

PILOTAGE D'UNE DEMARCHE D'AMÉLIORATION INDUSTRIELLE EFFICIENTE SOUS UNE HYPOTHÈSE DE PERFORMANCE AGRÉGÉE

J.Montmain

EMA- LGI2P-Site EERIE. Parc scientifique Georges Besse, 30035, Nîmes, France
jacky.montmain@ema.fr

RESUME : *Cet article propose des outils du multicritère, de la recherche opérationnelle et du flou pour le pilotage d'une démarche d'amélioration industrielle au niveau stratégique de l'entreprise. Nous abordons donc la problématique de l'amélioration des performances sous l'angle de la volonté politique des dirigeants, de façon découplée des contraintes opérationnelles. Nous proposons dans ce sens une approche basée sur l'analyse des performances. L'idée dans cette étude est que l'atteinte de l'objectif global associé à la démarche d'amélioration dépend totalement de l'atteinte des différents sous objectifs qui le composent. Dans ce sens, la performance globale est le résultat de l'agrégation des performances élémentaires associées aux sous objectifs. Une modélisation par l'intégrale de Choquet en tant qu'opérateur d'agrégation est utilisée. Deux stratégies sont ensuite envisagées pour le pilotage d'une démarche efficiente : l'une repose sur une appréhension statistique de la rentabilité et l'autre sur un critère d'efficience locale. Le suivi dans le temps de la contribution de chaque dimension de l'activité de l'entreprise à l'objectif global permet de comparer les deux logiques décisionnelles. Un exemple numérique illustre les différentes notions et propositions de l'article.*

MOTS-CLES : *analyse multi critère, intégrale de Choquet, amélioration des performances, performance agrégée, contribution d'un critère, indice de rentabilité, incertitude, pilotage, monitoring.*

1. INTRODUCTION

Les enjeux socio-économiques croissants liés aux gains de productivité sur des systèmes industriels de plus en plus complexes placent les problèmes de diagnostic et d'amélioration de la performance industrielle au cœur des préoccupations du pilotage des systèmes de production et du management des organisations (Doumeingts and Ducq, 2001.). Les décisions associées ne peuvent plus être isolées au niveau (stratégique, tactique, opérationnel) auquel elles sont prises, notamment en raison des interactions nombreuses et variées implicites dans les organisations. En effet, actuellement, au niveau stratégique, les méthodes d'aide à la décision utilisées se limitent à des considérations financières. Elles sont essentiellement qualitatives et s'en tiennent à une vision globale du système. Au niveau opérationnel, les méthodes théoriques classiques d'optimisation restent dans une logique taylorienne. Elles sont en effet basées sur une fonction coût monocritère, répondant ainsi de moins en moins à l'évolution de la complexité des systèmes actuels. Par conséquent, pour satisfaire aux besoins d'amélioration et de pérennisation de la performance ainsi que de réactivité du pilotage, la problématique de l'optimisation des décisions se traduit désormais sous la forme d'un problème d'aide à la décision multicritère. Les stratégies de pilotage pour l'amélioration continue de la performance industrielle doivent intégrer d'une

part, l'aspect multicritère de l'évaluation des performances de l'entreprise et, d'autre part, les relations qu'il existe entre ces performances élémentaires (Bititci, 1995; Neely, 1999; Kueng and Krahn, 1999). Orientations et décisions stratégiques peuvent ensuite s'échafauder sur l'analyse de l'artefact que constitue le système d'indicateurs de performances. Au niveau stratégique auquel nous nous plaçons, nous avons alors choisi d'exprimer la performance globale de l'entreprise par l'agrégation des performances partielles de celle-ci (Berrah et al., 2004; Grabot, 1998). Parce que les différentes dimensions de la performance n'ont pas toutes le même impact sur la performance globale et que de plus, ces dimensions présentent des interactions significatives entre elles (*ex* : augmenter la cadence de production n'a d'intérêt que si cette augmentation ne dégrade pas la qualité des produits fabriqués), nous utilisons une intégrale de Choquet pour modéliser la performance agrégée. Nous ne discuterons pas de l'intérêt d'un modèle de la performance agrégée basé sur Choquet dans cet article, le lecteur pourra se reporter à (Berrah et al., 2005; Berrah et al., 2008). L'intégrale de Choquet étant un opérateur non-linéaire, l'amélioration optimale de la performance ne relève pas que du simple bon sens du décideur, il s'agit donc de lui fournir une aide à la décision pour établir ce que doit être l'amélioration optimale de sa performance (Berrah et al., 2005; Berrah and Clivillé, 2007; Berrah et al., 2008). Sur la base du concept de performance agrégée

peuvent être définies les notions d'efficacité et d'efficience de l'amélioration (Sahraoui et al., 2007a; Sahraoui et al., 2007b; Berrah et al., (in press)). Selon ce modèle de la performance agrégée, il est possible de définir pour (1) un profil de performances partielles initiales $\vec{P}^I = [P_1^I \dots P_n^I]$ (où n est le nombre de sous objectifs que l'on associe à des critères d'évaluation $c_i \in C$) et (2) une intégrale de Choquet donnée—modélisant les préférences ou les priorités de l'entreprise—une amélioration efficiente pour atteindre un niveau de performance agrégé P^* . Les notions d'efficacité et d'efficience dans ce cadre d'analyse sont définies indépendamment de la façon dont se déploie l'amélioration de \vec{P}^I à $\vec{P}^* = [P_1^* \dots P_n^*] / CI(P_1^*, \dots, P_n^*) = P^*$.

Si le calcul du profil optimal \vec{P}^* permet de fixer le profil idéal à atteindre au sens de l'efficience, il reste à décider du pilotage stratégique de la démarche d'amélioration, c'est-à-dire de la façon dont on souhaiterait voir évoluer le profil des performances $\vec{P} = [P_1 \dots P_n]$ de \vec{P}^I à \vec{P}^* . L'idée est de fixer quelques points remarquables par lesquels on souhaite voir passer la trajectoire suivie par \vec{P} .

Notons que nous nous plaçons ici uniquement au *niveau décisionnel du pilotage* de la démarche, i.e., que nous faisons abstraction des solutions opérationnelles, seule la stratégie du staff dirigeant est prise en compte. Le pilotage stratégique s'opère sur le seul système d'indicateurs de performances : on ne raisonne qu'en performances pas en variables d'action. Dans cette perspective, la mise en œuvre relève de la volonté, des préférences des dirigeants et non pas des contraintes de l'opérationnel ou de la disponibilité des ressources. La trajectoire définie sera une trajectoire idéale espérée par les dirigeants. La mise en adéquation entre les desiderata du staff des dirigeants et la réalité opérationnelle relève d'un niveau tactique qui ne fait pas l'objet de cet article, résolument orienté pilotage stratégique où la trajectoire de \vec{P}^I à \vec{P}^* exprime simplement l'évolution idéale pour les dirigeants.

Ainsi recentré sur le système d'indicateurs de performances, le pilotage stratégique de la démarche d'amélioration consiste à déterminer quelles performances partielles souhaite-t-on voir augmenter en priorité dans l'absolu (i.e., indépendamment du contexte opérationnel), dans quel ordre est-il préférable d'engager les améliorations partielles ? Ces choix stratégiques correspondent à différentes attitudes des décideurs souhaitant atteindre \vec{P}^* , mais conscients du risque que peut représenter un objectif irréaliste ou trop éloigné dans le temps : les dirigeants se doivent d'envisager une politique de mise en œuvre qui obéisse à des critères stratégiques de rentabilité ou d'efficience, i.e., que si pour une raison quelconque (économique, technique, etc.), volontaire ou accidentelle, l'objectif global P^* devait ne pas être atteint, les dirigeants doivent pouvoir justifier de la pertinence de leur démarche. Deux grandes attitudes sont à distinguer : (α)

choisir de s'améliorer en priorité selon les dimensions réputées être statistiquement les plus rentables, (β) procéder de proche en proche en garantissant une efficience locale. Dans chacune des deux stratégies (α) et (β), nous verrons que la contribution d'un critère est une notion centrale.

