



LOUVAIN
School of Management

Pilotage Souple de la Performance des Systèmes de Production

Valérie DHAEVERS

Thèse de doctorat 6 | 2011

Pilotage Souple de la Performance des Systèmes de Production
Valérie DHAEVERS 6 | 2011

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
www.uclouvain.be

UNIVERSITE CATHOLIQUE DE LOUVAIN

Louvain School of Management

**PILOTAGE SOUPLE DE LA PERFORMANCE
DES SYSTEMES DE PRODUCTION**

VALERIE DHAEVERS

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de
Docteur en Sciences Economiques et de Gestion

Membres du Jury :

Pr. Marcel Gérard	Université Catholique de Louvain – site de Mons, Président
Pr. Fouad Riane	Université Catholique de Louvain – site de Mons, Promoteur
Dr. David Duvivier	Université du Littoral Côte d'Opale (France), Co-promoteur
Pr. Nadine Meskens	Université Catholique de Louvain – site de Mons, examineur
Pr. Eric Ramat	Université du Littoral Côte d'Opale (France), examineur
Pr. Pierre Semal	Université Catholique de Louvain, examineur
Pr. Nikolay Tchernev	Université d'Auvergne (France), examineur

Octobre 2011

REMERCIEMENTS

Merci aux membres de ce jury pour leurs remarques pertinentes qui ont permis de peaufiner ce travail...

Merci à Hakim et à Fouad qui m'ont fait confiance et m'ont ouvert une voie que je n'avais jamais imaginée emprunter...

Merci à Nadine d'avoir assuré la relève et de m'avoir poussé à concrétiser le travail entrepris par ce document si... volumineux... Merci pour tes encouragements toujours formulés aux moments opportuns...

Merci à David de m'avoir accompagnée tout au long de ce travail. Le chemin a parfois, souvent même, été compliqué et semé d'embûches... mais tu as toujours été fidèle au poste, disponible, enthousiaste et foisonnant d'idées ...

Merci à Olivier d'avoir passé de nombreuses soirées à discuter, à analyser des résultats et à concrétiser divers aspects de cette recherche... Merci pour tout le travail fourni depuis les coulisses...

Merci au professeur S. E. Elmaghraby d'avoir accepté de collaborer à cette recherche et de nous avoir invités à prendre part à la rédaction du « chapitre » comme nous aimons l'appeler... Les longues soirées passées aux Fucam à triturer des données sont oubliées !

Merci à Maryline pour ses relectures et ses remarques opportunes... Quel courage !

Merci à mes CHERS collègues des Fucam... Oublions nos discussions de travail et ne retenons que les pauses café, les tartes, les soirées arrosées et l'élément incontournable : le rire ! Les années passées aux Fucam en votre compagnie resteront inoubliables...

Merci à mes nouvelles collègues de la Ville de Mons d'avoir géré de mains de maître mes dossiers lors de mes absences studieuses...

Merci à toute ma famille d'avoir suppléé à mes absences dans mes obligations familiales et d'avoir cru en moi ! Sans eux, tout cela n'aurait pu se réaliser...

Merci à mes enfants d'avoir été si patients... Je ne compte plus le nombre de fois où j'ai dit « Maman a du travail, elle viendra jouer plus tard ! »...

Merci tout particulièrement à Laurent pour les soirées passées en solitaire, les sorties monoparentales, le stress et la mauvaise humeur qui se sont parfois invités à la maison...

MERCI à TOUS !

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières	6
Table des illustrations	10
Introduction	14
Chapitre 1	19
Performance & Pilotage	19
1. La performance d'un système de production	20
1.1. Les concepts fondamentaux de la performance	20
1.2. Vision actuelle de la performance : globale, plurielle, durable et pilotée	23
1.2.1. La performance est ... globale	23
1.2.2. La performance est ... plurielle	26
1.2.3. La performance se veut ... durable	33
1.2.4. La performance... se pilote	34
2. Le pilotage de la performance des systèmes complexes	35
2.1. Pilotage et pilotage industriel	35
2.2. Les missions d'un système de pilotage de la performance	36
2.2.1. L'outil de pilotage : L'indicateur de performance	37
2.2.2. Mission 1 : Evaluer la performance réalisée par le système de production	43
2.2.3. Mission 2 : Veiller à l'amélioration continue de la performance obtenue	45
2.3. Deux démarches d'amélioration complémentaires : l'amélioration continue et l'amélioration radicale	46
3. Conclusions du chapitre 1	48
Chapitre 2	51
Le système de pilotage de la	51
performance	51
1. La structure d'un système de pilotage	52
1.1. Les centres de décisions et leurs liens de dépendance	53
1.2. La classification des structures de pilotage	53
1.3. Cohérences hiérarchique, spatiale et temporelle d'un système de pilotage	55
2. Les typologies de pilotage	58
3. L'organisation et le fonctionnement du pilotage	61
3.1. Le pilotage nécessite une vision par processus de l'entreprise	62
3.2. Le pilotage repose sur un mécanisme de prise de décision	63
3.2.1. Le processus de prise de décision	63
3.2.2. Complexité et incertitude dans la prise de décision	66
4. Approche de modélisation et systèmes de pilotage : état de l'art	67

5. Vers un système de pilotage souple de la performance	73
5.1. Comment améliorer l'efficacité et l'efficience des approches et systèmes de pilotage actuels ?	74
5.2. Le pilotage souple de la performance	77
5.2.1. La boucle de décision	77
5.2.2. La boucle de pilotage virtuel	78
6. Conclusions du chapitre 2	80
Chapitre 3	83
Proposition d'une Architecture	83
de Pilotage Souple de la Performance	83
1. Définition du cadre de l'étude	84
2. Opérationnalisation du pilotage souple de la performance	87
3. Activité de pilotage 1 : Modélisation de la connaissance	89
3.1. Objectif de l'Activité 1 de pilotage « Modélisation »	90
3.2. Résultante de l'activité de pilotage 1 : les modèles de connaissance	90
3.2.1. Le périmètre de pilotage du système de production	91
3.2.2. Modèle de connaissance physique	92
3.2.3. Modèle de connaissance logique	94
3.2.4. Modèle de connaissance décisionnel	95
3.2.5. Modèle de connaissance de la performance	95
4. Activité de pilotage 2 : Analyse de l'existant	106
4.1. Objectif de l'activité de pilotage 2 « Analyse »	106
4.2. Résultante de l'activité de pilotage 2 : Module d'analyse	107
4.2.1. Diagnostic	107
4.2.2. Sélection et quantification des objectifs prioritaires	107
4.2.3. Associer à chaque objectif prioritaire sa mesure de performance, le mécanisme d'agrégation à utiliser et le seuil déclencheur de l'action	108
4.2.4. Sélection des variables d'action retenues et désagrégation de chacune d'elles en actions	110
5. Activité de pilotage 3 : Traduction des actions de pilotage en modèles d'action	113
5.1. Objectif de l'activité de pilotage 3 « Traduction »	113
5.2. Résultante de l'activité de pilotage 3: Les modèles d'action	114
5.2.1. Les modèles de comportement	114
5.2.2. Les modèles d'optimisation	116
5.2.3. Les modèles hybrides	117
6. Activité de pilotage 4 : Exploitation des modèles d'action dans la boucle de pilotage virtuel et évaluation, par les modèles de résultats, des actions de pilotage proposées	119
6.1. Objectif de l'activité de pilotage 4 « Exploitation & Evaluation »	120
6.2. Résultante de l'activité de pilotage 4 : la boucle de pilotage virtuel	121
6.2.1. Réplication du système réel	121
6.2.2. Autres modèles d'action instanciés	123
6.2.3. Modèles de résultats	123
7. Activité de pilotage 5 : Déploiement de l'action sur le système réel	128
8. Activité de pilotage 6 : Reconfiguration du système de pilotage	129
9. Activité de pilotage 7 : Révision des modèles de connaissance suite aux modifications intervenues sur le système réel ou en cas de correction de la modélisation établie	130
10. Conclusions du chapitre 3	131
Chapitre 4	136

Confrontation	136
à la réalité de l'entreprise,	136
le cas ArcelorMittal Fontaine	136
1. Validation en entreprise : Le cas « ArcelorMittal Fontaine »	137
1.1. Le groupe ArcelorMittal	137
1.2. L'entreprise ArcelorMittal Fontaine	138
2. Exposé de la problématique du pilotage souple centrée sur la résolution du problème industriel « ArcelorMittal Fontaine »	138
3. Le déploiement du système de pilotage de la performance chez ArcelorMittal Fontaine	139
3.1. Activité de pilotage « Modélisation de la connaissance »	140
3.1.1. Le Périmètre de pilotage défini	140
3.1.2. Le modèle de connaissance physique	141
3.1.3. Le modèle de connaissance logique	152
3.1.4. Le modèle de connaissance décisionnel	153
3.1.5. Le modèle de connaissance de la performance	154
3.2. Activité de pilotage « Analyse de l'existant »	161
3.2.1. Diagnostic du système de production ArcelorMittal Fontaine	161
3.2.2. Sélection et quantification des objectifs prioritaires	162
3.2.3. Associer à chaque objectif prioritaire sa mesure de performance, le mécanisme d'agrégation à utiliser et le seuil déclencheur de l'action	165
3.2.4. Sélection de la ou des variable(s) d'action retenue(s) & désagrégation de chacune d'elles en actions	167
3.3. Activités de pilotage « Traduction des actions de pilotage en modèles d'action »	168
3.3.1. Un modèle de simulation destiné à l'évaluation d'actions de pilotage	169
3.3.2. Description du modèle de simulation	170
4. Conclusions du chapitre 4	176
Chapitre 5	178
Pilotage souple	178
chez ArcelorMittal Fontaine	178
1. Déploiement des actions de pilotage visant l'optimisation de l'ordonnancement	179
1.1. Le modèle d'action dédié à l'ordonnancement	182
1.1.1. L'hybride sériel	183
1.1.2. L'hybride multicritère	184
1.2. Exploitation de la boucle de pilotage virtuel et modèles de résultats associés	185
1.2.1. Tableaux de bord du système piloté	186
1.2.2. Module d'analyse multicritère	189
1.2.3. Résultats fournis par la boucle de pilotage virtuel	193
1.2.4. Modèle d'analyse statistique	207
1.2.5. Utilisation de la boucle de pilotage virtuel en vue de la validation statistique des résultats	208
2. Déploiement des actions de pilotage visant l'optimisation de la planification-programmation	211
2.1. Tableau de bord et critères de décision	212
2.2. Modèle de planification-ordonnancement établi	213
2.2.1. Phase 1 : Activation du modèle de planification-programmation	214
2.2.2. Phase 2 : Activation du modèle d'ordonnancement	216
2.2.3. Conclusions	216
2.3. Utilisation de la boucle de pilotage virtuel en vue de l'optimisation de la planification-programmation – Phase 1	216

2.4.	Utilisation de la boucle de pilotage virtuel en vue de l'optimisation de la planification- ordonnancement – Phase 1 & Phase 2	219
2.5.	Synthèse des résultats	221
2.6.	Incidence de la mise en œuvre des actions de pilotage sur l'ensemble du système de production	223
3.	Limites du pilotage souple	224
3.1.	La nécessaire implication et prise en compte des ressources humaines	224
3.1.1.	Implication de la direction, première condition de succès	225
3.1.2.	Adhésion et participation active du personnel, seconde condition de succès	225
3.2.	L'importance du système d'information	226
3.3.	L'incontournable stratégie	229
4.	Conclusions du chapitre 5	230
	Conclusions Générales	233
	& Perspectives	233
	Références	240
	Bibliographiques	240
	Annexe 1 : Analyse Causes à effets & « 5M »	258
	Résumé	265

