat 1997]. L'objectif global regroupe ainsi plusieurs dimensions. Dans ce sens, notre équipe a établi le lien entre la globalité de l'objectif et la finalité de l'entreprise : « *the enterprise is a technological, economic and social entity. To be more precise, it can be characterized by: a set of resources – technical, technological, human and financial – to manage, in order to perform some activities with objectives; and this for a given finality – considered as a global objective within the framework of a given strategy – which would ensure its performance* » [Berrah et al 2000]. De ce fait, un lien est également établi entre la dimension stratégique de l'objectif et sa dimension globale. « *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* » [Berrah 2013]. A cet effet, nous considérons qu'un objectif élémentaire est un objectif non décomposable car il est au dernier niveau de décomposition possible de l'objectif global. Sur la base de ces hypothèses, les adjectifs « *global* » et « *stratégique* » ainsi que les objectifs « *opérationnel* » et « *élémentaire* » deviennent quasiment des synonymes. Il devient alors possible de décomposer un objectif stratégique ou global en objectifs opérationnels ou élémentaires.

Plus particulièrement, cette propriété rattachée à la globalité ou complexité de l'objectif est souvent liée au nombre des critères qui peuvent identifier l'objectif. Selon le niveau décisionnel auquel l'objectif est identifié, il peut en effet être associé à un ou plusieurs critères. Un objectif stratégique étant global, son atteinte se fonde souvent sur l'exécution d'actions liées à plus d'un objectif et à plus d'un critère [Quezada et al 2009] [Vernadat 1996]. En d'autres termes, le nombre de ces critères va dépendre de la complexité du déploiement du plan d'action rattaché à l'objectif.

Par ailleurs, la notion d'objectif étant associée à la notion de performance, certains auteurs ont proposé une définition de la notion de performance « globale ». Pour Baret, la performance globale est définie comme étant « *l'agrégation des performances économiques, sociales et environnementales* » [Baret 2006]. A ce titre, Jacot explique que la performance globale doit se comprendre comme un mot d'ordre fédérateur qui souligne que tout se tient « *technologie, organisation, marché, formation, recherche, financement...* » [Jacot et Micaelli 1996]. Naturellement, la performance globale est la performance associée à un objectif global.

En outre, nous pouvons émettre l'hypothèse que la complexité d'un objectif lui est conférée par un caractère global de par non seulement un aspect multicritère, mais également de par un horizon temporel relativement long, et qui nécessite donc un pilotage que nous qualifions de temporel.

### **I.3.3. Une décomposition structurelle de l'objectif**

La décomposition « structurelle » d'un objectif est une conséquence directe du caractère global de l'objectif. C'est une décomposition qui porte sur l'analyse de la variable de l'objectif global, qui se décompose en un ensemble de variables qui seront associées aux sous-objectifs. Ces sous-objectifs sont de niveaux décisionnels généralement inférieurs à celui de l'objectif global, soit l'objectif que l'on décompose. Ainsi, tout comme le voit Ducq pour un système de production, « *les objectifs supérieurs sont les objectifs globaux du système de production qui dépendent des limites du système étudié. Ils sont ensuite déclinés en objectifs de nature tactique qui, dans un dernier temps, sont à leur tour décomposés en objectifs opérationnels* » [Ducq 1999]. La même idée est exprimée par notre équipe. « *L'ensemble de ces objectifs stratégiques est décomposé à son tour en un certain nombre d'objectifs respectivement tactiques et opérationnels. L'atteinte de ces différents objectifs se traduit par la mise en œuvre de plans d'action, aux niveaux respectivement stratégique, tactique et opérationnel* » [Clivillé 2004].

Un objectif global peut être structurellement décomposé jusqu'aux objectifs élémentaires. Formulé autrement, un objectif stratégique peut être décomposé en sous-objectifs, tactiques en premier lieu, puis opérationnels.

Traitant de la performance plutôt que de l'objectif, Micaelli, Gandois et Jacot proposent une sorte de décomposition structurelle, décrite dans le (Tableau I.1) ci-après [Jacot et Micaelli 1996].

<i>niveau de décision</i>	<i>niveau de performance</i>	<i>objectifs et critères usuels</i>	<i>nouveaux objectifs et critères</i>
<i>Métapolitique</i> finalité de l'entreprise	Sociétal	Performance interne de l'entreprise	Performance externe de l'entreprise
<i>Stratégique</i> objectifs pour le système de production	Financier	Rentabilité des capitaux	Pérennité de l'entreprise
<i>Tactique</i> 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

*Tableau I.1 : Les différents niveaux de performance – [cité dans Berrah 2002].*

La décomposition structurelle d'un objectif a pour un but de « décomplexifier » cet objectif [Berrah 2013]. Les objectifs élémentaires sont monocritères, liés respectivement à une seule action. Plus précisément, la décomposition structurelle modélisée par notre équipe s'obtient conformément à plusieurs étapes. Cette décomposition est définie par un « arbre » d'objectifs. « *Un objectif stratégique se caractérise par un arbre d'objectifs, obtenu par sa décomposition, conformément au plan d'action associé* » [Berrah 2013]. L'arbre d'objectifs est obtenu par une procédure de quantification d'un arbre de variables. « *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* » [Berrah 2013]. Dans ce cadre, « *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* » [Berrah 2013].

Dans le modèle développé, l'arbre des objectifs est défini par une racine, des branches, des nœuds et des feuilles. La racine de cet arbre est l'objectif global, supposé stratégique, les nœuds identifient les sous-objectifs, souvent tactiques, quand les feuilles sont des objectifs opérationnels.

Signalons que, dans la logique de décomposition, nous pouvons retrouver les outils de diagnostic et de résolution de problèmes, typiques des démarches d'amélioration continue et de la gestion de la qualité [Ducrocq et al 2001]. En l'occurrence, nous pouvons noter le *Diagramme d'Ishikawa* ou *5M* [Ishikawa 1997], [Ishikawa 1990]. Ce diagramme permet d'identifier et de structurer, pour un problème donné, les causes qui en sont à l'origine. La structuration se fait selon les 5M – Matière, Matériel, Méthode, Main d'œuvre et Milieu –. Décrivant leur utilisation du diagramme d'Ishikawa, Arbenz et son équipe en montrent l'intérêt, pour l'identification des causes d'efficacité, d'une approche expérimentale/

numérique qui mesure la conductivité électrique locale de pièces massives en acier. « *L'étude de faisabilité de la méthode de mesure renseigne sur les causes d'incertitudes potentielles. Grâce à ces informations, aux données sur le matériel, à la littérature et à l'expérience personnelle, il est possible de dresser une liste aussi exhaustive que possible des causes d'incertitudes potentielles. Cette liste est présentée sous la forme d'un diagramme d'Ishikawa, dit 5M, qui est un outil permettant de donner une vision globale des causes génératrices d'incertitudes* » [Arbenz et al 2014].

Au-delà d'une utilisation pour le diagnostic, le diagramme d'Ishikawa, généralement utilisé au niveau tactique, peut être utile lors de la détermination des variables associées aux sous-objectifs [Barsalou 2015]. Notons que d'autres outils d'analyse sont disponibles et ont été utilisés pour la décomposition structurelle des objectifs [Berge 1973], [Grabot 1998], [Saaty 1977].

En résumé, la décomposition structurelle est une forme de traduction du plan d'action associé à l'objectif global considéré. Elle permet de mettre en avant les variables sur lesquels il est pertinent d'agir pour atteindre l'objectif. Une quantification de ces variables permet de faire ressortir les sous-objectifs et les objectifs élémentaires. Toutefois, l'aspect temporel ne faisant pas l'objet de cette décomposition, nous faisons le choix de ne pas approfondir davantage ce point dans cette thèse.

### **I.3.4. Une décomposition temporelle de l'objectif**

Pour « simplifier » les objectifs globaux, il est également possible de les décomposer « temporellement ». Par décomposition temporelle, nous pouvons entendre l'association d'une sorte de trajectoire qui fait évoluer l'atteinte de l'objectif d'un état, à un instant initial, à l'état fixé, à l'instant final. A notre sens, peu de travaux abordent cet aspect dans la littérature. Dans notre équipe, la décomposition temporelle a été une forme de conséquence de la décomposition structurelle. « *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* » [Berrah 2013].

En effet, l'idée principale de cette décomposition est dans le déploiement du plan d'action associé à l'objectif. La définition de ce plan d'action se traduit notamment par une trajectoire temporelle marquée par plusieurs objectifs dits « intermédiaires », associés à des « jalons ». Le suivi de la trajectoire temporelle de l'objectif permettra d'analyser l'effet des actions prévues dans le plan d'action en comparant, à chaque instant ou tout au moins à chaque jalon, l'atteinte des objectifs intermédiaires.

Signalons que cette trajectoire peut être discrète ou continue, induite par le processus physique associé à l'objectif. C'est le cas des chaînes agroalimentaires en l'occurrence [Mauris 2003].

Cette notion de trajectoire temporelle étant approfondie dans les deux prochains chapitres de cette thèse, nous nous contentons à ce niveau de l'étude d'illustrer simplement la

décomposition temporelle qui lui correspond par un exemple extrait de l'entreprise Fournier<sup>8</sup>. Il s'agissait de réduire de moitié le taux d'apparition de la plus importante cause d'aléas sur un horizon de 26 semaines. L'entreprise avait alors décomposé son objectif, selon les « pertes de points TRS », conformément à des jalons hebdomadaires (Figure I.5).

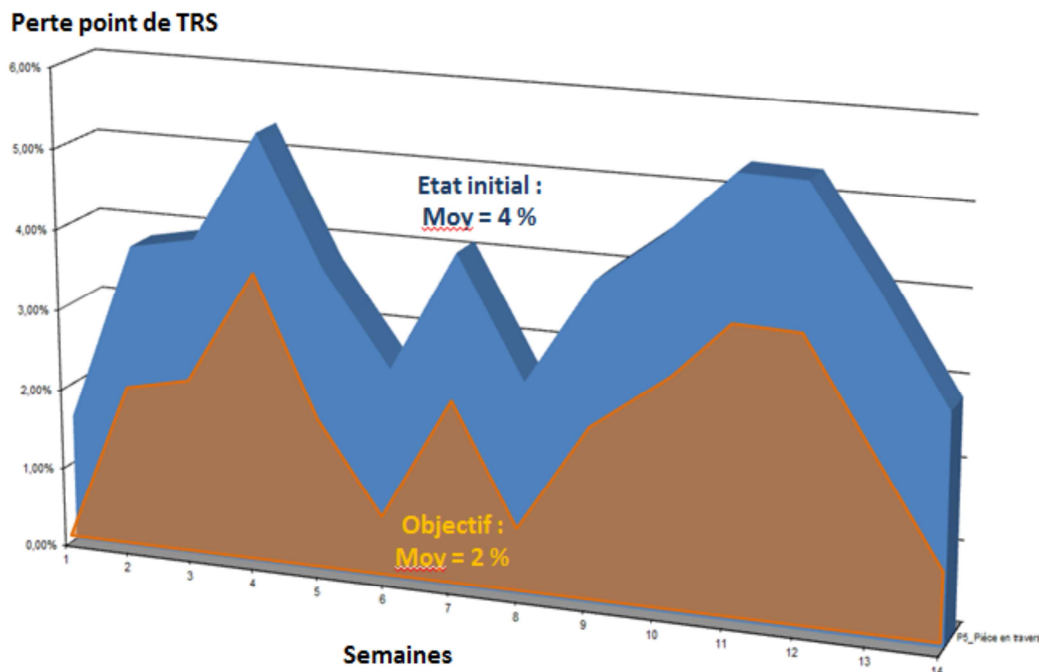


Figure I.5 : Illustration de l'objectif et de sa décomposition temporelle [Ravaille 2016].

Tandis que les précédentes parties ont traité du concept de performance en tant que tel, nous allons consacrer les parties qui suivent à la mesure de cette performance, soit à l'étude de l'indicateur de performance et du système d'indicateurs de performance.

## I.4. L'indicateur de performance

La notion d'indicateur n'est pas nouvelle dans le domaine industriel. Depuis longtemps, les entreprises ont utilisé des indicateurs pour évaluer leur performance, notamment à travers leur comptabilité. Tout comme la performance, la notion d'indicateur de performance a donc longtemps été placée dans une optique financière, de rentabilité [Morana et Feliu 2010] (cf. § I.2.1). Puis, progressivement, l'indicateur a été utilisé pour évaluer la performance de l'ensemble des objectifs, traitant de la multiplicité des dimensions de la performance de l'entreprise.

### I.4.1. Définitions

Il existe un grand nombre de définitions de l'indicateur de performance. La plupart de ces définitions identifient l'indicateur à la mesure de l'efficacité de système, au regard d'un objectif ou d'une norme [Kaplan et Norton 2005], [Neely et al 1996]. Sur la base de cette idée, commençons par citer les deux définitions qui nous semblent les plus représentatives de

<sup>8</sup> <http://www.societe.com/societe/fournier-325520898.html>.

cette notion. Fortuin voit l'indicateur comme étant : *“a variable indicating the effectiveness and/or the efficiency of a part or whole of the process or system against a given norm/target or plan”* [Fortuin 1988]. D'autre part, la commission Indicateurs de Performance (IP) de l'Association Française de Gestion Industrielle (AFGI) définit l'indicateur de performance comme étant : *« une donnée quantifiée qui exprime l'efficacité et/ou l'efficacité de tout ou partie d'un système (réel ou simulé), par rapport à une norme, un plan déterminé et accepté dans le cadre d'une stratégie d'entreprise (objectif stratégique) »* [AFGI 1992].

Confirmant ces définitions de base, Voyer précise : *« un indicateur est un élément ou un ensemble d'éléments d'information significative, un indice représentatif, une statistique ciblée et contextualisée selon une préoccupation de mesure, résultant de la collecte de données sur un état, sur la manifestation observable d'un phénomène ou sur un élément lié au fonctionnement d'une organisation »* [Voyer 1999]. Godin et Bergeron voient l'indicateur comme un élément de mesure du fonctionnement d'une organisation. *« Un indicateur est avant tout un élément d'information significative, un indice ou une statistique représentative dans le but de mesurer un état ou un phénomène lié au fonctionnement de l'organisation »*, [Godin et Bergeron 2009].

Pour sa part, Berrah insiste, sur la base des définitions précédentes, sur ce qu'elle qualifie comme étant la « raison d'être » d'un indicateur de la performance, soit l'expression de la performance. *« 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]. Dans ce cadre, notre équipe reprend l'idée de contrôlabilité mise en avant par Bitton et développée ultérieurement dans son équipe, dans le cadre de la méthode ECOGRAI [Bitton 1990], [Ducq 1999], [Ducq 2005]. L'indicateur de performance est de ce fait défini par trois paramètres qui font triplet (Figure I.6) : l'objectif, la mesure et la variable essentielle [Bitton 1990]. Bitton illustre de plus notion de rétroaction en considérant qu'un indicateur *« autorise fondamentalement une boucle de retour dans le processus de décision »* [Bitton 1990]. Pour positionner l'indicateur dans son environnement de pilotage, Clivillé insiste sur le fait d'associer l'indicateur à une variable d'action déterminante ainsi qu'à un plan d'action ou une action de ce plan [Clivillé 2004].

La figure ci-après schématise l'indicateur de performance, à travers le positionnement de ces paramètres.

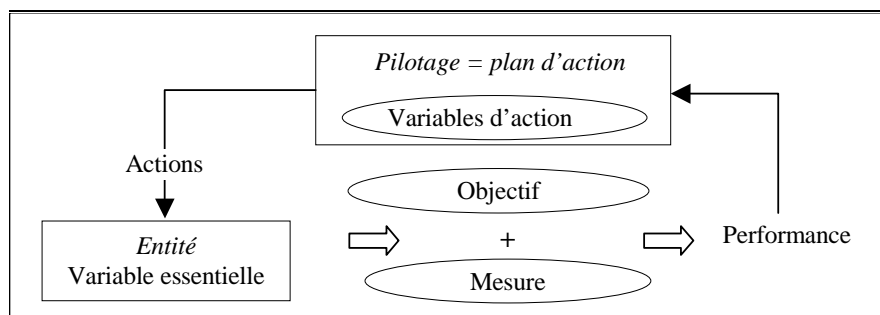


Figure I.6 : Les paramètres intervenant dans l'indicateur de performance – [Berrah 1997].



Dans ce sens, Ducq définit l'indicateur de la manière suivante. « *Un Indicateur de Performance est une donnée quantifiée, qui mesure l'efficacité des variables de décision par rapport à l'atteinte de l'objectif défini au niveau de décision considéré, dans le cadre des objectifs globaux de l'entreprise* » [Ducq 1999].

## **I.4.2. Typologies**

Toute comme la typologie de l'objectif, « *l'indicateur peut correspondre et servir à un ou à plusieurs paliers hiérarchiques de l'organisation* » [Voyer 1999]. Dans ce cas, la typologie de l'indicateur distingue classiquement les indicateurs stratégiques, les indicateurs tactiques et les indicateurs opérationnels [Bitton 1990], [Frein 1998], [Bititci et al 2001].

- « *Les indicateurs stratégiques, pour leur part, sont liés à la mission et aux objectifs de l'organisation ; ils sont plus complexes à traiter. D'abord, ils nécessitent souvent à la fois des mesures internes sur les capacités de l'organisation* » [Voyer 1999]. Pour Wegmann, décrit les indicateurs stratégiques comme étant : « *des indicateurs stratégiques ou encore indicateurs a priori, qui reflètent la stratégie déployée par les dirigeants* » [Wegmann 1999].
- « *Les indicateurs opérationnels sont liés au fonctionnement même de l'organisation. Ils ont en général une périodicité assez courte et doivent être suivis régulièrement afin d'apporter les correctifs appropriés sur terrain* » [Voyer 1999].

Les indicateurs de résultat sont distingués des indicateurs de processus [Lorino 1996<sub>a</sub>], [Berrah 1997], [Clivillé 2004], [Fernandez 2005], [Juglaret 2012].

- L'indicateur de résultat « *évalue le degré d'atteinte d'un objectif global à son horizon* » [Clivillé 2004]. « *Les indicateurs de résultat, ou indicateurs a posteriori mesurent les performances de l'entreprise* » [Wegmann 1999].
- Les indicateurs de processus « *jalonent le plan d'action grâce à la définition d'objectifs locaux dont l'horizon est antérieur à celui de l'objectif global* » [Clivillé 2004].

Nous pouvons déduire un aspect temporel lié à l'indicateur, dans la mesure où nous pourrions faire correspondre, conformément à la décomposition temporelle évoquée ci-avant (cf. § I.3.4), au processus associé à l'atteinte de l'objectif une trajectoire temporelle. Les indicateurs de processus deviennent les indicateurs de résultat des objectifs de la trajectoire.

Signalons que d'autres éléments peuvent être pris en compte pour distinguer les indicateurs les uns des autres. Une analyse plus approfondie par rapport à cet aspect est disponible dans [Heink et Kowarik 2010], [Berrah 2013], [Hourneaux et al 2014].

## **I.4.3. La mesure dans l'indicateur de performance**

Avec l'objectif et la variable, la mesure représente le troisième paramètre de l'indicateur de performance. L'acquisition de cette mesure représente la première étape dans le processus d'expression de la performance. Voyer définit la mesure comme une « *information significative : définition, indice ou indication, état, classement et catégorisation par rapport à une caractéristique, illustration* » [Voyer 1999]. Pour sa part, dans le domaine de la performance, Neely et son équipe associent la mesure à la quantification d'une action.

*“Performance measurement is a topic which is often discussed but rarely defined. Literally it is the process of quantifying action, where measurement is the process of quantification and action correlates with performance”* [Neely et al 1996].

La mesure présente un certain nombre de caractéristiques qui varient notamment selon la variable à laquelle elle est associée. La mesure peut être qualitative ou quantitative. Elle peut être directement exploitée et affichée ou donner suite à des traitements spécifiques, en l’occurrence l’agrégation [Nonaka 1991], [Neely et al 1996], [Voyer 1999], [Bouquin 2007], [Lorino 2001], [Berrah 2013]. De plus, donnée par un capteur la mesure peut être entachée d’imprécision ou d’incertitude. Signalons enfin que la mesure peut être collectée de manière continue, ou discrète, à certains jalons, ou à l’instant final de l’horizon temporel associé à l’objectif.

## **I.5. Les systèmes d’indicateurs de performance**

Bon nombre de travaux ont été menés autour du concept de Système d’Indicateurs de Performance (SIP) ou Performance Measurement System (PMS) [Neely et al 1996], [Kaplan et Norton 1996<sub>a</sub>], [Ghalayini 1997], [Bititci et Carrie 1997], [Lorino 2001], [Bititci et al 2001], [Clivillé 2004], [Lorino 2013], [Valenzuela et Maturana 2015], [Ali Shah 2012], [Berrah et al 2016].

Avant de rappeler quelques définitions données pour les PMS, commençons par quelques généralités. En l’occurrence, pour Berland, *« la direction de l’entreprise fixe d’abord une série d’objectifs financiers et non financiers à atteindre. Puis, les contrôleurs de gestion construisent des indicateurs permettant de mesurer ces objectifs et de surveiller tous les éléments qui seront clés pour leur atteinte »* [Berland 2009]. Lorino précise que : *« les indicateurs doivent être, non seulement pertinents, mais aussi lisibles, compréhensibles, interprétables de manière rapide et utile par les acteurs. Ils doivent présenter des qualités ergonomiques et cognitives qui en fassent des supports d’apprentissage efficaces »* [Lorino 2001]. Les indicateurs définis sont généralement regroupés dans des tableaux de bord. *« Ces indicateurs sont généralement présentés sous la forme d’un tableau de bord... qui présente synthétiquement l’information pertinente devant permettre au décideur d’atteindre l’objectif ou la destination visée »* [Joerin et al. 2001]. Un tableau de bord est ainsi *« un ensemble d’indicateurs peu nombreux (cinq à dix) conçus pour permettre aux gestionnaires de prendre connaissance de l’état et de l’évolution des systèmes qu’ils pilotent et d’identifier les tendances qui les influenceront sur un horizon cohérent avec leurs fonctions »* [Bouquin 2001].

Tout comme l’objectif et l’indicateur de performance, le tableau de bord peut être caractérisé en fonction du niveau décisionnel auquel il est associé [Bourreau 2012]. Les tableaux de bord sont ainsi stratégiques, tactiques ou opérationnels, avec des horizons d’élaboration – long terme, moyen terme, court terme – correspondants [Giard et al 1995].

### **I.5.1. Définitions**

Dans ses travaux de thèse, Clivillé a proposé une définition systémique du SIP, en précisant respectivement : ses finalités, son environnement, son organisation, son comportement [Clivillé 2004]. Plus tard, notre équipe, en cohérence avec la littérature anglo-saxonne dans le domaine, a considéré que le PMS était un outil d’aide à la décision multicritère, dans la

mesure où *“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].*

Bullock et Deckro identifient le PMS à un processus. *“Systems communicate physical and behavioral information through relevant attributes [Ackoff 1971]. System measurement is the process of identifying these attributes and retrieving this information” [Bullock et Deckro 2006]. Dans cet ordre d’idées, Neely pose qu’un PMS est : “the process of quantifying effectiveness and efficiency of actions” [Neely et al 1995].*

Dans ses travaux de thèse, Berrah a proposé une méthodologie de mise en place d’un système d’indicateurs pour le pilotage des processus, conformément aux méthodes ABC / ABM [Lorino 1991]. La méthode ABC (Activity-Based Costing) élargit la prise en compte des coûts à la manière dont les activités sont exécutées. Cette méthode a été complétée par la méthode de management ABM (Activity-Based Management) qui prend en compte les différents critères impliqués dans la performance globale. Dans cette approche, le système d’indicateurs de l’entreprise est déployé selon les processus de l’entreprise [Lorino 1991], [AFGI 1992], [Berrah 1997], [Clivillé 2004]. Ainsi, partant de la stratégie et des facteurs clés de succès (FCS)<sup>9</sup> de l’entreprise, cette méthode se déploie conformément aux étapes suivantes [Berrah 1997] (Figure I.7).

- Déployer des objectifs globaux sur les processus, ce qui permet de traduire les FCS de l’entreprise en Facteurs Clés de Performance (FCP)<sup>10</sup>.
- Mettre en avant les activités critiques des différents processus et traduire les FCP en facteurs de performance.
- Déterminer les plans d’action en cohérence avec les facteurs de performance des activités critiques.
- Définir les indicateurs de « pilotage », sur la base de la définition paramétrée (objectif, mesure, variable) de l’indicateur.
- Afficher les indicateurs dans les tableaux de bord.

---

9 Berrah résume : Les Facteurs Clés de Succès (FCS ou order winners) sont des facteurs ayant « un impact décisif sur le positions de compétitivité dans un secteur donné [...]. Le délai de livraison par exemple est un FCS dans le secteur de vente par correspondance » [Lorino 1996 ], cité dans [Berrah 2103].

10 Berrah résume : 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, cité dans [Berrah 2013].

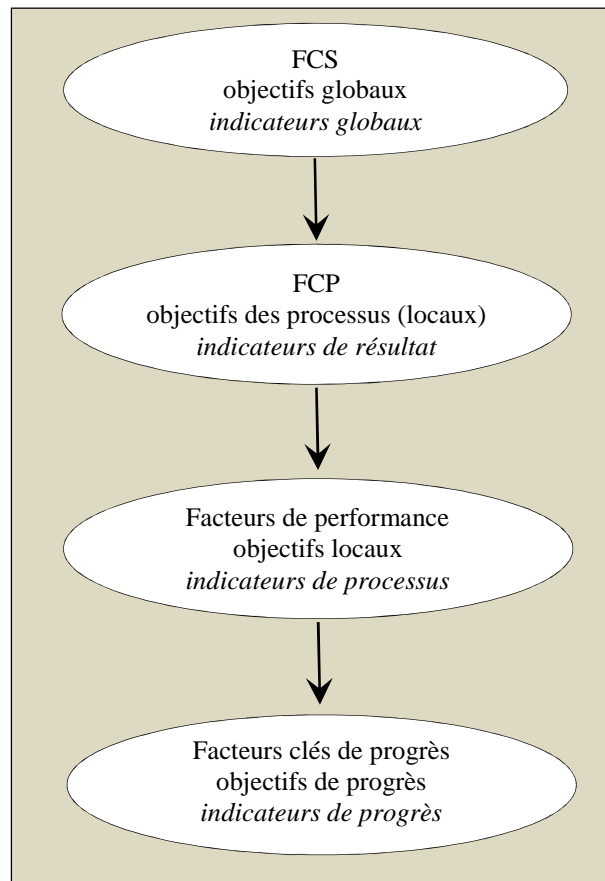


Figure I.7 : La mise en place des indicateurs selon les différents facteurs – [Berrah 1997].

## I.5.2. Quelques grands PMS

Maskell a donné un premier cadre pour la mise en place des indicateurs de l'entreprise [Maskell 1991]. La construction de ce cadre repose sur des préconisations permettant de lier la stratégie aux mesures opérationnelles. *“Although the new performance measures being used by world class manufacturers very considerably, they have seven common characteristics.*

- *They are directly related to the manufacturing strategy.*
- *They primarily use nonfinancial measures.*
- *They vary between locations.*
- *They change over time as needs change.*
- *They are simple and easy to use.*
- *They provide fast feedback to operators and managers.*
- *They are intended to foster improvement rather than just monitor”* [Maskell 1991].

En cohérence avec l'objet de l'étude, nous faisons le choix de présenter quelques grands PMS développés dans la littérature, conformément à l'analyse effectuée dans les travaux de Clivillé [Clivillé 2004] et en nous focalisant sur la quantification de la performance.

### ***1.5.2.1. La méthode ECOGRAI***

La base de cette approche est le modèle d'entreprise GRAI qui a mis en avant la notion de centre de décision (CD). Ce CD est défini par respectivement une fonction et un niveau [Doumeingts 1984], [Ducq 1999]. Conformément à ce que l'on a vu précédemment (cf. § I.4), la méthode propose un modèle d'indicateur fondé sur le triplet (objectif, mesure, indicateur). La déclaration des objectifs associés aux activités est identifiée à la performance attendue des activités. Dans cette méthode, les objectifs sont décomposés sur la base des liens de subordination et de synchronisation entre les différents CD. La méthode ECOGRAI se fonde sur un concept d'agrégation des trois critères industriels (coût, qualité, délai). L'agrégation s'effectue critère par critère. Plusieurs opérateurs d'agrégation peuvent être utilisés comme la somme, le produit, la min et le max. Les fonctions de composition sont envisagées telles que « ou », « et », « séquence » [Ducq 1999]. Dans ECOGRAI, « *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* » [Berrah 2013].

### ***1.5.2.2. Le Balanced ScoreCard – BSC***

Pour équilibrer les mesures financières et les mesures non financières de l'entreprise, Kaplan et Norton ont proposé le Balanced ScoreCard (BSC) ou tableau de bord équilibré [Kaplan et Norton 2005]. Les auteurs précisent quatre perspectives ou axes pour mesurer la performance des activités ainsi que la performance d'une entreprise. Ces axes sont sur les volets suivants : la performance financière, le client, les processus internes et l'apprentissage / amélioration [Kaplan et Norton 1996<sub>a</sub>]. Le BSC est défini par un ensemble de mesures de performance, déployées du niveau stratégique au niveau opérationnel de l'entreprise. L'utilisation de ce système a pour mission essentielle la mise en œuvre de la stratégie en impliquant la planification, l'élaboration du budget, et les processus de contrôle de gestion [Valenzuela et Maturana 2015]. En effet, Kaplan et Norton voient, dans le fonctionnement de l'entreprise, un lien et des interactions forts entre les quatre axes que les auteurs considèrent.

### ***1.5.2.3. Les travaux de Neely***

De manière préalable au développement de leur PMS, Neely et son équipe émettent les hypothèses suivantes. “*The primary benefit to be gained by employing a structured approach to performance measurement system design then should be that such an approach will provide a mechanism for managing the complexity of the performance measurement system design process. More specifically, it can be hypothesised that organisations with structured approaches to performance measurement system design will find it easier than those which do not, to:*

- *Decide what they should be measuring.*
- *Decide how they are going to measure it.*
- *Collect the appropriate data.*
- *Eliminate conflict in their measurement system”* [Neely et al 1996].

L'équipe de Neely a posé des définitions qui ont fait référence dans le domaine. “*Performance measurement is a topic which is often discussed but rarely defined. Literally it*

is the process of quantifying action, where measurement is the process of quantification and action correlates with performance ... Hence, in a business context, performance can be defined as the efficiency and effectiveness of action” [Neely et al 1996]. Cette définition a donné lieu à trois autres définitions supplémentaires.

- “Performance measurement: the process of quantifying the efficiency and effectiveness of action.
- Performance measure: a metric used to quantify the efficiency and/or effectiveness of action.
- Performance measurement system: the set of metrics used to quantify the efficiency and effectiveness of actions”.

Pour cette équipe, le cadre global associé au PMS regroupe les trois aspects suivants (Figure I.8). “(a) The individual performance measures; (b) the set of performance measures – the performance measurement system as an entity; and (c) the relationship between the performance measurement system and the environment within which it operates” [Neely et al 1996].