Nous proposons donc de présenter et de comparer les deux logiques décisionnelles (α) et (β) inspirées de travaux plus théoriques (Labreuche, 2004) et (Montmain, 2007) pour caractériser la trajectoire de \vec{P} . C'est sur ce point particulier que porte cet article. Auparavant, nous rappelons brièvement la notion de performance agrégée, les notions d'efficacité et d'efficience associées dans la section II. La section III présente et analyse qualitativement les deux logiques décisionnelles (α) et (β) sur un plan sémantique. La section IV propose des outils pour une comparaison plus quantitative des deux stratégies en mettant en avant la notion de contribution d'un critère à l'amélioration. Enfin, la section V est consacrée à un cas d'étude qui illustre l'ensemble des propositions de l'article.

2. NOTIONS D'EFFICACITÉ ET D'EFFICIENCE LIÉES AU CONCEPT DE PERFORMANCE AGRÉGÉE

2.1. Expression de la performance

Véritables systèmes d'aide au pilotage, les Performance Measurement Systems (PMS) sont apparus dans les années 80, pour la prise en compte d'une expression multi niveaux et multicritère de la performance. Conformément aux préceptes systémiques (Berrah et al., 2004; Clivillé et al., 2007; Sahraoui et al., 2007), un PMS est défini par un ensemble d'indicateurs en interaction avec une finalité d'expression de la performance, globale et élémentaire, pour le pilotage. Deux fonctionnalités sont distinguées, d'une part la décomposition des objectifs et d'autre part, l'agrégation des performances. En outre, l'entité de base d'un PMS est l'indicateur de performance, constitué du triplet (objectif, mesure, variable) (Clivillé et al., 2003).

L'indicateur de performance retourne une expression qui identifie le degré d'atteinte de l'objectif considéré. En fait, cette expression résulte de la comparaison de l'objectif (obtenu par décomposition) et de la mesure physique (décrivant le processus observé). Cette comparaison est décrite par l'application (Berrah et al., 2004) :

$$P: O \times M \rightarrow E \\ (o, m) \rightarrow P(o, m) = P$$

O , M et E sont respectivement les univers de discours des objectifs o , des mesures m et des performances P . Les opérateurs habituellement utilisés pour la comparaison sont hérités du modèle taylorien, comme le ratio, la différence relative, la distance normalisée, etc. (Berrah et al., 2004). En outre, conformément aux exigences de la théorie du mesurage (Suppes and Zinnes, 1963), les expressions de performance doivent être commensurables.

2.2. L'agrégation de la performance

L'agrégation est une opération qui synthétise les performances élémentaires en une expression globale. L'agrégation peut se formaliser par l'application (Kueng and Krahn, 1999) :

$$Ag : E^1 \times E^2 \times \dots \times E^n \rightarrow E$$

$$(P_1, P_2, \dots, P_n) \rightarrow P_{Ag} = Ag(P_1, P_2, \dots, P_n)$$

où E^i est l'univers de discours associé au critère $c_i \in C$ des expressions élémentaires (P_1, P_2, \dots, P_n) et E est l'univers de discours de la performance agrégée P_{Ag} .

Soit P_{Ag}^t l'expression de la performance agrégée à une date t . Cette expression est ici le résultat de l'agrégation, par une intégrale de Choquet (C_μ), des performances partielles P_i^t . L'intégrale de Choquet offre une grande variété de modèles de comportements décisionnels puisqu'elle permet de rendre compte à la fois de l'importance relative des dimensions de la performance et des interactions entre celles-ci. L'expression de C_μ sur l'espace des performances associées à l'ensemble de critères $C = \{c_1, \dots, c_n\}$ est :

$$P_{Ag}^t = C_\mu(\vec{P}^t) = C_\mu(P_1^t, P_2^t, \dots, P_n^t) = \sum_{i=1}^n (P_{(i)}^t - P_{(i-1)}^t) \mu(A_{(i)}^t) \quad \text{où}$$

$\mu : P(C) \rightarrow [0, 1]$ est une mesure floue, $(.)$ indique une permutation telle que $P_{(i)}^t \in [0, 1]$ est une performance partielle, $0 \leq P_{(1)}^t \leq \dots \leq P_{(n)}^t \leq 1$ et $A_{(i)}^t = \{c_{(i)}, \dots, c_{(n)}\}$. On peut réécrire l'intégrale sous la forme :

$$C_\mu(P_1^t, \dots, P_n^t) = \sum_{i=1}^n (P_{(i)}^t - P_{(i-1)}^t) \mu(A_{(i)}^t) = \sum_{i=1}^n \Delta \mu_{(i)}^t \cdot P_{(i)}^t \quad \text{où}$$

$$\mu_{(i)}^t = \mu(A_{(i)}^t), \quad \mu_{(n+1)}^t = 0 \quad \text{et} \quad \Delta \mu_{(i)}^t = \mu_{(i)}^t - \mu_{(i+1)}^t.$$

2.3. Notions d'efficacité et d'efficience liées à la performance agrégée

Soit un profil de performances initial décrit par le vecteur d'expressions partielles $\vec{P}^I = [P_1^I, P_2^I, \dots, P_n^I]$ et $P^* > C_\mu(P_1^I, \dots, P_n^I) \in [0, 1]$ un objectif global donné.

En génie industriel, l'efficacité implique généralement l'atteinte de l'objectif et l'efficience la répartition des ressources nécessaires à l'amélioration, *i.e.*, une amélioration est efficiente si toute réduction des ressources allouées entraîne nécessairement une diminution de la performance globale. Nos définitions découlent directement de cet énoncé.

Efficacité. Dans le cadre de la performance agrégée, pour un objectif P^* fixé a priori et un opérateur d'agrégation donné C_μ , toute *amélioration*

$\vec{\delta}^\perp = (\delta_1^\perp, \dots, \delta_n^\perp)$ sera dite *efficace* si $C_\mu(P_1^I + \delta_1^\perp, \dots, P_n^I + \delta_n^\perp) = P^*$.

Efficience. Pour caractériser une amélioration efficiente, il faut calculer le vecteur d'amélioration $\vec{\delta}^* = (\delta_1^*, \dots, \delta_n^*)$ qui permettra d'atteindre $P^* = C_\mu(P_1^I + \delta_1^*, \dots, P_n^I + \delta_n^*) = C_\mu(P_1^*, \dots, P_n^*)$ au moindre coût. Le vecteur d'amélioration $\vec{\delta}^* = (\delta_1^*, \dots, \delta_n^*)$ définit une *amélioration efficiente* au sens de la stratégie définie par C_μ (donc au sens de la performance agrégée modélisée par C_μ), des fonctions coûts $c_i(P_i, \delta_i)$ attachées à chacune des dimensions c_i de la performance et du point initial \vec{P}^I . Le problème de la recherche d'une amélioration efficiente dans un espace multidimensionnel peut alors s'énoncer comme un problème d'optimisation (\mathbf{P}_1) dont la solution est $\vec{\delta}^*$. On suppose que les $c_i(P_i, \delta_i)$ sont linéaires ($c_i(P_i, \delta_i) = c_i \cdot \delta_i$) ou tout du moins linéaires par morceaux. Le coût minimal associé à la démarche d'amélioration est $C^* = \min(\sum_{i=1}^n c_i(P_i, \delta_i))$, où $c_i(P_i, \delta_i)$ est le coût d'amélioration pour passer d'une performance P_i à une performance $P_i + \delta_i$ selon la dimension i . Le problème d'optimisation (\mathbf{P}_1) de la recherche d'une amélioration efficiente peut alors s'énoncer de la façon suivante :

$$(\mathbf{P}_1) \begin{cases} \min c(\vec{P}, \vec{\delta}) = \min(\sum_{i=1}^n c_i(P_i, \delta_i)) \\ \text{sous les contraintes :} \\ C_\mu(\vec{P} + \vec{\delta}) = P^* \\ \forall i, \quad 0 \leq \delta_i \leq 1 - P_i \end{cases}$$