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: Le tétraèdre des performances des systèmes de production d'après [Bescos et al., 1995]	21
Figure 2 : Performances interne et externe dans une relation d'échange [Fortuin, 1988]	22
Figure 3: Le développement durable, conjonction des aspects économiques, sociaux et écologiques [Bronet, 2006]	32
Figure 4: Les facteurs de succès d'une pérennisation de performance [Pillet & Maire., 2004]	33
Figure 5 : La boucle de pilotage vue à travers l'indicateur de performance [Berrah, 2002] & [Clivillé, 2004]	38
Figure 6: Modèle générique d'un système de pilotage inspiré de [Burlat et al., 2003]	46
Figure 7: Quelques structures de pilotage [Pujo & Kieffer, 2002]	54
Figure 8: Problématique de la mesure de la performance : cohérences spatiales et temporelles [Pellegrin, 2001]	56
Figure 9: Structure de pilotage coordonnée hiérarchisée intégrant les dimensions spatiale et temporelle [Berchet, 2000]	58
Figure 10: Dualité performance a priori / a posteriori [Ducq, 2007]	59
Figure 11: Fonctions de pilotage de la production [Pujot & Kieffer, 2002]	60
Figure 12: Modèle canonique de l'environnement d'un système de pilotage [Trentesaux et al., 2000]	61
Figure 13: Le processus de décision selon [Simon, 1977]	64
Figure 14: Processus d'évolution continue d'entreprise	64
Figure 15: Vision classique d'un système de pilotage	77
Figure 16: Système de pilotage souple de la performance	78
Figure 17: Comparaison du niveau de progrès attendu d'un pilotage souple par rapport à un pilotage classique	80
Figure 18: Architecture d'un système de pilotage souple de la performance	87
Figure 19: Activité de pilotage 1 « Modélisation »	89
Figure 20: Différentes catégories de ressources	93
Figure 21: Zoom sur les opérations	94
Figure 22: Une carte stratégique type [Guerra, 2007]	97
Figure 23: Structure d'objectifs de production [Grabot, 1998]	98
Figure 24: Méthodologie de décomposition de l'objectif stratégique	98
Figure 25: Evolution de l'arbre des objectifs d'une structure de pilotage coordonnée hiérarchisée intégrant les dimensions spatiale et temporelle, adaptée de [Berchet, 2000]	100
Figure 26: Réseau cause-effets hiérarchique de variables d'action à partir d'un objectif défini, la flexibilité [Tan & Platts, 2003 ; 2004]	105
Figure 27: Activité de pilotage 2 « Analyse »	106
Figure 28: Arbre des objectifs élagués et quantifiés	108
Figure 29: Fonctionnement d'un classifieur génétique	112
Figure 30: Activité de pilotage 3 « Traduction »	113
Figure 31: Classement des principales métaheuristiques [Wikipédia, 2009]	117
Figure 32: Les trois phases d'une métaheuristique itérative inspirées de E.-G. Talbi [Talbi, 2002]	118
Figure 33: Activité de pilotage 4 « Exploitation & Evaluation »	119
Figure 34: Hybridation d'une méthode d'optimisation et d'un modèle de simulation, principe de fonctionnement	123
Figure 35: Système de tableaux de bord [Mollard, 2006]	125
Figure 36: Activité de pilotage 5 « Déploiement »	128
Figure 37: Activité de pilotage 6 « Reconfiguration »	129
Figure 38: Activité de pilotage 7 « Révision »	130

Figure 39: Cartographie simplifiée des processus de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine	140
Figure 40: Schéma synthétique du système de production de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine	142
Figure 41: Création des familles de produits finis	151
Figure 42: Gamme opératoire étendue des produits finis de type Moyens Torons incluant la circulation des ressources auxiliaires	152
Figure 43: Gamme opératoire du produit fini de type Moyens Toron établie par l'entreprise ArcelorMittal Fontaine	154
Figure 44: Associations « Objectif - Mesures de performance »	159
Figure 45: Zone d'action du modèle de simulation	169
Figure 46: Logique de fonctionnement sur commande du modèle de simulation	172
Figure 47: Un vecteur de priorités	181
Figure 48: Fonctionnement de l'hybride sériel	183
Figure 49: Fonctionnement détaillé du modèle hybride multicritère	184
Figure 50: Répartition en familles de produits du carnet de commandes	186
Figure 51: Diagramme de Gantt	188
Figure 52: Courbes d'évolution des ressources auxiliaires	188
Figure 53: Paramétrage dynamique de la méthode Prométhée II	191
Figure 54: Plan GAIA – Inertie : 89,37%	192
Figure 55: Graphe des corrélations ou Corrélographe	192
Figure 56: Stratégie d'ordonnancement i	193
Figure 57 : Plan d'expérimentation et fonctionnement général des méthodes hybrides	194
Figure 58: Comparaison sur le plan GAIA des solutions initiales et des solutions finales moyennes, mode "normal" – Inertie : 77,52%	199
Figure 59 : Graphes des corrélations de l'Hybride 3.2	199
Figure 60: Comparaison des solutions initiales et des solutions finales, mode "dégradé" – Inertie : 85,44%	203
Figure 61: Graphes des corrélations de l'Hybride 3.3	204
Figure 62: Réduction du nombre de tests statistiques par l'usage d'une méthode multicritère	207
Figure 63: Méthodologie statistique appliquée à l'échantillon 1	209
Figure 64: Fonctionnement du modèle de planification-ordonnancement	213
Figure 65 : Diagramme de Gantt et tableaux de résultats fournis par le Stranding Model	217
Figure 66: Comparaison des solutions P, F & I sur le plan GAIA – Inertie : 79,96%	220
Figure 67: Principe de mise en œuvre des actions de pilotage d'optimisation de la planification et de l'ordonnancement	222
Figure 68: Délai d'obtention des résultats selon l'ampleur des tests réalisés	223
Figure 69: Caractéristiques d'un système d'information décisionnel pour le contrôle de gestion [Mollard, 2006]	228

Tableau 1: Typologies de l'indicateur de performance, inspirées de [AFGI, 1992], [Letouzei, 2001] et [Petra, 2008]	39
Tableau 2: Caractéristiques des démarches d'amélioration de la performance [Davenport, 1993]	46
Tableau 3 : Caractérisation de la structure de pilotage [Clivillé, 2004]	54
Tableau 4: Comparatifs de quelques "Performance Measurement Systems"	68
Tableau 5: Différentes méthodes d'analyse causale proposée dans la littérature [Tan & Platts, 2003]	104
Tableau 6: Recensement des ressources auxiliaires ou bobines	143
Tableau 7: Caractéristiques des bobines métalliques destinées à l'opération de conditionnement	144
Tableau 8: Bobines admises par les bancs à tréfiler	146
Tableau 9: Répartition des types de produit sur les toronneuses	146
Tableau 10: Bobines admises en entrée et en sortie des toronneuses	147
Tableau 11: Modes de conditionnement autorisés par les postes de travail	148
Tableau 12: Notation et description de différentes informations structurelles	149
Tableau 13: Mesures physiques associées aux familles de produits et aux commandes	150
Tableau 14: Extrait de l'analyse cause à effets de l'entreprise	156
Tableau 15 : Arbre des objectifs de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine	158
Tableau 16: Notations et descriptions de différents critères d'évaluation	159
Tableau 17: Extrait de l'arbre des objectifs d'ArcelorMittal Fontaine : l'arbre de l'objectif, « Réduire le coût de fonctionnement des machines »	160
Tableau 18: Arbre des objectifs simplifié	163
Tableau 19: Ordre d'exécution et quantification des objectifs opérationnels	164
Tableau 20: Mesures associées à l'objectif prioritaire Optimiser l'ordonnancement, mécanismes d'agrégation et seuils d'action	166
Tableau 21: Mesures associées à l'objectif prioritaire Optimiser la planification-programmation, mécanismes d'agrégation et seuils d'action	167
Tableau 22: Actions d'amélioration associées aux variables d'action	168
Tableau 23 : Extrait de la matrice des compétences par poste du modèle de simulation ArcelorMittal Fontaine	174
Tableau 24: Zone de pilotage de priorité 1	180
Tableau 25: Configuration 1 des critères de décision sous Prométhée II	189
Tableau 26: Les poids associés à la configuration 1 des critères	190
Tableau 27: Configuration 2 des critères sous Prométhée II	190
Tableau 28: Les poids associés à la configuration 2 des critères	190
Tableau 29. Hybride sériel, comparaison de cinq méthodes sérielles	196
Tableau 30: Résultats de l'hybride multicritère après 4.000 évaluations en mode de fonctionnement « normal »	197
Tableau 31: Classement des stratégies issues de l'hybride 3.1 fourni par différents panels de critères de décision	200
Tableau 32. Résultats de l'hybride multicritère après 4.000 évaluations en mode de fonctionnement « dégradé »	202
Tableau 33: Classement de stratégies issues de l'hybride 3.2 fourni par différents panels de critères de décision	204
Tableau 34: Gains et pertes engendrés par le passage de la stratégie 1 désignée par l'Hybride 3.1 à la stratégie 4 désignée par l'Hybride 3.2	204
Tableau 35: Extrait de la vue Maître-détails relative au niveau de pénurie de bobines	205
Tableau 36: Zone de pilotage de priorité 2	211
Tableau 37: Estimation des principaux indicateurs de performance pour les produits toronnés	218
Tableau 38: Comparaison des stratégies I, F et P	219
Tableau 39: Récapitulatif des procédures et hybrides utilisés dans le cadre de la planification-programmation et de l'ordonnancement	221

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION

Rentabilité et pérennité sont les maître-mots de toute entreprise ! Ils lui permettent d'honorer la confiance que les actionnaires ont placée en elle. Depuis toujours, l'entreprise cherche à être performante et à l'être encore plus dans cette perspective !

Toutefois, au fil des évolutions du paysage économique, les objectifs que l'entreprise s'est fixée pour y parvenir n'ont cessé de s'accumuler. Veiller à la satisfaction de sa clientèle, s'adapter à un environnement en constante mutation... sont devenus des vecteurs additionnels de compétitivité et de performance pour l'entreprise.

L'entreprise s'est également vue imposer naturellement ou sous la contrainte des autorités gouvernementales, des obligations en matière de protection environnementale, de respect de son personnel et de consommation énergétique. Le développement durable est à présent une donnée omniprésente et incontournable qu'elle doit intégrer dans toutes les démarches d'amélioration de sa performance.

Si dans les années cinquante, les objectifs de l'entreprise s'exprimaient exclusivement en termes de productivité industrielle pour assurer la rentabilité économique de l'entreprise, la modification du rapport entre l'offre et la demande les a largement multipliés. La littérature distingue trois phases caractérisant l'évolution de ce rapport [Galois, 1989] [Bonnet, 2001] [Berrah, 2002] [Biteau, 2003] [Bronet, 2006] :

- Une phase de *pénurie* affichant une offre inférieure à la demande ;
- Une phase d'*équilibre* entre le niveau de l'offre et celui de la demande ;
- Une phase d'*abondance* définie par la supériorité de l'offre sur la demande.

Suite aux remous financiers de ces derniers mois, une quatrième phase caractérise peu à peu cette évolution :

- Une phase de *crise financière* ayant pour conséquence un repli additionnel du niveau de demande.

Chaque modification de la relation entre l'offre et la demande a favorisé l'émergence de nouveaux objectifs de performance ou a renforcé les objectifs existants.

La phase d'équilibre est à l'origine d'une prise de conscience de la nécessité de gérer et de réduire les coûts de fonctionnement de l'entreprise et les coûts d'élaboration des produits. Cette réduction s'est imposée au fil du temps comme le vecteur de performance majeur de l'entreprise.