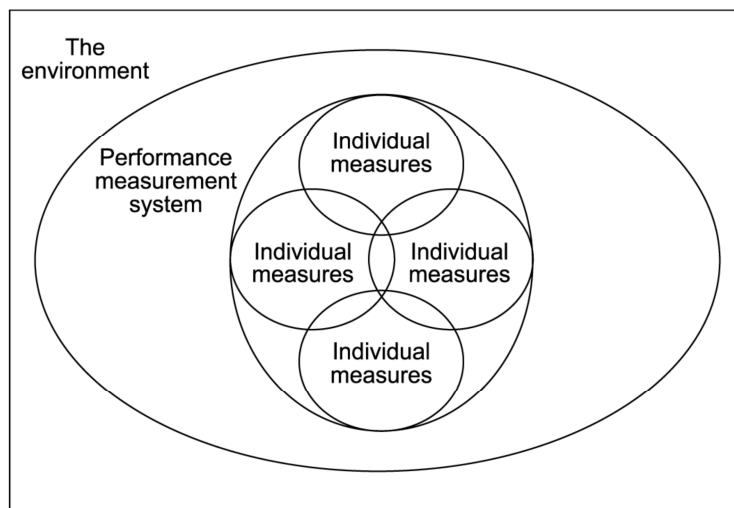


Figure I.8 : Un cadre pour la conception du PMS – [Neely et al 1996].

Sur la base de ce cadre, L'équipe de Neely a proposé un positionnement des travaux existants dans la littérature au regard des questions à prendre en compte, selon les auteurs, lors de la conception d'un PMS. Ce positionnement est donné dans le tableau ci-après.

Individual measures	Measures should be clearly defined/easy to understand	(Fortuin, 1988; Hronec, 1993).
	Measures should be purposeful	(Maskell, 1989).
	Measures should be practical. They should have the appropriate scale	(Crawford and Cox, 1990).
	Measures should form part of the control loop	(Bungay and Goold, 1991).
	Measures should be failsafe/self checking	(Fortuin, 1988; Hayes <i>et al.</i> , 1988).
Performance Measurement System	Measures should be cost effective	
	Performance measures should be integrated over both the functions and hierarchy	(CAM-1. 1991).
	The system should provide data for monitoring past and planning future performance	(ICAS, 1993).
	The measurement system should provide a balanced picture of the business	(Kaplan and Norton, 1992).
	The measurement system should show how results are a function of determinates	(Fitzgerald <i>et al.</i> , 1991).
	The measurement system should not contain any measures which conflict with one another	(Fry and Cox, 1989).
Performance measurement System& The environment	The performance measurement system should reinforce the firm's strategies	(Skinner, 1971; Maskell, 1989)
	The performance measurement system should measurement match the firm's culture	(IPM, 1992).
	The performance measurement system should match the existing reward systems	
	The performance measurement system should provide data for external comparison	(Hayes <i>et al.</i> , 1988).

*Tableau I.2 : Une proposition de positionnement des travaux autour des PMS – [Neely et al 1996].*

*\*Les références mentionnées dans ce tableau sont données dans [Neely et al 1996]*

#### ***1.5.2.4. Le QMPMS***

Bititci étudie le PMS dans un contexte général, applicable à tous les aspects de l'entreprise. Selon l'auteur, un PMS doit fournir un moyen pour le déploiement des objectifs et de la stratégie à tous les niveaux. *“The objective of the current research is to provide industry with a comprehensive and rigorous set of tools, techniques and procedures to allow auditing of existing performance measurement systems against a reference model and consequently design more robust, flexible and integrated performance measurement systems which could be used as a management tool by strategic, tactical and operational levels of management”* [Bititci 1995]. Le PMS devient un système d'information particulier, composé de données individuelles, généralement organisées sous la forme d'une hiérarchie correspondant à des aspects stratégiques, tactiques et opérationnels de l'entreprise ou du domaine considéré. Bititci met en avant le fait que les éléments du PMS peuvent avoir des relations simples ou complexes. En effet, selon l'auteur et son équipe, un système d'information peut être analysé en termes de complexité des relations entre les données, de la dynamique des données et du traitement de données. Cette complexité montre aussi le fait que le changement d'un élément peut causer des changements d'un ou plusieurs éléments du système.

En partant de la similarité entre le PMS et le système d'information, l'auteur a décrit un modèle de PMS, le “Quantitative Modelling of Performance Measurement Systems QMPMS”, construit à partir de trois points de vue.

- *“Process view – Modelling of the data process.*
- *Data view – Modelling of the data structures.*
- *Control view – Modelling of the data dynamics”* [Bititci 1995].

Partant de ces vues, l'auteur propose, pour concevoir un PMS, les étapes suivantes.

- *“Identification of strategic performance measures.*
- *Development of process models.*
- *Development of the structure models.*
- *Development of the control model”* [Bititci 1995].

Dans ses travaux, Bititci définit les indicateurs sur la base d'un objectif, d'une mesure et d'une variable. L'auteur prône une décomposition d'objectifs sur la base d'une analyse causale sur plusieurs niveaux. Bititci a donné deux types de liens entre variables, des liens à effet « direct » et des liens à effet « indirect ». Une variable de niveau supérieur peut être influencée par une variable de niveau inférieur ; ceci identifie le lien à effet direct. Dans ce cas, l'auteur a utilisé la méthode AHP [Saaty 1977] pour la quantification de ce lien. Les liens à effet indirect sont identifiés entre deux variables de même niveau ; leur quantification est donnée par des experts [Bititci 1995, 1997, 2000]. Dans le QMPMS, la performance globale est obtenue par l'agrégation, généralement par la moyenne pondérée, des performances des objectifs décomposés.

Par ailleurs, Bititci propose une évolution du QMPMS dans le temps, au regard des améliorations menées dans l'entreprise. Se basant sur la roue de Deming (*Plan – Do – Check*



– Act) [Deming 1982], les objectifs sont redéfinis et les tableaux de bord sont mis à jour. Les expressions de performance restent toutefois « instantanées ».

#### ***1.5.2.5. L'IDPMS***

Ghalayini et son équipe ont construit leur analyse en montrant les limites des mesures traditionnelles financières [Ghalayini 1995]. Pour cela, cette équipe a introduit sa vision du PMS. *“The integrated dynamic performance measurement system (IDPMS), is based on integrating three primary functional areas: management, process improvement teams, and the factory shop floor. Three different tools help the functional areas measure and improve performance in an integrated manner: the performance measurement questionnaire, the half life concept, and a modified value-focused cycle time (MVFCCT) diagram. The following will present the role of each functional area, the linkages among the functional areas, and the tools that support the IDPMS”*.

Dans ce PMS, des indicateurs de résultat sont définis au niveau stratégique et sont associés aux FCS et FCP de l'entreprise. Des indicateurs de processus sont définis aux niveaux opérationnel et tactique.

L'IDPMS se veut dynamique car il prend en compte une ou plusieurs actualisations du PMS.

#### ***1.5.2.6. Le PMS selon notre équipe***

Sur la base d'une définition systémique (cf. § 1.5.1), Clivillé a proposé un modèle d'organisation des indicateurs de performance dans un SIP. A chaque objectif global de l'entreprise, un SIP est associé. La méthodologie développée repose sur la décomposition des objectifs d'une part et l'agrégation des performances d'autre part. L'hypothèse mise en avant dans ces travaux est l'existence d'interactions entre les indicateurs du SIP. Une interaction concerne des indicateurs d'un même niveau et se limite généralement à deux indicateurs. Chaque indicateur est constitué d'un triplet (variable, objectif, mesure), conformément au modèle ECOGRAI (cf. § 1.5.2.1). Notre équipe, de manière similaire à l'équipe de Bititci (cf. § 1.5.2.4), représente, à l'aide d'un arbre, la décomposition de l'objectif global – en objectifs élémentaires – du SIP. La méthode d'analyse multicritère “Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation TecHnique, MACBETH” [Bana 1997] et l'intégrale de Choquet [Grabisch et al 2003] sont utilisées pour exprimer les performances élémentaires et calculer la performance globale. La performance globale est ainsi le résultat de l'agrégation des performances élémentaires, associées aux objectifs élémentaires ; l'agrégation opérée présentant la spécificité de prendre en compte les « interactions » entre les performances.

### **1.5.3. Bilan**

Les outils de mesure de la performance ont largement pris en compte le caractère global des objectifs industriels et la dimension multicritère de la performance. Les réflexions autour de ces outils ont également œuvré pour structurer le processus d'évaluation de la performance. Conçus pour aider au pilotage de la performance, des cadres ont été proposés ainsi que des outils formels de calcul de la performance. Toutefois, nous pouvons continuer de constater que les indicateurs et les PMS ont eu pour vocation d'exprimer une performance instantanée, associée à une logique de résultat obtenu.

## **I.6. Contrôle de gestion, Pilotage et management de la performance**

### **I.6.1. Quelques mots sur le contrôle de gestion**

Anthony définit le contrôle de gestion de la manière suivante. « *Le contrôle de gestion (management control) est le processus par lequel les managers obtiennent l'assurance que les ressources sont obtenues et utilisées de manière efficace et efficiente pour la réalisation des objectifs de l'organisation* » [Anthony 1965]. Quelques années plus tard une définition de contrôle de gestion est présentée par Simons. « *Management control systems are the formal, information-based routines and procedures managers use to maintain or alter patterns in organizational activities* » [Simons 1995].

Ainsi, pouvons-nous considérer que le contrôle de gestion a été un outil stratégique dont la finalité est la vérification et la maîtrise des outils de production. « *Le contrôle de gestion est donc la tâche du manager assisté d'un professionnel : le contrôleur de gestion. Faire du contrôle de gestion est donc un acte de management et le contrôleur de gestion sera en concurrence avec tous les autres dispositifs de management* » [Berland 2009].

Pour passer du contrôle de gestion au pilotage en tant que dispositif d'appréhension de la performance, citons De la Villarmois et Tondeur. « *L'enchaînement ressources/produits (inputs/outputs) peut être regardé comme direct (Lorino 1995). La complexité croissante des organisations et de leurs activités liées à l'instabilité des mécanismes de performance débouchent sur des systèmes sociaux peu prédictibles et incontrôlables au sens classique du mot contrôle. La maîtrise de ces systèmes nécessiterait le passage du paradigme du contrôle au paradigme du pilotage* » [De la Villarmois et Tondeur 1999].

### **I.6.2. Pilotage et management de la performance**

Dès lors que la performance a dépassé le cadre financier, la notion de pilotage lui a été communément associée. Bon nombre de travaux ont porté sur le pilotage de la performance, dans sa globalité [Lorino 1991], [Pujo et Kieffer 2002], [Clivillé 2004], [Behzadian 2010], [Riviere et Boitier 2011], ou par rapport à des aspects particuliers [Suwignjo et al 2000], [Berrah 2002a], [Adam et al 2006], [Kaplan et Norton 2007]. Le pilotage de la performance est défini par Lorino et Mottis comme « *une démarche qui s'attache à relier en permanence stratégie, action opérationnelle et mesure des performances* » [Lorino et Mottis 2002]. Pour l'AFGI, « *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]. Nous retiendrons que le pilotage de la performance identifie l'ensemble des actions à mener pour atteindre les objectifs [Berrah 2013]. Dans ce contexte, les informations utiles à la décision sont données par les PMS [Bourne et al 2003], [Ducq 1999], [Nudurupati et al 2011].

Aujourd'hui, le concept de management de la performance vient regrouper, selon nous, les facettes respectives d'évaluation et de pilotage de la performance, en lui conférant des dimensions humaines et organisationnelles [Thorpe 2004], [Folan et Browne 2005], [Dossi et Patelli 2010], [Ali Shah 2012], [Neely et al 1995]. Le management de la performance peut être défini conformément à la citation de Folan et Browne. "*Amaratunga and Baldry define performance management as the use of performance measurement information to effect positive change in organizational culture, systems and processes, by helping to set agreed-upon performance goals, allocating and prioritizing resources, informing managers to either confirm or change current policy or program directions to meet these goals, and sharing results of performance in pursuing those goals*" [Folan et Browne 2005].

Les Systèmes de Mesure et de Management de la Performance (PMMS) se substituent progressivement aux PMS. Ali Shah définit le PMMS comme : "*a performance measurement and management system to assist decision makers in the assessment of business processes while relying on two global performance indicators: value and risk. The global performance and risk indicators will then be used to assess and rank several courses of action (i.e. alternative business processes) on the basis of desirability or undesirability in the decision-making context*" [Ali Shah 2012].

## **I.7. Conclusion**

La performance industrielle a été monocritère, taylorienne et synonyme de rendement. Elle a été attachée à un objectif de productivité et contrôlée par un seul indicateur économique. Puis, cette performance a évolué vers la notion de compétitivité, et est devenue multicritère, synonyme du triptyque (Efficacité – Efficience – Effectivité). Les systèmes de mesure de performance ont alors émergé pour évaluer une performance technico-économique.

En revanche, la performance est restée cantonnée à une vision qualifiée d'« instantanée » et la sémantique associée à sa mesure est restée taylorienne, synonyme de vérification – *a posteriori* – de l'atteinte d'un objectif à l'instant final de l'horizon temporel qui lui est associé. Or nous avons constaté que la performance était par essence temporelle du fait de la temporalité de l'objectif. Nous avons vu de plus que les besoins de réactivité dans le pilotage industriel nécessitaient, au-delà d'une vérification de l'atteinte de l'objectif, un suivi de cette atteinte.

Dans ce sens, nous retenons l'hypothèse d'une vision de l'objectif à travers une trajectoire temporelle et un ensemble d'objectifs dits « *intermédiaires* ». Nous chercherons alors dans le chapitre suivant à proposer une définition de la performance temporelle qui prenne en compte la performance instantanée et qui l'étende à d'autres performances temporelles, en l'occurrence la performance prédictive et la performance tendancielle.

## **Chapitre II : Une proposition de définition de la performance temporelle**

## II.1. Introduction

Les entreprises ayant été longtemps dans une logique taylorienne de rentabilité, leurs indicateurs de performance ont été, également, longtemps purement rattachés aux coûts de production. Les expressions de performance avaient une sémantique simple à interpréter, relative à l'atteinte plus ou moins grande des objectifs. Cette atteinte, rattachée aux volumes de production ainsi qu'à la productivité des équipements, était proportionnelle aux mesures réalisées. Nous avons vu, dans le chapitre I (cf. § I.6.2), que c'était avec l'évolution du contexte, celle de la relation de l'offre à la demande, avec également l'émergence des nouvelles technologies et des principes d'automatisation, que la performance a évolué de, monocritère, à multicritère et multi-niveaux, ce qui a donné lieu à la naissance des problématiques de pilotage et de complexité bien connues aujourd'hui dans le milieu industriel.

Un autre résultat bien établi aujourd'hui est le fait que la performance soit liée à l'objectif ainsi que à la mesure de son atteinte. De façon générale, l'on peut considérer que le fonctionnement d'une entreprise consiste à se définir des objectifs et à chercher à les atteindre (cf. § I.2.2.3). Certains objectifs sont structurels et relèvent de la mission de l'entreprise. Les actions mises en œuvre pour les atteindre sont alors systématiques, soulevant peu de problématiques de décision ou d'incertitude en termes de pilotage. D'autres objectifs sont plus conjoncturels, liés au renforcement des valeurs de l'entreprise et à l'évolution de son environnement. L'atteinte de tels objectifs nécessite la planification et le suivi de la mise en œuvre des actions associées, au-delà du fonctionnement structurel et routinier de l'entreprise. Un horizon temporel est de ce fait explicité, identifiant la durée du plan d'action associé à de tels objectifs.

Le pilotage du plan d'action associé à un objectif revient, selon nous, au pilotage de ce que nous qualifions de trajectoire temporelle de l'objectif. Au-delà de la valeur de l'objectif, cette trajectoire identifie en effet le chemin planifié pour atteindre l'objectif. Ce chemin se traduit par un certain nombre d'étapes – couples (objectifs intermédiaires, jalons) – par lesquelles le système doit passer pour respecter les planifications (cf. § I.3.4).

Rappelons que ces propositions constituent la première étape d'une réflexion qui s'inscrit dans le cadre du pilotage des plans d'action et plus particulièrement du pilotage de l'évolution des objectifs (cf. § I.6.2). La définition de la performance temporelle proposée dans cette thèse concerne un objectif dont le plan d'action nécessite d'être piloté. Nous partons alors du postulat qu'un tel objectif est atteint si le plan d'action qui lui est associé est exécuté conformément aux actions planifiées, soit à la trajectoire temporelle de l'objectif. La question que nous nous posons est alors la suivante. *Pour un objectif signifié par une valeur dont l'atteinte est conforme à une trajectoire planifiée, quelles informations de performance pourraient être utiles pour aider au pilotage de l'atteinte de cet objectif ?*

Plus précisément, nos travaux reposent sur le constat que la logique de définition de la performance reste une logique de performance que nous avons qualifiée d'« instantanée ». En ce sens, nous reprenons, en premier lieu, l'extension de l'expression de la performance instantanée à tout instant significatif – soit à tout jalon – de la trajectoire de l'objectif. Par ailleurs, notre idée est d'enrichir la performance instantanée par deux performances sémantiquement différentes, la performance « tendancielle » d'une part et la performance « prédictive » d'autre part. Ces trois formes de performance temporelle fournissent respectivement, à un jalon donné, l'expression d'une performance atteinte, une idée de la

manière l'atteinte de l'objectif se profile, d'ici l'instant final de l'horizon temporel, ainsi que l'expression de performance que l'on pourrait atteindre. De ce fait, la performance tendancielle sera une information d'aide au diagnostic tandis que la performance prédictive sera une information d'aide à la prédiction. La performance instantanée continuera de donner une idée de l'atteinte des objectifs intermédiaires et sera de ce fait l'information clé pour aider à juger de l'atteinte de l'objectif considéré.

A cet effet, nous commencerons par rappeler les définitions de l'objectif et de la mesure. Les troisième, quatrième et cinquième parties de ce chapitre auront alors pour objet de respectivement rappeler la définition de la performance instantanée, telle qu'elle a été posée par notre équipe et de proposer des définitions de la performance dite tendancielle et de la performance dite prédictive. Une proposition de méthode d'utilisation de ces performances temporelles conclura ce chapitre. Nous annoncerons alors le formalisme que nous choisissons pour développer, dans le chapitre III, les mécanismes de calcul de ces performances. Le traitement d'un exemple extrait d'un projet d'amélioration d'une capacité de production mené dans une entreprise partenaire aura une vocation pédagogique et nous permettra d'illustrer les définitions introduites le long du chapitre

## **II.2. L'objectif et la mesure**

La performance est le degré d'atteinte d'un objectif. Elle résulte d'une comparaison entre la mesure, qui reflète l'état réellement atteint au regard de l'objectif, et l'objectif. Dans ce sens, nous résumons dans cette partie les travaux et définitions proposés par notre équipe, concernant ces notions respectives d'objectif et de mesure.

### **II.2.1. L'objectif**

Partant de la définition textuelle de l'objectif (cf. § I.3.1) : « *une valeur, associée à une variable ou critère, espérée pour une date fixée, à l'issue d'un certain horizon temporel* » [Berrah 2013], notre équipe a émis les hypothèses suivantes [Berrah et Foulloy 2013] :

- un objectif est associé à une variable ;
- un objectif est associé à un horizon temporel, nécessaire à son atteinte ;
- un objectif est caractérisé par une valeur espérée à l'instant final de son horizon temporel ;
- un objectif est déclaré sur un « univers de discours » qui en précise le mode de déclaration (domaine de définition, libellé de la variable, unité...).

De par le caractère temporel de l'objectif, la condition et la propriété suivantes ont été posées.

- Un objectif caractérisé par un horizon temporel peut se décomposer temporellement (cf. § I.3.4).
- L'objectif déclaré à un jalon est un objectif « instantané ».

Rappelons que par décomposition temporelle nous entendons une décomposition conformément à des objectifs intermédiaires, auxquels des jalons sont associés (cf. § I.3.4). Dans notre étude, un jalon identifie la fin d'une étape significative dans l'atteinte de l'objectif.

Nous posons qu'un jalon identifie la fin de l'exécution de l'action ou de l'ensemble des actions correspondant à l'atteinte de l'objectif intermédiaire concerné. Le jalon est ainsi un instant d'analyse et de décision, auquel des prises de mesure et des calculs de performance sont effectués (cf. § I.3.4). Un ensemble fini de jalons est ainsi associé à l'ensemble (fini) des objectifs intermédiaires (Figure II.1).

Afin de préciser l'ensemble de ces points, rappelons les définitions suivantes [Berrah 2013], [Berrah et al 2015].

**Définition II.1 :** Soit  $V$  l'ensemble de variables associées aux objectifs. Tout attribut d'un objectif est obtenu par l'intermédiaire d'une fonction définie sur  $V$ . Ainsi,  $o(v)$  représente la valeur à atteindre de l'objectif associé à la variable  $v$ . D'une manière analogue,  $T_i(v)$  et  $T_f(v)$  sont les instants respectivement initial et final de l'horizon temporel associé à l'objectif.

**Définition II.2 :** Soit  $v \in V$ , le  $i^{\text{ème}}$  jalon associé à la variable  $v$  est défini par une fonction  $t_i(v)$  telle que  $T_i(v) \leq t_i(v) \leq T_f(v)$ ,  $i \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$ , avec  $n$  le nombre d'objectifs intermédiaires (et donc de jalons) introduits par la décomposition temporelle.

En conséquence, on a :  $t_0(v) = T_i(v)$  et  $t_n(v) = T_f(v)$ .

Deux objectifs intermédiaires/jalons particuliers sont distingués :

- la valeur supposée nulle de l'objectif à l'instant initial de l'horizon temporel ;
- la valeur espérée de l'objectif à l'instant final de l'horizon temporel.

Dans son travail de HDR, Berrah a donné la définition suivante de l'objectif intermédiaire [Berrah 2013].

**Définition II.3 :** Soit  $v \in V$ , soit un objectif  $o(v)$ ,  $o_i(v)$  est la valeur de l'objectif intermédiaire, associé à  $t_i(v)$  le  $i^{\text{ème}}$  jalon,  $i \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$ . Les valeurs de  $o_i(v)$  définissent la trajectoire temporelle de l'objectif

Par ailleurs, des travaux ont été menés concernant la prise en compte de la nature de la valeur espérée à l'instant final de l'horizon temporel et la représentation de l'objectif par cette valeur au même instant. Des déclarations d'objectifs précis ou imprécis, numériques ou linguistiques, tendanciels, flexibles ou catégoriques, a été prise en compte de manière générale grâce à la théorie des sous-ensembles flous [Berrah et al 2000], [Berrah et al 2013], [Foulloy et Berrah 2015]. Cet aspect des travaux sur l'expression de la performance ne faisant pas l'objet de notre étude, nous choisissons de ne pas l'approfondir ici. Nous renvoyons toutefois le lecteur intéressé vers les publications citées ci-dessus et traitant de ces développements. Nous retiendrons pour notre part l'usage de la théorie des sous-ensembles flous dans cette étape de déclaration des objectifs.

## II.2.2. La mesure

Partant de la définition textuelle de la mesure : « une information relative à l'atteinte de la valeur espérée de l'objectif » (cf. § I.4.3), notre équipe a émis les hypothèses suivantes [Berrah 2013] :

- la mesure est donnée sur le même univers de discours que l'objectif ;
- la mesure est associée à la variable de l'objectif ;
- les mesures sont prises sur l'horizon temporel de l'objectif, à chaque jalon ; de telles mesures sont dites « instantanées » ;
- la mesure à l'instant final de l'horizon temporel mesure l'atteinte de la valeur espérée de l'objectif ;
- l'évolution temporelle des mesures forme une trajectoire – temporelle – caractérisant la réalité de l'atteinte de l'objectif (Figure II.1).

Sur la base de l'ensemble de ces propriétés, la mesure peut être définie comme suit.

**Définition II.4 :** Soit  $v \in V$ , la mesure « instantanée » est définie par la fonction  $m_i$ , appelée fonction de quantification de la mesure,  $m_i(v)$  est la valeur de la mesure associée à  $t_i(v)$  le  $i^{\text{ème}}$  jalon,  $i \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$ .

En particulier,  $m(v)$  est la valeur de la mesure à  $T_f(v)$ .

## II.2.3. Exemple

En guise d'illustration, considérons une problématique rattachée à l'évolution de la capacité d'une ligne de production d'un constructeur de roulements à billes. Il s'agit d'augmenter cette capacité de 3000 pièces par semaine, permettant ainsi un passage d'une capacité actuelle de 27000 pièces par semaine à une capacité espérée de 30000 pièces par semaine. L'horizon temporel considéré pour ce faire est de trois mois, soit de 12 semaines.

La variable considérée est la capacité de production :  $v = \text{capacité}$ . L'horizon temporel est borné par  $T_i(\text{capacité}) = 0$  semaines et  $T_f(\text{capacité}) = 12$  semaines. Le tableau ci-après regroupe l'ensemble des objectifs intermédiaires et jalons correspondants, tels qu'ils ont été donnés par le gestionnaire de la ligne considérée.

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_i(\text{capacité})$ (semaines)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$o_i(\text{capacité})$ (pièces/semaine)	27000	27250	27500	27750	28000	28250	28500	28750	29000	29250	29500	29750	30000

Tableau II.1 : Les objectifs intermédiaires et les jalons correspondants.



Des mesures ont été prises chaque semaine, conformément au tableau suivant.

I	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_i$ (capacité) (semaines)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$m_i$ (capacité) (pièces/semaine)	27000	26150	27500	27750	27500	27250	26300	27500	28000	28250	28000	28750	29300

Tableau II.2 : Les valeurs des mesures aux différents jalons.

La figure suivante illustre les trajectoires temporelles de l'objectif et de la mesure rattachées à notre exemple.

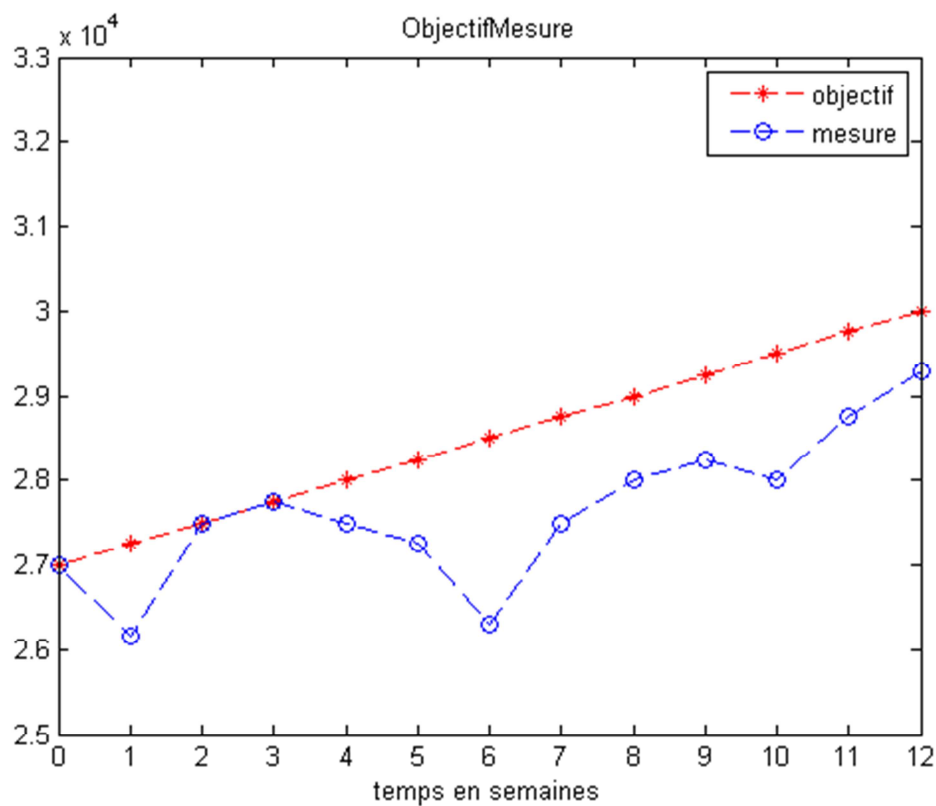


Figure II.1 : Exemples de trajectoires temporelles pour l'objectif et la mesure, rattachés à une capacité de production.

Afin de mieux visualiser les trajectoires temporelles, nous effectuerons, dans cet exemple, comme dans la suite de ce document, une interpolation entre les valeurs associées à deux jalons consécutifs.

Rappelons que dans les travaux initiaux, notre équipe s'était focalisée sur une seule mesure, celle rattachée à la valeur associée à l'atteinte de l'objectif à l'instant final de son horizon temporel [Berrah et al. 2000], [Berrah 2013], [Berrah et Foulloy 2013], [Foulloy et al 2014]. Tout comme pour l'objectif (cf. § II.2.1), l'incertitude et l'imprécision rattachées à la mesure ont été prises en compte dans la représentation de celle-ci, à l'aide de la théorie des sous-

ensembles flous [Mauris et al 2001]. La représentation de l'objectif et la représentation de la mesure étaient ainsi faites dans le même formalisme.

## II.3. La performance instantanée

### II.3.1. Définitions

Initialement et comme nous l'avons mentionné dans la section précédente, les travaux de l'équipe sur l'expression de la performance ont été menés en cohérence avec les travaux menés sur l'objectif et la mesure, en faisant abstraction du paramètre « temps ». Ces travaux s'étaient en effet focalisés sur la manière de calculer cette performance et supposaient implicitement que ce calcul se faisait à la fin de l'horizon temporel. Traitant de la comparaison de deux éléments flous, plusieurs sémantiques et opérateurs de comparaison ont été proposés pour l'expression de la performance, selon la flexibilité et/ou l'imprécision de l'objectif et l'incertitude et/ou l'imprécision de la mesure. [Berrah et al 2000] [Berrah et Foulloy 2013].

Partant d'une définition textuelle de la performance (cf. § I.2.2.3) : « *une entreprise performante est une entreprise qui atteint les objectifs qu'elle annonce* » [Berrah 2002], notre équipe a émis les hypothèses suivantes [Berrah 2013] :

- la performance est le degré d'atteinte de l'objectif, exprimée à l'instant final de son horizon temporel ;
- l'expression de la performance est le résultat d'une fonction de comparaison de la valeur espérée de l'objectif à sa mesure ;
- la valeur de performance est calculée sur le même univers de discours que l'objectif ou sur un univers spécifique ;
- la performance est associée à la variable de l'objectif.

Conformément à ces hypothèses, les définitions suivantes sont posées.

**Définition II.5 :** Soit  $v \in V$ , l'expression de la performance  $p(v)$  est donnée par :  $p(v) = f(o(v), m(v))$ , où  $f : O \times M \rightarrow P$  est la fonction de comparaison,  $O, M, P$  sont respectivement les univers de discours de l'objectif, de la mesure et de la performance.  $o(v) \in O$  est la valeur espérée associée à l'objectif et  $m(v) \in M$  est la mesure correspondante.

Plus tard, dans une volonté d'aller au-delà des expressions tayloriennes de la performance, l'hypothèse suivante a été rajoutée au cadre de calcul [Berrah et Foulloy 2013].

- Une performance instantanée peut être calculée à tout jalon de l'horizon temporel de l'objectif (Figure II.2).

Cette hypothèse a donné lieu à la définition suivante.