Le principe de résolution de ce problème repose sur le fait que C_μ soit un opérateur linéaire par morceaux. En effet, pour un ordre donné des performances partielles, l'intégrale de Choquet se comporte comme une moyenne pondérée : C_μ est linéaire sur tout simplexe

$$H_\sigma = \{ \vec{P} \in [0, 1]^n / 0 \leq P_{\sigma(1)} \leq \dots \leq P_{\sigma(n)} \leq 1 \}.$$

Le problème d'optimisation initial peut donc être vu comme $n!$ sous-problèmes de programmation linéaire (Montmain et al., 2005). Les solutions réalisables appartiennent à une enveloppe convexe dont les sommets \vec{x} ont un profil spécifique lié aux 3 types de contraintes inégalités des sous problèmes linéaires : (1) $\forall i, 0 \leq \delta_{(i)}$,

(2) $\forall i, \delta_{(i)} \leq 1 - P_{(i)}$, (3) $\forall i, P_{(i)} \leq P_{(i+1)}$. Un sommet \vec{x} est

alors défini par n équations : $(n-1)$ des précédentes contraintes portées à égalité et

$$C_\mu(P_1 + \delta_1, \dots, P_n + \delta_n) = \sum_{i=1}^n \Delta \mu_{(i)} \cdot (P + \delta)_{(i)} = P^*.$$

Un sommet \vec{x} , après réarrangement, est donc un vecteur composé de trois blocs de coordonnées distincts : (a) des coordonnées inchangées par rapport au vecteur initial ($\delta_{(i)} = 0 \Rightarrow x_{(i)} = P_{(i)}$), (b) des coordonnées à 1

($\delta_{(i)} = 1 - P_{(i)} \Rightarrow x_{(i)} = 1$), (c) des coordonnées ayant toute la même valeur β ($P_{(i)} = P_{(j)} \Rightarrow x_{(i)} = x_{(j)}$).

La figure 1 donne une interprétation géométrique de ce résultat lorsque $n = 2$. La bissectrice délimite les deux simplexes H_1 et H_2 dans chacun desquels l'intégrale de Choquet s'écrit linéairement.

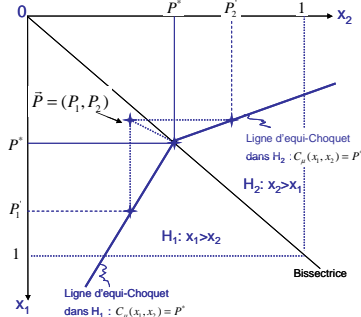


Figure 1. Emplacements potentiels de l'optimum

Les lignes « équi-Choquet » sont donc deux demi-droites s'intersectant au point (P^*, P^*) . Compte tenu des remarques précédentes sur les sommets de l'enveloppe convexe, une solution optimale pour l'exemple de la figure 1 est soit (P_1, P_2) , (P_1^*, P_2) (on ne s'améliore que selon un seul critère) ou (P^*, P^*) (on s'améliore selon les deux critères).

(P_1) peut être facilement étendu à (P^*_1) lorsque l'on souhaite introduire des contraintes de bornes plus sévères. Les contraintes $\forall i, 0 \leq \delta_i \leq 1 - P_i^l$ sont remplacées par $\forall i, 0 \leq \delta_i^l \leq \delta_i \leq 1 - \delta_i^r - P_i^l$ où δ_i^g et δ_i^d sont des seuils fixés par l'application (l'amélioration selon le critère i ne peut dépasser 30%, mais doit être au moins de 10%).

2.4. Problématique du pilotage stratégique

Selon le point de vue exposé précédemment, l'efficacité d'une démarche est caractérisée par la seule donnée de \bar{P}^l et \bar{P}^* . Il s'agit d'un point de vue statique de l'efficacité. La résolution de (P_1) détermine simplement la consigne $\bar{P}^* = [P_1^* \dots P_n^*] / C_\mu(P_1^*, \dots, P_n^*) = P^*$ à atteindre.

L'efficacité ne dépend pas de la façon dont \bar{P} évolue de \bar{P}^l à \bar{P}^* . Aucun aspect dynamique, n'est pris en considération dans cette représentation. Le problème du pilotage stratégique est de déterminer la trajectoire du profil \bar{P} de \bar{P}^l à \bar{P}^* dans l'espace du PMS. \bar{P}^* est la consigne de ce problème de contrôle, \bar{P} la variable contrôlée. Nous nous proposons de calculer à cet effet quelques points remarquables \bar{P}^k de cette trajectoire pour caractériser l'évolution attendue de \bar{P} . La détermination de cette trajectoire espérée doit intégrer les critères décisionnels des dirigeants : cette trajectoire correspond à un vœu des dirigeants qui expriment en elle l'évolution qui leur semble la plus pertinente pour la santé de l'entreprise. Cette trajectoire idéologique ne tient pas compte des contraintes opérationnelles ou physiques de l'implémentation de l'amélioration. En effet, le modèle d'agrégation ne capture que les espérances, les préférences ou la volonté des dirigeants.

Par exemple, il ne faut pas perdre de vue que les interactions de l'intégrale de Choquet modélisent l'exigence que des critères soient simultanément ou non satisfaits et ne doivent pas être confondus avec des coefficients de corrélation statistiques entre des grandeurs physiques. La trajectoire idéologique définie par les dirigeants selon des critères stratégiques relevant de considérations comme la rentabilité maximale (idéologie α) ou l'efficacité continue (idéologie β) fixe l'évolution que devrait suivre idéalement la performance \bar{P} de \bar{P}^l à \bar{P}^* et donne ainsi le canevas que tacticiens et opérationnels de l'entreprise devront ensuite s'efforcer de suivre au plus près lors de l'implémentation de la démarche d'amélioration. Nous allons donc voir dans ce qui suit comment définir la série des points \bar{P}^k qui donne en filigrane la trajectoire de \bar{P} depuis \bar{P}^l jusqu'à \bar{P}^* selon que l'on adopte les stratégies α ou β . La contribution d'un critère à l'amélioration globale y joue un rôle essentiel.

3. DEUX STRATEGIES DE PILOTAGE

3.1 Un point de vue statistique: l'index de plus-value

Le point de vue α est inspiré de la réflexion théorique de (Labreuche, 2004). Dans ce papier, l'auteur propose un indice d'importance pour déterminer les critères selon lesquels un candidat devrait s'améliorer en priorité pour améliorer autant qu'il se peut son score global calculé avec un opérateur d'agrégation multicritère. Ses résultats sont transposés ici dans le cadre de l'amélioration des performances dans un espace d'évaluation multicritère. Le problème résolu correspond au cas où l'on ne sait pas ou l'on ne souhaite pas fixer un objectif global P^* à l'amélioration, on veut simplement s'améliorer autant que possible.

Dans un premier temps, nous rappelons les notations et résultats tels que mentionnés dans (Labreuche, 2004). L'idée est de conseiller l'entreprise sur les performances partielles qu'elle devrait améliorer en priorité. Cette information dépend du modèle d'agrégation H et du profil de performances initial $\bar{P}^l = (P_1^l, P_2^l, \dots, P_n^l)$. Le diagnostic n'est pas nécessairement un singleton, mais peut-être une coalition de critères.

A cet effet, l'auteur propose d'introduire un indicateur de plus-value (*worth index*) qu'il note $\omega_A^c(H)(\bar{P}^l)$ relativement à l'opérateur d'agrégation H , au profil de performances initial \bar{P}^l et à la coalition de critères $A \subset C$.

La valeur de $\omega_A^c(H)(\bar{P}^l)$ est grande si améliorer les critères de A conduit à une amélioration significative de la performance agrégée au sens de H . Le sous-ensemble de critères qui maximise $\omega_A^c(H)(\bar{P}^l)$ fournit les critères selon lesquels il est recommandé de s'améliorer en priorité. Labreuche propose une construction axiomatique de cet indicateur (linéarité, continuité, symétrie, sensibilité, récursivité) (Labreuche, 2004). Nous nous limitons par la suite à $H = C_\mu$.