Lorsque le rapport entre l'offre et la demande désignant la phase de pénurie s'est totalement inversé, la performance de l'entreprise s'est dotée d'une facette supplémentaire : la recherche de la qualité. Pour maintenir son volume de ventes, l'entreprise doit proposer à la clientèle des produits répondant à ses attentes mais supérieurs à ceux de la concurrence. Le souci de la satisfaction de la clientèle est donc devenu progressivement un élément incontournable de la performance à satisfaire. Cette recherche de la qualité concerne également l'organisation du système de production de l'entreprise afin qu'il remplisse le plus efficacement possible son rôle.

Cette phase d'abondance de l'offre a ensuite été marquée par la prise en compte de la notion de délais. Respecter les délais promis aux clients en vue de les fidéliser, éviter les pénalités de retard ou encore

améliorer l'organisation interne a complété le panel d'objectifs qui se sont imposés à l'entreprise en écho aux évolutions du contexte économique.

La crise financière que traverse actuellement la planète a encore durci l'attitude de l'entreprise face à la chasse aux gaspillages et à la réduction des coûts de fonctionnement. La régression soudaine du niveau de commandes, voire l'arrêt total des commandes, la frilosité des organismes de crédits, les difficultés des entreprises partenaires ou leur faillite... sont autant d'obstacles supplémentaires que l'entreprise doit franchir. Le mot d'ordre est donc la réduction drastique des coûts. Malheureusement, celle-ci passe, très souvent, par une réduction du personnel qui, espérons-le, ne sera que temporaire.

Toutefois, à l'heure actuelle, la généralisation des technologies de l'information et de la communication, la mondialisation et les tendances à l'externalisation de la production font que la performance ne peut plus s'exprimer uniquement en termes de productivité, de coûts, de qualité et de délai. Pour rester compétitive et rentable, l'entreprise doit, surtout en ces moments de fortes turbulences, faire preuve d'agilité. Elle doit notamment se montrer flexible et réactive à toute sollicitation de son environnement et développer sa capacité à anticiper les besoins et attentes du marché. En outre, les réglementations de plus en plus strictes en matière de développement durable, bien que légitimes, compliquent la tâche de l'entreprise.

Dans sa vision contemporaine, l'entreprise performante est donc capable de jongler avec des objectifs multiples et de s'assurer de la cohérence de leur déploiement sur les processus qui la composent afin de garantir sa pérennité et sa compétitivité. Son souci ne consiste plus uniquement à satisfaire ses actionnaires mais également sa clientèle en lui proposant des produits correspondant au niveau de qualité exigé à un prix réduit et dans le respect des délais prescrits.

Si l'entreprise est consciente du profil qu'elle devrait afficher, être performante et le rester sont, pour elle, deux problèmes loin d'être résolus. De nombreuses questions demeurent sans réponses probantes. Quelles procédures mettre en place pour garantir l'atteinte du niveau de performance escompté ? Comment, quand et où mesurer le niveau de performance atteint ? Comment déterminer avec certitude les actions à mettre en œuvre pour l'améliorer ? en sont quelques exemples.

Ces interrogations soulignent indéniablement que la métamorphose de la notion de performance a montré les limites du système d'évaluation et de contrôle de la performance encore actuellement exploités par de nombreuses entreprises. Outre l'appréciation du niveau de performance atteint, un système d'évaluation efficace identifie et sélectionne, rapidement et avec un certain niveau de confiance, les actions d'amélioration appropriées aux besoins de l'entreprise, facilite leur mise en œuvre et veille à leur cohérence. L'élaboration de ce système nécessite de le doter d'une dimension supplémentaire : le pilotage de la performance.

Nombreux sont les dirigeants qui expriment le besoin de disposer d'un tel outil pour les guider dans la conduite de leur système de production. Ils souhaitent s'assurer, afin de conserver et de renforcer l'avantage concurrentiel de leur entreprise, que les bonnes décisions soient prises au bon moment. Or, ces décideurs sont souvent amenés à prendre des décisions importantes pour l'atteinte de leur objectif dans un laps de temps assez court.

De par la tradition, chaque dirigeant dispose de tableaux de bord destinés à apprécier, à un moment donné, la performance réalisée par l'entité qu'il dirige. Ces tableaux de bord sont généralement bâtis selon un schéma type et sont le résultat d'un long processus d'agrégation de mesures collectées périodiquement à différents niveaux du système. Dans de nombreuses entreprises, ce processus aboutit à la production d'une multitude d'indicateurs de performance dont le décideur pourrait probablement avoir besoin.

Les managers sont ainsi outillés pour constater la performance de leur système, éventuellement déclinée sous toutes les dimensions de la création de valeur. Toutefois, cette appréciation, s'établit *a posteriori*, sur un constat réalisé en temps différé. Les dysfonctionnements, c'est-à-dire les dérives du système par rapport à ses objectifs, sont souvent remarqués tardivement. L'élaboration de plans d'action correcteurs efficaces, efficaces et pertinents se révèle donc être une tâche non seulement difficile à réaliser mais qui doit être menée dans l'urgence.

De plus, l'absence de schémas préétablis entre les dysfonctionnements probables et leurs causes éventuelles rend cette élaboration bien plus difficile à réaliser. Il s'écoule un temps certain entre l'apparition des dysfonctionnements, leur détection, l'identification de leurs causes, le choix de l'action correctrice appropriée, la mise en œuvre de la solution et l'atténuation ou l'élimination du problème. Ce temps de réponse est souvent déterminant pour la survie de l'entreprise et sa maîtrise fait partie intégrante d'un pilotage efficace.

Au sein d'une entreprise, les centres de décision sont multiples et chacun d'eux définit ses objectifs locaux en fonction de la déclinaison de la stratégie globale. Le risque de générer des situations de conflits entre objectifs ou entre les actions mises en œuvre pour rencontrer ces objectifs existent.

Les décideurs disposent rarement des outils nécessaires pour vérifier que les actions de pilotage engagées par chacun d'eux soient cohérentes. Il n'est, en effet, pas évident que toutes les décisions de pilotage, bien qu'elles désirent satisfaire un objectif stratégique commun, empruntent une direction unique et conduisent l'entreprise vers la performance globale souhaitée. Chaque décideur possède, en effet, sa propre interprétation de la performance qu'il doit atteindre et des actes qu'il doit poser pour y parvenir. Si ces différentes vues ne sont pas canalisées, l'entreprise dispersera ses efforts, prendra des mesures parfois antinomiques et finalement s'épuisera pour de piètres résultats ! Tenter d'améliorer la performance ne suffit pas, son amélioration doit être réfléchie et organisée. Un arbitrage entre les objectifs élémentaires à poursuivre par chaque décideur et les actions à mener pour y arriver doit donc s'opérer.

Par ailleurs, les responsables des centres de décision ont, en général, des possibilités limitées, faute de temps, pour conduire correctement les processus d'autoévaluation, de diagnostic et de réorganisation appropriés. Faute de moyens également, certains s'interdisent la mise en place d'une démarche de remise en question permanente de leur fonctionnement ce qui limite fortement leur potentiel de développement. Le besoin d'un système de pilotage est donc « criant ».

Dans le cadre de notre recherche doctorale, nous proposons un système de pilotage intégrant une démarche de modélisation, d'analyse, de simulation et d'optimisation de la performance de systèmes complexes, basée sur une logique d'amélioration continue. Le système de pilotage proposé repose sur l'exploitation d'indicateurs de performance destinés à fournir au décideur les informations cruciales sur l'état du système qu'il pilote. En outre, il autorise l'identification des causes de non-performance grâce à l'exploitation d'un ensemble de variables d'action sur lesquelles le responsable est susceptible d'agir afin de réduire, sinon éliminer, les dysfonctionnements. L'identification des variables d'action pertinentes et la quantification *a priori* de leurs impacts sur la performance globale du système facilitent la prise de décision. C'est sur base des variables retenues par le décideur que se bâtit le plan d'action nécessaire au redressement de la performance.

La description de notre vision du pilotage de la performance des processus de production est organisée en cinq chapitres.

Le premier chapitre s'intéresse aux fondamentaux en matière de pilotage et de performance des systèmes de production. Nous dressons, tout d'abord, le portrait de la notion de performance. Les concepts inhérents à cette notion et notre vision de la performance sont décrits. Cette vision contemporaine est qualifiée de globale, plurielle, durable et pilotée. A cette mise au point, succède notre réflexion sur le pilotage de la performance et les missions qu'il doit honorer. Deux missions indissociables sont répertoriées et organisées en cinq phases, l'élément fédérateur de cet ensemble étant l'indicateur de performance conçu dans sa version tripartite.

Le second chapitre alimente notre réflexion sur la conception d'un mécanisme de pilotage de la performance d'un système de production. Quelle structure doit-il adopter ? Quel type de pilotage souhaitons-nous développer ? Existe-t-il une similitude entre le pilotage de la performance et un processus de prise de décision ? Outre l'analyse de ces fondamentaux du pilotage, ce chapitre recense également différentes approches de modélisation de la performance et de son pilotage en vue de les comparer et de s'inspirer des éléments les plus pertinents les caractérisant. Par la maîtrise de ces divers éléments, les lignes directrices d'un système de pilotage efficace et efficient ont été définies. Leur description clôture ce second chapitre.

Avoir une vision claire et précise de la performance réalisée, en disposer au moment opportun, être alerté pour réagir à temps ou pour anticiper toute dérive, connaître les actions à mener pour la corriger ou l'améliorer... Bref, maîtriser son système de production et le guider continuellement sur la voie de l'amélioration continue sont les attentes d'un décideur en matière de pilotage. Ces besoins couplés à l'analyse de la performance menée dans les chapitres précédents ont été intégrés dans le mécanisme de pilotage de la performance que nous proposons dans le troisième chapitre de ce document. Les activités de pilotage nécessaires à son élaboration et leur résultante sont détaillées dans ce chapitre.

Le système proposé est qualifié de pilotage souple car il repose sur un noyau générique lui offrant la possibilité d'évoluer dans différents domaines d'application et de s'y adapter aisément. Il se distingue principalement des systèmes de pilotage recensés dans la littérature par sa capacité à éprouver, notamment grâce à la simulation, toute action de pilotage avant son application sur le système de production.

Les chapitres quatre et cinq concernent la validation du système de pilotage souple dans une entreprise de production de câbles et de fils d'acier. Le chapitre quatre présente les différents composants impliqués dans la phase préparatoire à l'exploitation du système de pilotage. Le modèle de connaissance et le module d'analyse ont été construits en collaboration avec la direction de l'entreprise. L'exploitation des informations qu'ils contiennent a donné naissance à des modèles d'action établis par nos soins. L'un d'entre eux est le modèle de simulation, indispensable dans ce cas d'étude, à une utilisation optimale de la *boucle de pilotage virtuel*, élément clé de notre système de pilotage de la performance. Néanmoins, l'outil proposé peut également être calibré en vue d'une application sur un système de production modélisé au moyen d'un modèle analytique lorsque ce mode d'approximation est suffisant. Le chapitre cinq concerne l'exploitation de ce système et plus précisément le fonctionnement de sa boucle de pilotage virtuel. Il illustre les premiers résultats obtenus lors de sa validation sur le système de production de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine. Nous clôturons ce chapitre par la présentation des conditions nécessaires à l'utilisation du mécanisme de pilotage souple. Bien que son intérêt ne soit nullement remis en cause, il ne peut, en effet, être mis en place sans la définition préalable d'une stratégie d'entreprise, ni fonctionner correctement sans un système d'information adapté ou un personnel convaincu de son apport pour l'entreprise.

Enfin, les conclusions et enseignements de la recherche sont présentés et nous amènent à proposer diverses perspectives d'amélioration et d'application du système de pilotage de la performance, le mécanisme élaboré n'étant absolument pas figé mais, bien au contraire, fidèlement à la philosophie qui le sous-tend, destiné à s'enrichir au fil des utilisations.