**Définition II.6 :** Soit  $v \in V$ , l'expression de la performance instantanée est donnée par :  $p_i^{inst}(v) = f_{inst}(o_i(v), m_i(v))$ , où  $f_{inst} : O \times M \rightarrow P$  est la fonction de comparaison,  $o_i(v) \in O$ ,

$m_i(v) \in M$ , et  $p_i^{inst}(v) \in P$  sont respectivement les valeurs de l'objectif, de la mesure et de la performance instantanée au jalon  $t_i(v)$ .

En particulier,  $p^{inst}(v)$  est la valeur de la performance instantanée à  $T_f(v)$ .

Signalons que la fonction de comparaison  $f_{inst}$  est traditionnellement définie sur des univers numériques, en accord avec la pratique des taux et des ratios tayloriens. Une extension à des univers linguistiques a été toutefois proposée de manière à comparer les objectifs et les mesures imprécises ou linguistiques [Glass et Kauffman 1973] [Dubois et Prade 1982]. De manière plus générale,  $f_{inst}$  est identifiée à un opérateur de correspondance ou à un opérateur d'éloignement, selon la sémantique accordée à  $p^{inst}$ .

### II.3.2. Exemple

La figure ci-après (Figure II.2) montre un exemple de trajectoire temporelle de la performance instantanée obtenu à partir des trajectoires temporelles de la figure précédente (Figure II.1), en utilisant le *ratio* comme fonction de comparaison. La performance instantanée au jalon  $t_i(\text{capacité})$ ,  $i \in \{0, 1, 2, \dots, 12\}$  est donc :

$$p_i^{inst}(\text{capacité}) = m_i(\text{capacité}) / o_i(\text{capacité}).$$

Nous calculons les valeurs de la performance instantanée aux jalons. Ces valeurs sont regroupées dans le tableau suivant et représentées dans la figure qui le suit (Figure II.2).

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_i(\text{capacité})$ (semaines)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$p_i^{inst}(\text{capacité})$ (pièces/semaine)	1	0,959	1	1	0,982	0,964	0,922	0,956	0,965	0,965	0,949	0,966	0,976

Tableau II.3 : Les valeurs des performances aux différents jalons.

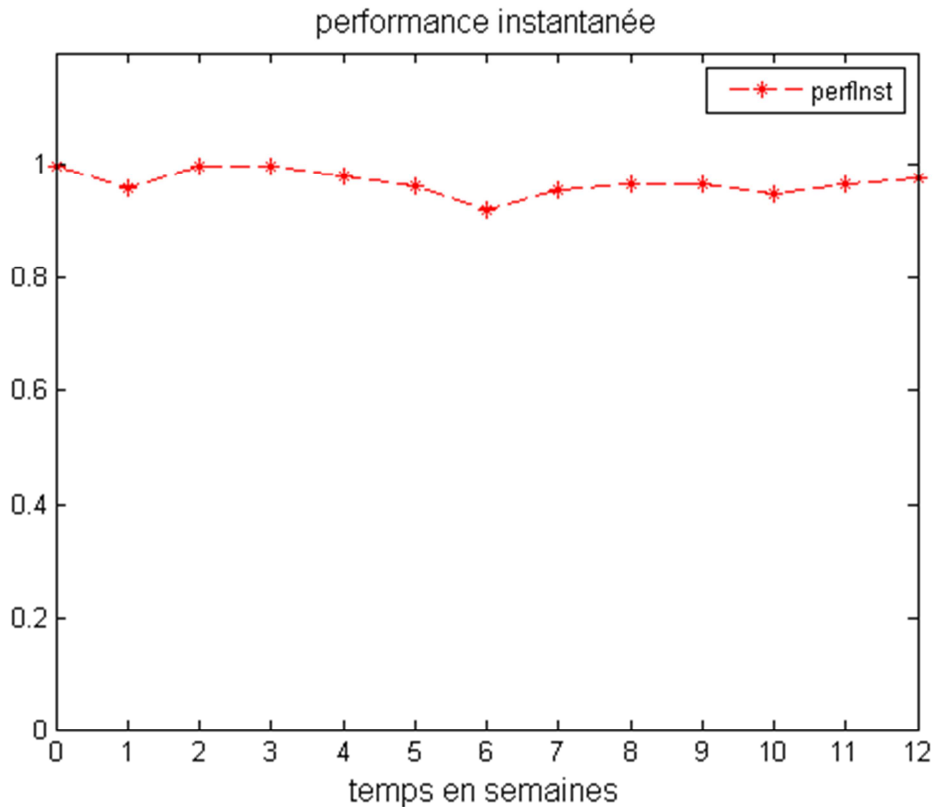


Figure II.2 : Les performances instantanées associées à l'objectif de capacité de production.

## II.4. La performance tendancielle

### II.4.1. Définitions

La performance tendancielle donne une idée de la manière dont les trajectoires, respectivement celle de l'objectif et celle de la mesure, évoluent l'une par rapport à l'autre. La performance tendancielle identifie la correspondance entre ce qui a été planifié, *i.e.* souhaité, et la réalité.

La performance tendancielle véhicule donc l'idée d'une évolution de la mesure, rapportée à l'évolution de l'objectif. Nous proposons d'identifier ces évolutions à leur tendance. La tendance est relative à la notion de variation. La variation d'une grandeur associée à une variable  $v$  à un instant donné est défini par la différence entre la valeur de cette grandeur à cet instant et celle à un instant passé (relativement à l'instant considéré).

Considérons l'instant  $t_i(v)$ . Nous allons repérer l'instant passé par un décalage d'un entier  $k$  avec  $1 \leq k < i$ , par rapport l'instant  $t_i(v)$ . L'instant considéré est donc  $t_{i-k}(v)$ . Nous supposons que ce décalage, fixé par le décideur, est exactement d'un ou de plusieurs jalons.

**Définition II.7 :** Soit  $v \in V$ , soit  $u$  une grandeur associée à  $v$ . Soit  $u_i(v)$  la valeur de cette grandeur au jalon  $t_i(v)$ . La variation de la grandeur  $u_i(v)$  au jalon  $t_i(v)$  ( $i \geq 1$ ) est donnée par l'expression :

$$\Delta(u_i(v)) = u_i(v) - u_{i-k}(v), \text{ avec } (k \geq 1). \quad (\text{II.1})$$

Nous aurons ainsi :

$$\Delta(o_i(v)) = o_i(v) - o_{i-k}(v). \quad (\text{II.2})$$

$$\Delta(m_i(v)) = m_i(v) - m_{i-k}(v). \quad (\text{II.3})$$

En cohérence avec la pratique intuitive de la notion de tendance, nous choisissons d'ores et déjà d'introduire la tendance d'une grandeur à un instant comme une « qualification » de la variation de cette grandeur à cet instant. Par qualification d'une grandeur, nous entendons une forme d'estimation qualitative (linguistique, symbolique...) de cette grandeur. Ce choix sera une des hypothèses de modélisation proposée dans le chapitre suivant.

Pour une grandeur  $u_i(v)$  évoluant dans le temps, on notera  $Tr(u_i(v))$  la valeur de la tendance de cette grandeur au jalon  $t_i(v), i \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$ . Ainsi,  $Tr(o_i(v))$  et  $Tr(m_i(v))$  sont respectivement les tendances de l'objectif  $o_i(v)$  et de la mesure  $m_i(v)$  au jalon  $t_i(v)$ .

La performance tendancielle peut maintenant être définie comme le résultat de la comparaison de la tendance de la mesure à la tendance de l'objectif.

**Définition II.8 :** Soit  $v \in V$ , l'expression de la performance tendancielle  $p_i^{tend}(v)$  est donnée par :  $p_i^{tend}(v) = f_{tend}(Tr(o_i(v)), Tr(m_i(v)))$ , où  $f_{tend} : O^{tend} \times M^{tend} \rightarrow P^{tend}$  est la fonction de comparaison,  $O^{tend}$ ,  $M^{tend}$  et  $P^{tend}$  représentent respectivement les univers de discours de la tendance de l'objectif, de la tendance de la mesure et de l'expression de la performance tendancielle.

## II.4.2. Exemple

Reprenons notre objectif d'augmentation de la capacité de production (cf. § II.2.3) et considérons un décalage  $k$  tel que  $k=1$ . Afin d'illustrer le mécanisme de comparaison de l'objectif tendanciel et de la mesure tendancielle, trois cas nous semblent intéressants à considérer.

- Les variations de l'objectif et de la mesure au jalon  $t_3(\text{capacité}) = 3$  semaines sont identiques :  $(\Delta(o_3(\text{capacité})) = \Delta(m_3(\text{capacité})) = 250 \text{ pièces / semaine})$ . En conséquence, la tendance de l'objectif et la tendance de la mesure seront aussi identiques. Nous pourrions conclure dans ce cas que la performance tendancielle est *excellente*.
- Les variations de l'objectif et de la mesure au jalon  $t_6(\text{capacité}) = 6$  semaines sont respectivement positive et négative :  $(\Delta(o_6(\text{capacité})) = 250 \text{ pièces / semaine})$  et  $(\Delta(m_6(\text{capacité})) = -950 \text{ pièces / semaine})$ . En conséquence, la tendance de l'objectif est croissante mais la tendance de la mesure est décroissante. Nous pouvons estimer dans ce cas que la performance tendancielle est *mauvaise*.

- Les variations de l'objectif et de la mesure au jalon  $t_8(\text{capacité}) = 8$  semaines sont croissantes mais d'amplitude différente :  $(\Delta(o_8(\text{capacité})) = 250 \text{ pièces / semaine})$ ,  $(\Delta(m_8(\text{capacité})) = 500 \text{ pièces / semaine})$ . En conséquence, les tendances de l'objectif et celle de la mesure seront croissantes. Nous pouvons estimer dans ce cas que la performance tendancielle est *assez bonne*.

## II.5. La performance prédictive

Comme nous l'avons introduit précédemment, l'idée développée dans cette partie est d'exploiter, au jalon  $t_i(v)$ , une information sur l'atteinte d'un objectif « futur ». Cet objectif « futur » peut être identifié à un objectif intermédiaire associé à un jalon  $t_j(v)$  tel que  $t_j(v) > t_i(v)$ , ou à l'objectif à l'instant final  $T_f(v)$ .

Nous proposons ici un modèle simple de prédiction qui consiste à prédire, au jalon  $t_i(v)$ , la valeur de la mesure à tout jalon futur  $t_j(v)$ ,  $T_f(v) \geq t_j(v) > t_i(v)$ ; en particulier à l'instant final  $T_f(v)$ . L'idée est d'exprimer alors la performance prédictive sur la base de la comparaison d'une mesure dite « prédictive » avec l'objectif correspondant  $o_j(v)$

### II.5.1. La mesure prédictive

La valeur de la mesure prédictive à un jalon  $t_i(v)$  pour un jalon futur  $t_j(v)$ ,  $t_j(v) > t_i(v)$ , est obtenue en effectuant la somme de la valeur de la mesure obtenue au jalon  $t_i(v)$  et de la prédiction de la variation de cette mesure entre  $t_j(v)$  et  $t_i(v)$ . En effet, la prédiction de la variation de la mesure à  $t_i(v)$  pour  $t_j(v)$  est obtenue en fonction de :

- l'intervalle de temps entre  $t_i(v)$  et un jalon déjà passé  $t_{i-k}(v)$ , pour un décalage  $k$  donné,  $i > k > 0$  ;
- la variation de la mesure entre  $t_i(v)$  et  $t_{i-k}(v)$  ;
- l'éloignement de  $t_j(v)$  et  $t_i(v)$ .

**Définition II.9 :** Soit  $v \in V$ , on notera  $\hat{m}_{i,j}(v)$  la valeur de la mesure prédictive au jalon  $t_i(v)$  d'un objectif  $o_j(v)$  pour un jalon futur  $t_j(v)$ , avec  $i < j \leq n$ .

Soient un décalage  $k$  et l'intervalle de temps correspondant  $\Delta(t_i(v)) = t_i(v) - t_{i-k}(v)$ . Le décalage  $k$  peut être d'un ou de plusieurs jalons. En utilisant l'équation de la variation de la mesure (II-3) :  $\Delta(m_i(v)) = m_i(v) - m_{i-k}(v)$ , la mesure prédictive  $\hat{m}_{i,j}(v)$  établie à un jalon  $t_i(v)$  pour un jalon futur  $t_j(v)$  pourra être donnée conformément à la formule ci-dessous :

$$\hat{m}_{i,j}(v) = m_i(v) + \frac{\Delta(m_i(v)) \times (t_j(v) - t_i(v))}{\Delta(t_i(v))}. \quad (\text{II.4})$$

En particulier,  $\hat{m}_i(v)$  est la valeur de la mesure prédictive à l'instant  $t_i(v)$  pour l'instant final  $T_f(v)$ . La formule de cette mesure est :

$$\hat{m}_i(v) = m_i(v) + \frac{\Delta(m_i(v)) \times (T_f(v) - t_i(v))}{\Delta(t_i(v))}. \quad (\text{II.5})$$

## II.5.2. Exemple

Reprenons notre objectif d'augmentation de la capacité de production (cf. § II.2.3). La figure suivante (Figure II.3) regroupe deux cas de prédiction de mesure. En nous plaçant à la 7<sup>ème</sup> semaine, soit  $t_7(\text{capacité}) = 7$  semaines, nous prédisons la mesure, avec un décalage  $k = 4$  donné, pour respectivement la 9<sup>ème</sup> semaine, soit  $t_9(\text{capacité}) = 9$  semaines, et la 12<sup>ème</sup> semaine, soit  $t_{12}(\text{capacité}) = 12$  semaines.

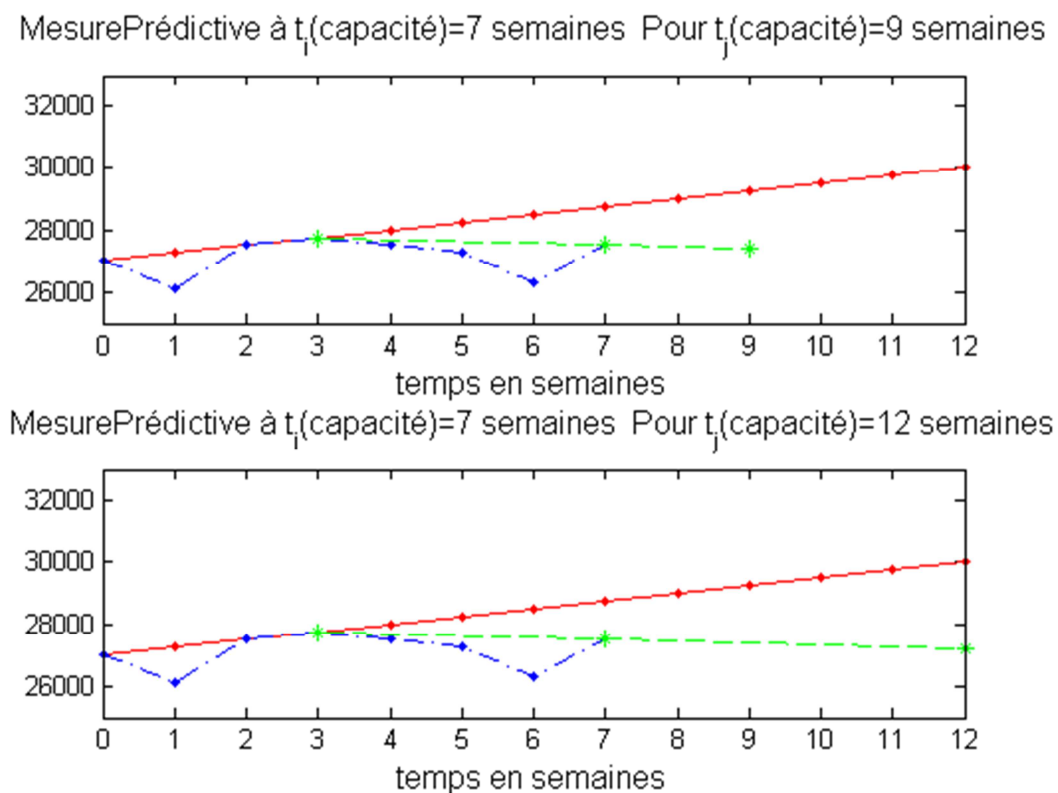


Figure II.3 : Prédictions de la mesure au jalon  $t_7(\text{capacité}) = 7$  semaines pour les jalons  $t_9(\text{capacité}) = 9$  semaines et  $t_{12}(\text{capacité}) = 12$  semaines.

## II.5.3. Définition

L'expression de la performance prédictive sera le résultat d'une comparaison entre la mesure prédictive et l'objectif, conformément à la définition ci-dessous.

**Définition II.10 :** Soit  $v \in V$ , l'expression de la performance prédictive  $p_{i,j}^{pred}(v)$  à un jalon  $t_i(v)$ , pour un jalon futur  $t_j(v)$  tel que  $T_f(v) \geq t_j(v) > t_i(v)$ , est donnée par :  $p_{i,j}^{pred}(v) = f_{pred}(o_j(v), \hat{m}_{i,j}(v))$ , où  $f_{pred} : O \times M \rightarrow P$  est la fonction de comparaison,  $o_j(v) \in O$ ,  $\hat{m}_{i,j}(v) \in M$  et  $p_{i,j}^{pred}(v) \in P$  sont respectivement les valeurs de l'objectif à  $t_j(v)$ , de la mesure prédictive et de la performance prédictive à  $t_i(v)$  pour  $t_j(v)$ .  $O, M$  et  $P$  représentent respectivement les univers de discours de l'objectif, de la mesure et de l'expression de la performance prédictive.

Notons que  $f_{inst}$  (cf. § II.3.1) et  $f_{pred}$  étant de même nature et se rattachant au même objet de comparaison, nous émettons l'hypothèse que les deux fonctions de comparaison appartiennent à la même classe de fonctions.

L'expression de la performance prédictive  $p_{i,j}^{pred}(v)$  pour l'instant final  $T_f(v)$  sera notée  $p_i^{pred}(v)$ .

### II.5.4. Exemple

Reprenons notre objectif d'augmentation de la capacité de production (cf. § II.2.3). Nous traçons les valeurs de la performance instantanée jusqu'au 7<sup>ème</sup> jalon,  $t_7(capacité) = 7$  semaines, puis nous traçons, à partir de ce jalon, les valeurs de la performance prédictive pour tous les jalons futurs avec une valeur de décalage  $k = 4$ . A titre d'information, nous faisons le choix de regrouper dans cette même figure les valeurs de la performance instantanée, jusqu'au 7<sup>ème</sup> jalon et les valeurs de la performance prédictive depuis ce jalon.

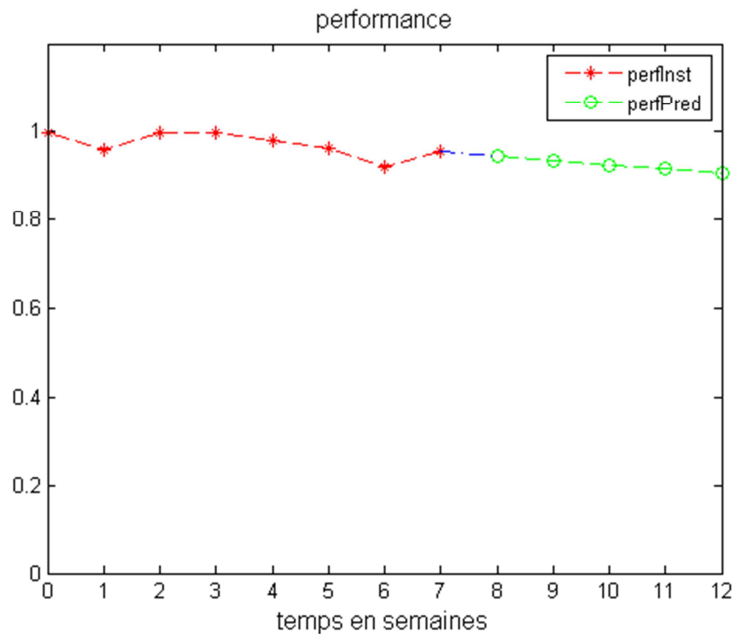


Figure II.4 : Les valeurs de la performance prédictive à  $t_7(capacité) = 7$  semaines, pour  $t_j(capacité) j \in \{8, 9, \dots, 12\}$  et les valeurs de la performance instantanée à  $t_i(capacité)$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, 7\}$ .



### II.5.5. Analyse de l'influence du paramètre $k$ sur la valeur de la performance prédictive

Rappelons que le calcul de la performance prédictive se fonde sur le calcul d'une mesure prédictive. L'estimation de cette mesure prédictive s'effectue sur la base du calcul d'une variation qui fixe *a priori* un décalage entre les jalons ; cette variation étant notée  $k$ . Nous pouvons penser que le choix du paramètre  $k$  peut avoir une influence sur le résultat obtenu. C'est pourquoi nous cherchons à effectuer une analyse de cette influence de  $k$  sur les valeurs de la performance prédictive.

Reprenons encore une fois l'exemple rattaché à la capacité de production (cf. § II.2.3). Supposons que nous soyons à la fin de l'horizon temporel. Nous considérerons deux jalons particuliers, en l'occurrence :

- $j = 6$ , soit  $t_6(\text{capacité}) = 6$  semaines et  $p_6^{\text{inst}}(\text{capacité}) = 0,922$  (cf. § Tableau II.3) ;
- $j = 12$ , soit  $t_{12}(\text{capacité}) = 12$  semaines et  $p_{12}^{\text{inst}}(\text{capacité}) = 0,976$  (cf. § Tableau II.3).

Les valeurs présentées dans le tableau sont les valeurs réellement obtenues pour la performance instantanée. Si la prédiction était fiable, ces valeurs devraient correspondre aux valeurs prédites, soit aux performances prédictives établies.

Estimer la fiabilité du modèle de prédiction établi ne sera pas notre propos dans cette étude. Nous chercherons juste à observer l'impact de la valeur de  $k$  sur les prédictions obtenues. Considérons à ce titre deux valeurs différentes pour  $k$  respectivement  $k = 1$  et  $k = 3$ . La figure ci-après (Figure II.5) affiche les calculs, pour tous les jalons  $t_i(\text{capacité})$ , ou  $i < j$ , de la performance prédictive en utilisant les deux valeurs de  $k$ .

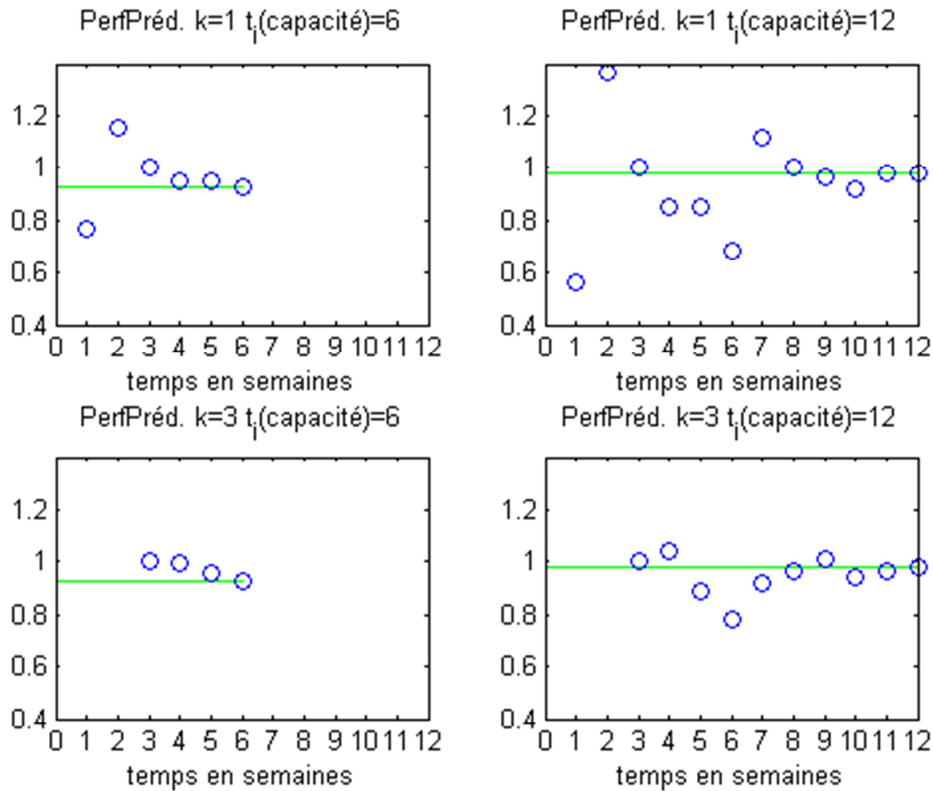


Figure II.5 : Analyse de sensibilité de la performance prédictive en fonction de la valeur de  $k$ .

Nous concluons cette analyse par le fait que *la croissance de la valeur de  $k$  affaiblit son influence sur la performance prédictive*. En d'autres termes, plus le décalage considéré est grand, plus la performance prédictive se rapproche de la performance instantanée réellement atteinte.

## II.5.6. La pertinence de la performance prédictive

La pertinence de l'expression de la performance prédictive en appelle au bien-fondé de cette performance. Au vu de la nature de la performance prédictive, incertaine et reposant sur une hypothèse de projection non toujours avérée, nous souhaitons introduire cette notion de pertinence, en guise de vérification que la performance prédictive retournée puisse être utile au pilotage du plan d'action en cours.

Cette notion de pertinence associée à la performance prédictive peut dépendre de plusieurs facteurs mais, en premier lieu, semble d'autant meilleure que les jalons considérés sont proches. Pour une prédiction effectuée à un jalon proche de l'instant initial et souhaitée pour l'instant final, la mesure peut évoluer. La pertinence de l'information prédite peut être faible. Le décideur peut alors se poser la question de l'intérêt ou de la pertinence d'exprimer une performance prédictive dans un tel contexte. Sinon il peut aussi « pondérer » cette performance prédictive par une sorte de « coefficient de pertinence ».

**Définition II.11 :** Soit  $v \in V$ , la pertinence est représentée par une fonction  $pert_{i,j}(v)$  où l'indice  $i$  est relatif au jalon  $t_i(v)$  considéré pour exprimer la performance prédictive au jalon  $t_j(v)$ ,  $i < j$ .

Notons que  $pert_{i,j}(v)$  peut s'exprimer de plusieurs manières. Une formule pourrait simplement être définie à partir de la distance entre les jalons considérés.  $pert_{i,j}(v)$  pourrait également être estimée directement par le décideur. Les valeurs de  $pert_{i,j}(v)$  peuvent ainsi être aussi bien numériques que symboliques.

Ces remarques viennent terminer cette partie du chapitre consacrée aux définitions des performances temporelles introduites. Nous allons consacrer ce qui reste de ce chapitre à réfléchir sur la manière d'utiliser ces performances pour le pilotage.

## II.6. Méthode d'utilisation des performances temporelles

La méthode d'utilisation des trois performances temporelles (instantanée, tendancielle, prédictive) que nous proposons s'inscrit dans le cadre du pilotage et de l'amélioration de la performance industrielle. Les informations que nous introduisons constituent dans ce sens une aide à la décision dans le pilotage de l'atteinte d'un objectif donné.

Supposons un objectif donné respectivement par sa déclaration et la trajectoire temporelle associée. Rappelons alors l'enjeu rattaché au pilotage de l'atteinte de cet objectif, qui peut se résumer en la satisfaction de la double condition suivante :

- l'atteinte de la valeur espérée de l'objectif à l'instant final de l'horizon temporel ;
- l'atteinte des objectifs intermédiaires définissant la trajectoire de l'objectif.

Ainsi, l'objectif est atteint si la valeur espérée à l'instant final est atteinte d'une part, conformément à la trajectoire temporelle planifiée d'autre part. En d'autres termes, la performance est totale si toutes les performances instantanées, associées à l'ensemble des objectifs intermédiaires, sont totales. De ce principe découlera la définition de notre méthode d'utilisation des trois performances temporelles. Plus précisément, nous plaçant à un jalon de l'horizon temporel, nous supposons disposer des trois performances temporelles – performance instantanée, performance tendancielle et performance prédictive – ainsi que d'une information sur la pertinence de la performance prédictive évoquée précédemment.

Plusieurs manières d'exploiter ces performances sont possibles. Par exemple, l'on peut imaginer associer à chacune des performances un mode d'affichage particulier, ce qui en permettrait une lecture conjointe simple et rapide. Ce mode d'affichage et d'exploitation de manière plus générale, en appelle notamment aux pratiques du management visuel [Fernandez 2003], [Foulloy et al 2014], [Greif 1989], largement pratiqué aujourd'hui dans les entreprises.

Toutefois, le management visuel, tel qu'il est actuellement pratiqué concerne uniquement l'affichage des performances instantanées, selon des codes relatifs à la nature des critères associés aux objectifs impliqués. Une idée intéressante, que nous aborderons au-delà de nos travaux de thèse, serait d'associer des codes différents selon que la performance temporelle soit respectivement instantanée, tendancielle ou prédictive.

Pour notre part, notre idée est d'agréger les trois informations disponibles. Nous croyons en effet que des informations synthétiques présentent l'avantage d'une utilisation plus simple pour le pilote. De plus, les sémantiques des trois performances considérées étant

complémentaires, c'est par leur agrégation que nous aurons une information non seulement synthétique mais aussi complète sur l'atteinte de l'objectif (*a priori*, en cours ou *a posteriori*).

La démarche que nous proposons repose sur les étapes suivantes. Supposons une trajectoire temporelle d'objectif telle qu'elle a été introduite précédemment (cf. § II.2.1) et imaginons nous trouver à un jalon  $t_i(v)$  avec  $0 < i < n$ .

- Agréger la performance instantanée  $p_i^{inst}(v)$  et la performance tendancielle  $p_i^{tend}(v)$  pour obtenir une information qui renseigne à la fois de la performance (instantanée) associée à l'objectif intermédiaire considéré et la trajectoire utilisée pour atteindre cet objectif. Nous noterons une telle information agrégée, associée au jalon  $t_i(v)$ ,  $Score_i(v)$ .
- Agréger la performance prédictive  $p_{i,j}^{pred}(v)$  et sa pertinence  $pert_{i,j}(v)$  afin d'avoir une performance prédictive *corrigée* par la pertinence. Nous noterons cette performance corrigée au jalon  $t_i(v)$ ,  $p_{i,j}^{predCor}(v)$ .
- Agréger la performance instantanée  $p_i^{inst}(v)$  et la performance prédictive corrigée  $p_{i,j}^{predCor}(v)$  pour obtenir une information qui renseigne à la fois de la performance (instantanée) associée à l'objectif intermédiaire considéré et la prédiction de l'atteinte de l'objectif à un jalon futur. Nous noterons une telle information agrégée, associée aux jalons  $t_i(v)$  et  $t_j(v)$ ,  $Score_{i,j}(v)$ .
- Agréger les informations  $Score_i(v)$  et  $Score_{i,j}(v)$ , pour obtenir une seule information synthétique. Nous noterons cette information finale, associée aux jalons  $t_i(v)$  et  $t_j(v)$ ,  $Score_{i,j}^{syn}(v)$ .

Maintenant que nous avons décrit notre démarche, passons à la définition des différentes étapes qui la constituent.