Soient deux profils \bar{P}^j, \bar{P}^i et $A \subset C$. Les notations suivantes sont introduites : $[P'_A, P'_{C \setminus A}]$ désigne le profil composite dont les performances partielles sont telles que $P'_i > P^j_i$ si $i \in A$ et P^j_i sinon. Pour tout sous-ensemble de critères $A \subset C$, P_A désigne la restriction de \bar{P} sur A . L'auteur propose l'expression suivante pour l'indice de plus-value :

$$\omega_A^c(C_\mu)(\bar{P}^j) = \frac{1}{\prod_{i \in A} (1 - P^j_i)} \int_{P'_A \in [P_A, 1_A]} [C_\mu(P'_A, P'_{C \setminus A}) - C_\mu(\bar{P}^j)] dP'_A \quad (1)$$

$\omega_A^c(C_\mu)(\bar{P}^j)$ est la valeur moyenne de l'amélioration de la performance agrégée pour toutes les améliorations espérées $P'_A \in [P_A, 1_A]$ dans l'hypercube supérieur (Figure 1). Notons que la borne supérieure de l'intégrale est ici 1_A .

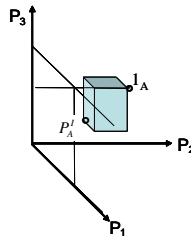


Figure 1: L'hypercube supérieur $P'_A - 1_A$
borne inférieure P'_A - borne supérieure 1_A

Labreuche étend enfin son indicateur de plus-value lorsque l'amélioration de C_μ implique un coût d'amélioration différent suivant les critères. Par exemple, on aura l'extension suivante :

$$\omega_A^c(C_\mu)(\bar{P}^j) = \frac{1}{\prod_{i \in A} (1 - P^j_i)} \int_{P'_A \in [P_A, 1_A]} \frac{[C_\mu(P'_A, P'_{C \setminus A}) - C_\mu(\bar{P}^j)] dP'_A}{c(P'_A, P_A - P^j_A)} \quad (2)$$

Au bénéfice $C_\mu(P'_A, P'_{C \setminus A}) - C_\mu(\bar{P}^j)$ de (1) se substitue le ratio coût/bénéfice $\frac{C_\mu(P'_A, P'_{C \setminus A}) - C_\mu(\bar{P}^j)}{c(P'_A, P_A - P^j_A)}$.

Labreuche lui préfère l'expression suivante :

$$\bar{\omega}_A^c(C_\mu)(\bar{P}^j) = \int_0^1 \frac{[C_\mu((1-\tau)P'_A + \tau \cdot 1_A, P'_{C \setminus A}) - C_\mu(\bar{P}^j)] d\tau}{c(P'_A, \tau(1_A - P^j_A))} \quad (3)$$

La raison qu'il avance, au-delà du calcul plus simple de $\bar{\omega}_A^c(C_\mu)(\bar{P}^j)$ (l'amélioration moyenne se calcule en effet simplement sur la diagonale $(P'_A, 1_A)$), est que lorsque le conseil consiste à améliorer les critères dans A , on peut raisonnablement penser que les améliorations partielles sont plus ou moins homogènes (sinon, si elles ne concernent que les critères de $A' \subset A$ alors le conseil initial était inutile !). L'indice de plus-value $\omega_A^c(C_\mu)(\bar{P}^j)$ ne rend pas compte de cette contrainte car toutes les améliorations dans l'hypercube supérieur sont autorisées. Labreuche montre encore que $\bar{\omega}_A^c(C_\mu)(\bar{P}^j)$ est toujours plus grand que $\omega_A^c(C_\mu)(\bar{P}^j)$: $\bar{\omega}_A^c(C_\mu)(\bar{P}^j)$ peut ainsi être considéré comme une estimation optimiste de la plus-value de l'amélioration.

Notons que l'identification de la coalition $A^* / \max_A \omega_A^c(C_\mu)(\bar{P}^j)$ résulte d'une interprétation statistique : en effet, $\omega_A^c(H)(\bar{P}^j)$ fournit les critères qui maximisent l'espérance de la variable aléatoire $C_\mu(P'_A, P'_{C \setminus A}) - C_\mu(\bar{P}^j) / c(P'_A, P_A - P^j_A)$. Par ailleurs, il est à noter que le conseil fourni par cette approche ne précise pas la valeur de la performance agrégée qui sera atteinte : elle garantit seulement que les critères de A^* maximisent les chances d'atteindre une performance agrégée aussi élevée que possible.

Pour la suite, nous conservons $\omega_A^c(C_\mu)(\bar{P}^j)$ comme défini dans (1), c'est-à-dire qu'aucune hypothèse n'est faite quant à l'homogénéité des améliorations partielles. En revanche, nous autorisons une borne supérieure P_C^{sup} non nécessairement égale à 1_C (par conséquent la borne supérieure dans (1) sera P_A^{sup} et non 1_A). Nous noterons cet indice étendu :

$$\omega_A^c(C_\mu)(\bar{P}^j, P_C^{sup}) \text{ et } \omega_A^c(C_\mu)(\bar{P}^j, 1_C) = \omega_A^c(C_\mu)(\bar{P}^j) \quad (4)$$

Maintenant revenons au problème du pilotage de \bar{P} depuis \bar{P}^j jusque \bar{P}^* . $\omega_A^c(C_\mu)(\bar{P}^j, P_C^{sup})$ nous fournit le principe du pilotage. Prenons $P_C^{sup} = \bar{P}^*$ où \bar{P}^* est la solution de (P_1) . On cherche à établir la trajectoire espérée du vecteur de performance \bar{P} de \bar{P}^j à \bar{P}^* en précisant une série de points intermédiaires \bar{P}^k à l'aide de $\omega_A^c(C_\mu)(\bar{P}^j, P_C^{sup})$ (algorithme A_1). L'algorithme (A_1) est le suivant :

Etant donné $\bar{P}^j, C_\mu, \forall i, cu_i$
 $k = 0, \bar{P}^0 := \bar{P}^j$
 Tant que $C_\mu(\bar{P}^k) < C_\mu(\bar{P}^*)$
 Calculer $A^* / \omega_A^c(C_\mu)(\bar{P}^k, \bar{P}^*) = \max_{A \subset C} \omega_A^c(C_\mu)(\bar{P}^k, \bar{P}^*)$
 Améliorer les performances partielles correspondant aux critères de A^* jusqu'au temps $k+1$
 Vérifier que les performances améliorées restent dans l'hypercube supérieur $P_A^k - P_A^*$
 Noter \bar{P}^{k+1} le nouveau profil de performance atteint au temps $k+1$
 Evaluer la performance agrégée $C_\mu(\bar{P}^{k+1})$
 $k = k+1$
 Fin tant que
 La série de points \bar{P}^k définit la trajectoire recherchée

Notons que cette façon de procéder pas à pas est possible parce que \bar{P}^* reste une solution de (P_1) pour tout \bar{P}^k comme profil initial pris dans l'hypercube supérieur $\bar{P}^j - \bar{P}^*$ (la preuve repose sur le fait qu'on utilise la norme L_1 dans (P_1) et la régression n'est pas autorisée). (A_1) garantit que, pour toute amélioration de \bar{P}^k à \bar{P}^{k+1} , les critères retenus correspondent à ceux qui maximisent les chances d'atteindre une performance agrégée aussi élevée que possible au pas $k+1$. Il s'agit bien d'un op-

timum au sens statistique du terme : les critères de A^* ne garantissent que l'espérance maximale pour l'amélioration globale à $k+1$.

3.2 Le point de vue de l'efficacité locale

Résoudre (P_1) avec \bar{P}^j et P^* fournit \bar{P}^* qui peut être assimilé, comme nous l'avons déjà mentionné, à la consigne associée au pilotage de \bar{P} dans le cadre d'une démarche efficace.