CHAPITRE 1

PERFORMANCE & PILOTAGE

CHAPITRE 1

PERFORMANCE & PILOTAGE

Dans ses utilisations courantes, la performance exprime généralement le résultat d'une action. Ce résultat prend une signification différente selon le contexte dans lequel il est obtenu. Il peut indiquer le niveau atteint dans l'exécution d'une tâche ou lors d'une épreuve, le meilleur résultat obtenu ou encore le résultat idéal. Dans des domaines spécifiques tels que le domaine linguistique ou celui de l'art, la notion de performance représente l'action réalisée plutôt que son résultat. Caractériser la performance est donc une tâche ardue en raison de la diversité des sens qui lui sont communément attribués.

Dans le domaine des sciences de l'ingénieur, la performance est une notion généralement considérée comme implicitement connue. Elle est, par conséquent, très rarement définie. En matière de contrôle des systèmes de production par exemple, la performance est le plus souvent assimilée à une mesure de performance telle que le temps d'exécution d'une tâche, la quantité d'opérations réalisées sur une période donnée, la quantité de ressources utilisées... Il est de coutume de considérer que toute action menée améliorant l'une des mesures suivies génère une réduction des coûts et implicitement une amélioration de la performance du système de production [Sénéchal, 2004].

Cette vision de la performance est trop restrictive pour correspondre à la réalité de l'entreprise. Elle ne se focalise que sur une amélioration locale des résultats et néglige totalement les interactions ou conflits qui peuvent exister entre les actions d'amélioration de la performance menées au sein de l'entreprise.

Depuis une vingtaine d'années, une prise de conscience de l'enjeu que représente la gestion de la performance d'un système de production a poussé de nombreux chercheurs des domaines de la productique à s'intéresser à la problématique de la performance. Une multitude de travaux de recherche dédiés à sa définition et à l'instrumentation de son évaluation ont vu le jour. Inspirés de ces travaux, nous précisons, dans ce chapitre, notre vision de la performance industrielle en présentant une synthèse de ses caractéristiques majeures et nous soulignons la nécessité de la piloter. Notre conception en cinq phases du rôle joué par un système de pilotage est ensuite définie. Celle-ci détermine les fondements de notre système de pilotage, le *Pilotage souple*.

1. LA PERFORMANCE D'UN SYSTEME DE PRODUCTION

Nombreux sont les auteurs qui mettent en évidence les différentes façons d'évaluer la performance d'une entité, mais rares sont ceux qui ont pris la peine de définir précisément ce que recouvre cette notion. D'après J-C. Mathé et V. Chagué, il serait d'ailleurs difficile d'en donner une définition simple [Mathé & Chagué, 1999]. Nous allons tenter de relever le défi !

Toutefois, conscients de l'ampleur de la tâche, nous limitons notre recherche à la définition de la notion de performance véhiculée par un système de production. Bien que de nombreuses caractéristiques de la performance soient communes à l'ensemble des systèmes « entreprise » (physiques, sociaux, techniques...), nous focalisons notre discours sur la performance réalisée par les systèmes dits de production et plus précisément sur la gestion par la performance de ses systèmes.

O. Sénéchal [Sénéchal, 2004] décrit le système de production comme une catégorie particulière de système :

- constitué par un ensemble de ressources humaines, techniques et financières ;
- placé dans un environnement naturel, économique, social et politique ;
- fonctionnant pour sa propre pérennité, le bien de ses membres, de ses utilisateurs, de la société en général ;
- réalisant des produits matériels (biens) ou immatériels (services) ;
- mettant en œuvre différents processus (de conception, de production, de gestion, de commercialisation,...) ;
- et dont la composition (équipements, effectifs...), l'organisation, et les activités (innovations, externalisations,...) évoluent.

La notion de système étant multidimensionnelle, un atelier de fabrication, une usine, une agence bancaire, un service hospitalier, un groupe industriel... peuvent donc être indifféremment qualifiés de système de production [Sénéchal, 2004].

Au fil de la lecture, seront abordés les concepts fondamentaux de la performance, sa perception actuelle et la nécessité de la piloter afin d'inscrire le système de production dans un mécanisme d'amélioration continue.

1.1. LES CONCEPTS FONDAMENTAUX DE LA PERFORMANCE

Contrairement au sens qui lui est habituellement attribué, la performance d'un système de production ne se limite pas au résultat obtenu lors de la mise en œuvre d'une action. Elle revêt trois autres dimensions incontournables lors de son évaluation : les moyens d'action ou ressources mis en œuvre pour atteindre le résultat, les objectifs poursuivis par le système de production et la finalité du système. Le niveau de performance atteint par le système découle de sa capacité à créer une harmonie entre ces quatre paramètres pris deux à deux ou tous ensemble. De ce postulat, sont nés les quatre concepts fondamentaux de l'évaluation de la performance que sont la pertinence, l'efficience, l'efficacité et l'effectivité [Bescos *et al.*, 1995] [Jacot, 1990].

Les liens unissant ces concepts et dimensions sont schématisés en Figure 1 par un tétraèdre dont la base est composée des dimensions pertinence, efficience et efficacité et dont la hauteur est l'effectivité [Marcon *et al.*, 2003].

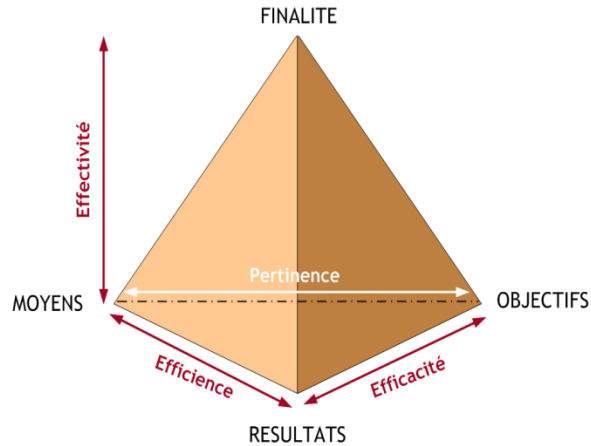


Figure 1: Le tétraèdre des performances des systèmes de production d'après [Bescos et al., 1995]

La *pertinence* reflète l'adéquation des objectifs visés et des moyens déployés pour les rencontrer. Son évaluation répond à la question : « Les moyens mis en œuvre correspondent-ils aux objectifs ? ». Cette question est fondamentale en phase de conception du système de production car il s'agit d'une part, d'éviter le surdimensionnement coûteux et d'autre part, de se donner les moyens d'atteindre un certain niveau de satisfaction ou même plus simplement de garantir la faisabilité d'un projet [Sénéchal, 2004].

L'*efficience* indique si les résultats obtenus sont à la hauteur des moyens déployés : « Est-ce que les résultats sont suffisants compte tenu des moyens mis en œuvre ? ». La performance est jugée en termes d'efficience essentiellement en phase d'exploitation du système de production. En cas d'insuffisance, des actions d'amélioration sont à prendre. L'indicateur d'efficience par excellence est le rendement d'un système.

L'*efficacité* représente la concordance entre les résultats obtenus et les objectifs visés : « Sommes-nous arrivés à ce que l'on avait l'intention de faire, à quel point l'objectif fixé est-il atteint ? ». L'accroissement de l'efficacité du système nécessite généralement le déploiement d'actions d'amélioration portant sur l'organisation interne du système de production et sur les différents paramètres de réglages accessibles, appelés degrés de liberté.

L'*effectivité* est l'adéquation des objectifs, des moyens et des résultats au regard de la finalité du système : « Est-il raisonnable de mettre en œuvre les moyens suffisants pour obtenir des résultats satisfaisants les objectifs que l'on cherche à atteindre ? ». La performance, jugée sous l'angle de l'effectivité, peut entraîner une remise en question de l'existence même, du système de production si ses finalités ne justifient pas les efforts à fournir.

La performance d'un système de production doit être perçue comme la conjonction des quatre dimensions : pertinence, efficience, efficacité et effectivité sur l'intégralité du cycle de vie du système [Sénéchal, 2004].

Afin d'établir une harmonie entre ces concepts, une réflexion préalable sur la finalité du système de production et la stratégie que ses gestionnaires souhaitent développer à long terme est indispensable. Cette réflexion constitue la condition *sine qua non* à la mise en place d'un système d'évaluation de la performance. En effet, la stratégie élaborée détermine les objectifs que l'entreprise s'efforce de poursuivre et oriente les moyens d'action nécessaires à leur réalisation. Le niveau de performance atteint par le système de production découle de la comparaison des résultats effectivement obtenus au regard des objectifs visés, des moyens déployés et *a fortiori* de la stratégie établie.

Même s'ils sont clairement définis, il est peu probable que l'ensemble des objectifs soient totalement satisfaits lors de l'exploitation du système de production. Des actions d'amélioration de la performance doivent, par conséquent, si l'entreprise souhaite poursuivre la stratégie qu'elle s'est fixée, être mises en place afin de

réduire ou mieux éliminer l'écart constaté entre l'état espéré et l'état atteint par le système de production. Ce dernier doit donc s'inscrire dans une véritable démarche de progrès continu afin d'optimiser sa performance.

L. Berrah [Berrah, 2002] souligne que la performance de toute entreprise revêt, à la fois, une composante endogène et une composante exogène.

La *performance endogène* ou interne concerne essentiellement l'efficacité des ressources utilisées et est notamment contrôlée par l'entreprise *via* le mécanisme d'objectifs à atteindre.

La *performance exogène* ou externe est déclinée à travers, d'une part, le jugement du client au regard du produit/service qu'il reçoit (selon les délais de prise de commande, la qualité du produit...) et d'autre part, le jugement du fournisseur en amont (selon le nombre de retours, la vitesse à laquelle les factures sont payées...).

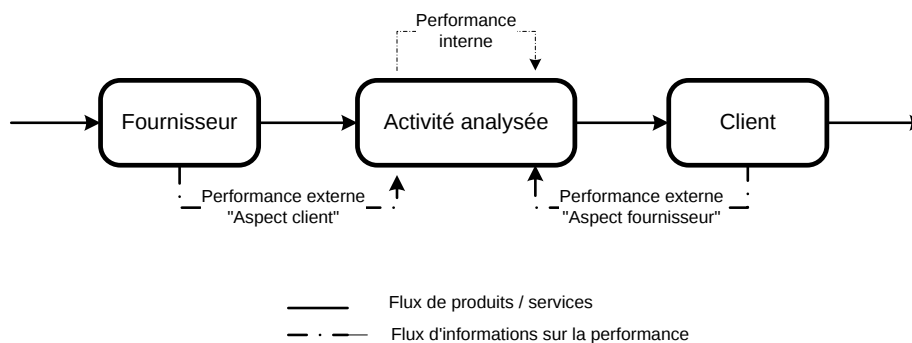


Figure 2 : Performances interne et externe dans une relation d'échange [Fortuin, 1988]

Naturellement, ces performances sont dépendantes l'une de l'autre. L'obtention d'une bonne performance interne est indispensable à l'obtention d'une performance externe satisfaisante. Cette vision de la performance s'applique non seulement à l'entreprise considérée dans sa globalité mais également à l'ensemble des processus qui la composent. Au sein de chaque processus, chaque activité constitutive agit d'une part, comme le « client » de l'activité précédente et d'autre part, comme le « fournisseur » de l'activité ultérieure. L'environnement de l'entreprise influence donc fortement le choix des objectifs à poursuivre et des actions de pilotage à mettre en œuvre.

De plus, l'environnement est caractérisé par des attentes très variables, de plus en plus imprévisibles et difficiles à identifier. Cette situation complique fortement la définition des objectifs de performance et l'élaboration de la manière de les atteindre [Bronet, 2006]. L'entreprise est, en effet, une entité complexe développant une relation forte avec son environnement [Rosnay, 1975]. L'approche systémique considérant un système comme un ensemble fini, borné, caractérisé par des relations le reliant à son environnement et à d'autres systèmes [Le Moigne, 1977] est donc mise en exergue.