### II.6.1. Agrégation des performances instantanée et tendancielle

Avant d'aborder l'agrégation à proprement parler de la performance instantanée et de la performance tendancielle, nous nous proposons, afin de mieux illustrer leur aspect complémentaire, de commencer par une observation conjointe de ces deux performances temporelles. Pour ce faire, considérons les quatre grandes familles de situations caractéristiques de cette analyse. Des illustrations sont extraites de notre exemple (cf. § II.2.3).

- 1 Les valeurs de la mesure et de l'objectif sont proches mais leurs tendances sont très différentes. Dans cette situation, la performance instantanée sera bonne mais la performance tendancielle sera mauvaise. Cette situation est représentée par la figure ci-après.

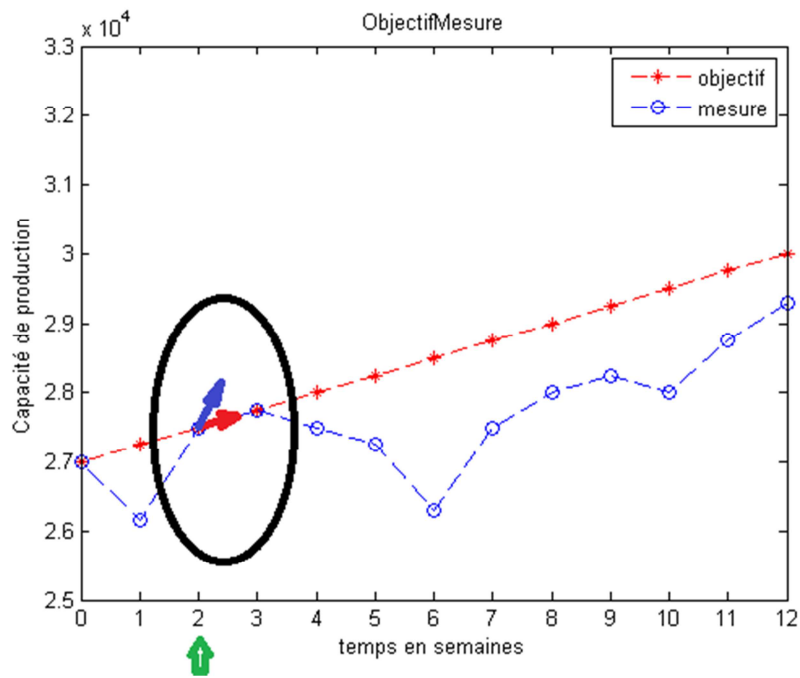


Figure II.6 : Illustration d'une situation décrite par une bonne performance instantanée et une mauvaise performance tendancielle.

- 2 Les valeurs de la mesure et de l'objectif sont éloignées mais leurs tendances sont voisines. Dans cette situation, la performance instantanée ne sera pas bonne mais la performance tendancielle sera bonne. Cette situation est représentée dans la figure ci-après.

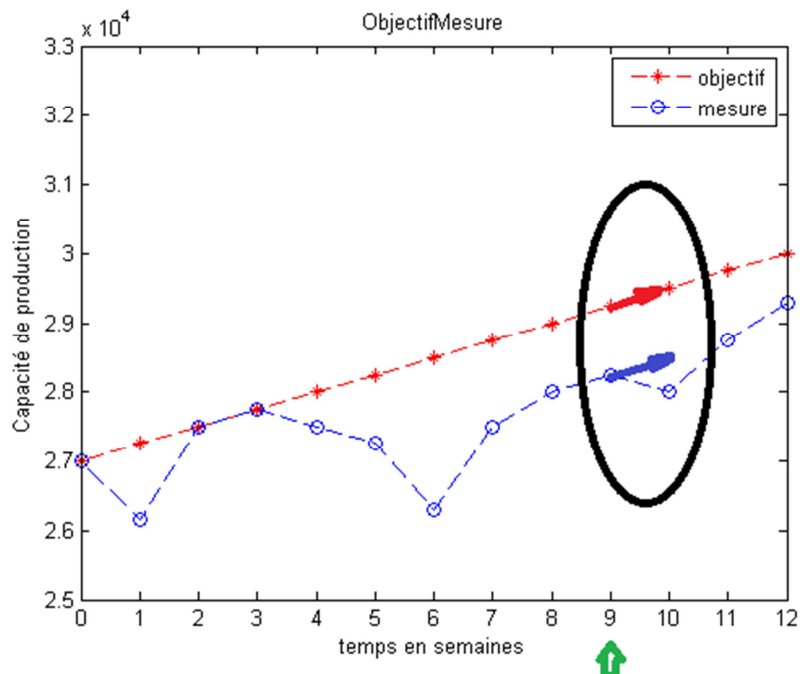


Figure II.7 : Illustration d'une situation décrite par une mauvaise performance instantanée et une bonne performance tendancielle.

- 3 Les valeurs de la mesure et de l'objectif sont éloignées et leurs tendances sont très différentes. Dans cette situation, la performance instantanée et la

performance tendancielle ne seront pas bonnes toutes les deux. Cette situation est représentée dans la figure ci-après.

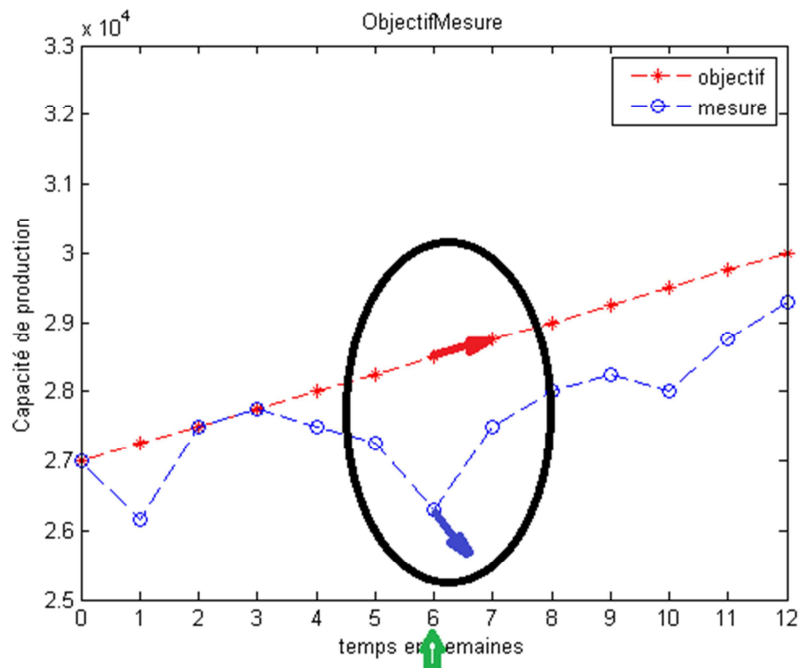


Figure II.8 : Illustration d'une situation décrite par une mauvaise performance instantanée et une mauvaise performance tendancielle.

- 4 Les valeurs de la mesure et de l'objectif sont proches et leurs tendances se correspondent. Dans cette situation, la performance instantanée et la performance tendancielle seront bonnes toutes les deux. Cette situation est représentée dans la figure ci-après.

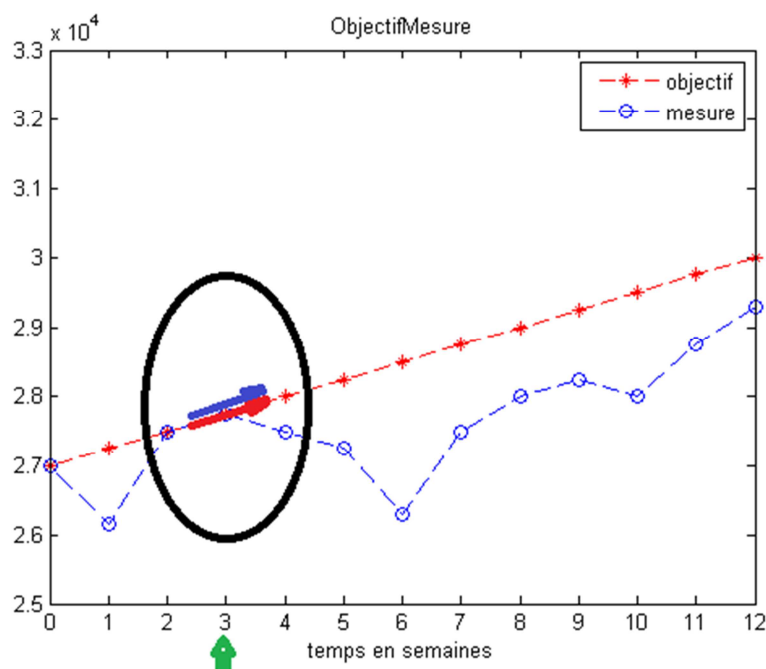


Figure II.9 : Illustration d'une situation décrite par une bonne performance instantanée et une bonne performance tendancielle.

La performance instantanée et la performance tendancielle étant exprimées toutes deux à un même jalon, l'idée de les agréger permet d'enrichir l'information véhiculée par la performance instantanée par l'information véhiculée par la performance tendancielle. Selon que les deux performances aillent dans le même sens ou dans des sens contraires, le « score » obtenu sera un renforcement ou un affaiblissement, selon le cas, de la valeur instantanée.

Partant des définitions de la performance instantanée (cf. § Définition II.6), nous posons la définition suivante.

**Définition II.12 :** Soit  $v \in V$ , l'agrégation de la performance instantanée et de la performance tendancielle est donnée par  $Score_i(v) = f_{agr}^{instTend}(p_i^{inst}(v), p_i^{tend}(v))$  où  $f_{agr}^{instTend} : P \times P \rightarrow S$  est la fonction d'agrégation,  $p_i^{inst}(v), p_i^{tend}(v) \in P$ ,  $Score_i(v) \in S$  sont respectivement la performance instantanée, la performance tendancielle et le résultat de l'agrégation de la performance instantanée et de la performance tendancielle au jalon  $t_i(v)$ .  $P$  est l'univers de discours des performances respectivement instantanée et tendancielle,  $S$  est l'univers de discours de l'information  $Score_i(v)$ .

La figure suivante (Figure II.10) illustre l'agrégation de la performance instantanée et de la performance tendancielle associées à une variable  $v$ . L'agrégation est effectuée au jalon  $t_i(v)$  et est notée  $Score_i(v)$ .

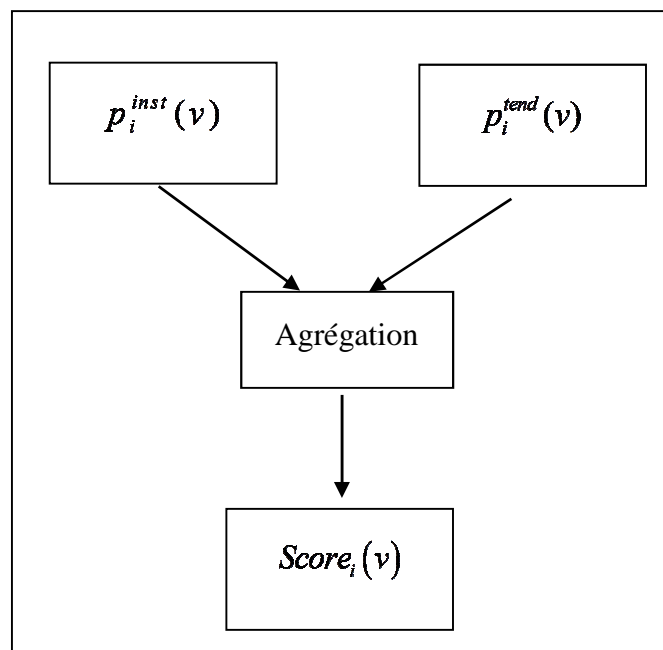


Figure II.10 : L'agrégation de la performance instantanée et de la performance tendancielle.

## II.6.2. Agrégation de la performance prédictive et de la pertinence

Ici, nous cherchons à agréger la performance prédictive et sa pertinence, l'agrégation de ces informations permettant une sorte de correction de la performance prédictive. Partant des définitions de l'expression de la performance prédictive (cf. § II.5.3), nous posons la définition suivante.

**Définition II.13 :** Soit  $v \in V$ , la performance prédictive corrigée est donnée par  $p_{i,j}^{predCor}(v) = f_{cor}(p_{i,j}^{pred}(v), pert_{i,j}(v))$  où  $f_{cor} : P \times Pert \rightarrow P$  est la fonction d'agrégation,  $p_{i,j}^{pred}(v) \in P$ ,  $pert_{i,j}(v) \in Pert$ , et  $p_{i,j}^{predCor}(v) \in P$  sont respectivement la performance prédictive, la pertinence de cette performance et la performance prédictive corrigée au jalon  $t_i(v)$  pour un jalon futur  $t_j(v)$ .  $P$  est l'univers de discours de la performance prédictive et de la performance prédictive corrigée, et  $Pert$  est le domaine de définition de la pertinence.

La figure suivante (Figure II.11) illustre l'agrégation de la performance prédictive et la pertinence associées à une variable  $v$ , obtenue au jalon  $t_i(v)$  pour un jalon futur  $t_j(v)$ . Cette agrégation est notée  $p_{i,j}^{predCor}(v)$ .

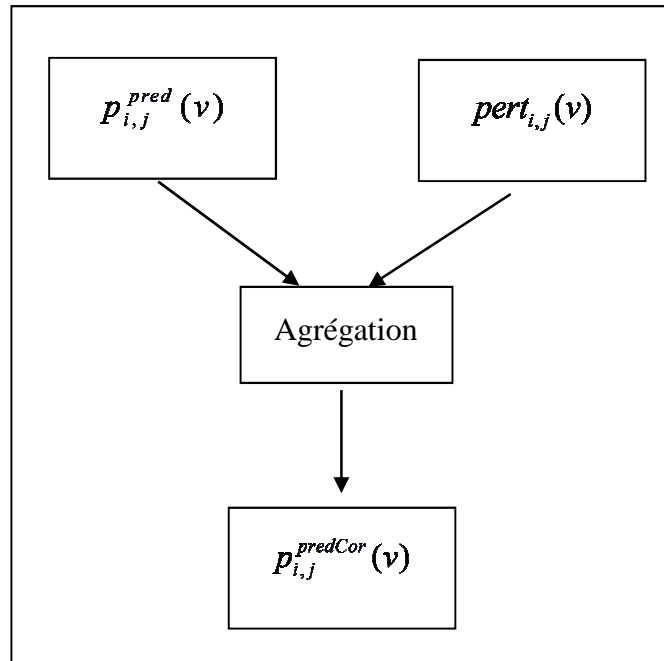


Figure II.11 : L'agrégation de la performance prédictive et de la pertinence.

### II.6.3. Agrégation de la performance instantanée et de la performance prédictive corrigée

Tout comme l'agrégation de la performance instantanée et de la performance prédictive, l'agrégation de la performance instantanée et de la performance prédictive corrigée trouve son fondement dans l'idée d'ajuster la valeur instantanée, cette fois en fonction, non pas de la tendance passée, mais de la prédiction future.

**Définition II.14 :** Soit  $v \in V$ , l'agrégation de la performance instantanée et de la performance prédictive corrigée est donnée par  $Score_{i,j}(v) = f_{agr}^{instPred}(p_i^{inst}(v), p_{i,j}^{predCor}(v))$  où  $f_{agr}^{instPred} : P \times P \rightarrow S$  est la fonction d'agrégation,  $p_i^{inst}(v), p_{i,j}^{predCor}(v) \in P$ ,  $Score_{i,j}(v) \in S$  sont respectivement la performance instantanée, la performance prédictive corrigée et le résultat de l'agrégation de la performance instantanée et de la performance prédictive corrigée au jalon  $t_i(v)$  pour un jalon futur  $t_j(v)$ .  $P$



est l'univers de discours de l'expression de la performance instantanée et de la performance prédictive corrigée,  $S$  est l'univers de discours de l'information  $Score_{i,j}(v)$ .

La figure suivante (Figure II.12) illustre l'agrégation de la performance instantanée et de la performance prédictive corrigée associées à une variable  $v$ , obtenue au jalon  $t_i(v)$  afin d'exprimer l'information notée  $Score_{i,j}(v)$ .

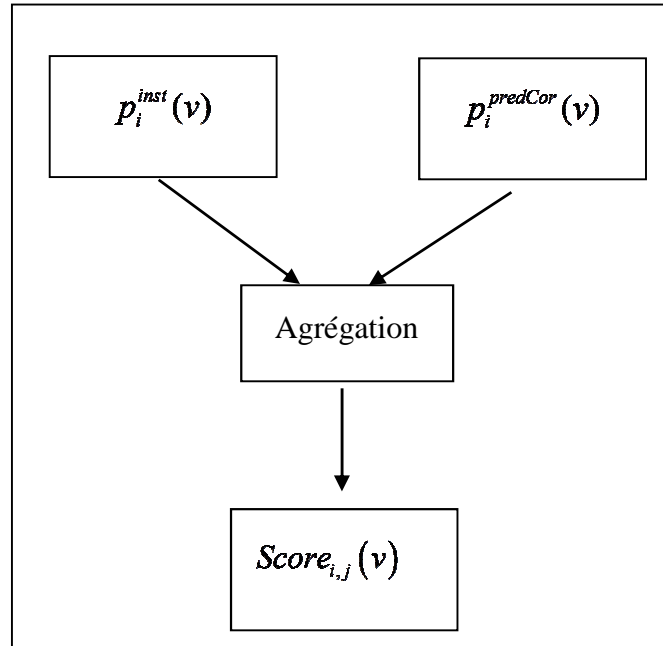


Figure II.12 : L'agrégation de la performance instantanée et de la performance prédictive corrigée.

Dans un souci de simplification et sans perte de généralités, nous faisons le choix de définir l'ensemble des performances sur le même univers de discours. En revanche, les valeurs  $Score_i(v)$  et  $Score_{i,j}(v)$  sont définies sur un domaine spécifique.

#### II.6.4. Synthèse

Une dernière étape dans l'utilisation des trois performances temporelles introduites est l'agrégation de deux résultats précédents –  $Score_i(v)$  et  $Score_{i,j}(v)$  –, en vue d'obtenir une information synthétique concernant l'atteinte de l'objectif considéré.

**Définition II.15 :** Soit  $v \in V$ , l'information de performance synthétique est donnée par  $Score_{i,j}^{syn}(v) = f_{agr}^{syn}(Score_i(v), Score_{i,j}(v))$  où  $f_{agr}^{syn} : S \times S \rightarrow S$  est la fonction d'agrégation,  $Score_i(v), Score_{i,j}(v), Score_{i,j}^{syn}(v) \in S$ , sont respectivement des informations concernant l'agrégation de la performance instantanée et de la performance tendancielle au jalon  $t_i(v)$ , l'agrégation de la performance instantanée et de la performance prédictive corrigée au jalon  $t_i(v)$  pour un jalon futur  $t_j(v)$ , l'information synthétique qui concerne l'agrégation de l'information  $Score_i(v)$  avec l'information  $Score_{i,j}(v)$  au jalon  $t_i(v)$  pour un jalon futur  $t_j(v)$ .  $S$  est le domaine de définition de l'agrégation de la performance instantanée et de la

performance tendancielle, l'univers de discours de l'agrégation de la performance instantanée et de la performance prédictive corrigée.

En guise de résumé, la figure suivante (Figure II.13) illustre la démarche globale d'agrégation des différentes performances temporelles.

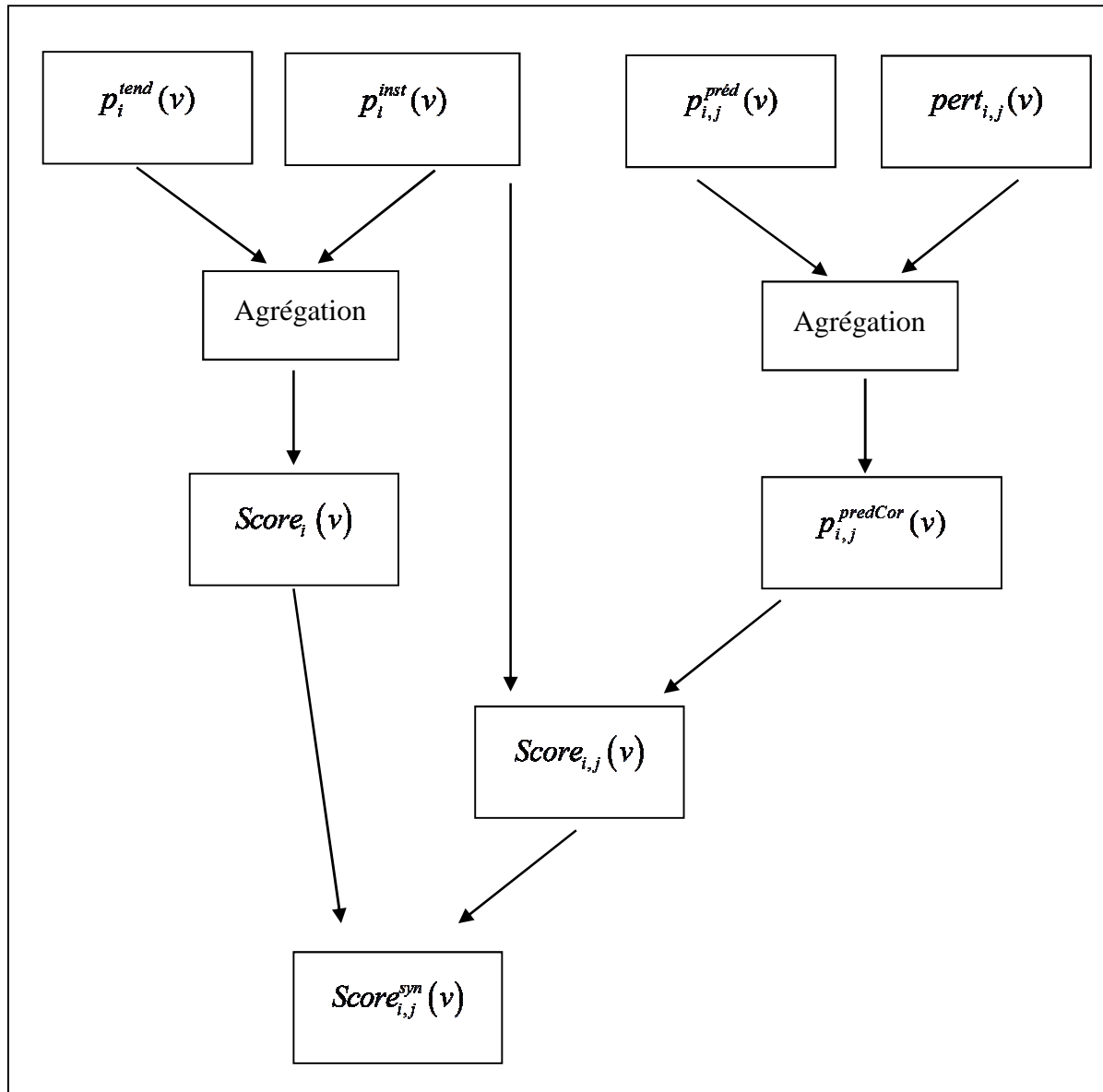


Figure II.13 : Résumé de la démarche d'utilisation des trois performances temporelles.

Dans un souci de simplification, nous qualifierons l'information globale obtenue d'« information synthétique ».

## II.7. Conclusion

La performance est le degré d'atteinte de l'objectif. Partant des travaux déjà menés par notre équipe dans lesquels une définition de la performance instantanée est donnée, nous avons

proposé deux performances temporelles supplémentaires, à savoir la performance tendancielle et la performance prédictive.

- La performance tendancielle concerne l'analyse de la manière dont l'objectif est atteint jusqu'au jalon considéré. La performance tendancielle est le résultat, à un jalon donné, de la comparaison de la tendance de l'objectif avec la tendance de la mesure.
- La performance prédictive est définie à un jalon donné pour un jalon futur. Cette performance est le résultat de la comparaison, au jalon considéré, de l'objectif intermédiaire associé au jalon futur choisi avec une mesure prédictive, calculée au jalon considéré pour ce même jalon futur.

Dans un souci d'exploitation de ces performances à des fins de pilotage et d'amélioration de la performance, nous avons proposé une méthodologie d'utilisation conjointe de ces trois performances temporelles. Le principe de notre approche étant de rechercher des informations synthétiques qui puissent aider à la décision dans ce contexte, nous nous sommes fondés sur un principe d'agrégation de ces performances, deux à deux, puis globalement.

Nous chercherons alors dans le chapitre suivant à proposer des mécanismes de calcul de ces performances, à savoir, la performance instantanée, la performance tendancielle et la performance prédictive. Au vu de la nature des données impliquées dans ces calculs d'une part et en cohérence avec les travaux menés précédemment dans l'équipe d'autre part, nous avons choisi pour ce faire de recourir à la théorie des sous-ensembles flous. Nous en retiendrons plus particulièrement les traitements qualitatifs, qui nous semblent allant de pair avec l'aide à la décision humaine.

### **Chapitre III : Une formalisation floue des performances instantanée, tendancielle et prédictive**

### III.1. Introduction

Ce chapitre traite du mécanisme de calcul des performances temporelles précédemment introduites. Ces performances peuvent être vues de manière générale comme le résultat d'une comparaison entre un objectif et une mesure. Partant du postulat que les objectifs et les mesures dans le milieu industriel peuvent être de nature aussi bien précise qu'imprécise, quantitative que qualitative, nous faisons le choix d'utiliser la théorie des sous-ensembles flous, dans la continuité de travaux précédemment menés dans notre équipe, pour fonder notre modèle de calcul des performances temporelles. Cet outil nous donne, de plus, la possibilité d'exprimer les performances de manière autre que numérique précise, ce qui présente un avantage selon nous car de tels modes d'expression sont les plus proches du langage naturel.

En 1965, Zadeh a mis en évidence le fait que des classes d'objets rencontrés dans le monde physique réel avaient parfois un statut ambigu. Ces classes peuvent contenir des objets clairement définis, comme les chevaux dans la classe des animaux, ou des objets définis de manière plus ambiguë selon le contexte. Par exemple, en biologie, la classification traditionnelle de Linné du début du XVIII<sup>ème</sup> siècle en deux groupes – végétal et animal – a évolué au cours du temps pour aboutir à la constitution, à la fin des années 1990, à une classification en six règnes du vivant [Woese et al 1990]. Le même type d'ambiguïté se trouve dans des classes dites « imprécises », comme la classe des « hommes chauves », la classe des « personnes âgées », celle des « distances lointaines ». Selon Zadeh, ces classes particulières ne constituent pas des ensembles au sens mathématique traditionnel car, dans de telles classes, certaines propositions pourraient être partiellement vraies, *i.e.* avec un certain degré. A titre d'exemple, la classe des personnes âgées dépend de la vision que la personne qui la définit a sur le concept d'âge.

Les concepts développés dans ce chapitre reposent sur les travaux initiaux de Zadeh sur les sous-ensembles flous [Zadeh 1965] et plus particulièrement sur ceux relatifs aux approches linguistiques [Zadeh 1971], [Zadeh 1973]. La théorie des sous-ensembles flous est souvent appelée, de manière certainement abusive mais très répandue, « logique floue ». Ainsi, Alonso met en évidence l'intérêt de l'approche linguistique en écrivant : « *dès l'origine, les règles linguistiques dans les systèmes d'inférence floue ont été reconnues pour leurs avantages : conception simple et rapide d'un système, facilité de maintenance et d'adaptation. Leur utilisation s'inscrit dans la perspective de proposer des modèles utilisant un langage de description aussi proche que possible de celui employé par les experts humains. La logique floue constitue un cadre commode pour l'expression et la formalisation de la connaissance experte* » [Alonso et al 2006].

Dans ce chapitre, nous évoquerons d'abord quelques notions sur les sous-ensembles flous en reprenant, en partie, la formalisation développée par notre équipe [Foulloy et Berrah 2015], [Foulloy et Benoit 2006], [Mauris et al 1996]. Nous montrerons ensuite comment cette théorie peut être utilisée pour exprimer, de manière linguistique, les performances temporelles respectivement instantanées, tendancielle et prédictive. Nous proposerons ensuite, conformément à la méthodologie introduite dans le chapitre précédent (cf. § II.6), une manière d'agrèger ces informations, à l'aide de jeux de règles, pour fournir une expression unique de la performance temporelle qualifiée de synthétique. Un tel mécanisme de calcul permet en effet un traitement fondé de la connaissance experte, sur laquelle l'ensemble de nos calculs sont basés. Au-delà de quelques exemples intuitifs, l'exemple relatif à la production, considéré dans le chapitre précédent, sera également retenu dans ce chapitre pour illustrer, au fur et à mesure de leur développement, les principales idées avancées.

## III.2. Quelques notions sur les sous-ensembles flous

### III.2.1. Généralités

Soit  $A$  un sous-ensemble d'un ensemble de référence  $X$ . On peut associer à ce sous-ensemble une fonction caractéristique  $f_A$  de  $X$  vers  $\{0,1\}$ . La valeur de cette fonction est 0 si les éléments de  $X$  n'appartiennent pas à  $A$ , sinon 1.

L'idée sous-jacente à la notion de sous-ensemble flou  $A$  de  $X$  est de considérer qu'il est possible d'avoir un ou plusieurs éléments  $x$  de  $X$  qui appartiennent partiellement, *i.e.* qui n'appartiennent pas complètement à  $A$ . Ainsi, Zadeh a défini une fonction  $\mu_A$ , appelée fonction d'appartenance, pour déterminer le degré d'appartenance d'un élément  $x$  dans l'ensemble de référence  $X$ . La fonction d'appartenance est définie dans l'intervalle  $[0,1]$  [Zadeh 1965], soit :

$$\mu_A : X \rightarrow [0,1]. \quad (\text{III.1})$$

On peut donc considérer qu'un Sous-Ensemble Flou (SEF) est donné par l'ensemble des couples formés respectivement d'un élément  $x$  de  $X$  et de son degré d'appartenance  $\mu_A(x)$ , soit :

$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in X\} \text{ et } \mu_A(x) \in [0,1] \quad (\text{III.2})$$

Cette notation étant cependant relativement lourde, il est conventionnel de caractériser le SEF uniquement par sa fonction d'appartenance. Dans la suite, nous noterons  $F(X)$  l'ensemble de tous les SEF de  $X$ .

#### *Exemple*

Afin d'illustrer la notion de fonction d'appartenance, considérons celle qui pourrait être associée à la représentation de l'âge des personnes « trentenaires ». Une définition analytique possible est donnée à l'équation (III.3) suivante :

$$\forall x \in X, \mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq 26 \text{ ou } x \geq 34 \\ 1 & \text{si } 29 \leq x \leq 31 \\ \frac{x-26}{3} & \text{si } 26 < x < 29 \\ \frac{34-x}{3} & \text{si } 31 < x < 34 \end{cases} \quad (\text{III.3})$$

Nous illustrons cette caractérisation de « la trentaine » dans la figure ci-après ;  $X$  étant l'ensemble des âges.