Reconsidérons donc le problème du contrôle de \bar{P} depuis \bar{P}^j jusqu'à \bar{P}^* : on cherche à définir une suite de points intermédiaires en s'appuyant cette fois-ci sur le concept stratégique d'efficacité locale. L'idée est de réutiliser (P_1) localement (plus exactement (P^*_1)). En effet, lorsque P^* est un objectif ambitieux, on peut imaginer qu'il soit nécessaire de se fixer des objectifs intermédiaires à plus court terme P^k pour lesquels il est plus facile de planifier des améliorations élémentaires. La stratégie de l'efficacité locale consiste à aller, de proche en proche, d'un point \bar{P}^k à un point \bar{P}^{k+1} de façon efficace et de procéder ainsi jusqu'à ce que \bar{P}^* soit atteint. Les managers doivent donc fixer une suite d'objectifs agrégés P^k que l'on atteindra pas à pas en résolvant (P^*_1) comme précisé dans l'algorithme (A_2) suivant :

Etant donné $\bar{P}^j, C_\mu, \forall i, c_i$
 Fournir une suite réelle d'objectifs P^k tels que
 $C_\mu(\bar{P}^j) \leq P^k \leq P^*$ (par exemple, si \bar{P}^* est atteint en p
 pas, on peut choisir
 $P^k = C_\mu(\bar{P}^j) + k \cdot \frac{P^* - C_\mu(\bar{P}^j)}{p}, k = 1, \dots, p$)
 $k = 0, \bar{P}^0 := \bar{P}^j$
 Tant que $C_\mu(\bar{P}^k) < C_\mu(\bar{P}^*)$
 Résoudre (P^*_1) avec \bar{P}^k comme profil initial et
 P^{k+1} comme objectif agrégé final et les contraintes de
 bornes : $\forall i, \delta_i^j = 0, \delta_i^j = 1 - P_i^*$; ce calcul donne
 \bar{P}^{k+1}
 $k = k + 1$
 Fin tant que
 La série des points \bar{P}^k définit la trajectoire recherchée

Cette stratégie garantit une efficacité locale dès que \bar{P}^k est atteint. La démarche est à la fois localement et globalement efficace lorsque \bar{P}^* est atteint. Cette suite d'améliorations élémentaires efficaces est une autre façon de justifier la trajectoire espérée de \bar{P} pour les dirigeants. Elle constitue une alternative au critère de décision stratégique reposant sur l'indice de plus-value.

3.3 Comparaison sémantique

D'un point de vue sémantique, cette seconde stratégie (β) s'apparente à des techniques de contrôle classique de l'automatique, alors que la première (α) était plus proche de considérations relevant de la théorie des jeux avec une sémantique statistique. Les deux straté-

gies peuvent être facilement justifiées par les dirigeants : la trajectoire calculée avec l'indice de plus-value assure que les performances partielles qui sont améliorées correspondent à l'espérance maximale de gain pour la performance agrégée de l'entreprise. Le calcul de la trajectoire pour la seconde stratégie repose sur un critère d'efficacité locale et globale. Les deux stratégies présentent des avantages—elles garantissent soit une rentabilité espérée maximale soit une efficacité continue—mais elles présentent aussi des inconvénients. En effet, le principe de l'indice de plus-value fournit certes les critères les plus statistiquement rentables, mais ne peut préciser la valeur du gain de la performance agrégée. Par exemple, l'indice de plus-value maximal peut être associé à un critère où la marge d'amélioration est extrêmement réduite (la performance de l'entreprise concernant ce critère est déjà élevée) et ainsi, même si la perfection était atteinte (i.e., 1), la performance globale ne s'en trouverait pas significativement augmentée. De plus, à chaque point \bar{P}^k l'indice de plus-value repose sur des considérations statistiques, ce n'est qu'une espérance de gain maximale, par conséquent l'évaluation des performances à $k+1$ peut s'avérer décourageante en pratique. L'avantage majeur de la stratégie α est qu'elle peut être utilisée lorsque l'on n'a aucune idée de l'objectif quantitatif à atteindre, contrairement à la stratégie β de l'efficacité locale. Enfin, la stratégie β peut garantir l'efficacité locale si et seulement si \bar{P}^k est précisément atteint...

4. CONTRIBUTION ET RENTABILITÉ ESPÉRÉES D'UNE AMÉLIORATION PARTIELLE

Nous proposons maintenant des outils pour une comparaison plus quantitative des deux logiques de pilotage. La notion élémentaire véhiculée dans ces deux stratégies est celle de contribution d'un critère à l'amélioration de la performance agrégée.

A cet égard, on considère le problème suivant : connaissant un profil de performances initial $\bar{P} = [P_1, \dots, P_n]$, l'opérateur C_μ et le profil

$\bar{P}^* = [P_1^*, \dots, P_n^*]$ résultant d'une amélioration efficace, quelle est la contribution de chacun des critères à cette amélioration ? Cette contribution ne peut pas être calculée a priori car elle ne dépend pas uniquement des vecteurs de performances partielles initial \bar{P}^j et final \bar{P}^* , mais du chemin suivi pour les joindre, i.e., de la trajectoire suivie par le vecteur profil des performances \bar{P} .

Sur l'exemple de la Figure 2, en 2-D, nous avons représenté trois chemins pour aller du point \bar{P}^j au point \bar{P}^* . L'effort à fournir C^* est le même pour tous les chemins \mathcal{C}_j , alors que la contribution d'un critère à l'amélioration agrégée $C_\mu(\bar{P}^*) - C_\mu(\bar{P}^j)$ est, elle, fonction du chemin suivi. La Figure 2 propose trois chemins

$\mathcal{E}_{j=1,2 \text{ et } 3}$ différents de \bar{P}^l à \bar{P}^* et l'expression de la contribution du critère 1 pour chacune de ces 3 trajectoires : $C_1^{e_j}$, $j=1,2 \text{ et } 3$. Les contributions du critère 1 sont : $C_1^{e_j} = \Delta\mu_1.(P_1^* - P_1^l)$, $C_1^{e_1} = \Delta\mu_1.(P_1^* - P_1^l)$ et $C_1^{e_2} = \Delta\mu_1.dp + \Delta\mu_1.(P_1^* - P_1^l - dp)$.

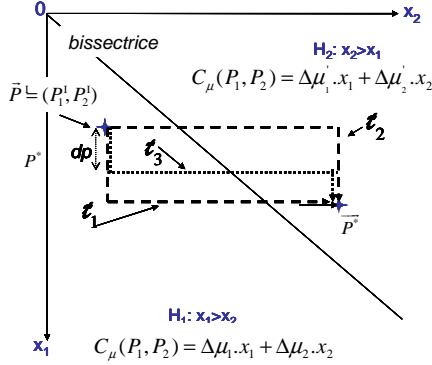


Figure 2. Contributions et trajectoires

La contribution a priori ou espérée d'un critère pour passer d'un profil \bar{P}^l à un profil \bar{P}^* n'est donc pas une grandeur certaine. Plutôt que d'en donner une valeur moyenne, nous avons choisi de caractériser cette imprécision par la borne inférieure et la borne supérieure que cette contribution peut prendre. On parlera de rentabilité minimale garantie et de rentabilité maximale espérée. Ainsi, nous définirons la borne inférieure de la contribution d'un critère i à l'amélioration qui mène de \bar{P}^l à \bar{P}^* par : $C_i^N = \min_{\mathcal{E}} C_i^e$. Cela signifie que le critère i contribue au moins à hauteur de C_i^N à l'amélioration $C_{\mu}(\bar{P}^*) - C_{\mu}(\bar{P}^l)$. De même, la borne supérieure de la contribution d'un critère i est notée : $C_i^{\Pi} = \max_{\mathcal{E}} C_i^e$. Cela signifie que le critère i contribue au plus à hauteur de C_i^{Π} à l'amélioration $C_{\mu}(\bar{P}^*) - C_{\mu}(\bar{P}^l)$. Ainsi l'imprécision attachée à l'impact d'un critère i sur $C_{\mu}(\bar{P}^*) - C_{\mu}(\bar{P}^l)$ est caractérisée par l'intervalle $[C_i^N, C_i^{\Pi}]$. Nous décrivons maintenant brièvement le principe du calcul de $[C_i^N, C_i^{\Pi}]$. Nous procédons en trois étapes.

Étape 1 : on construit le graphe complet Γ non orienté des $n!$ simplexes $H_{\sigma} = \{\bar{P} \in [0,1]^n / 0 \leq P_{\sigma(1)} \leq \dots \leq P_{\sigma(n)} \leq 1\}$.

Soit H_{σ_l} , le simplexe du profil initial \bar{P}^l et H_{σ_F} celui de \bar{P}^* . H_{σ_l} est la source du graphe et H_{σ_F} le puits.