Afin de rester compétitive et de garantir sa pérennité, l'entreprise doit donc améliorer ses performances continuellement et de façon pertinente c'est-à-dire en concordance avec les caractéristiques de son environnement et des attentes de celui-ci. Cela nécessite la mise en place d'un mécanisme de feedback et de remise en question, *via* un jeu de boucles de rétroaction, des actions d'amélioration mises en œuvre. Selon J.W. Forrester, une boucle de rétroaction est un élément structurel fondamental de tout système, le comportement dynamique étant généré par rétroaction [Forrester, 1980]. Il semble donc évident que le système d'évaluation de la performance réponde aux mêmes règles systémiques que le système de production sur base duquel il est construit.

1.2. VISION ACTUELLE DE LA PERFORMANCE : GLOBALE, PLURIELLE, DURABLE ET PILOTEE

Au cours de ces cinquante dernières années, la notion de performance a subi de profondes modifications tant dans la déclinaison de ces critères que dans les pratiques de son évaluation. Les évolutions économiques et industrielles et plus particulièrement, la transformation des relations unissant l'entreprise à ses clients ont défini de nouveaux objectifs à atteindre, de nouveaux moyens pour y parvenir et de nouveaux critères d'appréciation de la réussite [Ducq *et al.*, 2003].

Le passage d'une économie de production de masse à une économie de marché et de variété se caractérise principalement par l'effondrement des marchés dominés par l'offre, la mondialisation des marchés et le raccourcissement des cycles de conception et de vie des produits... [Ducq *et al.*, 2003] ; [Bughin, 2002]. La vitesse de réaction de l'entreprise aux sollicitations de son environnement devient primordiale face à l'exacerbation de la concurrence et à la personnalisation accrue des produits et services [Dauty & Larré, 2001]. De nouvelles formes organisationnelles émergent. L'entreprise tisse notamment des liens privilégiés avec ses clients et fournisseurs, voire avec ses concurrents afin de garantir sa compétitivité et sa rentabilité.

Ces mutations ont conduit les décideurs à prendre progressivement en considération des critères opérationnels autres que la productivité directe afin d'évaluer efficacement la performance de leur entreprise. Etre compétitive ne se résume plus à offrir aux clients des produits à prix concurrentiels mais exige également que ces produits répondent aux exigences de qualité fixées par le client et soient livrés dans les délais promis. Pour être performante, l'entreprise doit non seulement être rentable mais a également l'obligation de satisfaire ses clients.

La conception monocritère de l'évaluation de la performance, axée sur la réduction des coûts, laisse donc la place à une vision multicritère et globale de la performance, soucieuse des différents partenaires de l'entreprise : les clients, les employés, les actionnaires, la collectivité... Dans cette approche, les informations non financières autorisant une analyse de la performance adaptée aux nouvelles priorités de l'entreprise sont mises en exergue. Le contrôle de la performance cède peu à peu la place au pilotage de la performance.

La littérature dans ce domaine de recherche recense, à partir de la décennie quatre-vingt-dix, différents systèmes de pilotage de la performance. Ceux-ci présentent une structure standard calquée sur celle de la roue de Deming [Deming, 1982]. Pour un objectif stratégique donné, piloter la performance consiste à réaliser, de façon récurrente, les quatre activités : *Plan*, *Do*, *Check* et *Act*. Au cours de l'activité *Plan*, le décideur établit un plan d'actions sur base du contexte actuel de l'entreprise. Il définit donc les actions à mener et les moyens à déployer pour atteindre les objectifs fixés. La mise en œuvre de ce plan constitue la seconde activité *Do*. Le décideur s'assure ensuite de l'efficacité du plan d'actions mené et en confirme les effets sur la performance du système piloté ce qui constitue l'activité *Check*. Enfin, il incombe au décideur de réagir suite à ce contrôle en apportant au plan d'actions les changements qui s'imposent pour en atteindre les objectifs. Il s'agit de l'action *Act*.

Ces modèles ne remplissent, toutefois, qu'une des missions incombant à un système de pilotage : l'évaluation de la performance. Ils ne fournissent aucune indication aux décideurs sur les actions correctrices à déployer pour contrer toute situation de non-performance et sur la mesure de l'impact escompté. Les décideurs se doivent de consolider les acquis de performance et, au-delà des simples constats, redresser les situations critiques. Ils sont en quête de véritables systèmes de pilotage capables certes de produire des chiffres précis et pertinents pour apprécier la performance globale de leur système de production mais également de fournir des pistes d'amélioration de cette performance.

1.2.1. LA PERFORMANCE EST ... GLOBALE

Industriels et académiques s'accordent pour affirmer que le niveau de performance atteint par l'entreprise n'est jamais aussi élevé que lorsqu'il résulte de la mise en œuvre d'un plan d'actions considérant le problème dans sa globalité plutôt que d'une succession d'améliorations isolées ou locales et ce, quelles qu'en soient

leurs qualités [CJD, 2004]. Deux conséquences majeures à la vision locale de la performance d'un système de production sont soulignées dans les paragraphes ci-après.

Dans une approche cloisonnée, chaque entité qui compose le système met en œuvre un ensemble de solutions qu'elle juge indispensables à l'amélioration de sa performance. Cependant, en agissant de manière isolée et indépendante, chacune d'elle néglige totalement l'impact positif ou négatif de leurs actions sur la performance des autres entités du système. Au fil du temps, une dégradation de la performance du système dans son ensemble apparaîtra.

La seconde conséquence d'une optimisation locale de la performance est que l'entreprise encoure le risque de disperser ses efforts et, en fin de compte, travailler à la satisfaction d'objectifs qui bien que légitimes se révèlent contradictoires. C. Pellegrin [Pellegrin, 2001] confirme ce constat et l'illustre en montrant que la recherche de l'efficacité au niveau local peut entrer en conflit avec celle de l'efficacité au niveau global. L'exemple avancé par cet auteur concerne l'optimisation économique de la taille des lots de fabrication. Un arbitrage « optimal » entre coûts de lancement et coûts de possession des stocks peut rendre une ligne de fabrication plus efficiente puisque pour une quantité produite identique, le coût total de production est diminué. Toutefois, cette manière de procéder ne participe pas à l'efficacité du système de production, si l'objectif, à l'aune duquel l'efficacité est évaluée est la réactivité du système de fabrication aux délais de livraison ou aux variations de charges. Accroître la performance globale de l'entreprise nécessite donc une vision claire et partagée par l'ensemble des parties prenantes des objectifs poursuivis. Cet état de fait est valable tant entre les activités d'un processus du système qu'entre les différents processus qui organisent le système. Abordons, ci-dessous, l'exemple du processus de production et de ces processus de soutien à la production.

L'objectif principal du processus de production est de fabriquer, dans les délais impartis, les quantités de produits stipulées dans les ordres de fabrication en utilisant de manière efficace et efficiente les ressources à sa disposition et en respectant le niveau de qualité exigé par le client. Le manque de maîtrise de l'organisation du processus de production et l'absence ou l'insuffisance de coordination avec un ou plusieurs processus de l'entreprise risquent d'entraver fortement son déroulement [Talbi, 2002]. Une indisponibilité de ressources non substituables pour cause de maintenance ou encore la sous-exploitation des ressources disponibles en raison d'un ordonnancement peu efficace en sont respectivement des exemples. L'existence de ces obstacles souligne le besoin de communication et de coopération entre les processus qui composent l'entreprise. Ce besoin est d'autant plus fort lorsque les processus agissent sur les mêmes ressources. Le processus de production ne serait être performant sans un outil de production « maintenu » au maximum de ses capacités, c'est le rôle du processus de maintenance... ou encore sans une organisation de la production adéquate, c'est le rôle des processus de planification et d'ordonnancement... Le lien existant entre les processus de production et de soutien à la production est évident et incontestable.

De manière générale, il est donc impératif que les objectifs visés par les différents processus organisant le système analysé et les actions d'amélioration déployées pour atteindre ces objectifs soient concertées et cohérentes afin de garantir un niveau de performance satisfaisant voire optimal.

La pression grandissante exercée par son environnement a poussé l'entreprise à constamment réduire ses coûts et ses délais de production et de distribution, à accroître la qualité de ses produits, à élargir les services offerts aux clients... Cette pression a finalement obligé les entreprises à unir leurs forces afin de réaliser des économies d'échelles, d'offrir de meilleures conditions de vente à leurs clients et d'améliorer la circulation des flux physiques en son sein et avec son environnement.

De nouvelles formes organisationnelles ont vu le jour. Des partenariats verticaux entre donneurs d'ordres et sous-traitants et des partenariats horizontaux entre plusieurs sous-traitants sont initiés afin de fournir une réponse globale et satisfaisante à la pression du marché, tant sur les prix, que sur la variété des offres et les délais de réaction [Industrie, 1996]. Ces nouvelles formes organisationnelles sont caractérisées par l'établissement de relations durables entre l'entreprise et ses clients et fournisseurs, voire même avec ses concurrents dans le cadre de processus de conception par exemple [Boucher, 2007].

Le mode d'organisation basé sur des partenariats verticaux, appelé chaîne logistique ou *Supply Chain*, est, à l'heure actuelle, prisé par de nombreuses entreprises. La gestion de ces chaînes est largement fondée sur des actions de rapprochement entre acteurs, qu'ils appartiennent à une ou plusieurs entreprises, de façon à œuvrer pour le bénéfice global de la chaîne par opposition à la volonté usuelle d'atteindre des optimums locaux. Ces actions coopératives apportent clairement des bénéfices aux entreprises qui se lancent dans cette démarche [Lauras, 2004].

Les partenariats horizontaux ou groupements d'entreprises offrent aux entreprises impliquées la possibilité de partager des ressources clés, d'accéder à des marchés pour lesquelles elles n'auraient pu remplir le contrat seules... Le lecteur intéressé par la notion de groupement d'entreprise peut consulter le document [GRECOPME II, 2003].

Si la nécessité de rechercher la performance globale est indiscutable au sein de l'entreprise, ses nouvelles relations avec son environnement l'obligent également à étendre le mécanisme d'évaluation global à l'ensemble de la chaîne logistique ou au groupement auquel elle appartient. Toutefois, cette extension accroît largement la complexité du système à évaluer et à améliorer, multiplie et diversifie les acteurs et donc les points de vue... L'évaluation de la performance n'en est que plus délicate [GRECOPME II, 2003]. Cependant, comme le démontre G. Saharidis [Saharidis, 2006] dans son travail de thèse : « le jeu en vaut la chandelle ! »

G. Saharidis met en évidence l'avantage d'une approche globale de la chaîne logistique et prouve que l'optimisation globale de sa performance fournit toujours une solution meilleure qu'une succession d'optimisations locales portant sur chaque composant de la chaîne. Il est intéressant de noter que même si l'optimisation globale pénalise parfois les sous-systèmes composant la chaîne logistique, elle offre systématiquement, pour l'ensemble de la chaîne, la meilleure solution ou plus exactement une solution de coût optimal.

Ce travail confirme l'idée largement véhiculée par de récents travaux de recherche que la performance globale d'un système, qu'il soit processus, entreprise ou chaîne logistique, ne correspond pas toujours à la somme arithmétique des performances de chacun de ses composants [Besombes & Mnemoui, 2000] [Marcon *et al.*, 2003]. Elle est, dans une large majorité de cas, supérieure [Berchet, 2000]. Selon L. Allen, R. Blake et S. Mouton [Allen *et al.*, 1989], le tout est plus grand que la somme de ses parties.