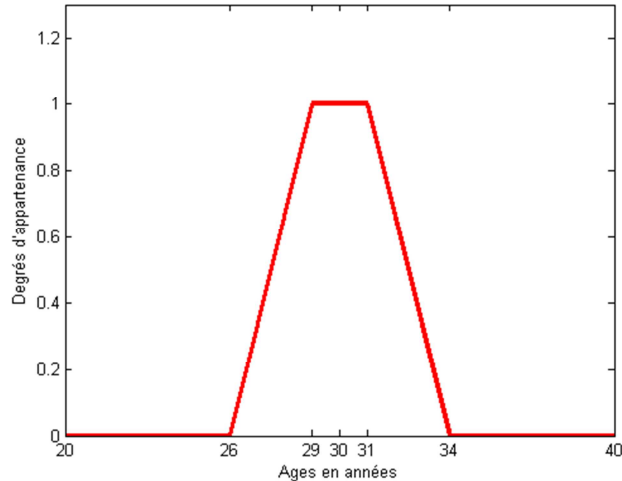


Figure III.1 : Un exemple de sous-ensemble flou représentant l'âge de la trentaine.

On définit usuellement quelques caractéristiques des sous-ensembles flous.

- Le **support** de  $A$ , noté  $\text{supp}(A)$ , est l'ensemble des points de  $X$  pour lesquels la fonction d'appartenance de  $A$  est strictement positive :

$$\text{Supp}(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\} \quad (\text{III.4})$$

- Le **noyau** de  $A$ , noté  $\text{noy}(A)$ , est l'ensemble de tous les éléments de  $X$  appartenant à  $A$  avec un degré 1 :

$$\text{noy}(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) = 1\} \quad (\text{III.5})$$

### III.2.2. Signification et description floues

Dans le langage naturel, de nombreux mots sont utilisés sans précision sur le sens exact comme, par exemple une « feuille verte » dont chacun comprend le sens général mais qu'il devient utile de préciser s'il s'agit de caractériser la couleur de la feuille selon la nature du feuillage. Zadeh a défini formellement les liens entre un ensemble de référence et un ensemble de termes afin de préciser l'utilisation de ceux-ci dans les langages naturels [Zadeh, 1971].

Soit  $L$  un ensemble de termes linguistiques et  $X$  un ensemble de nombres. Soit un couple  $(l, x)$  avec  $l \in L$  et  $x \in X$ . Une relation nette  $R$  entre ces deux ensembles peut être définie à partir d'une fonction caractéristique sur le produit cartésien  $L \times X$ . Une manière de représenter cette relation est d'attribuer la valeur 1 si  $(l, x) \in R$  et 0 sinon. Pour illustrer une telle relation, plaçons-nous dans le cadre d'une notation qui peut s'effectuer soit par une lettre soit par un nombre. Nous supposons que :

- les lettres appartiennent à l'ensemble  $L$  des termes linguistiques  $L = \{A, B, C, D, E, F\}$  ;

- les nombres appartiennent à l'intervalle  $X = [0, 20]$ .

**Exemple**

Un exemple de **relation nette**  $R$ , liant les lettres aux nombres supérieurs ou égaux à 10, est donné dans le tableau suivant.

<b>R</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b>20</b>	1	0	0	0	0	0
<b>19</b>	1	0	0	0	0	0
<b>18</b>	1	0	0	0	0	0
<b>17</b>	1	0	0	0	0	0
<b>16</b>	1	0	0	0	0	0
<b>15</b>	0	1	0	0	0	0
<b>14</b>	0	1	0	0	0	0
<b>13</b>	0	1	0	0	0	0
<b>12</b>	0	1	1	0	0	0
<b>11</b>	0	0	1	0	0	0
<b>10</b>	0	0	1	0	0	0

Tableau III.1 : Exemple de relation nette liant notation par nombre et notation par lettre.

Une **relation floue**  $R$  est caractérisée par sa fonction d'appartenance  $\mu_R$ . Cette fonction attribue le degré d'appartenance de chaque couple  $(l, x)$  de  $L \times X$  à la relation  $R$ .

**Exemple**

Un exemple possible de relation floue  $R$  est représenté dans le tableau suivant.

$\mu_R(l, x)$	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b>20</b>	1	0	0	0	0	0
<b>19</b>	1	0	0	0	0	0
<b>18</b>	1	0	0	0	0	0
<b>17</b>	1	0	0	0	0	0
<b>16</b>	1	0	0	0	0	0
<b>15</b>	0,4	0,6	0	0	0	0
<b>14</b>	0	1	0	0	0	0
<b>13</b>	0	1	0	0	0	0
<b>12</b>	0	1	1	0	0	0
<b>11</b>	0	0,5	0,5	0	0	0
<b>10</b>	0	0	1	0	0	0

Tableau III.2 : Exemple de relation floue liant notation par nombre et notation par lettre.

A partir de ce type de relation, Zadeh a introduit deux mécanismes formalisant le passage des termes vers l'univers de discours et sa réciproque, à savoir :

- la « signification » floue d'un terme est un SEF de l'univers de discours (numérique) ;



- la « description » floue d'un élément de l'univers de discours est un SEF des termes.

La signification et la description sont deux projections de la relation floue  $R$ . Ces projections sont floues, caractérisées par des fonctions d'appartenance.

### III.2.2.1. Signification floue

Selon Zadeh, la signification floue est un mécanisme qui associe chaque terme  $l$  de  $L$  à un SEF (numérique) de  $X$ , grâce à une fonction notée  $M$ , avec  $M : L \rightarrow F(X)$  telle que :

$$\forall l \in L, \forall x \in X, \mu_{M(l)}(x) = \mu_R(l, x) \quad (\text{III.6})$$

#### Exemple

La première colonne du tableau précédent (Tableau III.2), représentée en bleu dans le tableau suivant, est la signification floue du terme  $A$  dans l'ensemble  $X$ .

$\mu_R(l, x)$	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b>20</b>	1	0	0	0	0	0
<b>19</b>	1	0	0	0	0	0
<b>18</b>	1	0	0	0	0	0
<b>17</b>	1	0	0	0	0	0
<b>16</b>	1	0	0	0	0	0
<b>15</b>	0,4	0,6	0	0	0	0
<b>14</b>	0	1	0	0	0	0
<b>13</b>	0	1	0	0	0	0
<b>12</b>	0	1	1	0	0	0
<b>11</b>	0	0,5	0,5	0	0	0
<b>10</b>	0	0	1	0	0	0

Tableau III.3 : La signification floue du terme  $A$ .

Plutôt que de définir la signification floue à partir des couples de la relation, on préfère souvent, dans un souci de simplification, utiliser une expression analytique.

#### Exemple

A partir de la relation  $R$  définie précédemment entre un ensemble  $L$  de termes linguistiques et  $X$  un ensemble de nombres, à la place de la colonne bleue du tableau précédent, on peut préférer définir la signification floue de lettre  $A$  par l'équation (III-7) suivante dont la représentation graphique est donnée à la figure qui suit (Figure III.2).

$$\mu_{M(A)}(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < 14 \\ \frac{x}{2} - 7 & \text{si } 14 \leq x \leq 16 \\ 1 & \text{si } x \geq 16 \end{cases} \quad (\text{III.7})$$

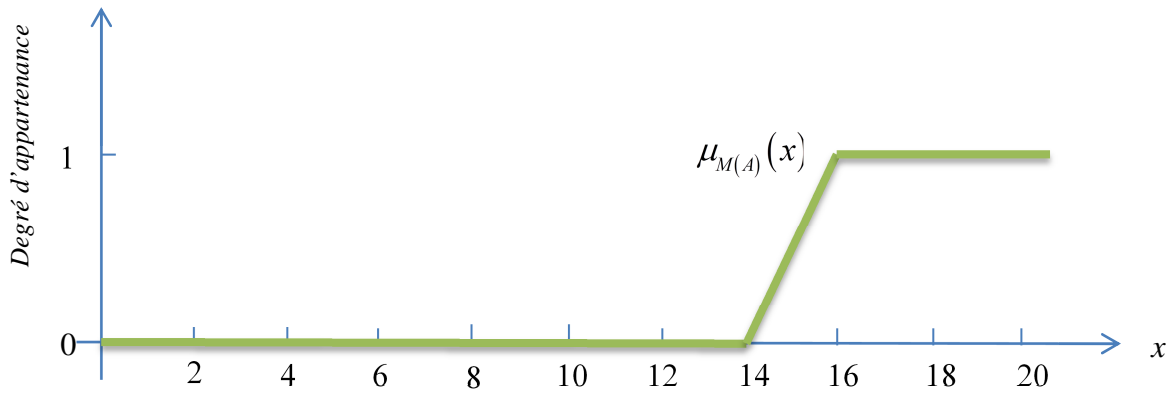


Figure III.2 : Signification floue du terme  $A$ .

Si les significations floues associées à la relation  $R$  vérifient la propriété suivante :

$$\forall x \in X, \sum_{l \in L} \mu_{M(l)}(x) = 1, \quad (\text{III.8})$$

on dit qu'elles forment une « partition » floue. La notion de partition floue a été introduite par Ruspini [Ruspini 1969].

**Exemple**

La figure suivante (Figure III.3) illustre une telle partition dans le cas d'une relation entre les nombres  $[0, 20]$  et les termes de l'ensemble  $L = \{A, B, C, D, E, F\}$ .

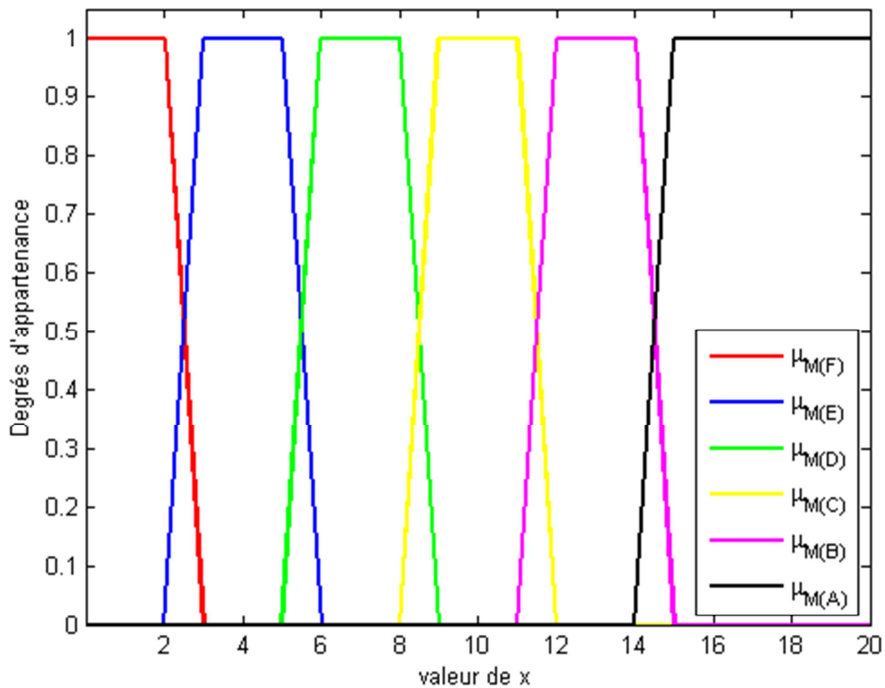


Figure III.3 : Exemple de partition floue.

### III.2.2.2. Description floue

Zadeh a également introduit un mécanisme pour passer de l'ensemble des nombres  $X$  vers l'ensemble des termes  $L$  par la même relation  $R$ . Ce mécanisme associe à chaque élément  $x$  de  $X$  un SEF de  $L$ . Cette association se fait par une fonction, appelée description floue et notée  $D$ , avec  $D: X \rightarrow F(L)$  telle que :

$$\forall l \in L, \forall x \in X, \mu_{D(x)}(l) = \mu_R(l, x) \quad (\text{III.9})$$

#### Exemple

Revenons à l'illustration donnée précédemment (Tableau III.2). La description floue du nombre 15 est donnée dans la ligne colorée en vert dans le tableau ci-après (Tableau III.4).

$\mu_R(l, x)$	A	B	C	D	E	F
20	1	0	0	0	0	0
19	1	0	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0
17	1	0	0	0	0	0
16	1	0	0	0	0	0
15	0,4	0,6	0	0	0	0
14	0	1	0	0	0	0
13	0	1	0	0	0	0
12	0	1	1	0	0	0
11	0	0,5	0,5	0	0	0
10	0	0	1	0	0	0

Tableau III.4: La description floue de  $x=15$ .

En utilisant la notation additive de Zadeh pour les SEF définis sur un ensemble fini, la description du nombre  $x=15$  dans l'ensemble de terme  $L$  sera donnée par :

$$D(15) = 0,4/A + 0,6/B + 0/C + 0/D + 0/E + 0/F$$

Si les significations sont définies à partir d'expressions analytiques, ces dernières sont utilisées pour calculer la description floue.

#### Exemple

La figure suivante (Figure III.4) illustre ce principe, pour la partition floue de la figure précédente (Figure III.3), en considérant :  $x = 14,5$ .

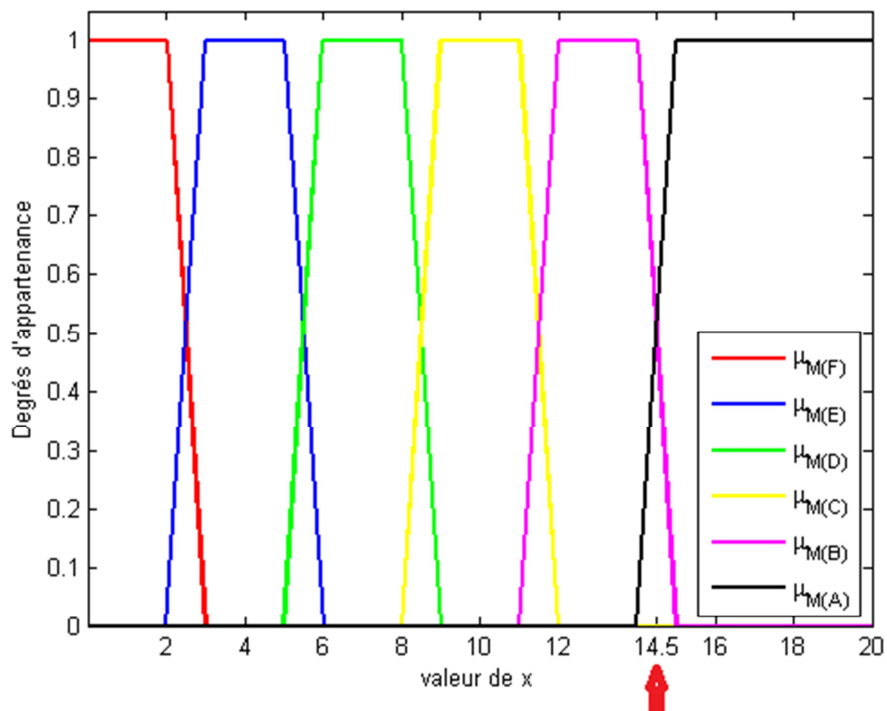


Figure III.4 : La description floue de  $x = 14,5$  .

De cette figure, nous déduisons :

$$\mu_{D(14,5)}(A) = 0,50$$

$$\mu_{D(14,5)}(B) = 0,50$$

$$\mu_{D(14,5)}(C) = \mu_{D(14,5)}(D) = \mu_{D(14,5)}(E) = \mu_{D(14,5)}(F) = 0$$

La description floue de  $x = 14,5$  se présente alors, de manière additive, sous la forme suivante :

$$D(14,5) = 0,50 / A + 0,50 / B + 0 / C + 0 / D + 0 / E + 0 / F$$

Même si l'écriture additive de Zadeh est très souvent utilisée, rien n'interdit de représenter les SEF définis sur des univers de termes par leur fonction d'appartenance.

### Exemple

La figure suivante (Figure III.5) illustre un exemple de fonction d'appartenance, associée à une description floue, et définie sur les termes  $\{A, B, C, D, E, F\}$  de la relation introduite précédemment.

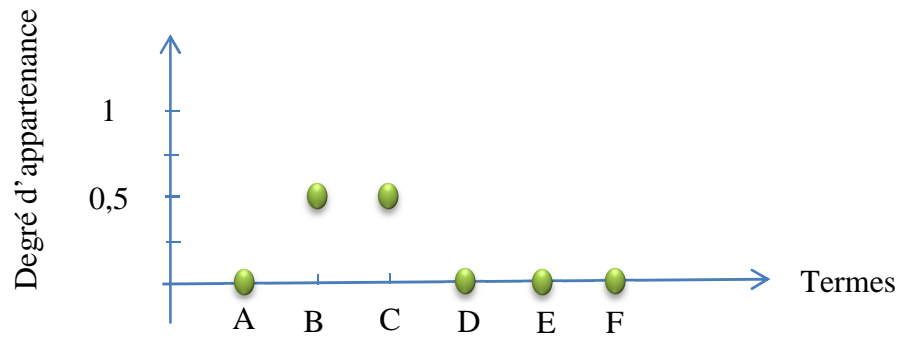


Figure III.5 : Fonction d'appartenance associée à la description floue de  $x = 14,5$ .

Comme la signification floue d'un terme et la description de ce terme sont fondées sur la même relation  $R$ , on a la propriété suivante :

$$\mu_{M(l)}(x) = \mu_{D(x)}(l) = \mu_R(l, x) \quad (\text{III.10})$$

Ainsi, le degré d'appartenance d'un nombre au « sens » flou d'un terme est égal au degré d'appartenance de ce terme à la description floue du nombre considéré.

Maintenant que nous avons passé en revue les notions de la théorie des sous-ensembles flous essentielles à nos développements, nous allons passer à la description du mécanisme de calcul des performances temporelles définies précédemment.

### III.3. Mécanisme de calcul des performances temporelles

Nous avons vu au chapitre II que chacune des performances, respectivement instantanée, tendancielle, et prédictive présentait une manière de caractériser l'atteinte de l'objectif ainsi que son évolution dans le temps (cf. § II.1). Nous développons dans les paragraphes suivants, conformément à l'argumentaire présenté dans l'introduction de ce chapitre III (cf. § III.1), une approche linguistique pour le calcul et la représentation de ces performances.

#### III.3.1. La performance instantanée

Rappelons que l'expression de la performance instantanée a été définie à un jalon  $t_i(v)$  par le résultat de la comparaison, à ce jalon, d'une mesure reflet de l'état atteint d'un objectif avec la valeur de cet objectif (cf. § II.3.1). L'expression de la performance instantanée est donnée alors par :

$$p_i^{inst}(v) = f_{inst}(o_i(v), m_i(v)) \quad (\text{III.11})$$

#### Exemple

Considérons l'exemple relatif à la capacité de production, présenté au chapitre précédent (cf. § II.2.3). L'expression de la performance instantanée a été calculée en utilisant le ratio comme fonction de comparaison. Avec ces hypothèses, au 7<sup>ème</sup> jalon, la valeur de l'expression de la performance instantanée sera :

$$p_7^{inst}(capacité) = 0,956$$

Afin d'illustrer l'approche floue, supposons que la capacité de production en pièces par semaine soit moins importante que son ordre de grandeur, par exemple un objectif de production d'environ 30000 pièces par semaine, et choisissons de la représenter par une « information linguistique floue », *i.e.* un SEF défini sur un ensemble de termes linguistiques. Ainsi les valeurs de l'objectif et de la mesure de son atteinte seront définies sur un ensemble de lettres comme, par exemple,  $L = \{P, M, G, TG\}$  avec respectivement  $P$  pour *Petit*,  $M$  pour *Moyen*,  $G$  pour *Grand*,  $TG$  pour *Très Grand*.

Dans notre exemple de production, l'objectif est de passer d'une capacité de 27000 pièces par semaine à une capacité de 30000 pièces par semaine en 12 semaines (cf. § II.2.3). La partition floue utilisée pour décrire les significations floues de chaque terme est représentée à la figure suivante (Figure III.6).

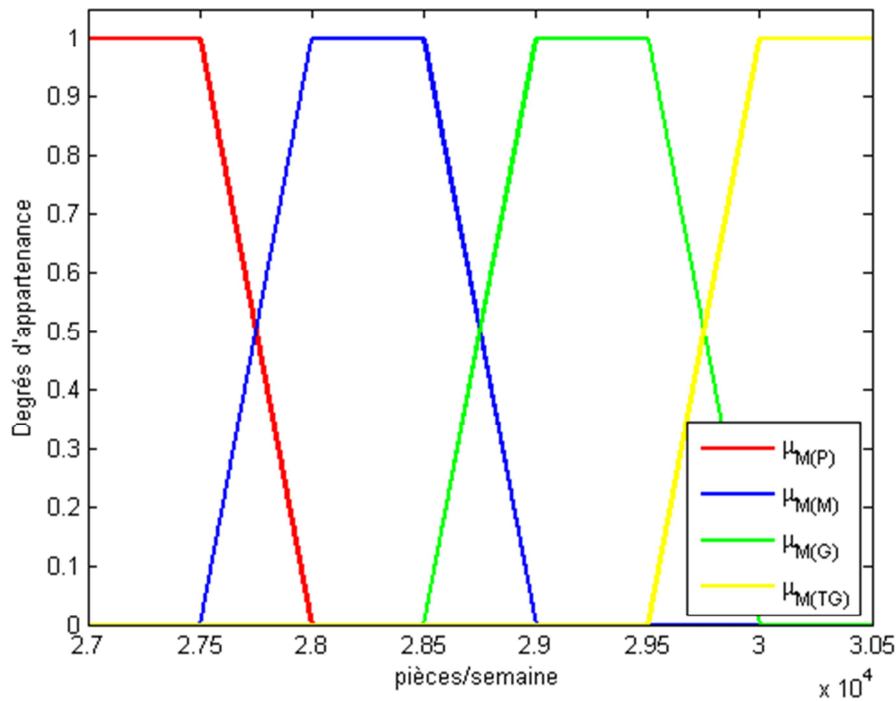


Figure III.6 : Partition floue des termes utilisés pour caractériser l'exemple d'objectif et de mesure.

Consid rions les données sur les valeurs de l'objectif et de la mesure résumées dans les tableaux II.1 et II.2 (cf. § II.2.3). La valeur numérique de l'objectif ainsi que celle de la mesure au 7<sup> me</sup> jalon sont :

$$o_7(capacité) = 28750 \text{ pièces/semaine} \text{ et } m_7(capacité) = 27500 \text{ pièces/semaine}$$

La description floue de l'objectif et de la mesure sont alors :

$$D(o_7(capacité)) = 0/P + 0,45/M + 0,55/G + 0/TG$$

$$D(m_7(\text{capacité})) = 0,87 / P + 0,13 / M + 0 / G + 0 / TG$$

A partir de cette représentation linguistique de l'objectif et de la mesure, nous allons maintenant construire une expression, elle-même linguistique, de la performance instantanée. Par exemple, nous allons la définir sur l'ensemble des termes  $L' = \{M, B, TB, E\}$  où les lettres signifient respectivement *Mauvaise*, *Bonne*, *Très Bonne* et *Excellente*. Cette exploitation fait écho à des travaux menés précédemment dans l'équipe, qui concernaient une distinction entre la dite « mesure de performance » et la dite «  valuation de performance » [Berrah 2002].

La comparaison est formalisée dans le tableau suivant (Tableau III.5). L'idée est que si la mesure est « linguistiquement supérieure ou égale » à l'objectif alors la performance est excellente. Par « linguistiquement supérieure ou égale », nous entendons une comparaison fondée sur l'ordre des termes. Ainsi, *TB* est linguistiquement supérieur à *B*.

		$m_i(v)$			
		<b>P</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>TG</b>
$o_i(v)$	<b>P</b>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
	<b>M</b>	<i>TB</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
	<b>G</b>	<i>B</i>	<i>TB</i>	<i>E</i>	<i>E</i>
	<b>TG</b>	<i>M</i>	<i>B</i>	<i>TB</i>	<i>E</i>

Tableau III.5 : Comparaison linguistique de l'objectif avec la mesure.

Le calcul de l'expression de la performance instantanée s'effectue grâce à la règle compositionnelle d'inférence de Zadeh [Zadeh 1973] qui peut s'exprimer comme suit, dans le cas général d'une variable  $v$  :

$$\forall C_l \in L, \mu_{p_i^{inst}(v)}(C_l) = \perp_{(A_i, B_j) \in L \times L} \quad (III.12)$$

$$T(\mu_{D(o_i(v))}(A_i), \mu_{D(m_i(v))}(B_j), \mu_{\Gamma}(A_i, B_j, C_l))$$

Dans cette équation,  $\mu_{\Gamma}(A_i, B_j, C_l)$  est une information fournie par le jeu de règles. Par exemple, dans le tableau précédent (Tableau III.5), la case en vert représente la règle suivante :

Si l'objectif est *Grand* et la mesure est *Moyenne* alors la performance est *Très Bonne*.

Formellement, pour cette case, on a  $\mu_{\Gamma}(G, M, TB) = 1$ . Les notations  $\perp$  et  $T$  correspondent, dans le cas général, respectivement à des opérateurs de disjonction et de conjonction flous [Gupta et Qi 1991]. Nous utilisons dans nos travaux respectivement la somme bornée et le produit, soit :

$$\forall x, y \in [0, 1], \perp(x, y) = \min(x + y, 1) \text{ et } T(x, y) = x \times y \quad (III.13)$$

Ces deux opérateurs ont l'intérêt de conserver la propriété de Ruspini (cf. § Equation (III-8)).

En effectuant ce calcul avec les valeurs précédentes pour la description floue de l'objectif et de la mesure, l'expression de la performance instantanée au 7<sup>ème</sup> jalon devient celle donnée ci-dessous, ce qui correspond assez bien à l'interprétation qualitative que l'on pouvait en faire.

$$p_7^{inst}(\text{capacité}) = 0,06/E + 0,46/TB + 0,48/B + 0/M$$

Notons qu'une approche légèrement différente permettrait d'obtenir également une expression qualitative de la performance instantanée. En effet, il est tout à fait possible de partir du calcul numérique de cette performance et d'en chercher la description floue à partir d'une partition floue sur l'ensemble des performances (cf. § III.2.2.1). La figure suivante (Figure III.7) illustre une telle partition.

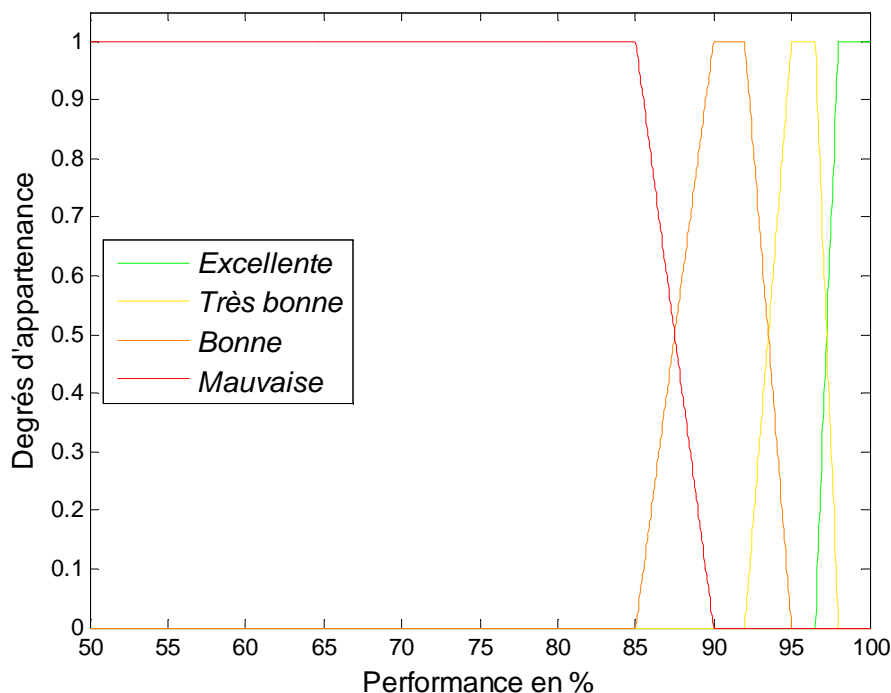


Figure III.7 : Partition floue sur l'univers des performances.

Selon cette partition floue, la description de la performance instantanée, dont la valeur au 7<sup>ème</sup> jalon, est  $p_7^{inst}(\text{capacité}) = 0,956$ , vaut :

$$D(p_7^{inst}(\text{capacité})) = 0/E + 1/TB + 0/B + 0/M$$

### III.3.2. La performance tendancielle

La performance tendancielle renseigne sur l'évolution locale de l'atteinte de l'objectif (cf § II.4). La performance tendancielle exprime, en quelque sorte, un degré de correspondance entre ce qui a été planifié et ce qui est réel. Méthodologiquement, l'interprétation de cette performance se suffit à elle-même. Elle ne concerne plus l'atteinte de l'objectif à proprement parler mais la manière dont cette atteinte est réalisée.



Rappelons que la tendance est une information qualitative sur la variation d'une grandeur (cf. § II.4). Elle permet, en premier lieu, de caractériser cette variation à l'aide de termes comme « *Augmente* », « *Diminue* », « *est Stable* ». Cette notion est classique en mathématiques lorsque l'on étudie les variations d'une fonction et que l'on représente, dans le tableau des variations, le signe de la dérivée à l'aide des termes « +, -, 0 » caractérisant respectivement la « *croissance* », la « *décroissance* » et la « *stabilité* ».

Rappelons aussi que notre définition de la performance tendancielle est donnée comme le résultat de la comparaison de la tendance de la mesure avec la tendance de l'objectif (cf. § Définition II.8). Dans ce chapitre, nous considérerons que la tendance est la description floue de la variation, soit :

$$Tr u_i(v) = D(\Delta(u_i(v))) = D(u_i(v) - u_{i-k}(v)) \quad (\text{III.14})$$

L'expression de la performance tendancielle est donc la comparaison de la tendance de l'objectif, soit  $Tr o_i(v)$ , avec celle de la mesure, soit  $Tr m_i(v)$ .

### Exemple

Afin de mieux cerner la notion de performance tendancielle, nous allons illustrer ces concepts sur un exemple d'une partition avec 7 termes linguistiques pour une variation entre -2500 et +2500. Les termes linguistiques sont pris dans l'ensemble  $L'' = \{NG, NM, NP, Z, PP, PM, PG\}$  avec *NG* pour *Négatif Grand*, *NM* pour *Négatif Moyen*, *NP* pour *Négatif Petit*, *Z* pour *Zéro*, *PP* pour *Positif Petit*, *PM* pour *Positif Moyen* et *PG* pour *Positif Grand*. La figure suivante illustre cette partition (Figure III.8).

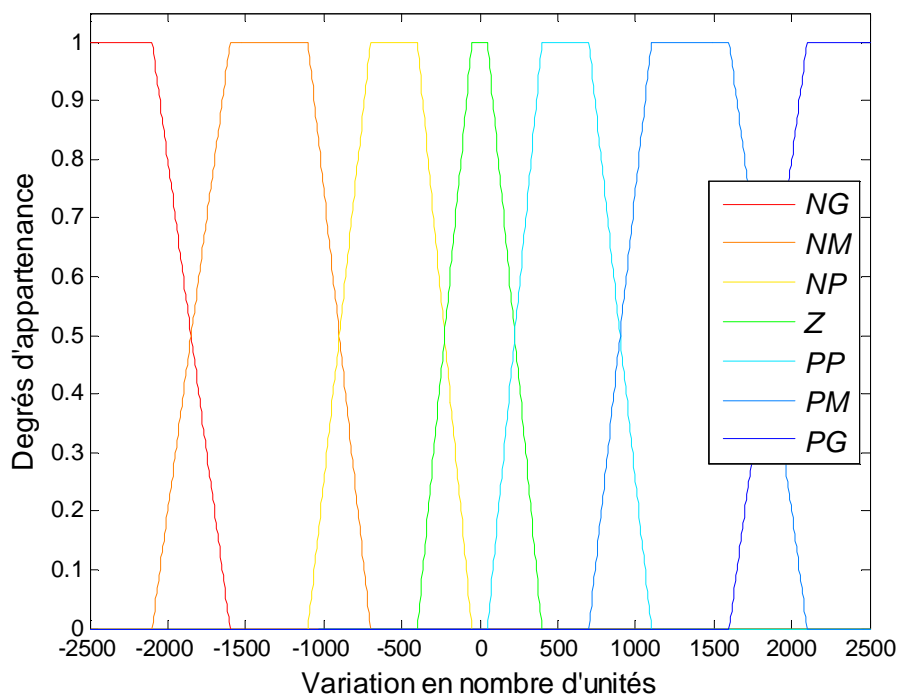


Figure III.8 : La partition floue des variations d'une grandeur.