- Pour tout nœud H_{σ} , on vérifie qu'il existe au moins un point $\bar{P}(\sigma)$ tel que : $\forall i \in \{1, \dots, n\}, P_i^l \leq P_i(\sigma) \leq P_i^*$;
- S'il n'existe pas de point $\bar{P}(\sigma)$, alors H_{σ} est supprimé de Γ ainsi que tous les arcs dont H_{σ} est une extrémité ;
- Lorsque la procédure a été effectuée sur chaque nœud H_{σ} , on obtient un graphe filtré Γ_F en fonction de la source et du puits de Γ .

Étape 2 : Pour chaque nœud H_{σ} de Γ_F , calculer la plage de variations autorisée de $P_i(\sigma)$ pour tout critère i , notée $[B_i^{Inf}(\sigma); B_i^{Sup}(\sigma)]$. Le calcul est donné par :

$$B_i^{Inf}(\sigma) = \max_{j \leq \sigma^{-1}(i)} P_{\sigma(j)}^l ; B_i^{Sup}(\sigma) = \min_{j \geq \sigma^{-1}(i)} P_{\sigma(j)}^*$$

Un exemple de calcul pour $i=4$ et $n=4$ est proposé (cf. Figure 3). H_{σ} est tel que le score partiel relatif au critère 4 est supérieur à celui du critère 1, mais inférieur à ceux des critères 2 et 3.

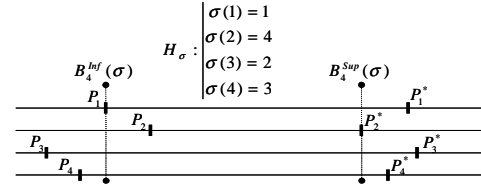


Figure 3. Exemple de calcul de $[B_i^{Inf}(\sigma); B_i^{Sup}(\sigma)]$

Étape 3 : Γ_F définit un ensemble de chemins $Path_k, k=1..m$ de source H_{σ_l} et de puits H_{σ_F} sans cycle. Pour tout nœud H_{σ} de $Path_k$, on dispose de $[B_i^{Inf}(\sigma); B_i^{Sup}(\sigma)]$ et de $\Delta\mu_i(\sigma)$, le coefficient de linéarité de C_{μ} pour le critère i dans le simplexe H_{σ} . Soit $\mathcal{E}_i^{Path_k}$ l'ensemble des suites d'intervalles disjoints $I_i(\sigma)$ telles que $I_i(\sigma) \subseteq [B_i^{Inf}(\sigma); B_i^{Sup}(\sigma)]$ et

$$\bigcup_{\sigma / H_{\sigma} \in \text{Noeuds}(Path_k)} I_i(\sigma) = [P_i^l; P_i^*].$$

On calcule alors avec $L(I)$ la longueur de l'intervalle I :

$$\min_{\mathcal{E}_i^{Path_k}} \sum_{\sigma / H_{\sigma} \in \text{Noeuds}(Path_k)} \Delta\mu_i(\sigma).L(I_i(\sigma))$$

$$\max_{\mathcal{E}_i^{Path_k}} \sum_{\sigma / H_{\sigma} \in \text{Noeuds}(Path_k)} \Delta\mu_i(\sigma).L(I_i(\sigma))$$

Finalement, on a les formules suivantes :

$$C_i^N = \min_{Path_k} \min_{\mathcal{E}_i^{Path_k}} \sum_{\sigma / H_{\sigma} \in \text{Noeuds}(Path_k)} \Delta\mu_i(\sigma).L(I_i(\sigma))$$

$$C_i^{\Pi} = \max_{Path_k} \max_{\mathcal{E}_i^{Path_k}} \sum_{\sigma / H_{\sigma} \in \text{Noeuds}(Path_k)} \Delta\mu_i(\sigma).L(I_i(\sigma)) \quad (5)$$

Notons que si l'on procède à un suivi dans le temps du profil des performances \bar{P}^k où k désigne le temps (monitoring de la performance), on peut suivre à cet effet l'évolution des $[C_i^N(k), C_i^{\Pi}(k)]$ (on recalcule à chaque point \bar{P}^k , $[C_i^N(k), C_i^{\Pi}(k)]$). On a : $[C_i^N(k), C_i^{\Pi}(k)] \supseteq [C_i^N(k+1), C_i^{\Pi}(k+1)]$. Autrement dit, l'imprécision quant à la contribution d'un critère à $C_{\mu}(\bar{P}^*) - C_{\mu}(\bar{P}^l)$ diminue lorsqu'on se rapproche du profil cible recherché \bar{P}^* . Quand on atteint \bar{P}^* à $k=k^*$, $C_i^N(k^*) = C_i^{\Pi}(k^*)$, soit $L([C_i^N(k^*); C_i^{\Pi}(k^*)]) = 0$: cela signifie qu'il n'y a bien sûr plus d'imprécision quant à la contribution de chaque critère quand on raisonne a posteriori (quand la cible est atteinte). Les $[C_i^N(k), C_i^{\Pi}(k)]$ peuvent ainsi être utilisés pour le monitoring du profil des performances lors de la mise en œuvre de la démarche d'amélioration visant à aller de

\vec{P}^j à \vec{P}^* . Le décideur a une estimation dans le temps de la contribution espérée de chacune des dimensions de l'activité de son entreprise à l'objectif global fixé.

Nous allons voir à travers le cas d'étude qui suit comment utiliser $[C_i^N, C_i^P]$ pour comparer quantitativement les trajectoires définies avec l'indice de plus value et l'efficacité locale.

5. CAS D'ETUDE

Cette illustration est empruntée au cas d'étude tiré de (Clivillé et al., 2007). Nous considérons le cas d'un cuisiniste qui, conformément aux normes, souhaite intégrer une politique environnementale dans sa stratégie qualité. Une démarche d'amélioration *Qualité et Environnement* est ainsi définie au niveau stratégique, associée toutefois à un objectif global d'augmentation des profits, de sorte que les actions menées soient les moins coûteuses. Plus précisément, l'entreprise projette de cibler ses actions sur la satisfaction d'un objectif lié à l'augmentation de sa production. Le niveau de production dépend de 4 critères associés à 4 indicateurs de performance : Niveau des stocks (c_1), Disponibilité des machines (c_2), Qualité (c_3) et Compétence des opérateurs (c_4).

Supposons que la performance globale soit définie comme le résultat de l'agrégation, par l'intégrale de Choquet, de ces quatre performances élémentaires. Le Tableau 1 récapitule les performances actuelles, i.e., les coordonnées de \vec{P}^j , ainsi que l'importance relative de chacune d'elles. D'autre part, les estimations des coûts de passage d'une performance nulle (0) à une performance totale (1) ont été recueillies (Clivillé et al., 2007). Le Tableau 2 récapitule les interactions de l'intégrale.

	Indicateurs	Poids (v_i)	Coût (c_i)	\vec{P}^j
1	Niveau des stocks	0.30	1 000k€	0.80
2	Disponibilité des machines	0.25	3 000k€	0.25
3	Qualité	0.30	2 000k€	0.75
4	Compétence des opérateurs	0.15	3 000k€	0.50

Tableau 1. Les poids, coûts et performances initiales

Interactions entre	Valeur
Niveau des stocks – Disponibilité	0.30
Niveau des stocks – Qualité	0.20
Compétences – Qualité	0.25

Tableau 2. Les coefficients d'interaction

La performance agrégée actuelle est de : $C_\mu(\vec{P}^j) = C_\mu(0.8, 0.25, 0.75, 0.5) = 0.483$. Le pilote se fixe pour objectif global 0.9. En résolvant (P_1) avec \vec{P}^j comme point initial et $P^* = 0.9$ comme objectif global, on trouve le profil à atteindre $\vec{P}^* = (1, 1, 1, 0.636)$ pour que la démarche d'amélioration soit efficace avec un coût global de $C^* = 3358k€$.