La recherche de la performance d'un système nécessite la définition des axes de progrès que l'ensemble des entités du système doivent suivre pour assurer sa compétitivité et sa rentabilité. Informées des lignes directrices choisies, chaque entité peut à son niveau, c'est-à-dire localement, travailler à leur satisfaction et par conséquent, à l'amélioration de la performance globale du système. Il s'agira, toutefois, de rester vigilant quant à la cohérence de l'ensemble des actions d'amélioration déployées localement et d'accepter éventuellement de dégrader la performance d'un sous-système pour améliorer celle du système complet. La gestion du paradoxe local – global est donc délicate mais incontournable !

Outre la garantie d'une démarche de progrès cohérente pour l'ensemble des unités, processus, partenaires de l'entreprise, la conception globale de la performance vise également la prise en compte de sa dimension temporelle. Il s'agit pour l'entreprise d'être compétitive aujourd'hui et de continuer à l'être demain. S'intéresser à la performance actuelle est une chose essentielle, mais anticiper la performance future est également incontournable. Une entreprise compétitive un jour peut, en effet, ne plus l'être le lendemain du fait d'erreurs stratégiques, tactiques ou opérationnelles.

Ainsi, la considération de la performance globale permet de prendre en compte toutes les fonctions du cycle de vie du produit, tous les niveaux décisionnels de l'entreprise et toutes les entités qui lui sont liées. Cependant, cette performance globale ne sera atteinte que si elle est correctement déployée le long des niveaux décisionnels [Ducq *et al.*, 2003]. Ce point est largement évoqué dans les chapitres suivants.

Si, à l'heure actuelle, la suprématie de la vision globale de la performance n'est plus à démontrer, il est cependant important de souligner l'étendue de celle-ci. Cette vision couvre, en effet, différents niveaux de globalité. Elle concerne, au niveau le plus fin, les différentes activités qui composent un processus, à un niveau

central, les différents processus qui organisent le système « entreprise » et au niveau le plus vaste, les différentes entités impliquées dans la chaîne logistique.

Les différents éléments évoqués dans les paragraphes précédents caractérisent la performance globale d'un système et soulignent l'aspect multidimensionnel de la performance. Afin de mieux appréhender cette notion, nous détaillons ci-après les principaux aspects qui la dépeignent.

1.2.2. LA PERFORMANCE EST ... PLURIELLE

La performance d'un système de production présente différents aspects. Dans [Marcon *et al*, 2003], elle est qualifiée de plurielle et les termes de multi-horizon, multi-niveau, multi-acteur et multicritère sont notamment utilisés pour la caractériser. Ces aspects peuvent être pris en compte isolément ou de manière combinée selon les besoins de l'évaluation. Examinons ce que désigne chacun de ces qualificatifs.

1.2.2.1 Multi-horizon

La dimension temporelle est une dimension incontournable en matière d'évaluation de la performance, l'objet de l'évaluation étant lui-même inscrit dans le temps.

Chaque décision prise au sein de l'entreprise a une incidence, immédiate ou retardée, à plus ou moins long terme sur les résultats obtenus par l'entreprise et sur son évolution.

Différentes échelles de temps sont donc impliquées dans un système de pilotage de la performance. Les prises de mesures intervenant dans l'évaluation de la performance sont effectuées à différentes périodes de temps (heure, jour, semaine, mois...) ; ce qui complique grandement l'établissement de la compilation des mesures en vue de l'évaluation de la performance globale de l'entreprise.

Toutes les décisions de gestion d'une entreprise et plus précisément, de son système de pilotage émanent d'acteurs travaillant à des niveaux décisionnels différents. Leurs décisions ont donc un horizon d'action de longueur différente. Chacune d'elle met en œuvre un plan d'actions réalisé à court, moyen ou long terme. La visibilité nécessaire à la réalisation des tâches incombant à chaque acteur de l'entreprise est, par conséquent, variable. Les différents horizons de planification d'une production en sont un exemple.

Le cycle de vie du produit est également susceptible de découper l'approche temporelle de la performance en diverses phases. Chacune d'elle nécessite la mise en évidence de différentes facettes de la performance.

Durant les phases de [Marcon *et al*, 2003] :

- Conception et prototypage : l'évaluation porte sur la légitimité de l'organisation auprès des groupes externes et la pérennité de l'organisation.
- Maturité et déclin : les dimensions, valeur des ressources humaines et efficience économique, sont privilégiées.
- Recyclage ou destruction : la légitimité de l'organisation des groupes externes est dominante.

1.2.2.2 Multi-niveau

Les décisions de gestion de production sont habituellement classées en trois catégories : les décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles [Anthony, 1965]. Le déploiement de la performance peut également se baser sur ces niveaux décisionnels.

Le niveau décisionnel stratégique concerne la définition de la politique à long terme de l'entreprise. Celle-ci est en général établie pour une période de plus de deux ans. Elle détermine les activités que l'entreprise souhaite développer ou mettre en place à terme et les ressources stables nécessaires pour y arriver. C'est à ce niveau que la stratégie de l'entreprise est définie et décomposée en objectifs stratégiques. Ces objectifs constituent les lignes directrices à suivre pour l'entreprise qui souhaite parvenir à ses fins et atteindre le niveau de performance imposé. A ce niveau, la performance s'exprime principalement en terme financier.

Le niveau décisionnel tactique correspond aux décisions d'un horizon d'action à moyen terme. A ce niveau, la principale décision en gestion de production est la planification de la production. Cette programmation prévisionnelle de la production est établie sur un horizon de six à dix-huit mois découpé en période d'une semaine à un mois selon le type d'entreprise. L'évaluation de la performance des décisions prises à ce niveau s'exprime notamment en termes de capacité à faire face aux besoins de production.

Les décisions opérationnelles assurent la flexibilité quotidienne nécessaire pour affronter les fluctuations prévues de la demande et des disponibilités de ressources (mode prévisionnel) et réagir aux aléas (mode correctif), dans le respect des décisions tactiques [Giard, 2003]. En gestion de la production, les principales fonctions remplies au niveau opérationnel sont la gestion des stocks, l'ordonnancement et éventuellement à un niveau de granularité spatio-temporelle plus fin, le pilotage en temps réel d'éléments de production relativement autonomes. Les notions de durée de production, de taux d'occupation... reflètent le niveau de performance atteint.

Ce découpage temporel de la performance coïncident aux différents niveaux d'agrégation de la décision c'est-à-dire le degré de détail des décisions prises quant aux productions à effectuer et aux moyens à mettre en œuvre. L'agrégation sera d'autant plus grande que l'horizon de la décision est éloigné [Giard, 2003]. Evidemment, ce principe d'agrégation est répercuté, non sans difficulté, sur le mécanisme d'évaluation de la performance. Plus la performance est d'un niveau décisionnel élevé, plus son obtention nécessite de recourir à des mécanismes d'agrégation, problème que nous abordons dans les chapitres suivants.

1.2.2.3 Multi-acteur

Outre l'horizon d'application de la décision et le niveau d'agrégation de celle-ci, le découpage multi-niveau correspond également aux différents niveaux de compétence hiérarchique rencontrés dans l'entreprise ou occupés par les acteurs au sein des processus. L'aspect multi-acteur de la performance ne fait donc aucun doute.

Chaque acteur d'un système d'amélioration de la performance intervient, en effet, à un certain niveau de décision et utilise un ensemble de critères d'évaluation de la performance dont le choix est influencé par la fonction qu'il exerce et le processus auquel il appartient. Chacun vise à améliorer la rentabilité de ses ressources et à maximiser la performance du sous-système qu'il dirige. Même s'ils sont parties prenantes d'un même projet d'entreprise, la vision que les différents acteurs ou décideurs ont du système de production et l'interprétation qu'ils confèrent à sa performance diffère. Leurs formations, leurs savoir-faire et leurs expériences passées influencent considérablement les priorités qu'ils accordent aux critères de performance. Le comptable raisonnera toujours en termes de charges à réduire et de recettes à maximiser, l'ingénieur en termes de qualité, productivité, réactivité et le client en termes de satisfaction de ses besoins fonctionnels et économiques [Besombes *et al.*, 2003].

Bien que l'objectif principal de l'entreprise, maximiser sa performance, soit partagé par les différents acteurs, la distance économique et professionnelle qui les sépare fait qu'ils échangent bien des informations, mais dans un langage qui leur est propre, de manière séquentielle et avec un décalage temporel. Ces éléments sont autant de freins à l'interaction et à la coopération entre ces acteurs, souvent nécessaires à la convergence des points de vue [Besombes *et al.*, 2003].

Pour satisfaire les objectifs stratégiques, il est, par conséquent, primordial de canaliser dans l'entreprise les actions de pilotage élaborées par les différents acteurs de la performance. En procédant de cette manière, l'éventail des actions activables est restreint pour que chaque partie travaille à la réalisation des objectifs qui lui sont impartis.

Si l'entreprise est longtemps restée centrée sur sa performance interne en intégrant progressivement ses différents acteurs (les acteurs directs intervenant dans le déroulement du processus analysé ou acteurs indirects intervenant sur d'autres processus interagissant avec le processus analysé), d'autres parties prenantes (clients, fournisseurs, associations, syndicats...) ont, à l'heure actuelle, fait leur apparition dans l'appréciation de la performance. Ces nouveaux acteurs ou *stakeholders* définis par Freeman [Freeman, 1984] comme tout groupe ou individu pouvant influencer ou être influencé par l'activité de l'entreprise, exigent

d'être entendus et cette écoute devient un élément vital pour assurer performance et pérennité des entreprises [Dohou & Berland, 2007].

1.2.2.4 Multicritère

Afin de s'adapter aux évolutions de l'environnement des entreprises, la performance est devenue multicritère [Roy, 1985]. Il est, en effet, communément admis qu'exprimer la performance en termes uniquement financiers ne suffit plus. D'autres critères tels que les délais, la qualité, la réactivité, la flexibilité, la sécurité... doivent être intégrés dans son évaluation. Passons en revue les différentes métamorphoses du contexte industriel et les critères de performance qui ont, par conséquence, émergé.

- *Coût vs profit*

Les années de « l'après-guerre » ont été le symbole de la reprise économique. Le marché est caractérisé, à cette époque, par une demande largement supérieure à l'offre des produits, une variété de produits extrêmement réduite et une production de masse. L'objectif majeur de toute entreprise consistait à réaliser la rentabilité souhaitée par les actionnaires avec le chiffre d'affaires et la part de marché qui préservaient la pérennité de l'entreprise. Etre performant se résumait à réduire les coûts de production, notamment par un travail sur la productivité de la main d'œuvre directe [Lorino, 1991]. Le client est loin d'être la priorité de l'entreprise, il s'accommode des produits proposés par l'entreprise.

Toutefois, même si l'objectif premier de l'entreprise est toujours la profitabilité, la représentation financière de la performance a évolué vers une approche globale incluant d'autres critères d'évaluation et d'autres dimensions que le critère et la dimension économique. Un second critère de performance apparaît alors, dans le système d'évaluation de la performance : la qualité.

- *Qualité*

La qualité fait désormais partie des exigences basiques de la clientèle et ne peut même plus constituer d'argument marketing tant elle est comprise comme un dû. Par contre, la qualité défavorise immédiatement celui qui ne la maîtrise pas.

La qualité est l'aptitude d'une entité, service ou produit, à satisfaire les besoins exprimés ou potentiels des utilisateurs [ISO, 9000, 2005]. Elle présente deux facettes. La qualité peut être perçue comme l'absence de défaut. C'est la première facette appelée qualité de conformité. La seconde est la qualité de conception. Elle est mesurée par le degré de satisfaction du client par les caractéristiques et les aspects du produit [Berrah, 2002].

- *Délais*

Le respect des délais promis est la troisième attente de la clientèle. Devant l'abondance de l'offre, celle-ci a, en quelques années, réussi à le rendre incontournable.