Parmi les différentes manières d'effectuer la comparaison de l'objectif tendanciel avec la mesure tendancielle, nous avons privilégié à nouveau une approche linguistique. Nous proposons ainsi de qualifier la performance tendancielle avec les termes considérés dans le paragraphe précédent, soit l'ensemble  $L'=\{M,B,TB,E\}$ , où les termes de l'ensemble sont respectivement associés à *Mauvaise*, *Bonne*, *Très Bonne* et *Excellente*.

En considérant encore une fois l'exemple de la capacité de production, nous allons supposer que la variation de  $o_i(v)$  et  $m_i(v)$  soient respectivement :

$$\Delta o_7(\text{capacité}) = 250 \text{ pièces} \text{ et } \Delta m_7(\text{capacité}) = 1200 \text{ pièces}$$

Les tendances de  $o_7(\text{capacité})$  et  $m_7(\text{capacité})$  sont respectivement :

$$\begin{aligned} Tr o_7(\text{capacité}) &= 0/NG + 0/NM + 0/NP + 0,6/Z + 0,4/PP + 0/PM + 0/PG \\ Tr m_7(\text{capacité}) &= 0/NG + 0/NM + 0/NG + 0/Z + 0/PP + 1/PM + 0/PG \end{aligned} \quad (\text{III.15})$$

Nous utilisons à nouveau un jeu de règles pour comparer la tendance de l'objectif et la tendance de la mesure. Une première idée consiste à partir de la diagonale en considérant que la performance tendancielle est *Excellente* si les deux tendances sont identiques (cf. § II.6). Cette idée est représentée par le tableau suivant.

		$Tr o_i(v)$						
		<b>NG</b>	<b>NM</b>	<b>NP</b>	<b>Z</b>	<b>PP</b>	<b>PM</b>	<b>PG</b>
$Tr m_i(v)$	<b>PG</b>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>B</i>	<i>TB</i>	<i>E</i>
	<b>PM</b>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>B</i>	<i>TB</i>	<i>E</i>	<i>TB</i>
	<b>PP</b>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>B</i>	<i>TB</i>	<i>E</i>	<i>TB</i>	<i>B</i>
	<b>Z</b>	<i>M</i>	<i>B</i>	<i>TB</i>	<i>E</i>	<i>TB</i>	<i>B</i>	<i>M</i>
	<b>NP</b>	<i>B</i>	<i>TB</i>	<i>E</i>	<i>TB</i>	<i>B</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
	<b>NM</b>	<i>TB</i>	<i>E</i>	<i>TB</i>	<i>B</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
	<b>NG</b>	<i>E</i>	<i>TB</i>	<i>B</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>

Tableau III.6 : Jeu de règles pour la comparaison des tendances de l'objectif et de la mesure.

Toutefois, il se peut dans certains cas que la symétrie de la table par rapport à la diagonale ne reflète pas complètement la réalité. En effet, nous pouvons constater que les deux cases grisées du tableau conduisent à une performance tendancielle identique. Pourtant, toutes choses égales par ailleurs, le couple  $(PP,Z)$  correspond à une mesure qui s'éloigne de l'objectif tandis que le couple  $(PP,PM)$  correspond au cas où la mesure s'en rapproche, comme l'illustre la figure suivante.

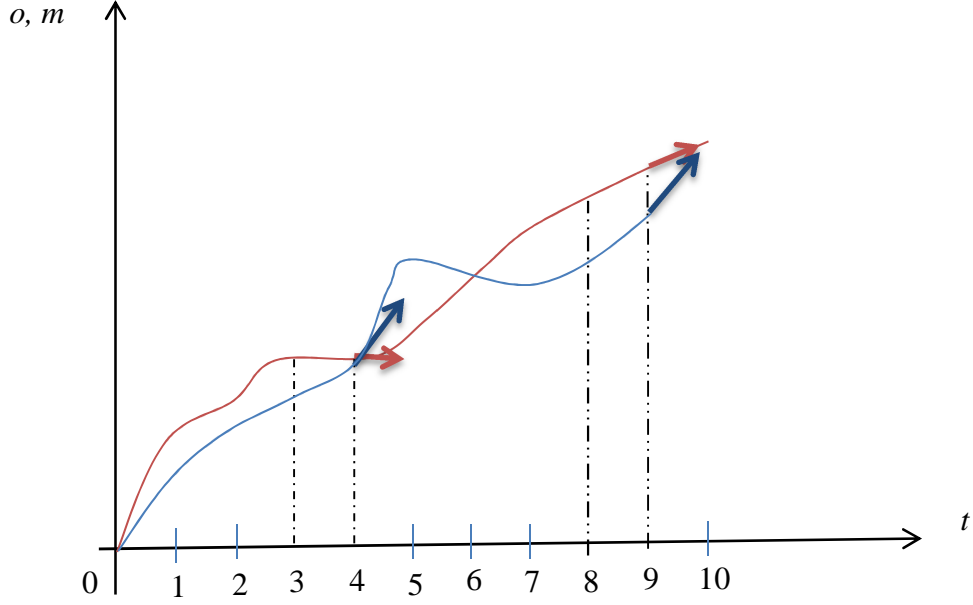


Figure III.9 : Exemples d'évolutions de l'objectif et de la mesure.

Afin de prendre en compte cette divergence, nous avons proposé d'étendre l'ensemble des termes  $L'$  en introduisant des nuances, notées « + » et « - », pour représenter respectivement le rapprochement ou l'éloignement de l'objectif. Le jeu de règles final est donné au tableau suivant (Tableau III.7), où l'on utilise l'ensemble abrégé  $L'' = \{M^-, B^-, TB^-, E, TB^+, B^+, M^+\}$ .

		$Tr\ o_i(v)$						
		<b>NG</b>	<b>NM</b>	<b>NP</b>	<b>Z</b>	<b>PP</b>	<b>PM</b>	<b>PG</b>
$Tr\ m_i(v)$	<b>PG</b>	$M^-$	$M^-$	$M^-$	$M^-$	$B^-$	$TB^-$	$E$
	<b>PM</b>	$M^-$	$M^-$	$M^-$	$B^-$	$TB^-$	$E$	$TB^+$
	<b>PP</b>	$M^-$	$M^-$	$B^-$	$TB^-$	$E$	$TB^+$	$B^+$
	<b>Z</b>	$M^-$	$B^-$	$TB^-$	$E$	$TB^+$	$B^+$	$M^+$
	<b>NP</b>	$B^-$	$TB^-$	$E$	$TB^+$	$B^+$	$M^+$	$M^+$
	<b>NM</b>	$TB^-$	$E$	$TB^+$	$B^+$	$M^+$	$M^+$	$M^+$
	<b>NG</b>	$E$	$TB^+$	$B^+$	$M^+$	$M^+$	$M^+$	$M^+$

Tableau III.7 : Jeu de règles ajusté pour la comparaison des tendances de l'objectif et de la mesure.

Le calcul de la performance tendancielle s'effectue grâce à un jeu de règles selon le même principe que le calcul de la performance instantanée. Nous exprimons ce calcul comme suit, dans le cas général d'une variable  $v$  :

$$\forall C_l \in L''', \mu_{p_i^{tend}(v)}(C_l) = \perp_{(A_i, B_j) \in L'' \times L''} \quad (III.16)$$

$$T(\mu_{Tr\ o_i(v)}(A_i), \mu_{Tr\ m_i(v)}(B_j), \mu_{\Gamma}(A_i, B_j, C_l))$$

En utilisant ce jeu de règles pour les tendances données aux équations (III.15), l'expression de la performance tendancielle au 7<sup>ème</sup> jalon devient :

$$p_7^{tend}(\text{capacité}) = 0,07 / E + 0 / TB^+ + 0,43 / TB^- + 0 / B^+ + 0,50 / B^- + 0 / M^+ + 0 / M^-$$

La figure suivante illustre cette situation.

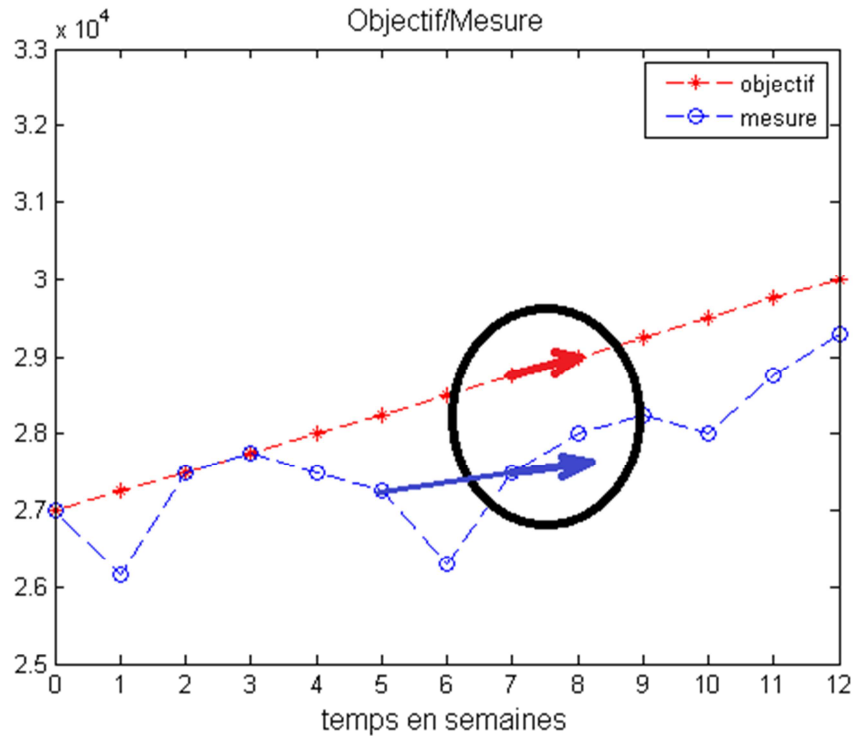


Figure III.10 : Illustration de la performance tendancielle au 7<sup> me</sup> jalon pour l'objectif de capacité de production.

### III.3.3. La performance prédictive

Rappelons que nous avons défini l'expression de la performance prédictive, à un jalon donné pour un jalon futur, par le résultat de la comparaison, au jalon  $t_i(v)$ , de la valeur de l'objectif au jalon futur  $t_j(v)$  avec la valeur de la mesure prédite au jalon  $t_i(v)$  pour le jalon futur  $t_j(v)$  (cf. § II.5.3). L'expression de la performance prédictive est donnée par :

$$p_{i,j}^{pred}(v) = f_{pred}(o_j(v), \hat{m}_{i,j}(v)) \quad (\text{III.17})$$

Rappelons que pour un objectif défini sur l'intervalle  $[0, n]$    un jalon  $t_i(v)$  donné  $i < n$ , la prédiction de la mesure pour un jalon futur  $t_j(v)$ , avec  $i < j \leq n$  est calculée par la formule suivante (cf. §II.5.1) :

$$\hat{m}_{i,j}(v) = m_i(v) + \frac{\Delta(m_i(v)) \times (t_j(v) - t_i(v))}{\Delta(t_i(v))} \quad (\text{III.18})$$

Pour le jalon final  $t_j(v) = T_f(v)$  nous avons l'équation suivante :

$$\hat{m}_i(v) = m_i(v) + \frac{\Delta(m_i(v)) \times (T_f(v) - t_i(v))}{\Delta(t_i(v))} \quad (\text{III.19})$$

### Exemple

Revenons à notre exemple de capacité de production (cf. § II.2.3). En calculant numériquement la mesure prédite au 7<sup>ème</sup> jalon,  $t_i(v) = 7$  semaines, pour le jalon final  $T_f(v) = 12$  semaines et pour un décalage  $k = 2$ , la valeur de la mesure prédictive est :

$$\hat{m}_i(v) = 28125 \text{ pièces / semaines}$$

En utilisant le *ratio* comme fonction de comparaison, la valeur de la performance prédictive devient :

$$p_{7,12}^{pred}(\text{capacité}) = 0,94$$

De la même manière que nous avons calculé la performance instantanée, une performance prédictive linguistique peut être obtenue.

Rappelons que partant d'un état initial de 27000 pièces par semaine, notre objectif était d'augmenter la capacité de production de 3000 pièces / semaine en 12 semaines. La valeur de l'objectif intermédiaire au 10<sup>ème</sup> jalon est  $o_{10}(\text{capacité}) = 29500$  pièces / semaine. En utilisant la partition floue décrite dans la figure suivante (Figure III.11) et obtenue dans la même logique que la figure précédente (Figure III.6), la description de cet objectif est :

$$D(o_{10}(\text{capacité})) = 0/P + 0/M + 0,66/G + 0,34/TG$$

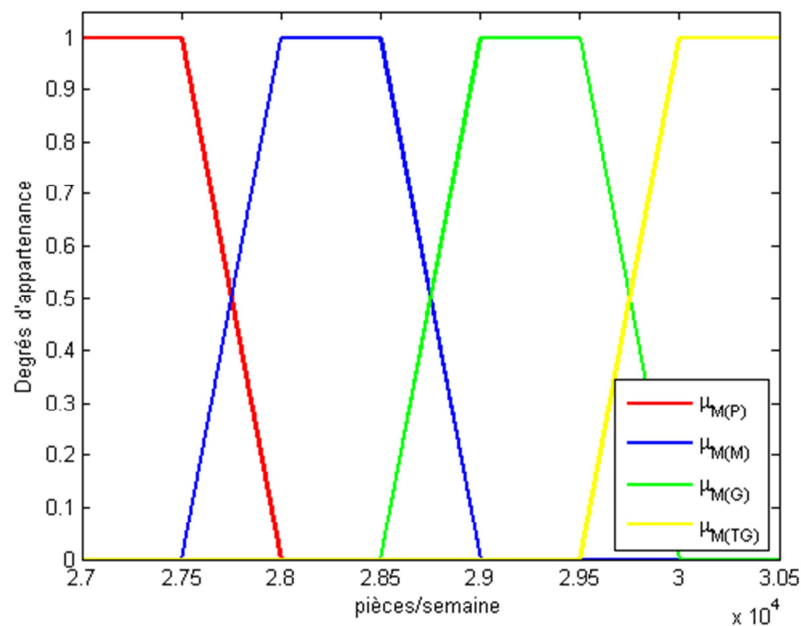


Figure III.11 : Partition floue considérée pour les valeurs de l'objectif et de la mesure.

Avec un décalage de  $k = 2$  la mesure prédite 7<sup>ème</sup> jalon pour le 10<sup>ème</sup> jalon est :

$$\hat{m}_{7,10}(v) = 27500 + \frac{(27500 - 27250) \times (10 - 7)}{2} = 27875 \text{ pièces/semaine}$$

La description floue de cette mesure est :

$$D(\hat{m}_{7,10}(\text{capacité})) = 0,44/P + 0,56/M + 0/G + 0/TG$$

Finalement, l'expression linguistique de la performance prédictive, calculée à partir du jeu de règles du tableau précédent (Tableau III.5), est :

$$p_{7,10}^{\text{pred}}(\text{capacité}) = 0,15/M + 0,48/B + 0,37/TB + 0/E$$

### III.3.4. Calcul de la pertinence de la performance prédictive

Nous avons introduit dans le chapitre précédent la notion de pertinence, que nous avons associée à la performance prédictive. Nous avons alors retenu que la pertinence était liée à la distance entre le jalon considéré  $t_i(v)$  et un jalon futur  $t_j(v)$ , voire de l'instant final  $T_f(v)$  (cf. § II.5.6). Nous avons considéré que la pertinence était forte si les deux jalons étaient proches *i.e.* quand la distance entre eux était petite. Elle est modérée, voire faible si l'éloignement entre les deux jalons est grand.

Nous allons exprimer la pertinence qualitativement en considérant que cette expression est obtenue en calculant la description floue de cette pertinence, à partir d'une partition floue d'un ensemble de termes et selon la distance entre ces deux jalons.

#### *Exemple*

A titre d'exemple supposons la situation suivante :

- la pertinence est *forte* si la distance entre les deux jalons est inférieure ou égale à une semaine ;
- *modérée* si la distance est supérieure à une semaine et inférieure ou égale à trois semaines ;
- la pertinence est *faible* si la distance strictement supérieure à trois semaines.

La figure suivante (Figure III.12) donne, pour ce cas, la signification floue de l'ensemble des termes

$$L''' = \{Faible, Modérée, Forte\}.$$

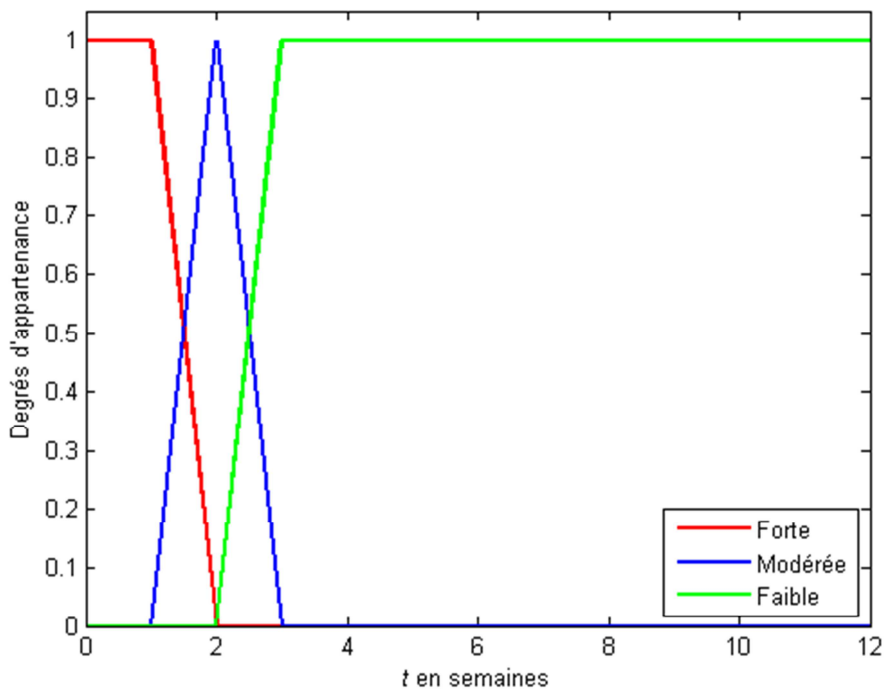


Figure III.12 : Partition floue de la pertinence.

Ainsi, pour la valeur numérique de la pertinence au 7<sup>ème</sup> jalon, et une mesure prédictive au jalon final à la 12<sup>ème</sup> semaine la distance est  $t=5$  semaines. Selon la figure précédente (Figure III.12), nous obtenons :

$$pert_{7,12}(capacité) = 1 / Faible + 0 / Modérée + 0 / Forte$$

### III.4. Agrégation des performances temporelles

Nous sommes convaincus que, de façon générale, l'ajout d'informations complémentaires sur l'atteinte de l'objectif est intéressant mais peut aussi rendre les tâches d'analyse et de décision plus complexes, pour les décideurs. Une information agrégée permet alors une vision à la fois synthétique et globale de la situation. C'est ce que nous proposons dans les paragraphes suivants où l'agrégation est effectuée à l'aide de jeux de règles, conformément à la méthodologie développée en fin de chapitre II (cf. § II.6).

#### III.4.1. Agrégation des performances instantanée et tendancielle

La performance instantanée est relative à l'atteinte de l'objectif à un instant donné. Elle est complétée par la performance tendancielle qui prend en compte l'évolution de l'objectif et la mesure de son atteinte. L'idée que nous développons dans ce paragraphe est de construire une information unique, à un jalon donné, agrégeant en quelque sorte l'atteinte de l'objectif et la manière dont cet objectif est atteint. Pour cela, nous allons construire linguistiquement cette information plus globale, que nous avons appelée  $Score_i(v)$ , associée au jalon  $t_i(v)$ . Pour ce faire, nous nous proposons d'avoir recours à un mécanisme à base de règles, sur la base

toujours de la règle compositionnelle d'inférence de Zadeh. Le résultat de l'agrégation sera exprimé sur l'ensemble des termes suivant :

$$L = \{Mauvaise, Bonne, Très Bonne, Excellente\}$$

Le jeu de règles, représenté dans le tableau suivant (Tableau III.8) est construit en considérant que  $Score_i(v)$  est « linguistiquement supérieur ou égal » à la performance instantanée si la performance tendancielle est excellente ou en croissance. Une sorte de « prime » est donnée dans le cas où la performance tendancielle est moyenne mais en croissance (M+).

**Exemple**

Pour la demi-partie droite du tableau suivant (Tableau III.8), pour :

$$p_i^{inst}(v) = TB, p_i^{tend}(v) = M^+$$

nous avons :

$$Score_i(v) = E$$

Pour la demi-partie gauche, l'information  $Score_i(v)$  est proche de la performance instantanée, pénalisée de manière décroissante, par la performance tendancielle. Ainsi pour :

$$p_i^{inst}(v) = E, p_i^{tend}(v) = TB^-$$

nous avons :

$$Score_i(v) = TB$$

		$P_i^{tend}(v)$						
		$M$	$B^-$	$TB^-$	$E$	$TB^+$	$B^+$	$M^+$
$P_i^{inst}(v)$	$E$	$M$	$B$	$TB$	$E$	$E$	$E$	$E$
	$TB$	$M$	$M$	$B$	$TB$	$TB$	$TB$	$E$
	$B$	$M$	$M$	$M$	$B$	$B$	$B$	$TB$
	$M$	$M$	$M$	$M$	$M$	$M$	$M$	$B$

Tableau III.8 : Jeu de règles pour l'agrégation des performances instantanée et tendancielle.

Nous illustrons la situation de la performance instantanée et tendancielle au 7<sup>ème</sup> jalon par la figure suivante (Figure III.13).



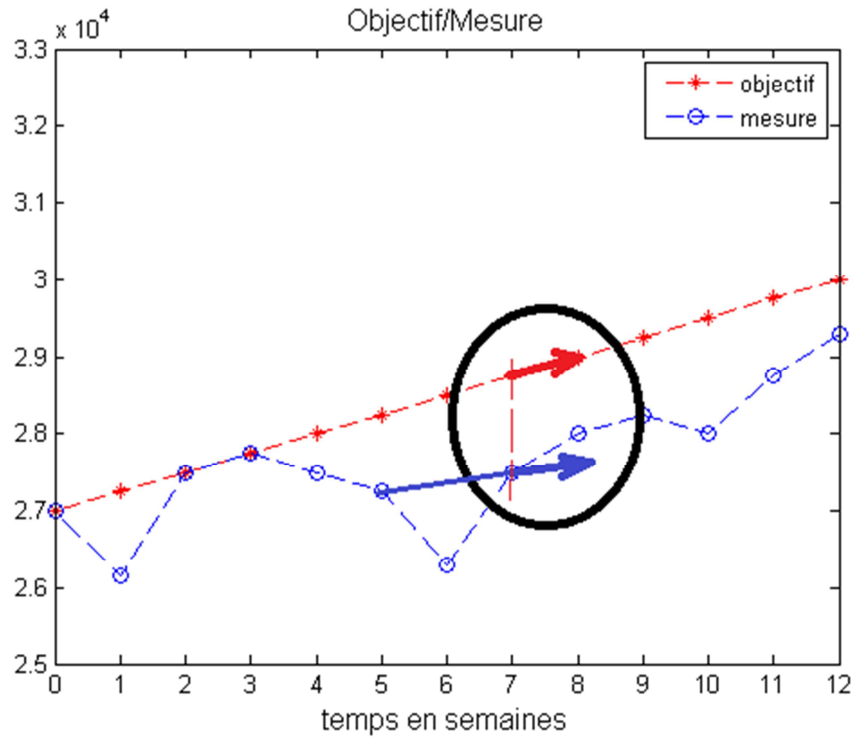


Figure III.13 : La performance instantanée et la performance tendancielle au 7<sup>ème</sup> jalon.

Le résultat des calculs de ces performances est :

$$p_7^{inst}(capacité) = 0/E + 0,35/TB + 0,65/B + 0/M$$

$$p_7^{tend}(capacité) = 0,07/E + 0/TB^+ + 0,43/TB^- + 0/B^+ + 0,50/B^- + 0/M^+ + 0/M^-$$

Les cases en vert dans le tableau précédent (Tableau III.8) représentent les règles qui sont activées. Le calcul donne :

$$Score_7(capacité) = 0/E + 0,02/TB + 0,2/B + 0,78/M$$

### III.4.2. Agrégation de la performance prédictive et de la pertinence

Au vu de la nature de la pertinence, nous choisissons de la représenter qualitativement sur l'ensemble :

$$L''' = \{Faible, Modérée, Forte\}.$$

Afin de prendre en compte cette information dans le mécanisme de correction de la performance prédictive, nous proposons d'agréger qualitativement la performance prédictive et la pertinence, en vue d'obtenir ladite performance prédictive corrigée qui sera exprimée sur le même ensemble de termes que la performance prédictive, c'est-à-dire  $L' = \{M, B, TB, E\}$ . L'idée générale est de « diminuer linguistiquement » la performance prédictive en fonction de

la « diminution linguistique » de la pertinence. La notion de « diminution linguistique » s'entend au sens de l'ordre sur les ensembles de termes.

**Exemple**

Le jeu de règles utilisé est représenté par le tableau suivant.

		$pert_{i,j}(v)$		
		<i>Fort</i>	<i>Modérée</i>	<i>Faible</i>
$p_{i,j}^{pred}(v)$	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>TB</i>
	<i>TB</i>	<i>TB</i>	<i>TB</i>	<i>B</i>
	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>

Tableau III.9 : Un jeu de règles pour l'agrégation de la performance prédictive et de la pertinence.

En considérant l'exemple de la capacité, nous calculons la performance prédictive corrigée, selon la pertinence au 7<sup>ème</sup> jalon. Rappelons qu'à ce jalon l'expression de la performance prédictive et la pertinence sont :

$$p_{7,12}^{pred}(capacité) = 0/M + 0,38/B + 0,62/TB + 0/E$$

$$pert_{7,12}(capacité) = 1/Faible + 0/Modérée + 0/Forte$$

Par ce calcul, l'expression de la performance prédictive corrigée au 7<sup>ème</sup> jalon pour le jalon final  $p_7^{predCor}(v)$  est :

$$p_7^{predCor}(capacité) = 0/E + 0/TB + 0,62/B + 0,38/M$$

### III.4.3. Agrégation des performances instantanée et prédictive corrigée

Afin de fournir une information plus synthétique, la performance instantanée et la performance prédictive corrigée peuvent être agrégées. Par cette opération, le couple  $(p_i^{inst}(v), p_i^{predCor}(v))$  qui renseigne sur le degré actuel et sur le degré futur d'atteinte de l'objectif, se trouve combiné en une information unique, que nous avons appelée  $Score_{i,j}(v)$  et qui est associée aux jalons  $t_i(v)$  et  $t_j(v)$ .

Dans un souci d'homogénéité, nous exprimons à nouveau le résultat sur l'ensemble  $L' = \{M, B, TB, E\}$ .

L'agrégation est réalisée à l'aide du jeu de règles décrit dans le tableau suivant (Tableau III.10). L'idée générale de ce jeu de règles est de privilégier l'information fournie

par la performance instantanée en conservant sa valeur si la performance prédictive corrigée est *Très bonne*. Dans le cas où cette dernière est *Excellente*, on « augmente linguistiquement » la valeur et dans les autres cas, on « diminue linguistiquement » la performance instantanée en fonction de la « diminution linguistique » de la performance prédictive corrigée.

		$P_{i,j}^{predCor}(v)$			
		<i>E</i>	<i>TB</i>	<i>B</i>	<i>M</i>
$P_i^{inst}(v)$	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>TB</i>	<i>B</i>
	<i>TB</i>	<i>E</i>	<i>TB</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
	<i>B</i>	<i>TB</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>M</i>
	<i>M</i>	<i>B</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>

Tableau III.10 : Jeu de règles pour l'agrégation des performances instantanée et prédictive corrigée.

Rappelons qu'au 7<sup>ème</sup> jalon les expressions de la performance instantanée et de la performance prédictive corrigée sont :

$$p_7^{inst}(capacité) = 0 / E + 0,35 / TB + 0,65 / B + 0 / M$$

$$p_7^{predCor}(capacité) = 0 / E + 0 / TB + 0,62 / B + 0,38 / M$$

On obtient alors :

$$Score_{7,12}(capacité) = 0 / E + 0 / TB + 0,753 / B + 0,247 / M$$

#### III.4.4. Agrégation des informations $Score_i(v)$ et $Score_{i,j}(v)$

Pour obtenir une information synthétique unique, relative à l'atteinte de l'objectif, il nous reste à agréger  $Score_i(v)$  qui renseigne à la fois sur la performance instantanée et la performance tendancielle, avec l'information  $Score_{i,j}(v)$  qui renseigne à la fois à la performance instantanée et à la performance prédictive corrigée. Nous notons cette information  $Score_{i,j}^{syn}(v)$ . Elle est associée aux jalons  $i, j$ .

Le jeu de règles représenté dans le tableau suivant (Tableau III.11) considère que l'information à privilégier est  $Score_i(v)$  car elle repose sur la réalité observée (valeur instantanée et tendance). A cet égard,  $Score_i(v)$  est conservé si  $Score_{i,j}(v)$  est *Excellent* ou *Très bon*. Dans les autres cas  $Score_i(v)$  est « linguistiquement diminué » selon  $Score_{i,j}(v)$ .

		$Score_{i,j}(v)$			
		<i>E</i>	<i>TB</i>	<i>B</i>	<i>M</i>
$Score_i(v)$	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>E</i>	<i>TB</i>	<i>B</i>
	<i>TB</i>	<i>TB</i>	<i>TB</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>M</i>
	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>

Tableau III.11 : Un jeu de règles pour agréger les informations  $Score_i(v)$  et  $Score_{i,j}(v)$ .

L'information synthétique  $Score_{7,12}^{syn}(v)$  au 7<sup>ème</sup> jalon est :

$$Score_{7,12}^{syn}(capacité) = 0/E + 0/TB + 0,17/B + 0,83/M$$

Ce résultat est à comparer avec la description floue initiale de la performance instantanée donnée précédemment soit :

$$p_7^{inst}(capacité) = 0/E + 0,35/TB + 0,65/B + 0/M$$

L'effet de la performance tendancielle entre *Très Bonne* et *Bonne* mais en décroissance est mis en évidence par un décalage significatif de la performance vers *Mauvaise*. Ce résultat est une sorte d'alerte quant à la réalisation de l'objectif.