Il reste maintenant à décider de la stratégie la plus pertinente pour l'entreprise pour atteindre ce niveau de performance. Nous allons illustrer dans cette section les deux stratégies α et β évoquées dans cet article. Passer de $C_\mu(\vec{P}^j) = 0.483$ à $C_\mu(\vec{P}^*) = 0.9$ peut paraître un objectif

ambitieux qui demandera du temps pour être réalisé. Pour limiter les risques de cette longue entreprise, nous imaginons alors les deux stratégies suivantes :

- Le pilote se fixe des objectifs intermédiaires (stratégie β) qui lui paraissent plus pragmatiques à courte échéance. Il décompose ainsi l'intervalle $[0.483, 0.9]$ en une suite d'intervalles dont il va se donner la borne supérieure comme objectif global à court terme de proche en proche (Algorithme A_2). Pour atteindre cet objectif, il résout (P_1) pour chaque objectif intermédiaire, pas à pas, jusqu'à l'atteinte de $\vec{P}^* = (1, 1, 1, 0.636)$. Ainsi, même si sa progression venait à être stoppée pour une raison quelconque, le pilote pourra toujours mettre en avant sa démarche efficace localement et globalement ;
- Le pilote utilise l'indice de plus-value dans l'hypercube de sommet inférieur \vec{P}^j et de sommet supérieur \vec{P}^* (stratégie α). Il fait ponctuellement le point. A chacun de ces bilans, il recalcule l'indice de plus-value et recommence sa progression, il procède ainsi de proche en proche jusque \vec{P}^* (algorithme A_1). Si sa progression venait à être stoppée pour une raison quelconque, le pilote pourra toujours expliquer que statistiquement il a toujours « emprunté la voie » la plus prometteuse, la plus rentable en moyenne.

Pour la première stratégie, les critères à améliorer en priorité sont fixés par les optimisations locales (résolution de (P_1)). On suppose, par exemple, que la marge de progression est fixée chaque année par le décideur, après avoir examiné ses résultats annuels : sur notre exemple, le pilote décide de réaliser \vec{P}^* en trois ans en s'étant fixé au préalable 0.69 comme objectif global la première année, 0.8 la seconde et 0.9 enfin la troisième. D'année en année, on résout (P_1) pour déterminer le profil visé de proche en proche (Algorithme A_2). Le tableau 3 donne les différents points intermédiaires calculés localement par (P_1) chaque année et la trajectoire de la démarche « localement et globalement efficace » est représentée par le chemin en ligne continue de la figure 4. Les pointillés délimitant des régions dans l'espace à n dimensions sont les frontières entre les simples traversés par les trajectoires calculées.

	1 ^{ère} année			
	2 ^{ème} année			\vec{P}^*
	3 ^{ème} année			
\vec{P}	\vec{P}^j	\vec{P}^1	\vec{P}^2	\vec{P}^*
C_1	0.8	0.8	0.914	1
C_2	0.25	0.759	0.914	1
C_3	0.75	0.759	0.914	1
C_4	0.5	0.5	0.5	0.636
$C_\mu(\vec{P})$	0.483	0.69	0.8	0.9

Tableau 3. La trajectoire avec efficacité locale

Selon la seconde stratégie, on cherche à s'améliorer autant que se peut durant l'exercice annuel. Pour cela, on calcule les indicateurs de plus-value pour les différents sous-ensembles de critères, ce qui va nous permettre d'identifier les critères les plus rentables statistiquement (i.e., en moyenne). L'amélioration portera sur les critères de $A^* / \omega_A^c(C_\mu)(\vec{P}^j) = \max_{A \subset C} \omega_A^c(C_\mu)(\vec{P}^j)$. Lors du bilan de fin d'année, il faut recalculer les indicateurs de

plus-value avec pour profil initial le profil atteint en fin d'exercice annuel (Algorithme (A₁)). On procède ainsi de proche en proche jusque \bar{P}^* . Le tableau 4 donne les points de la stratégie basée sur l'indice de plus-value.

\bar{P}	1 ^{ère} année		2 ^{ème} année		3 ^{ème} année	
	\bar{P}^1	\bar{P}^2	\bar{P}^3	\bar{P}^4	\bar{P}^5	\bar{P}^6
C_1	0,8	0,8	1	1	1	1
C_2	0,25	0,65	0,9	0,9	1	1
C_3	0,75	0,75	0,8	0,8	1	1
C_4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,636	0,636
$C_\mu(\bar{P})$	0,483	0,643	0,768	0,768	0,9	0,9

Tableau 4. La trajectoire basée sur l'indice de plus-value

Le tableau 5 donne les indices de plus-value $\omega_\mu^c(C_\mu)(\bar{P})$ pour les 2^4-1 sous-ensembles possibles non vides pour $\bar{P} = \bar{P}^1$ la première année, $\bar{P} = \bar{P}^3$ la seconde et $\bar{P} = \bar{P}^4$ la troisième. Dans chaque colonne a été surligné A^* . Ainsi, la première année l'amélioration porte sur le critère 2 *Disponibilité des machines*, la seconde sur 3 des 4 critères simultanément et enfin, la dernière année, l'amélioration ne porte que sur le critère 3 *Qualité*. Sur la figure 4, la trajectoire basée sur l'indice de plus-value est la ligne en filigrane passant par \bar{P}^3 et \bar{P}^4 . Notons qu'il relèverait du *hasard* que \bar{P}^3 et \bar{P}^4 correspondent à des démarches d'amélioration « localement » efficaces. Le coût global de l'amélioration est s'élevé dans les deux cas à 3358k€.

A	$\omega_\mu^c(C_\mu)(\bar{P}^1)$	$\omega_\mu^c(C_\mu)(\bar{P}^3)$	$\omega_\mu^c(C_\mu)(\bar{P}^4)$
C_1, C_2, C_3, C_4	0,01191	0,01102	0,01196
C_1, C_2, C_3	0,01232	0,01147	0,01357
C_1, C_2, C_4	0,01185	0,01069	0,01098
C_1, C_3, C_4	0,00963	0,00963	0,01144
C_2, C_3, C_4	0,01146	0,00965	0,01196
C_1, C_2	0,01235	0,0112	0,01333
C_1, C_3	0,00989	0,00989	0,01375
C_1, C_4	0,00769	0,00769	0,00917
C_2, C_3	0,01186	0,00992	0,01357
C_2, C_4	0,01227	0,01043	0,01098
C_3, C_4	0,00863	0,00863	0,01144
C_1	0,00500	0,00500	0
C_2	0,01303	0,01133	0,01333
C_3	0,00893	0,00893	0,01375
C_4	0,00917	0,00917	0,00917

Tableau 5. Les indices de plus-value

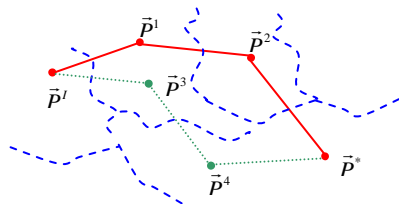


Figure 4. Les trajectoires des stratégies de pilotage

Enfin, nous avons calculé les intervalles $[C_i^N(I), C_i^P(I)]$ qui donnent les bornes inférieures et supérieures de la contribution espérée du critère i à l'objectif global pour chaque critère au point initial \bar{P}^1 . Les résultats sont rapportés dans le tableau 6. La colonne « amélioration » donne les coordonnées du vecteur $\bar{\delta}^*$ de l'amélioration

efficace de \bar{P}^1 à \bar{P}^* . Dans la colonne « coût » sont rapportés les coûts correspondant à cette amélioration efficace. Les colonnes $C_i^N(I)$ et $C_i^P(I)$ donnent les contributions minimales et maximales espérées de chaque critère pour une amélioration efficace de \bar{P}^1 à \bar{P}^* . La colonne 6 (resp. 7) donne la rentabilité associée minimale (resp. maximale) espérée de chaque dimension évaluée de l'entreprise lorsque la démarche d'amélioration est initiée (en \bar{P}^1).

Les colonnes 8 et 9 fournissent respectivement la contribution et la rentabilité réelles de chaque critère à l'objectif global $C_\mu(\bar{P}^*)$ lorsqu'on a suivi la trajectoire basée sur le critère « efficacité locale et globale » (stratégie β) : c'est-à-dire la contribution et la rentabilité calculée a posteriori lorsqu'on a atteint \bar{P}^* en passant par \bar{P}_1 et \bar{P}_2 . Les colonnes 10 et 11 proposent les mêmes données pour la stratégie α basée sur l'indice de plus-value.