L'enjeu de la temporalité est au cœur de l'entreprise : temps de production, temps de livraison, temps de sortie d'un nouveau produit/service, temps d'absorption des technologies, temps de maintenance... Ceci demande la prise en compte de trois visions différentes du temps [Dauty & Larré, 2001] :

- La première est celle du temps comme *durée*, qui concerne à la fois le rythme auquel les entrées doivent être prises en compte et la vitesse de la production de sorties comme réaction aux entrées.
- La seconde est celle du temps comme une suite d'*instants*, auxquels le système doit déclencher ou arrêter l'exécution d'une activité ; il s'agit, dans la durée, d'optimiser les différents instants, ceux-ci pouvant être liés à une spécification non nécessairement temporelle.
- La troisième est celle du temps comme *délai* : délai de réaction aux aléas de très court terme, délai d'adaptation aux évolutions de la demande.

Ces contraintes temporelles sont fortes et doivent être impérativement satisfaites, ce qui demande une implémentation efficace de systèmes de gestion prévisionnelle et une évaluation précise du temps de réaction du système de production.

- *Flexibilité et réactivité*

Depuis une vingtaine d'années, les entreprises sont soumises à de nombreuses perturbations telles qu'un panel de plus en plus large de produits dont la durée de vie est réduite, une faible prévisibilité de la demande, l'évolution de l'offre en ressources et notamment, en ressources naturelles... Les entreprises doivent plus que jamais gérer deux caractéristiques de leur environnement : l'incertitude et l'urgence [Everaere, 1997]. La flexibilité est une réponse à l'incertain ; la réactivité est une réponse à l'urgence. [Dauty & Larré, 2001].

Les notions de flexibilité et de réactivité sont étroitement liées. L'AFGI définit, d'ailleurs, la notion de flexibilité en se référant à la notion de réactivité. Elle est, selon l'AFGI, la capacité des composants d'un système à permettre sa réactivité [AFGI, 1992].

La flexibilité d'un système productif est sa capacité à s'adapter à des modifications plus ou moins rapides de la demande externe et aux divers aléas, inévitables en production [Giard, 2003]. V. Giard décrit la flexibilité globale de l'entreprise comme la combinaison de deux flexibilités : physique et organisationnelle. La flexibilité d'un système peut, d'une part, être obtenue de manière physique par l'utilisation de ressources polyvalentes et par une conception adaptée des produits et d'autre part, de manière organisationnelle par l'amélioration des procédures qui définissent les règles d'utilisation des ressources.

La flexibilité concerne tant les notions de volume, de capacité que de diversité [Merle, 1990]. Elle est généralement mesurée en termes de temps [Berrah, 2002]. La flexibilité de la production est, par exemple, quantifiée en fonction du délai de fabrication d'une commande.

Selon la notion de système réactif introduite par D. Harel et A. Pnuelli [Harel & Pnuelli, 1985], la réactivité peut être perçue comme l'aptitude d'un système à réagir rapidement à diverses perturbations, à se transformer conformément aux modifications de son environnement, à se mobiliser pour agir dans les délais les plus brefs. J-P. Campagne précise cette définition et affirme que la réactivité d'un système de production est sa capacité à réagir le plus rapidement et efficacement possible aux sollicitations internes ou externes en maximisant sa flexibilité intrinsèque.

F. Dauty et F. Larré [Dauty & Larré, 2001] ont scindé la réactivité industrielle en deux composantes complémentaires : la réactivité endogène et la réactivité exogène. La réactivité endogène est la réactivité propre à l'entreprise, considérée isolément. Elle contribue à la performance interne de l'entreprise et correspond à notre vision de la flexibilité. La réactivité exogène concerne les relations interentreprises. Elle est attachée à la nature et à la qualité des relations. Au-delà de l'efficacité des interfaces, c'est l'ensemble des éléments constitutifs de la relation qui sont concernés. Similairement à la réactivité endogène, l'obtention d'un niveau élevé de réactivité exogène nécessite de relever les défis de transformation, d'optimisation, de rationalisation et de continuité mais cette fois, dans le cadre des relations interentreprises.

Les défis à relever par l'entreprise pour assurer un niveau élevé de flexibilité ou de réactivité endogène, selon la terminologie de F. Dauty et F. Larré [Dauty & Larré, 2001] sont principalement :

- la transformation : coopération productive, anticipations technologiques, évolution sans rupture, déploiement rapide ;
- l'optimisation et la rationalisation : maîtrise et réduction des coûts, maîtrise de la qualité, standardisation, utilisation des ressources techniques et humaines ;
- et la continuité : disponibilité de bout en bout, sécurité, fiabilité des données et des traitements.

Compte tenu de l'intensification des partenariats de toutes formes entre les entreprises, la réactivité exogène apparaît comme un outil stratégique en matière d'organisation industrielle et constitue, en conséquence, un élément important de la compréhension des dynamiques industrielles [Dauty & Larré, 2001]. C'est un levier de performance externe pour l'entreprise.

La réactivité est donc une démarche visant à répondre efficacement à tout besoin de changement tandis que la flexibilité est une condition interne à l'entreprise pour être réactive [Berrah, 2002]. Réactivité et flexibilité se confondent donc lorsque le système de production est considéré isolément.

Pour I. Filipas [Filipas *et al*, 2001], une entreprise doit, pour être réactive, combiner non pas un critère de performance mais trois. Outre la flexibilité du système, critère communément admis, l'entreprise doit également veiller à développer son acuité vis-à-vis de son environnement et la fluidité de son système de production. L'acuité désigne la capacité du système à percevoir des changements environnementaux quantitatifs ou qualitatifs et la fluidité la capacité d'un processus à ne pas ralentir le traitement des flux physiques ou informationnels par une absence d'en-cours, par exemple.

La réactivité est non seulement interne ou externe mais concerne également les différents niveaux décisionnels de l'entreprise. L'AFGI distingue deux niveaux de réactivité. Le premier, de court terme, est appelé *réactivité d'ordre 1*. Les décisions de ce niveau convoitent l'accroissement de l'aptitude d'un système à retrouver un fonctionnement maîtrisé dans un temps requis, suite à une sollicitation ou perturbation. Le second, la *réactivité d'ordre 2* implique des décisions à moyen et long terme qui visent le développement de la proactivité ou l'aptitude à réagir par anticipation aux défis futurs.

Maximiser le niveau de réactivité d'une entreprise, qu'il soit d'ordre 1 ou 2, repose sur sa capacité à mettre en œuvre des synergies afin que plusieurs facteurs agissent ensemble pour créer un effet plus grand que la somme des effets attendus s'ils avaient opéré isolément ou pour créer un effet que chacun d'entre eux n'aurait pu créer seul.

La réactivité d'une organisation se mesure notamment en temps de réponse entre la détection du besoin (du désir) du client ou du donneur d'ordres et l'émission de la réponse appropriée [Dauty & Larré, 2001]. L'enjeu de la temporalité est central pour tout système de production mais certainement plus encore pour un système qui se veut réactif. Les contraintes temporelles imposées au système réactif découlent de sa volonté à réagir au rythme dicté par son environnement. I. Filipas estime que la réactivité industrielle est difficilement quantifiable dans l'absolu.

- *Agilité, combinaison de réactivité, d'adaptabilité et d'anticipation*

Actuellement, l'environnement des systèmes de production connaît une accélération de son rythme d'évolution sous l'effet combiné de la mondialisation de l'économie, des innovations technologiques et de l'évolution du contexte géopolitique planétaire. Leur survie dépend en partie de leur agilité pour évoluer dans cet environnement mouvant [Dupuy, 2005].

Depuis le milieu des années 1990, la notion d'*agilité* de l'entreprise est apparue aux Etats-Unis pour désigner la capacité des organisations industrielles à repenser leur mode de fonctionnement afin de s'adapter à ce nouvel environnement.

A. Cauvin [Cauvin, 2005] considère qu'une entreprise agile est une entreprise qui a développé une capacité à répondre aux variations de son environnement et la capacité à maîtriser le temps de mise sur le marché des produits.

Selon X. Boucher [Boucher, 2007], l'agilité répond à une rationalité des entreprises, orientée vers la recherche de l'innovation. Des facteurs clés du monde économique actuel tels que la mondialisation et l'organisation en réseau des systèmes productifs, le rythme accéléré des développements technologiques, l'accès chaque jour plus ouvert au savoir généré à l'échelle internationale, soulignent le caractère crucial de l'innovation comme élément moteur de la compétitivité des entreprises.

Demain, encore plus qu'aujourd'hui, la compétitivité de l'entreprise reposera sur sa capacité à s'adapter en permanence aux innovations c'est-à-dire à mettre en place l'organisation interne, les méthodes et les outils répondant aux besoins d'innover mais également offrant la possibilité de gérer explicitement l'innovation en décidant, orientant et en anticipant les évolutions.

L'innovation englobe deux dimensions indissociables [Boucher, 2007] : l'innovation orientée produit et l'innovation organisationnelle. La première est focalisée sur le processus stratégique de gestion de l'innovation ainsi que sur les processus de développement de produits. La seconde vise à développer les capacités intrinsèques d'adaptation de l'entreprise afin que son fonctionnement évolue simultanément aux innovations orientées produit et que l'efficacité organisationnelle soit continuellement recherchée.

Devenir une entreprise agile nécessite, par conséquent, d'exploiter un ensemble de méthodes et d'outils permettant de formaliser, d'analyser et de sélectionner des scénarios d'évolutions potentiels afin de mettre toutes les chances de son côté pour rester dans la course à l'excellence. L'entreprise doit faire preuve de réactivité, d'adaptabilité et d'anticipation.

- *Développement durable*

En quelques décennies, les préoccupations environnementales se sont imposées progressivement à l'ensemble de la population. Ce phénomène s'est accéléré et intensifié ces dernières années. La mobilisation des acteurs est désormais apparente à tous les niveaux : politique, réglementaire, économique, technologique.

Ces préoccupations ont, par conséquent été assimilées par le monde industriel sous le concept plus large de *développement durable*. Le rapport Brundtland de la commission mondiale sur l'environnement et le développement [United Nations, 1987] le définit comme « un développement qui permet aux générations présentes de satisfaire leurs besoins sans remettre en cause la capacité des générations futures à satisfaire les leurs ».

Selon la commission européenne, les principes du développement durable se déclinent, à l'échelle des entreprises, par le biais de la responsabilité sociétale. Cette responsabilité signifie essentiellement, selon le Livre vert de la commission [Communautés Européennes, 2001], que les entreprises contribuent, de leur propre initiative, à améliorer la société et à protéger l'environnement, en liaison avec leurs parties prenantes [Dohou & Berland, 2007]. Ces parties prenantes ou *stakeholders* attendent des entreprises qu'elles rendent compte de la manière dont elles conduisent leurs activités et assument leurs impacts sur les employés, les actionnaires, les riverains, l'environnement... [Dohou & Berland, 2007]. Longtemps subordonnée aux besoins de l'activité économique et considérée comme un ensemble de ressources illimitées, la qualité de l'environnement apparaît aujourd'hui comme une préoccupation collective qui doit être intégrée aux activités productives [Boiral, 2005].

Actuellement, les pressions réglementaires et sociétales pour le respect des écosystèmes imposent des contraintes auxquelles les entreprises ne peuvent se soustraire sans compromettre la légitimité de leurs activités. Dès lors, l'ouverture aux valeurs environnementales et les investissements dans des équipements de dépollution apparaissent comme une nécessité pour assurer la pérennité des activités industrielles [Boiral, 2005]. Ces questions environnementales représentent aujourd'hui un enjeu stratégique pour les entreprises.

Ainsi, en Belgique, les subventions accordées par le gouvernement wallon seront prochainement majorées afin de soutenir les entreprises dans leurs démarches de développement durable. Ces incitants concernent notamment une utilisation durable de l'énergie et un meilleur respect de l'environnement afin de dépasser les normes européennes, d'anticiper une nouvelle directive ou encore de réduire les déchets de production.