### III.5. Conclusion

Les performances instantanées, prédictives et tendancielle ont des sémantiques différentes mais complémentaires au regard de l'évolution temporelle de l'atteinte de l'objectif fixé.

Nous avons proposé dans ce chapitre une approche fondée sur des expressions qualitatives des performances temporelles selon une approche issue de la théorie des sous-ensembles flous. Celle-ci présente l'avantage d'introduire la notion de degré dans l'appartenance des informations numériques manipulées à des ensembles de termes linguistiques. La théorie des sous-ensembles flous propose également une approche de calcul à base de règles, ce qui permet la prise en compte de la connaissance des experts dans les différentes étapes de calcul des performances temporelles.

L'ensemble de la démarche demanderait cependant à être validée auprès de partenaires industriels.

## Conclusion et perspectives

Bon nombre de recherches ont été menées autour du concept de performance industrielle, sa définition, son évolution, ses outils de mesure, son expression, son mode de calcul... La majorité des propositions avancées reposaient toutefois sur des hypothèses tayloriennes de calcul de performance *a posteriori* de l'atteinte de l'objectif considéré. Ces calculs sont essentiellement instantanés, effectués aux instants finaux des horizons temporels associés aux objectifs.

Dans le cadre de cette thèse nous avons centré notre réflexion sur les deux points principaux suivants :

- introduire le temps dans l'expression de la performance ;
- définir un mécanisme de calcul ainsi qu'une méthode d'utilisation des performances dites « temporelles ».

Pour ce faire, nos hypothèses d'étude ont été établies sur la base d'une revue de la littérature, avec une focalisation sur les travaux de notre équipe menés précédemment. Nous avons ainsi retenu que la performance s'exprimait par le biais d'une comparaison de l'objectif et de la mesure de son atteinte. Cette expression est par essence instantanée, exprimée à un instant donné. Elle peut être élémentaire si l'objectif est élémentaire, ou globale si l'objectif est global. Dans ce cas particulier, des mécanismes d'agrégation peuvent être utilisés, permettant l'obtention, de manière indirecte, de la performance globale à partir des performances élémentaires. Dans ce cadre, allant plus loin que la performance instantanée, nous avons introduit deux performances « temporelles » supplémentaires, la performance tendancielle d'une part et la performance prédictive d'autre part.

Pour un objectif décrit par une trajectoire temporelle et dont nous cherchons à piloter l'atteinte, l'expression de la performance instantanée est le résultat de la comparaison, à un jalon donné, de la valeur de l'objectif avec la valeur de la mesure correspondante. En particulier, lorsque le jalon correspond à l'instant final de l'horizon temporel, la performance instantanée identifie la performance atteinte au vu de l'objectif fixé. La performance tendancielle se définit par le résultat de la comparaison, à un jalon donné, de la tendance de l'objectif avec la tendance de la mesure ; la notion de tendance étant appréhendée sous forme de variation. Enfin, la performance prédictive a été définie par la comparaison, à un jalon donné, de la valeur de l'objectif à un jalon futur avec une mesure dite prédictive ; estimée, au jalon considéré, pour le même jalon futur.

D'un point de vue formel, un grand nombre de modèles de calcul et d'opérateurs de comparaison ont été développés pour l'expression de la performance. Dans la continuité des *ratios* tayloriens, nous avons adopté le *ratio* comme opérateur de comparaison entre l'objectif et la mesure, quand ces grandeurs sont exprimées dans un format numérique. De plus, dans la continuité du cadre développé par notre équipe, nous avons fait le choix d'opter pour une représentation et un traitement linguistiques des performances temporelles. Au-delà d'un besoin de cohérence avec les modèles existants, cette approche nous permet un traitement qualitatif de grandeurs qui interviennent dans la prise de décision, ce qui nous semble être en adéquation avec la pratique humaine. Par ailleurs, nous avons proposé une méthodologie d'utilisation des performances introduites, en quatre étapes. Le but recherché a été la proposition d'une sorte de guide d'utilisation des performances pour le pilotage de la trajectoire temporelle associée à l'objectif considéré. Cette utilisation est fondée sur un

principe de synthèse des informations disponibles, afin d'en faciliter l'exploitation. Une approche d'agrégation, deux à deux, des trois performances temporelles, a été proposée dans ce sens, accompagnée d'une interprétation des résultats obtenus.

Les idées avancées dans cette thèse ont été appliquées à un exemple d'objectif rattaché à l'augmentation de la capacité de production chez un fabricant de roulements à bille. Une validation plus approfondie de nos résultats est en cours, auprès d'un cuisiniste de la région, partenaire de notre équipe, dont quelques illustrations sont présentées en annexe de ce manuscrit.

Ainsi, au-delà de la perspective de validation industrielle corollaire de ce travail, quelques pistes plus fondamentales peuvent également être envisagées. La première idée que nous avons concerné l'expression de la performance d'un objectif « temporel », *i.e.* pris dans la globalité des valeurs des différents objectifs intermédiaires constituant sa trajectoire. La problématique de comparer deux trajectoires sera alors soulevée. Une autre piste envisagée est en lien avec la définition d'un mécanisme d'agrégation « dynamique », à même de s'adapter aux différentes données disponibles, et à leur incomplétude éventuelle, à chaque jalon. Par ailleurs, d'un point de vue méthodologique, nous pensons à l'application des principes du management visuel à la représentation des différentes performances temporelles, ce qui peut représenter une alternative intéressante au principe d'agrégation.

**Annexe A : La performance temporelle dans le TRS chez Fournier**

Cette annexe donne une illustration des performances temporelles – instantanée, tendancielle, prédictive – définies dans les chapitres II et III de cette thèse, ainsi que de la méthodologie d'utilisation proposée. Le cadre considéré est un projet d'amélioration du TRS des lignes de production, mené actuellement chez le cuisiniste Fournier, en collaboration avec notre équipe [Ravaille 2016].

## A.1. Une des déclinaisons du TRS dans l'entreprise

Au-delà de son produit phare qui est la « cuisine », la société Fournier conçoit, fabrique et distribue du mobilier de salle de bain. La production s'effectue sur une ligne de production qui va de la découpe et l'usinage de panneaux bois à l'assemblage final qui inclut des articles de quincaillerie. La production est lancée à la commande, la variété est forte et la taille des séries est très faible. Cette ligne est à la limite de sa capacité, sa performance est suivie par l'indicateur Taux de Rendement Synthétique (TRS). Le TRS est aujourd'hui de 60% et le souhait de l'entreprise est de l'augmenter de 5% environ par an. Nous sommes en mars 2016 et l'étude Pareto a identifié la cause d'arrêt principale : « panneaux en travers ». Ce défaut représente 4% des arrêts de la ligne soit environ 1 heure d'arrêt par jour. L'objectif est de parvenir à 0,5 heure de temps d'arrêt par jour d'ici fin septembre 2016. Ainsi :

*objectif : Temps d'arrêt = 0,5h fin septembre 2016*

Le suivi de ces temps d'arrêt est disponible pour toute la durée de cette étude, un extrait est fourni dans le tableau suivant (Tableau A.1). Le jalon considéré est la semaine.

1	2	3	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Semaine	Date début Inc	Durée (sec)	Type d'arrêt	TFB Semaine	TFB Mois	Coût	Objective	Mesure	PerfInstSe m		
2	13	01/04/2016	131	P	50:27:59	231:06:05	17 €	0,9600	0,0364			
3	13	01/04/2016	76	P	50:27:59	231:06:05	10 €	0,9600	0,0211			
4	13	01/04/2016	364	P	50:27:59	231:06:05	46 €	0,9600	0,1011			
5	13	01/04/2016	115	P	50:27:59	231:06:05	15 €	0,9600	0,0319			
6	13	01/04/2016	555	P	50:27:59	231:06:05	70 €	0,9600	0,1542			
7	13	01/04/2016	900	P	50:27:59	231:06:05	114 €	0,9600	0,2500			
8	13	01/04/2016	266	P	50:27:59	231:06:05	34 €	0,9600	0,0739			
9	13	01/04/2016	153	P	50:27:59	231:06:05	19 €	0,9600	0,0425			
10	13	01/04/2016	82	P	50:27:59	231:06:05	10 €	0,9600	0,0228			
11	13	01/04/2016	126	P	50:27:59	231:06:05	16 €	0,9600	0,0350			
12	13	01/04/2016	59	P	50:27:59	231:06:05	7 €	0,9600	0,0164			
13	13	01/04/2016	153	P	50:27:59	231:06:05	19 €	0,9600	0,0425			
14	156		2980						0,8278	0,1322		
15	14	04/04/2016	228	P	52:55:02	231:06:05	29 €	0,9521	0,0633			
16	14	04/04/2016	84	P	52:55:02	231:06:05	11 €	0,9521	0,0233			
17	14	05/04/2016	28	P	52:55:02	231:06:05	4 €	0,9495	0,0078			
18	14	05/04/2016	605	P	52:55:02	231:06:05	76 €	0,9495	0,1681			
19	14	05/04/2016	380	P	52:55:02	231:06:05	48 €	0,9495	0,1056			
20	14	05/04/2016	443	P	52:55:02	231:06:05	56 €	0,9495	0,1231			
21	14	05/04/2016	135	P	52:55:02	231:06:05	17 €	0,9495	0,0375			
22	14	05/04/2016	142	P	52:55:02	231:06:05	18 €	0,9495	0,0394			

Tableau A.1 : Les données de l'entreprise [Ravaille 2016].

## A.2. Les calculs de performance temporelle

Les calculs qui ont été réalisés concernent les performances et information suivantes :



- la performance instantanée,  $p_i^{inst}(v)$ , calculée sur les 26 semaines ;
- les semaines de l'étude, de la semaine 13 à la semaine 39 ;
- la performance tendancielle,  $p_i^{tend}(v)$ , calculée à partir de la semaine 16 de l'étude ;
- l'agrégation de la performance instantanée et de la performance tendancielle,  $Score_i(v)$ , effectuée pour une semaine donnée, la semaine 16 ;
- la performance prédictive,  $p_{i,j}^{pred}(v)$ , calculée entre la semaine 16 et la semaine 41 de l'étude.

### A.2.1. Calcul de la performance instantanée

En cohérence avec notre travail de thèse, nous illustrons dans la figure suivante les valeurs prises par l'objectif et la mesure sur les 26 semaines de l'étude (Figure A.1)

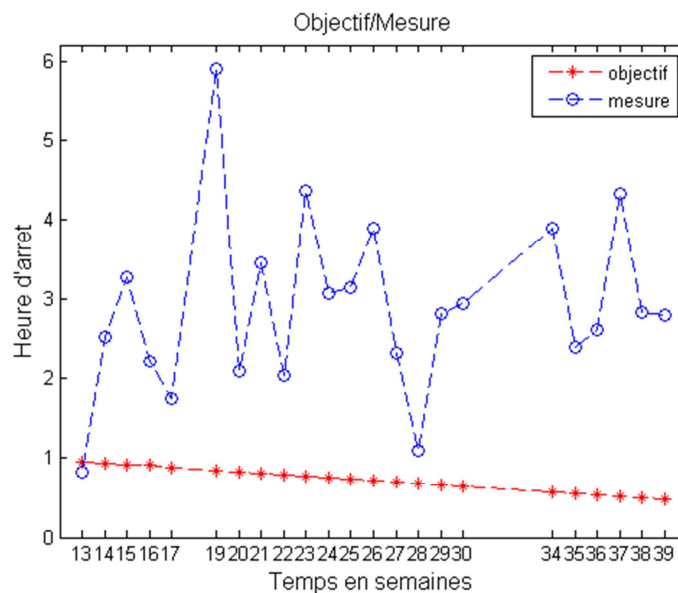


Figure A.1 : La valeur de l'objectif et de la mesure à chaque semaine.

Nous proposons deux modes de calcul pour la performance instantanée :

- un calcul numérique ;
- un calcul linguistique.

#### A.2.1.1. Calcul numérique de la performance instantanée

En utilisant une fonction de comparaison fondée sur le calcul de la valeur absolue de la différence entre la mesure et l'objectif à chaque semaine, nous traçons la trajectoire de la performance instantanée, illustrée dans la figure suivante (Figure A.2).

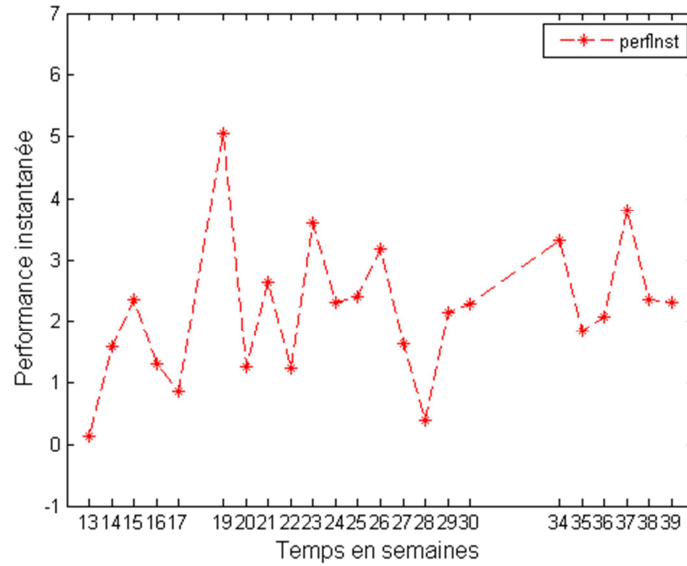


Figure A.2 : La trajectoire de la performance instantanée.

Ainsi, la valeur numérique de la performance instantanée à la 28<sup>ème</sup> semaine est :

$$p_{28}^{inst}(\text{temps d'arrêt}) = |1,08 - 0,68| = 0,40h$$

### A.2.1.2. Calcul linguistique de la performance instantanée.

Le temps d'arrêt est décrit linguistiquement sur un ensemble de termes  $L = \{P, M, G, TG\}$ , avec  $P, M, G, TG$  correspondant respectivement à *Petit, Moyen, Grand* et *Très Grand*. A chaque terme correspondra une signification floue (cf. § III.2.2.1), donnée dans la figure ci-après.

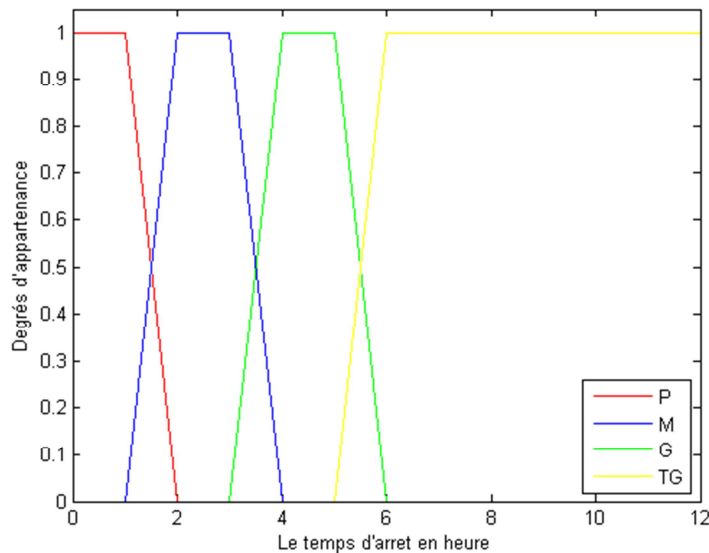


Figure A.3 : Les significations floues des termes de  $L$ .

La démarche de calcul utilisée est celle développée précédemment (cf. § III.3.1).

Ainsi, l'objectif et la mesure à la 28<sup>ème</sup> semaine sont :

$$o_{28}(\text{temps d'arrêt}) = 0,68h \text{ et } m_{28}(\text{temps d'arrêt}) = 1,08h$$

Les descriptions floues correspondantes sont :

$$D(o_{28}(\text{temps d'arrêt})) = 0/TG + 0/G + 0/M + 1/P$$

$$D(m_{28}(\text{temps d'arrêt})) = 0/TG + 0/G + 0,17/M + 0,83/P$$

Le tableau ci-après résume le jeu de règles nécessaire au calcul de la performance instantanée.

		$m_i(\text{temps d'arrêt})$			
		<b>P</b>	<b>M</b>	<b>G</b>	<b>TG</b>
$o_i(\text{temps d'arrêt})$	<b>P</b>	<b>E</b>	<b>E</b>	<b>E</b>	<b>E</b>
	<b>M</b>	<b>TB</b>	<b>E</b>	<b>E</b>	<b>E</b>
	<b>G</b>	<b>B</b>	<b>TB</b>	<b>E</b>	<b>E</b>
	<b>TG</b>	<b>M</b>	<b>B</b>	<b>TB</b>	<b>E</b>

Tableau A.2 : Le jeu de règles utilisé pour calculer la performance instantanée.

L'expression de la performance instantanée est alors :

$$p_{28}^{inst}(\text{temps d'arrêt}) = 1/E + 0/TB + 0/B + 0/M$$

### A.2.2. Calcul de la performance tendancielle

La performance tendancielle est calculée linguistiquement par un jeu de règles liant la description floue de la valeur de la variation de l'objectif et celle de la mesure  $p_i^{tend}(v) = f_{tend}(Tr(o_i(v)), Tr(m_i(v)))$  (cf. § définition II.8).

Pour illustrer linguistiquement la variation, nous lui attribuons l'ensemble  $L'' = \{NG, NM, NP, Z, PP, PM, PG\}$ , avec  $NG, NM, NP, Z, PP, PM, PG$  correspondant respectivement à *Négatif Grand, Négatif Moyen, Négatif Petit, Z, Positif Petit, Positif – Moyen* et *Positif Grand*. A chaque terme correspondra une signification floue (cf. § III.2.2.2), donnée dans la figure ci-après.

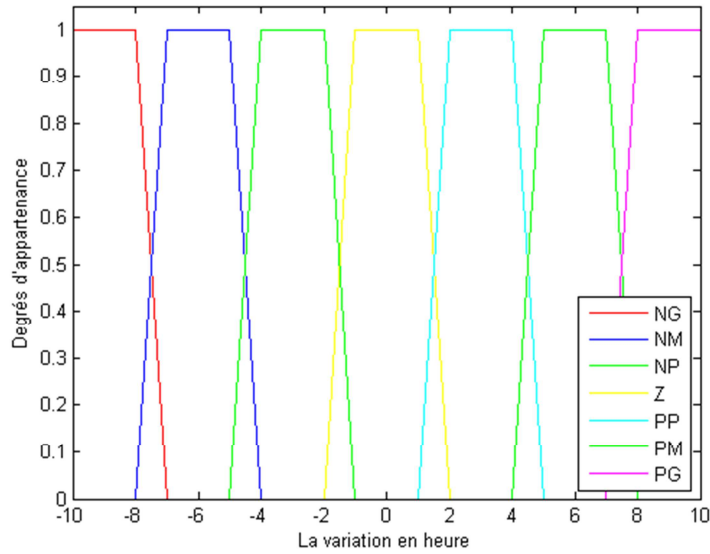


Figure A.4 : Les significations floues des termes de  $L''$  .

Ainsi, pour la 28<sup>ème</sup> semaine, nous avons les variations suivantes :

$$\Delta(o_{28}(\text{temps d'arrêt})) = -0,01,$$

$$\Delta(m_{28}(\text{temps d'arrêt})) = -1,25,$$

Les descriptions floues de ces grandeurs sont alors :

$$Tr o_{28}(\text{temps d'arrêt}) = 0 / NG + 0 / NM + 0 / NP + 1 / Z + 0 / PP + 0 / PM + 0 / PG$$

$$Tr m_{28}(\text{temps d'arrêt}) = 0 / NG + 0 / NM + 0,09 / NP + 0,91 / Z + 0 / PP + 0 / PM + 0 / PG$$

Le tableau ci-après résume le jeu de règles nécessaire au calcul de la performance instantanée.

		$Tr o_i(\text{temps d'arrêt})$						
		<b>NG</b>	<b>NM</b>	<b>NP</b>	<b>Z</b>	<b>PP</b>	<b>PM</b>	<b>PG</b>
$Tr m_i(\text{temps d'arrêt})$	<b>PG</b>	$M^-$	$M^-$	$M^-$	$M^-$	$B^-$	$TB^-$	$E$
	<b>PM</b>	$M^-$	$M^-$	$M^-$	$B^-$	$TB^-$	$E$	$TB^+$
	<b>PP</b>	$M^-$	$M^-$	$B^-$	$TB^-$	$E$	$TB^+$	$B^+$
	<b>Z</b>	$M^-$	$B^-$	$TB^-$	$E$	$TB^+$	$B^+$	$M^+$
	<b>NP</b>	$B^-$	$TB^-$	$E$	$TB^+$	$B^+$	$M^+$	$M^+$
	<b>NM</b>	$TB^-$	$E$	$TB^+$	$B^+$	$M^+$	$M^+$	$M^+$
	<b>NG</b>	$E$	$TB^+$	$B^+$	$M^+$	$M^+$	$M^+$	$M^+$

Tableau A.3 : Un jeu de règles pour calculer la performance tendancielle.

L'expression de la performance tendancielle est alors :

$$p_{28}^{tend}(\text{temps d'arrêt}) = 0,91/E + 0,09/TB^+ + 0/TB^- + 0/B^+ + 0/B^- + 0/M^+ + 0/M^-$$

### A.2.3. Agrégation des performances instantanée et tendancielle

Rappelons que le formalisme du calcul de cette agrégation est (cf. § II.6.1) :

$$Score_i(v) = f_{agr}^{instTend}(p_i^{inst}(v), p_i^{tend}(v))$$

L'agrégation sera exprimée sur l'ensemble des termes suivants :

$$L = \{Mauvaise, Bonne, Très Bonne, Excellente\}$$

Rappelons les valeurs de la performance instantanée et de la performance tendancielle à la 28<sup>ème</sup> semaine :

$$p_{28}^{inst}(\text{temps d'arrêt}) = 1/E + 0,9/TB + 0/B + 0/M$$

$$p_{28}^{tend}(\text{temps d'arrêt}) = 0,91/E + 0,09/TB^+ + 0/TB^- + 0/B^+ + 0/B^- + 0/M^+ + 0/M^-$$

Par le jeu de règles représenté dans le tableau suivant, nous calculons la valeur  $Score_{28}(\text{temps d'arrêt})$  :

		$p_i^{tend}(\text{temps d'arrêt})$						
		$M^-$	$B^-$	$TB^-$	$E$	$TB^+$	$B^+$	$M^+$
$p_i^{inst}(\text{temps d'arrêt})$	$E$	$M$	$B$	$TB$	$E$	$E$	$E$	$E$
	$TB$	$M$	$M$	$B$	$TB$	$TB$	$TB$	$E$
	$B$	$M$	$M$	$M$	$B$	$B$	$B$	$TB$
	$M$	$M$	$M$	$M$	$M$	$M$	$M$	$B$

Tableau A.4 : Jeu de règles pour calculer  $Score_i(\text{temps d'arrêt})$

$$Score_{28}(\text{temps d'arrêt}) = 1/E + 0/TB + 0/B + 0/M$$

### A.2.4. Calcul de la performance prédictive

Nous calculons numériquement la performance prédictive, en utilisant une fonction de comparaison (la valeur absolue de la différence entre la valeur de l'objectif à un jalon futur et la valeur de la mesure prédictive déjà calculée au jalon actuel pour le même jalon futur). Cette expression est donnée par l'équation suivante :  $p_{i,j}^{pred}(v) = f_{pred}(o_j(v), \hat{m}_{i,j}(v))$  (cf. § définition II.10).

Ainsi, à la 28<sup>ème</sup> semaine, nous donnons la mesure prédictive pour la 29<sup>ème</sup> semaine, en considérant un décalage  $k = 2 \text{ semaines}$ , selon l'équation suivante (cf. § définition II.9).

$$\hat{m}_{i,j}(v) = m_i(v) + \frac{\Delta(m_i(v)) \times (t_j(v) - t_i(v))}{\Delta(t_i(v))}$$

La mesure prédictive sera alors :

$$\hat{m}_{28,29}(\text{temps d'arrêt}) = 1,09 + \frac{(1,09 - 3,89) \times (29 - 28)}{2} = -0,31$$

La performance prédictive correspondante est donc :

$$p_{28,29}^{pred}(\text{temps d'arrêt}) = |-0,31 - 1,09| = 1,40$$

La figure suivante donne les valeurs de la performance prédictive aux différents jalons, selon le même principe de calcul.

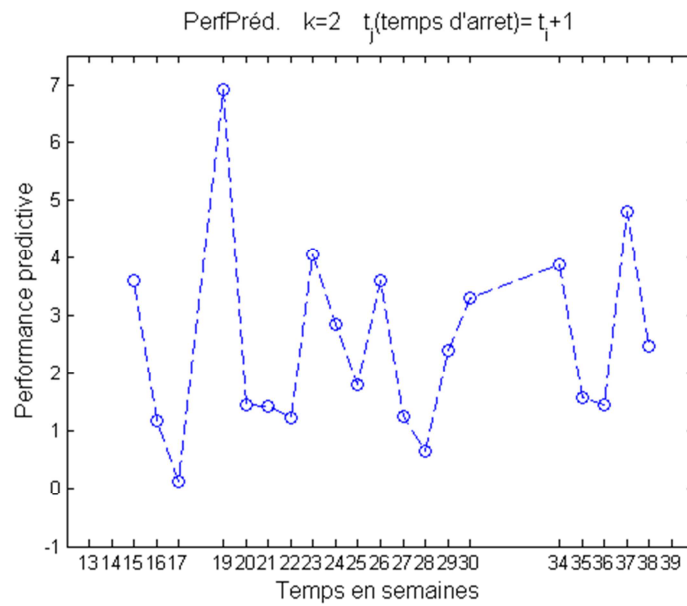


Figure A.5 : Une trajectoire temporelle de la performance prédictive.

Nous concluons cette annexe par le tableau de bord suivant, qui regroupe l'ensemble des informations établies, à la 28<sup>ème</sup> semaine.

Semaines 28	$p_{28}^{inst}(\text{temps d'arrêt}) = 0,40h$
	$p_{28}^{inst}(\text{temps d'arrêt}) = 1/E + 0/TB + 0/B + 0/M$
	$p_{28}^{tend}(\text{temps d'arrêt}) = 0,91/E + 0,09/TB^+ + 0/TB^- + 0/B^+ + 0/B^- + 0/M^+ + 0/M^-$
	$Score_{28}(\text{temps d'arrêt}) = 1/E + 0/TB + 0/B + 0/M$
	$p_{28,29}^{pred}(\text{temps d'arrêt}) =  -0,31 - 1,09  = 1,40$

Tableau A.5 : Tableau de bord de la ligne pour la semaine 28.

## Références bibliographiques

- [AFGI 1992] : Association Française de Gestion Industrielle, *Evaluer pour évoluer, les indicateurs de performance au service du pilotage industriel*, ouvrage collectif, 1992.
- [Ale et al 2010] : A.G. Ale, E. Coudel, H. Devatour, C.T. Soulard, B. Hubert, *Performances environnementale et socioéconomique des exploitations agricoles au Bénin*, quelques pistes d'innovations pour un développement rural durable en Afrique, ISDA 2010, Montpellier, France, 2010.
- [Ali Shah 2012] : L. Ali Shah, *Value-risk based performance evaluation of industrial systems*, thèse de doctorat, ENSAM ParisTech, 2012, 252 pages.
- [Alonso et al 2006] : J.M. Alonso, S Guillaume, L. Magdalena, *Un indice d'interprétabilité des bases de règles floues*, Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications LFA 2006, Cépaduès, Toulouse, France, 2006, pp. 37-44.
- [Anthony 1965] : R.N. Anthony, *Planning and control systems: a framework for analysis*, Graduate School of Business, Harvard University, 1965.
- [Arbenz et al 2014] : L. Arbenz, A. Benabou, S. Clénet, T. Coorevits, J.C. Mipo, P. Faverolle, *Approche combinée expérimentale/numérique pour la mesure de la conductivité électrique locale avec minimisation de l'incertitude de mesure*, Symposium de Génie Electrique, Cachan, France, 2014.
- [Azzone et Noci 1998] : G. Azzone, G. Noci, *Identifying effective PMSs for the deployment of "green" manufacturing strategies*, International Journal of Operations & Production Management, vol. 18, no 4, 1998, pp. 308-335.
- [Baird 1986] : L. Baird, *Managing performance*, Johan Wiley & Sons, 1986, 176 pages.
- [Bana e Costa et Vansnick 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, vol. 6, no 2, 1997, pp. 107-114.
- [Barabel et Meier 2015] : M. Barabel, O. Meier, *Manageor*, tout le management à l'ère digitale, Dunod, 2015, 840 pages.
- [Baret 2006] : P. Baret, *L'évaluation contingente de la performance globale des entreprises : une méthode pour fonder un management socialement responsable ?*, Responsabilité sociale de l'entreprise, chapitre 6, De Boeck Supérieur, 2006, 408 pages.
- [Bassetto 2010] : S. Bassetto, *Industrialisation, lean manufacturing 4.2*, séminaire, INP Grenoble, 2010.
- [Bellut 1990] : S. Bellut, *La compétitivité par la maîtrise des coûts, conception à coût objectif et analyse de la valeur*, Afnor Gestion, 1990, 277 pages.
- [Berge 1973] : C. Berge, *Graphes*, éditions gauthier-villars, Paris, 1973, 400 pages.
- [Bergeron 2000] : H. Bergeron, *Les indicateurs de performance en contexte PME, quel modèle appliquer ?*, Association Francophone de comptabilité AFC, France, 2000.
- [Berland et Essid 2009] : N. Berland, M. Essid, *RSE, Systèmes de contrôle et pilotage de la performance globale*, Association Francophone de Comptabilité, Comptabilité-Contrôle-Audit, Strasbourg, France, 2009.
- [Berland 2009] : N. Berland, *Mesurer et piloter la performance*, e-book, [www.management.free.fr](http://www.management.free.fr), 2009.