On remarque ainsi que les deux stratégies conduisent sur cet exemple à des résultats radicalement opposés. Ainsi si l'on analyse la contribution et la rentabilité réelles des critères pour la stratégie α et la stratégie β , on s'aperçoit que les critères les plus profitables pour l'une sont les moins intéressants pour l'autre et vice-versa (excepté pour le critère C_4 *compétence des opérateurs* qui a lui une contribution certaine dès le début de la démarche).

6. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons abordé le pilotage au niveau stratégique d'une démarche d'amélioration efficace sous l'hypothèse d'un modèle de performance agrégée. La notion d'efficacité ne dépend alors que du point initial, de l'objectif global final visé et des fonctions coûts attachées à chaque dimension de l'activité évaluée. Nous avons proposé sous la forme d'un problème d'optimisation de calculer le profil à atteindre caractéristique d'une démarche d'amélioration efficace. Ces informations concernent la partie statique de l'analyse de la démarche d'amélioration. Il s'agit ensuite de choisir une trajectoire idéale pour le vecteur des performances partielles lors de cette démarche d'amélioration à un niveau stratégique, c'est-à-dire uniquement en raisonnant sur le système d'indicateurs de performances, de manière découplée des contraintes opérationnelles. Ce pilotage stratégique ne traduit que le souhait, les préférences des dirigeants et non pas les réalités tactiques et opérationnelles. Nos propositions pour déterminer cette trajectoire reposent toutes deux sur la notion centrale de contribution d'un critère à l'objectif global. Nous avons expliqué que cette notion de contribution espérée n'est pas une grandeur déterministe. Nous avons proposé deux critères de décision pour caractériser une trajectoire idéale. Deux grandes attitudes ont été ainsi distinguées : choisir de s'améliorer en priorité selon les dimensions réputées être statistiquement les plus rentables ou bien procéder

de proche en proche en garantissant une efficacité locale. Ces deux philosophies nous ont permis de proposer deux algorithmes pour supporter le pilotage stratégique de l'amélioration. Nous avons ensuite comparé sémantiquement les deux alternatives avant de proposer des outils qui permettent de calculer les contributions des performances partielles entre deux profils de performance. Ces outils ont permis une comparaison plus quantitative des deux stratégies. On peut imaginer bien d'autres logiques décisionnelles de pilotage de la démarche d'amélioration efficace dans un contexte d'évaluation multicritère combinant ces indices relatifs à la notion de contribution d'un critère. Nos travaux futurs devraient néanmoins être d'abord consacrés à faire le lien entre cette vision résolument orientée aide à la décision du pilotage

stratégique d'une démarche d'amélioration et le pilotage tactique de la démarche, intégrant les contraintes opérationnelles de l'entreprise et les plans d'action effectivement réalisables.

7. REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mes collègues du Listic de l'Université de Savoie, Lamia Berrah, Vincent Clivillé et Gilles Mauris qui ont nourri cette réflexion tant sur le plan formel que sur le plan applicatif. Grâce à eux, j'ai eu envie de transposer des considérations parfois un peu abstraites sur le multicritère et l'incertain au Génie Industriel. Enfin, je salue le travail de mon doctorant Sofiane Sahraoui qui a développé les codes de calcul qui supportent cet article et ne manque jamais de me faire part de ses remarques pertinentes et constructives.

Critère	Amélioration	Coût k€	$C_i^N(I)$	$C_i^\Pi(I)$	Rentabilité minimale espérée (%)	Rentabilité maximale espérée (%)	Contribution Réelle Stratégie β (efficacité locale)	Rentabilité réelle (%) Stratégie β	Contribution Réelle Stratégie α (plus-value)	Rentabilité réelle (%) Stratégie α
C ₁	0.2	200	0,0099	0,11	4.95 ^E -3	5.5 ^E -2	0,11	5.5 ^E -2	0.01	5 ^E -2
C ₂	0.75	2250	0,24	0,3	1.067 ^E -2	1.33 ^E -2	0,24	1.067 ^E -2	0,3	1.33 ^E -2
C ₃	0.25	500	0,02875	0,06875	5.75 ^E -3	1.375 ^E -2	0,02875	5.75 ^E -3	0.06875	1.375 ^E -2
C ₄	0.136	408	0,0374	0,0374	9.17 ^E -3	9.17 ^E -3	0,0374	9.17 ^E -3	0.0374	9.17 ^E -3
Somme		3358					0,41615		0,41615	

Tableau 6. Les contributions et rentabilités espérées et réelles

REFERENCES

- Berrah, L. and V. Clivillé, 2007. Towards an aggregation performance measurement system model in a supply chain context. *Computers in Industry*, 58, (7) pp. 709-719.
- Berrah, L., G. Mauris and J. Montmain, 2005. Industrial performance improvement: efficacy and efficiency measurement issued from a Choquet integral aggregation. *IESM'05*, Marrakech, Morocco.
- Berrah, L., G. Mauris and J. Montmain, 2008. Diagnosis and improvement indexes for a multi-criteria industrial performance synthesized by a Choquet integral aggregation *The International Journal of Management Science, Omega*, 36, (3) pp. 340-351.
- Berrah, L., G. Mauris, Montmain, J. and V. Clivillé, (in press) Efficacy and efficiency indexes for a multi-criteria industrial performance synthesized by Choquet integral aggregation. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*.
- Berrah, L., G. Mauris, and F. Vernadat, 2004. Information aggregation in industrial performance measurement: rationales, issues and definitions. *International Journal of Production Research*, 42, (20) pp. 4271-4293.
- Bititci, U.S., 1995. Modelling of performance measurement systems in manufacturing enterprises. *International Journal of Production Economics*, 42, (2) pp. 137-147.
- Clivillé, V., L. Berrah and G. Mauris, 2007. Quantitative expression and aggregation of performance measurements based on the Macbeth multi-criteria method. *International Journal of Production Economics*, 105, (1) pp. 171-189.
- Clivillé, V., L. Berrah, G. Mauris and A. Haurat, 2003. A systemic view of performance indicators. *31th Int. Conf. on Computers and Industrial Engineering (ICCIE'03)* San Francisco, USA.
- Doumeings, G. and Y. Ducq, 2001. « Enterprise modelling techniques to improve efficiency of enterprises », *Production Planning & Control*, 12, (2) pp. 146-163.
- Grabot, G., 1998. Objective satisfaction assessment using neural nets for balancing multiple objectives. *International Journal of Production Research*, 36, (6) pp. 2377-2395.
- Kueng, P. and A. J. W. Krahn, 1999. Building a process performance measurement system: Some early experiences. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 58, (3-4) pp. 149-159.
- Labreuche, C., 2004. Determination of the criteria to be improved first in order to improve as much as possible the overall evaluation. *IPMU'04*, Perugia, Italie.
- Montmain, J., 2007. Interprétation de la contribution d'un critère dans le contexte d'une amélioration multicritère basée sur une intégrale de Choquet. *LFA'2007, Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications*, Nîmes, France.
- Montmain, J., G. Mauris, and A. Akharraz, 2005. Elucidation and Decisional Risk in a Multi Criteria Decision based on a Choquet Integral Aggregation-A Cybernetic Framework. *Int. Journal of multi-criteria decision analysis, Wiley Intersciences*, 13, (5-6) pp. 239-258.
- Neely, A., 1999. The performance measurement revolution: why now and what next? *International Journal of Operations and Production Management*, 19, pp. 205-228.
- Sahraoui, S., J. Montmain, L. Berrah and G. Mauris, 2007a. Decision-aiding functionalities for industrial performance improvement. *4th IFAC MCPL*, Sibiu, Romania.
- Sahraoui, S., J. Montmain, L. Berrah and G. Mauris, 2007b. User-friendly optimal improvement of an overall industrial performance based on a fuzzy Choquet integral aggregation. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, London, UK.
- Suppes, P. and J. L. Zinnes, 1963. Basic measurement theory.