- [Berrah et al 2016] : L. Berrah, V. Clivillé, J. Montmain, G. Mauris, *The Contribution concept for the control of a manufacturing multi-criteria performance improvement*, Journal of Intelligent Manufacturing, vol. 27, n° 155, 2016, pp. 1-12.
- [Berrah et al 2015] : **L. Berrah, L. Foulloy, H. Hamadmad**, *Définition d'une expression temporelle de la performance industrielle*, Congrès International de Génie Industriel, CIGI 2015, Québec, Canada, 2015.
- [Berrah et al 2013] : L. Berrah, L. Foulloy, V. Clivillé, *Towards a unified methodological framework for both industrial objectives break-down and performance expression*, International Conference on Industrial Engineering and Systems Management IESM 2013, Rabat, Maroc, 2013.
- [Berrah et Foulloy 2013] : L. Berrah, L. Foulloy *Towards a unified descriptive framework for industrial objective declaration and performance measurement*, Computers In Industry, vol. 64, no 6, 2013, pp. 650-662.
- [Berrah 2013] : L. Berrah, *La quantification de la performance dans les entreprises manufacturières : de la déclaration des objectifs à la définition des systèmes d'indicateurs*, Habilitation à Diriger les Recherches, Université de Savoie, 2013, 156 pages.
- [Berrah 2002] : L. Berrah, *L'indicateur de performance, concepts et applications*, Cépaduès, 2002, 170 pages.
- [Berrah et al 2000] : L. Berrah, G. Mauris, A. Haurat, L. Foulloy, *Global vision and performance indicators for an industrial improvement approach*, Computers In Industry, vol. 43, no 3, 2000, pp. 211-225.
- [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, INP Grenoble, 1997, 212 pages.
- [Bescos 1995] : P.L. Bescos, *Contrôle de gestion et management*, Montchrestien, 1995, 801 pages.
- [Bescos et al 1993] : P.L. Bescos, P. Dobler, C. Mendoza, G. Naulleau, *Contrôle de gestion et management*, Montchrestien, 1993, 471 pages.
- [Bessire 1999] : D. Bessire, *Définir la performance*, Association Francophone de Comptabilité, Comptabilité-Contrôle-Audit, 1999, pp. 127-150.
- [Bititci et al 2001] : U.S. Bititci, P. Suwiningjo, A.S. Carrie, *Strategy management through quantitative modeling of performance measurement systems*, International Journal of Production Economics, vol. 69, no 1, 2001, pp. 15-22.
- [Bititci et al 2000] : U.S. Bititci, U. Trevor, T.C. Begmann, *Dynamics of performance measurement systems*, International Journal of Operations & Production Management, vol. 20, no 6, 2000, pp. 692-704.
- [Bititci et al 1998] : U.S. Bititci, K. Mendibil, V. Martinez, P. Albores, *Measuring and managing performance in extended enterprises*, International Journal of Operations & Production management, vol. 25, no 4, 1998, pp. 333-353.
- [Bititci et Carrie 1997] : U.S. Bititci, A.S. Carrie, *Integrated performance measurement systems; a research report*, International Journal of Operations & Production management, vol. 17, no 5, 1997, pp. 522-534.
- [Bititci 1995] : U.S. Bititci, *Modeling of performance measurement systems in manufacturing enterprises*, International Journal of Production Economics, vol. 42, no 2, 1995, pp. 137-147.



- [Bitton 1990] : M. Bitton, Ecograi : *Méthode de conception et d'implantation de systèmes de mesure de performances pour organisations industrielles*, Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux I en Automatique, 1990.
- [Boisvert 1995] : H. Boisvert, *Comprendre, mesurer et gérer la productivité, la comptabilité par activités*, Congrès International de Génie Industriel, Montréal, Canada, 1995, pp. 835-844.
- [Boisselier 2010] : P. Boisselier, *Comptabilité analytique - La notion de coût*, Cours (L2), Université de Nice Sophia Antipolis, 2010, <http://jalon.unice.fr/public/xmf432>.
- [Bogardi et Nachtnebel 1994] : J.J. Bogardi, H.P. Nachtnebel, *Multicriteria decision analysis in water resources management*, International Hydrological Programme IHP, UNESCO, 1994, 469 pages.
- [Bourne et al 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, vol. 5, no 1, 2003, pp. 1-24.
- [Bouleau 2013] : N. Bouleau, *L'efficiencia : une imposture scientifique réussie ?*, Séminaire à la maison des sciences de l'homme, Université Paris 13 - Villetaneuse, 2013, pp. 1-68.
- [Bouquin 2008] : H. Bouquin, *Quelle perspectives pour la recherche en contrôle de gestion ?*, Finance-Contrôle-Stratégie, vol. 11, hors série, 2008, pp. 177-191.
- [Bouquin 2001] : H. Bouquin, *Le contrôle de gestion*, PUF, 2001, 462 pages.
- [Bourreau 2012] : L. Bourreau, *Contribution de la dimension conformité réglementaire à la mesure de la performance des systèmes de management environnemental : Proposition d'un outil de mesure*, thèse de doctorat, ENSAM ParisTech, 2012, 394 pages.
- [Bourguignon 2000] : A. Bourguignon, *La valeur dynamique du capital immatériel*, Revue Française de Gestion, no 130, 2000, pp. 111-123.
- [Bourguignon 1995] : A. Bourguignon, *Peut-on définir la performance ?*, Revue Française de Comptabilité, no 269, 1995, pp. 61-66.
- [Burlat 2015] : P. Burlat, *Méthodes concrètes de conception de système de pilotage de ligne en mode CONWIP*, Techniques de l'Ingénieur, 2015.
- [Burlaud 1995] : A. Burlaud, *Contrôle de gestion : le développement de l'intelligence organisationnelle*, Archive ouverte en HAL, Sciences de l'Homme et de la Société, 1995, 27 pages.
- [Burlaud 1990] : A. Burlaud, *Coût, contrôle et complexité dans les organisations*, dans ECOSIP, Gestion industrielle et mesure économique, Approches et applications nouvelles, Economica, 1990, pp. 169-182.
- [Burlaud et Simon 1981] : A. Burlaud, C. Simon, *Analyse des coûts et contrôle de gestion*, Vuibert, 1981, 321 pages.
- [Calmé et al 2013] : I. Calmé, J. Hamelin, J.P. Lafontaine, S. Ducroux, F. Gerbaud, *Introduction à la gestion*, Dunod, 2013, 464 pages.
- [Cameron 1978] : K.S. Cameron, *Measuring organizational effectiveness in institutions of higher education*, Administrative Science Quarterly, vol. 23, 1978, pp. 604-630.
- [Capron et Quairel 2006] : M. Capron, F. Quairel, *Evaluer les stratégies de développement durable des entreprises : l'utopie mobilisatrice de la performance globale*, Revue de l'Organisation Responsable, vol. 1, 2006, pp. 5-17.

- [Castelnau 1999] : J. Castelnau, *Le pilotage stratégique. Mobiliser l'énergie collective*, Editions d'Organisation, 1999, 237 pages.
- [Chankov et al 2014] : S.M. Chankov, T. Becker, K. Windt, *Towards definition of synchronization in logistics systems*, variety management in manufacturing – Proceedings of the 47<sup>th</sup> CIRP Conference on Manufacturing Systems, vol 17, Ontario, Canada, 2014, pp. 594-599.
- [Cipriani 2012] : A. Cipriani, *L'innovation inverse : notion temporelle ou tendance économique pérenne ?*, *L'engagement international à l'écoute du local*, 2<sup>ème</sup> conférence annuelle Atlas / AFMI Association Francophone de Management International, Lyon, France, 2012, 18 pages.
- [Clivillé 2004] : V. Clivillé, *Approche systémique et méthode multicritères pour la définition d'un système d'indicateurs de performance*, thèse de doctorat, Université de Savoie, 2004, 216 pages.
- [CGP 1997] : Groupe de travail du Commissariat Général au Plan - CGP, *Entreprise et performance globale*, Economica, Paris, 1997.
- [CMED 1987] : Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement, *Notre avenir à tous*, rapport Brundtland, Assemblée Nationale des Nations Unies, 2<sup>ème</sup> chapitre, 1987.
- [CMED 2012] : Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement, *Notre avenir à tous*, Assemblée Nationale des Nations Unies, rapport AFNOR 2012.
- [Collins et Baccharini 2004] : A. Collins, D. Baccharini, *Project success - a survey*, Journal of Construction Research, vol. 5, no 2, 2004, pp. 211-231.
- [Crosby 1967] : P. Grosby, *Cutting the cost of quality, the defect prevention workbook for managers*, Boston, Industrial Education Institute, 1967, 242 pages, cité dans [Raja et Wei 2015].
- [Cohendet et Llerena 1990] : P. Cohendet, P. Llerena, *Nature de l'information, évaluation et organisation de l'entreprise*, Revue d'Economie Industrielle, no 51, 1990, pp. 141-165.
- [Colledani et al 2014] : M. Colledani, T. Tolio, A. Fischer, B. Lung, G. Lanza, R. Schmitt, J. Vancza, *Design and management of manufacturing systems for production quality*, CIRP annals - Manufacturing Technology, no 63, 2014, pp. 773-796.
- [Cosmetatos et Eilon 1983] : G.P. Cosmetatos, S. Eilon, *Effects of productivity definition and measurement on performance evaluation*, European Journal of Operational Research, vol. 4, no 1, 1983, pp. 31-35.
- [Coulon 2006] : R Coulon, *La gestion de la flexibilité du travail, pratiques et marges de manœuvre des RRH*, Gestion 2000, vol. 23, no 4, 2000, pp. 117-135.
- [De la Villarmois et Tondeur 1999] : O.De la villarmois, H. Tondeur, *Une analyse des finalités des systèmes de contrôle*, 20<sup>ème</sup> congrès d'Association Francophone de comptabilité AFC, France, 1999, CD-Rom.
- [Deming 1982] : W.E. Deming, *Quality productivity and competitive position*, MIT press, 1982, 373 pages.
- [Desreumaux et al 2009] : A. Desreumaux, X. Lecocq, V. Warnier, *Stratégie*, Pearson Education, 2009, 256 pages.

- [Dohou 2009] : R. Dohou, *Le rôle des outils de mesure de la performance environnementale : le cas des audits et indicateurs environnementaux dans dix entreprises françaises certifiées ISO 14001*, Management & Avenir, vol. 9, no 29, 2009, pp. 344-362.
- [Dohou et Berland 2007] : R. Dohou, N. Berland, *Mesure de la performance globale des entreprises*, Congrès de l'Association Francophone de Comptabilité, Poitiers, France, 2007, 22 pages.
- [Doran 1981] : G.T. Doran, *There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives*, Management Review, vol. 70, no 11, 1981, pp. 35-36.
- [Dubois et Prade 1982] : D. Dubois, H. Prade, *A unifying view of comparison indices*, dans Fuzzy sets and possibility theory recent advances, R.R. Yager ed, Pergamon Press, 1982, pp. 3-13.
- [Ducq 2007] : Y. Ducq, *Evaluation de la performance d'entreprise par les modèles*, Habilitation à Diriger les Recherches, Université Bordeaux I, 2007, 129 pages.
- [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, Université de Bordeaux I, 1999, 215 pages.
- [Ducrocq et al 2001] : C. Ducrocq, M. Gervais, C. Herriau, *Le suivi de la qualité et des coûts dans les entreprises de services : une enquête sur les pratiques et les outils employées par les départements de contrôle de gestion*, Finance Contrôle Stratégie, vol. 4, no 3, 2001, pp. 89-121.
- [Elmoukafih et Rhanmi 2010] : M. Elmoukafih, A. Rhanmi, *Analyse stratégique des comportements*, Rapport de fin d'étude, Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc, 2010, 16 pages.
- [Essid et Berland 2011] : M. Essid, N. Berland, *Les impacts de la RSE sur les systèmes de contrôle*, Association Francophone de Comptabilité, Comptabilité-Contrôle-Audit, vol. 17, no 2, 2011, pp. 59-88.
- [Falzon et al 2013] : P. Falzon, A. Dicioccio, V. Mollo, A. Nascimento, *Qualité réglée, qualité gérée*, Ouvrage collectif du Centre de Recherche sur le Travail et le Développement CRTD, 2013, 11 pages.
- [Fernandez 2003] : A. Fernandez, *Les nouveaux tableaux de bord des managers*, Editions d'Organisation, Paris, 2003, 29 pages.
- [Florida 2002] : R. Florida, *The rise of the creative class: and how it's transforming work, leisure, community and everyday life*, Basic Books 2002, 416 pages.
- [Folan et al 2007] : P. Folan, J. Browne, H. Jagdev, *Performance, its meaning and content for today business research*, Computers In Industry, vol. 58, no 7, 2007, pp. 605-620.
- [Folan et Browne 2005] : P. Folan, J. Browne, *Development of an extended enterprise performance measurement system*, Production Planning & control, no 16, iss 6, 2005, pp. 531-544.
- [Fortuin 1988] : L. Fortuin, *Performance indicators - why where and how*, European Journal of Operational Research, vol. 34, no 1, 1988, pp. 1-9.
- [Foulloy et Benoit 2006] : L. Foulloy, E. Benoit, *Building a class of fuzzy equivalence relations*, Fuzzy Sets and Systems, vol. 157, no 11, 2006, pp. 1417-1437.

- [Foulloy et Berrah 2015] : L. Foulloy, L. Berrah, *A fuzzy handling of trend objective declaration and trend performance expression*, 2015 IFAC Symposium on Information Control in Manufacturing INCOM, Ottawa, Canada, 2015.
- [Foulloy et al 2014] : L. Foulloy, V. Clivillé, L. Berrah, *Fuzzy interpretation of performance scorecards for decision-making in the industrial context*, 19th IFAC World Congress, vol. 47, no 3, Cape Town, Afrique du Sud, 2014, pp. 8036-8041.
- [Frein 1998] : Y. Frein, *Evaluation de performance pour la gestion des flux*, Université d'été du Pôle Productique Rhône-Alpes, 1998.
- [Gallois 1990] : P.M. Gallois, *Evaluation et pilotage de la performance industrielle*, dans ECOSIP, Gestion industrielle et mesure économique, Approches et applications nouvelles, Economica, 1990, pp. 275-293.
- [Grabot 1998] : B. Grabot, *Objective satisfaction assessment using neural nets for balancing multiple objectives*, International Journal of Production Research, vol. 36, no 9, 1998, pp. 2377-2395.
- [Giard 2003] : V. Giard, *Gestion de production et des flux*, Economica, 2003, 1230 Pages.
- [Grabisch 2005] : M. Grabisch, *Une approche constructive de la décision multicritère*, Traitement du Signal, vol. 22, no 4, 2005, pp. 321-337.
- [Grabisch et al 2003] : M. Grabisch, Ch. Labreuche, J.C. Vansnick, *On the extension of Pseudo-Boolean functions for the aggregation of interacting criteria*, European Journal of Operational Research, Elsevier, vol. 148, 2003, pp. 28-47.
- [Greif 1989] : M. Greif, *L'usine s'affiche, communication visuelle et management*, Editions d'Organisation, 1989, 301 pages.
- [Giannopoulos 2015] : A. Giannopoulos, *Performance management as a process of promoting innovation in software industry*, International Conference on Strategic Innovative Marketing, IC-SIM 2014, Madrid, Espagne, Procedia - Social and Behavioral Sciences, vol. 175, 2015, pp. 401-407.
- [Glass et Kauffman 1973] : L. Glass, S.A. Kauffman, *The logical analysis of continuous, non-linear biochemical control networks*, Journal of Theoretical Biology, vol. 39, no 1, 1973, pp. 103-129.
- [Godin et Bergeron 2009] : L. Godin, H. Bergeron, *Intégration des indicateurs de performance a la gestion par processus chez les PME dans le cadre de la version 2000 de la norme Iso 9001, la place de la dimension européenne*, Association Francophone de Comptabilité, Comptabilité-Contrôle-Audit, Strasbourg, France, 2009.
- [Gupta et Qi 1991] : M.M. Gupta, J. Qi, *Theory of T-norms and fuzzy inference methods*, Fuzzy Sets and Systems, vol. 40, 1991, pp. 431-450.
- [Hall 2009] : B. Hall, *The financing of innovation*, in The handbook of technology and innovation management, Wiley Blackwell, 2009, pp. 409-425.
- [Heink et Kowarik 2010] : U. Heink, I. Kowarik, *What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning*, Ecological Indicators, vol. 10, no 3, 2010, pp. 584-593.
- [Hourneaux et al 2014] : F. Hourneaux Jr, H.A. Hrdlicka, C.M. Gomes, I. Kruglianskas, *The use of environmental performance indicator and size effect : A study of industrial companies*, Ecological Indicators, vol. 36, 2014, pp. 205-212.

[Humez 2008] : V. Humez, *Proposition d'un outil d'aide à la décision pour la gestion des commandes en cas de pénurie : une approche par la performance*, Thèse de doctorat, INP Toulouse, 2008, 156 pages.

[Ishikawa 1997] : K. Ishikawa, *La gestion de la qualité : outils et applications pratiques*, Dunod, 1997, 242 pages.

[Ishikawa 1990] : K. Ishikawa, *Introduction to quality control*, 3A corporation, 1990, Tokyo.

[ISO 8402] : *Management de la qualité et assurance de la qualité - Vocabulaire*, ISO 8402, Afnor, 1994.

[ISO 9000] : *Qualité et systèmes de management*, version 2000, Afnor, 2001.

[ISO 14000] : *Management environnemental, la famille de normes internationales*, Afnor, 2002.

[ISO 26000] : *Lignes directrices relatives à la responsabilité sociétale*, Afnor, 2008.

[Jacot et Micaelli 1996] : J.H. Jacot, J.P. Micaelli, *La performance économique en entreprise*, Hermès, 1996, 224 pages.

[Joerin et al. 2001] : F. Joerin, M.C. Rey, G. Desthieux, A. Nembrini, *Participation et information en aménagement du territoire urbain, potentiels des instruments d'aide à la négociation et à la décision*, Revue Internationale de Géomatique, vol. 11, no 3-4, 2001, pp. 309-332.

[Kanigel 2005] : R. Kanigel, *The one best way: frederick winslow taylor and the enigma of efficiency*, MIT press, 2005, 704 pages.

[Kaplan et Norton 2005] : R.S. Kaplan, D.P. Norton, *The balanced scorecard, measures that drive performance*, Harvard Business Review, 2005, pp. 71-82.

[Kaplan et Norton 2004] : R.S. Kaplan, D.P. Norton, *The strategy map: guide to aligning intangible assets*, Strategy & Leadership, vol. 32, no 5, 2004, pp. 10-17.

[Kaplan et Norton 2000] : R.S. Kaplan, D.P. Norton, *The strategy focused organisation: how balanced scorecard companies thrive in the new business environment*, Harvard Business Review, 2000, 416 pages.

[Kaplan et Norton 1996<sub>a</sub>] : R.S. Kaplan, D.P. Norton, *Linking the balanced scorecard to strategy*, California Management Review, vol. 39, no 1, 1996, pp. 53-79.

[Kaplan et Norton 1996<sub>b</sub>] : R.S. Kaplan, D.P. Norton, *Using the balanced scorecard as a strategic management system*, Harvard Business Review, vol. 74, no 1, 1996, pp.75-85.

[Kerbrat et al 2013] : O. Kerbrat, F. Le Bourhis, R. Ponche, P. Mognol, J.Y. Hascoet, *Evaluation de la performance environnementale des procédés de fabrication*, 21<sup>ème</sup> congrès Français de la Mécanique, Bordeaux, France, 2013, pp. 1-6.

[Kromm 1997] : H. Kromm, *Contribution à l'étude de la cohérence dans la décomposition des objectifs dans le modèle GRAI*, DEA d'Automatique et Productique, Université Bordeaux I, 1997, 75 pages.

[Lallement 2006] : R. Lallement, *Investissement direct, compétitivité et attractivité*, regards sur l'économie allemande, no 76, 2006, pp. 5-12. Cette référence est reprise dans Problèmes économiques, n° 2921, 11 avril 2007, p. 18-24.

[Linternaute.com] : *Un dictionnaire de langue Française*, <http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr>

- [Larousse 2016] : *Petit Larousse illustré*, édition 2016.  
<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/performance/59512>
- [Lattuf 2006] : J.A. Lattuf, *Aide au pilotage d'une démarche d'innovation en conception de produit : vers un cahier des charges « augmenté »*, thèse de doctorat, ENSAM ParisTech, 2006, 209 pages.
- [Lebas 1995] : M. Lebas, *Oui, il faut définir la performance*, Revue Française de comptabilité, no. 269, 1995, pp. 67-75.
- [Le Moal et Tarondeau 1979] : P. Le Moal, J.C. Tarondeau, *Un défi à la fonction production*, Revue Française de Gestion Industrielle, 1979, pp. 9-13.
- [Le Moigne 1996] : J.L. Le Moigne, *Les deux sources de la performance des organisations : incohérence du contrôle, impertinence de l'intelligence*, dans Cohérence, pertinence et évaluation P. Cohendet, J.H. Jacot et P. Lorino (eds), Economica, 1996, pp. 31-45.
- [Le Moigne 1990] : J.L. Le Moigne, *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, vol. 1, 1990, 178 pages.
- [Le Moigne 1973] : J.L. Le Moigne, *Les systèmes d'information dans les organisations*, PUF, vol. 1, 1973, 237 pages.
- [Le Robert 2016] : *Le petit Robert de la langue Française*, édition 2016,  
<http://www.lerobert.com/dictionnaires-generalistes/dictionnaire-le-petit-robert-2016-edition-limitee.html>.
- [Lorino 2013] : P. Lorino, *Pilotage de l'entreprise et contrôle de gestion*, Dunod, 2013, 416 pages.
- [Lorino 2001] : P. Lorino, *Le balanced scorecard revisité : dynamique stratégique et pilotage de performance ; exemple d'une entreprise énergétique*, 22<sup>ème</sup> congrès d'Association Francophone de Comptabilité, Metz, France, 2001, CD-Rom.
- [Lorino 1996<sub>a</sub>] : P. Lorino, *Le contrôle de gestion stratégique : la gestion par les activités*, Dunod, 1996, 224 pages.
- [Lorino 1996<sub>b</sub>] : P. Lorino, *Méthodes et pratiques de la performance, le guide du pilotage*, Editions d'Organisation, 1996, 519 pages.
- [Lorino 1995] : P. Lorino, *Comptes et récits de la performance : essai sur le pilotage de l'entreprise*, Editions d'Organisation, 1995, 288 pages.
- [Marchesnay 1986] : M. Marchesnay, *La stratégie : du diagnostic à la décision industrielle*, Chotard & associés, Collection marketing & stratégie, 1986, 248 pages.
- [Marcotte 1995] : F. Marcotte, *Contribution à la modélisation des systèmes de production : extension du modèle GRAI*. thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, 1995, 259 pages.
- [Marion et al 2012] : A. Marion, A. Asquin, C. Everaere, D. Vinot, M. Wissler, *Diagnostic de la performance de l'entreprise*, Dunod, 2012, 301 pages.
- [Marmuse 1997] : C. Marmuse, *Performance*, dans Encyclopédie de gestion, P. Joffre, et Y. Simon (eds), 1997, pp. 2194-2208.
- [Mauris 2003] : G. Mauris, L. Berrah, S. Hamlaoui, *Determining a confidence index of cheese ripening prediction by fuzzy trend sensory indicators*, 20<sup>ème</sup> IEEE Instrumentation and measurement technology conference IMTC, USA, 2003, pp. 1005-1008.

- [Mauris et al 2001] : G. Mauris, V. Lasserre, L. Foulloy, *A fuzzy approach for the expression of uncertainty in measurement*”, Measurement, vol. 29, 2001, pp. 165-177.
- [Mauris et al 1996] : G. Mauris, E. Benoit, L. Foulloy, *The aggregation of complementary information via fuzzy sensors*, Measurement, vol. 17, no 4, 1996, pp. 235-249.
- [Mélèse 1991] : J. Mélèse, *L'analyse modulaire des systèmes AMS*, Editions d'Organisation, 1991, 233 pages.
- [Mélèse 1972] : J. Mélèse, *L'analyse modulaire des systèmes de gestion, une méthode efficace pour appliquer la théorie des systèmes au management*, Hommes et Techniques, 1972, 233 pages.
- [Milse et Snow 1986] : R.E. Miles, C.C. Snow, *Organization, new concepts for new forms*, California Management Review, no 3, 1986, pp. 62-73.
- [Morana et Feliu 2010] : J. Morana, J.G. Feliu, *Les indicateurs de performance*, Université de Lyon, chapitre X, 2010.
- [Najar 1994] : L. Najar Ben-Mahmoud, *Mesure et pilotage technico-économiques des performances en industrie : analyse critique d'approches méthodologique*, thèse de doctorat, ENSAM ParisTech, 1994, 129 pages.
- [Nakade 2015] : K. Nakade, *On periodicity of cycle time of a u-shaped line in chase mode*, International Federation of Automatic Control IFAC, Papers Online 48-3, 2015, 6 pages.
- [Neely et al 2000] : A. Neely, M. Bourne, J. Mills, M. Wilcox, K. Platts, *Designing implementing and updating performance measurement systems*, International Journal of Operations & Production Management, vol. 20, no 7, 2000, pp. 754-771.
- [Neely 1999] : A. Neely, *The performance measurement revolution: why now and what next?*, International Journal of Operations & Production Management, vol. 19, no 2, 1999, pp. 205-228.
- [Neely et al 1996] : A. Neely, J. Mills, K. Platts, M. Gregory, M. Broune, *Performance measurement System design: should process based approaches de adopted*, International Journal of Production Economics, vol. 46, no 47, 1996, pp. 423-431.
- [Neely et al 1995] : A. Neely, M. Gregory, K. Platts, *Performance measurement system design: a literature review and research agenda*, International Journal of Operations & Production Management, vol. 15, no 4, 1995, pp. 80-116.
- [Nudurupati et al 2011] : S.S Nudurupati, U.S. Bititici, V. Kumar, F.T.S Chan, *state of the art literature review on performance measurement*, Computers & Industrial Engineering, vol 60, no 2, 2011, pp. 279-290.
- [Pesqueux 2004] : Y. Pesqueux, *La notion de performance globale*, forum international ETHICS, Tunisie, 2004, 13 pages.
- [Pillet 1999] : M. Pillet, *Qualité des produits et qualité des caractéristiques élémentaires, l'objectif cible de la conception à la fabrication*, Qualita 99, 1999, France, 12 pages.
- [Pouget 1998] : M. Pouget, *Taylor et le Taylorisme, Que sais-je?*, 1998, 3 pages.
- [Pujo et Kieffer 2002] : P. Pujo, J.P. Kieffer, *Concepts fondamentaux du pilotage des systèmes de production*, dans : Fondements du pilotage des systèmes de production, traité IC2 Productique, Hermès, 2002, pp 25-50.

- [Quezada et al 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, vol. 122, no 1, 2009, pp. 492-500.
- [Ravaille 2016]: T. Ravaille, *Projet TPM Fournier*, Rapport de stage de master 2, Université Savoie Mont Blanc, 2016, 52 pages.
- [Ruspini 1969] : E. H. Ruspini, *A new approach to clustering*, Information and Control, vol 15, no 1, 1969, pp. 22-32.
- [Saaty 1977] : T.L Saaty, *A Scaling method for priorities in hierarchical structures*, Journal mathematical psychology, vol 15, 1977, pp. 234-281.
- [Schweyer et Haurat 1997] : B. Schweyer, A. Haurat, *Information system design using a project approach*, Journal of Intelligent Manufacturing, vol 8, no 1, 1997, pp. 15-29.
- [Simons 1995]: R. Simons, *Levers of control: How managers use innovative control systems to drive strategic renewal*, Harvard Business School Press, Boston, 1995, 217 pages.
- [Thorpe 2004] : R. Thorpe, *The characteristics of performance management research*, International Journal of Productivity and Performance Management, vol. 53, no 4, 2004, pp. 334-344.
- [Unitar 2009]: Unitar, *Guide d'orientation sur l'élaboration de plans d'action pour la gestion rationnelle des produits chimiques*, Projet unitar sur l'élaboration de plans d'action, Genève, Suisse, 2009, 71 pages.
- [Woese et al 1990] : C.R. Woese, O. Kandler, M.L. Wheelis, *Towards a natural system of organisms: proposal for the domains archaea, bacteria, and eucarya*, Proceedings of national academy of sciences, Etats-Unis, vol. 87, no 12, 1990, pp. 4576-4579.
- [Zadeh 1973] : L.A. Zadeh, *Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes*, IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, vol. 3, no 1, 1973, pp. 38-45.
- [Zadeh 1971] : L.A. Zadeh, *Quantitative fuzzy semantics*, Information Sciences, vol. 3, no 2, 1971, pp. 159-176.
- [Zadeh 1965] : L.A. Zadeh, *Fuzzy sets*, Information and control, vol. 8, no 3, 1965, pp. 338-353.



### **Résumé en français :**

Il y a de cela un demi-siècle, l'expression de la performance industrielle était taylorienne, monocritère, rattachée aux résultats financiers de l'entreprise. Aujourd'hui, la performance a adopté une dimension multicritère, multi niveau, liée au degré d'atteinte d'un objectif généralement global. Les performances du système sont établies à des fins de pilotage, calculées sur la base de comparaisons entre les objectifs fixés et les mesures correspondantes. Toutefois, cette performance est restée exprimée de manière statique, généralement à l'instant final de l'horizon temporel associé à l'atteinte de l'objectif.

Nous proposons, dans le cadre de cette thèse, une définition de la performance temporelle, déployée selon trois performances, *instantanée*, *tendancielle* et *prédictive*. L'hypothèse émise dans nos travaux consiste à considérer un objectif défini par une trajectoire d'objectifs dits intermédiaires, sur un horizon temporel donné. La **performance instantanée** est définie comme le degré d'atteinte de l'objectif à un jalon donné de l'horizon temporel. Elle repose ainsi sur une fonction de comparaison de la valeur de l'objectif et celle de la mesure de son atteinte. La **performance tendancielle** est le résultat de la comparaison de la tendance de l'objectif avec la tendance de la mesure. Cette performance renseigne de la manière dont l'objectif est atteint. La **performance prédictive** est définie à un jalon donné de l'horizon temporel, pour un jalon futur. Elle est le résultat de la comparaison de la valeur de l'objectif intermédiaire associé au jalon futur, avec une estimation de valeur de la mesure à ce même jalon futur. Une méthode d'exploitation de ces performances est proposée, fondée sur un principe d'agrégation, « deux à deux », des trois performances temporelles ; ce qui nous permet de fournir une **information synthétique** unique, relative en quelque sorte à la performance de la trajectoire de l'objectif. A l'issue de cette étape de définition, nous proposons une formalisation qualitative de ces performances, fondée sur l'utilisation de la théorie des *sous-ensembles flous*. Jeux de règles et descriptions linguistiques sont utilisés dans ce sens. Nous illustrons enfin ces propositions par des exemples extraits d'un projet d'amélioration du TRS de la Société Fournier.

### **Résumé en anglais:**

Fifty years ago, the expression of industrial performance was Taylorian, mono criterion, and attached to the financial results of the company. Today, the performance has adopted both multi criteria and multilevel dimensions. More generally, such a performance is usually related to the achievement of overall objectives and is dedicated to control purposes, post Taylorian performances are thus expressed on the basis of comparisons between the fixed objectives and the corresponding measures. However, this performance is often statically expressed, generally at the final moment of the temporal horizon which is associated with the objective achievement.

In this thesis, we propose a definition of the "temporal" performance, according to three performances: the *instantaneous* performance, the *trend* performance and the *predictive* performance. The fundamental assumption in our work consists of considering an objective as being a trajectory of what we call intermediate objectives, throughout a given temporal horizon. **Instantaneous performance** is expressed by the objective achievement at a given milestone of the temporal horizon. Such a performance relies on the comparison of the objective and the measurement of its achievement. **Trend performance** is the result of the comparison of the trend objective with the trend measurement. This performance provides information concerning the objective achievement. **Predictive performance** is defined at a given milestone of the temporal horizon, for a future milestone of this horizon. It is the result of the comparison of the intermediate objective of the considered future milestone with an estimation of measurement at this same future milestone. Moreover, a methodology for using these performances is proposed, based on a principle of aggregation, "in pairs", of the three temporal performances, which allows us to provide a single **synthetic piece of information** that is, to some extent, the performance of the objective trajectory. As a continuation of this definition step, we propose a qualitative formalization of these performances, based on the *fuzzy subsets theory*. Rules-based aggregations and linguistic descriptions are used in this. Finally, we illustrate these propositions with examples that are extracted from the OEE improvement project of the Fournier Company.