Le développement durable constitue donc un nouvel enjeu de la performance à prendre en compte dans toute démarche d'amélioration [Bronet, 2006]. Il consiste, pour l'entreprise, à rechercher un équilibre entre les aspects économique, social et environnemental qui le caractérisent (*cf.* Figure 3). L'amélioration de la performance de l'entreprise doit, par conséquent, être engendrée par des actions de progrès créant de la valeur pour ses actionnaires mais créant également de la valeur pour ses clients, son personnel et la société en général. Cela n'est pas sans conséquence sur le choix des mesures à privilégier à l'avenir pour évaluer cette performance [Bronet, 2006].

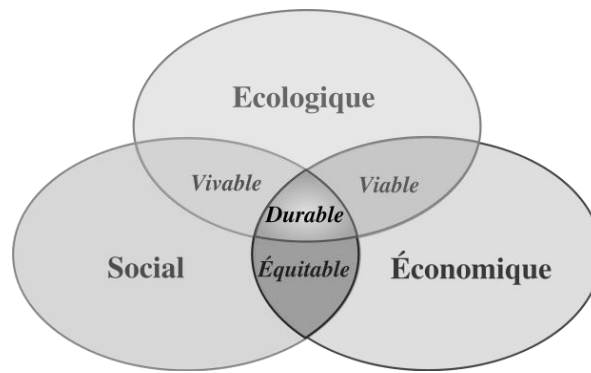


Figure 3: Le développement durable, conjonction des aspects économiques, sociaux et écologiques [Bronet, 2006]

Tout en conservant l'ambition de croître de manière rentable, le développement durable a donc rejoint les priorités stratégiques des entreprises de production. Il s'exprime de diverses manières. Citons par exemple :

- Gestion du risque encouru par les collaborateurs, de leur santé et de la sécurité des produits ;
- Engagement en faveur de l'environnement et de la préservation des ressources rares ;
- Dialogue avec tous les partenaires de l'entreprise (clients et fournisseurs, voisinages, institutions financières, populations, ONG) ;
- Innovation en vue de créer de la valeur pour le client et l'actionnaire et de soutenir le développement durable ;
- Adopter une attitude citoyenne responsable...

De manière générale, inclure le développement durable dans l'évaluation de la performance globale de l'entreprise consiste à prendre en compte quatre éléments constitutifs de cette philosophie, les « 4P », dans la définition de sa stratégie. Les « 4P » sont [Arcelor, 2005] :

- *Profit* : sans rentabilité, il n'y a pas de développement possible ;
- *People* : les hommes et les femmes qui font vivre l'entreprise ;
- *Planet* : la préservation de l'environnement est une priorité pour toute entreprise responsable ;
- *Partners* : la création de valeur pour tous les partenaires qui assurera le succès à long terme.

De cette manière, lors de l'opérationnalisation de la stratégie, la notion de développement durable fait partie intégrante des objectifs poursuivis. L'intégration du développement durable dans l'évaluation de la performance globale de l'entreprise n'est pas un frein à la satisfaction des objectifs stratégiques de l'entreprise mais au contraire, elle constitue un levier pour les atteindre de la manière la plus équilibrée et la plus équitable possible sans compromettre le développement même de l'entreprise.

Toutefois, les entreprises ne sont souvent pas enclines à consacrer du temps, de l'énergie et des ressources financières à l'amélioration des performances environnementales et en matière de sécurité. Elles sont vues comme coûteuses et peu visibles par le client, à l'exception des catastrophes industrielles préjudiciables voire fatales pour l'image de l'entreprise [Ducq, 2007].

En fait, les implications économiques des investissements verts peuvent varier considérablement suivant les secteurs d'activités, les objectifs visés, le contexte industriel et réglementaire ou encore le type d'activité considéré [Boiral, 2005]. La mise en place d'une politique de développement durable a, bien entendu, un coût que l'entreprise doit prendre en compte. Cependant, à plus ou moins long terme, Elle génère des économies (économies d'énergie, de carburants...), est source de différenciation (amélioration de l'image, retombées économiques, innovations technologiques...) et donc de compétitivité pour l'entreprise qui l'adopte [Guerra, 2007].

1.2.3. LA PERFORMANCE SE VEUT ... DURABLE

Evaluer la performance d'une entreprise est essentiel, l'améliorer incontournable, pérenniser l'amélioration engrangée un véritable défi.

Une enquête réalisée en décembre 2003 auprès de quarante entreprises manufacturières de la région Rhône-Alpes confirme la difficulté rencontrée par les entreprises interrogées, à conserver dans le temps les performances que les démarches d'amélioration ont permis d'atteindre [Pillet & Maire, 2004]. Au-delà de l'objectif d'identifier les chantiers d'amélioration les mieux pérennisés dans l'entreprise, cette enquête visait également à lister et à hiérarchiser les principaux facteurs à l'origine de la réussite de cette pérennisation.

Parmi ces facteurs, 18 concernent la mise en œuvre de la démarche d'amélioration, 16 font référence à l'implication des acteurs de la démarche, 15 concernent les résultats obtenus par la démarche, 7 sont liés à l'élément déclencheur à l'origine de la mise en place de la démarche, et plus surprenant, 5 seulement font référence à la manière selon laquelle est réalisé le suivi de la démarche [Bronet, 2006], [Pillet & Maire, 2004].

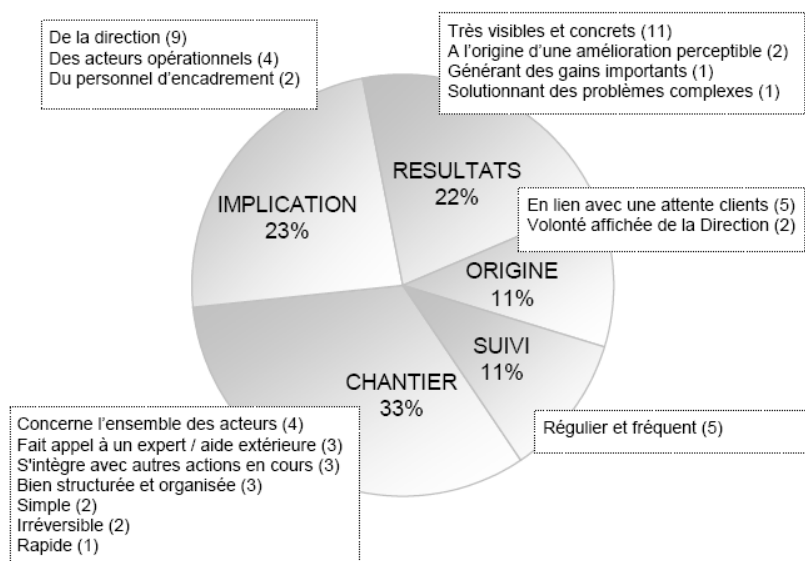


Figure 4: Les facteurs de succès d'une pérennisation de performance [Pillet & Maire., 2004]

L'analyse de ces résultats souligne que l'origine de la pérennisation de la performance est essentiellement liée à la démarche d'amélioration mise en œuvre et aux types de résultats qu'elle permet d'obtenir. Garantir que les progrès soient définitivement ancrés dans l'entreprise est donc un véritable challenge pour le système d'amélioration de la performance. Cela suppose un choix mûrement réfléchi quant à l'action d'amélioration à déployer dans l'entreprise. Le maintien dans le temps des acquis de performance repose, selon J-L. Maire et M. Pillet [Pillet & Maire, 2004], sur la mise en place d'actions couvrant les trois axes de pérennisation : l'état organique, la contrepartie et la facilitation.

L'état organique est l'état des performances vers lequel le processus retournera naturellement sans effort. C'est la notion d'homéostasie dans la théorie des systèmes [Rosnay, 1975]. Si une amélioration demande un effort décalé par rapport à l'état naturel de l'entreprise, il est plus que probable que cet effort ne pourra être maintenu dans le temps lorsque la pression sur le sujet diminuera [Pillet & Maire, 2004]. Pérenniser la performance acquise consiste donc à chercher à transformer l'état atteint par le système en un état organique.

Le second axe de pérennisation est la contrepartie. Il est nécessaire que le système et/ou les acteurs de ce système trouvent un intérêt, une contrepartie aux efforts supplémentaires fournis pour assurer la pérennisation : une amélioration notable des conditions de travail, une réduction du temps nécessaire pour la réalisation des tâches à effectuer, une simplification de ces tâches, une reconnaissance de la hiérarchie... A défaut, il est probable qu'à une forte implication dans la mise en œuvre des actions d'amélioration succède un relâchement, une lassitude voire parfois un abandon total de ces mêmes actions dans le temps.

Le troisième et dernier axe, la facilitation, regroupe l'ensemble des éléments qui allègent l'effort supplémentaire qu'une pérennisation nécessite. Développer l'habileté technique des acteurs du système et exploiter au mieux la synergie de groupe en sont deux pistes.

Après avoir abordé les principales facettes de la performance actuelle d'un système de production, nous ajoutons, afin d'en dresser un portrait complet, une dernière caractéristique : son mode de gestion, le pilotage.

1.2.4. LA PERFORMANCE... SE PILOTE

Actuellement, gérer la performance d'un système de production exige de jongler avec des critères de performance multiples sur différents niveaux décisionnels et organisationnels mettant en jeu plusieurs acteurs et ce, dans une perspective de résultats immédiats et d'évolution. Un véritable mécanisme doit donc être conçu afin de prendre en compte l'ensemble de ces éléments et les interactions qui existent entre eux. Il doit être exploité de manière efficace et efficiente afin de permettre au système analysé de réaliser la stratégie qu'il s'est fixé. Ce mécanisme, destiné à garantir la cohérence des démarches d'amélioration de la performance, porte le nom de *système de pilotage de la performance*.

Dans ce contexte, le modèle taylorien du contrôle, premier mécanisme d'évaluation déployé dans l'entreprise qui consiste à vérifier simplement la réalisation des objectifs, ne peut dignement plus remplir son rôle. Il n'a, en effet, été conçu ni pour s'adapter aux modifications incessantes de l'environnement actuel de l'entreprise ni pour favoriser l'innovation. De plus, le modèle du contrôle tend également à occulter les aspects humains d'un système de production contemporain dans lequel les tâches à accomplir sont, en effet, bien plus complexes, plus difficiles et moins clairement délimitées que celles que peuvent accomplir la plupart des machines [Neubert, 1997].

Au fil des modifications imposées ou fortement suggérées par l'environnement de l'entreprise, ce système de contrôle a élargi peu à peu son champ d'application afin de considérer la performance de l'entreprise dans sa nouvelle version. P. Lorino [Lorino, 2003] explique le basculement du contrôle vers le pilotage de la performance par l'évolution d'une logique de constat basée sur la mesure vers une logique d'explication basée sur le diagnostic.

Désormais, la simple vérification de l'atteinte des objectifs ne suffit plus ! Pour rester compétitive, l'entreprise doit également s'interroger sur l'origine de l'échec ou de la faible performance obtenue et prendre des mesures correctives ou de progrès dès que possible. L'évaluation de la performance est un processus dynamique comprenant de multiples boucles de régulation [Marcon *et al.*, 2003]. Réactivité et anticipation sont inhérentes à un système de pilotage de la performance et non au modèle taylorien du contrôle.

2. LE PILOTAGE DE LA PERFORMANCE DES SYSTEMES COMPLEXES

Au fur et à mesure de l'évolution du paysage économique, les critères d'évaluation de la performance de l'entreprise se sont diversifiés et multipliés afin de veiller à en perpétuer la compétitivité et la solvabilité. La performance monocritère axée uniquement sur les coûts s'est transformée en une performance multicritère et durable axée sur la création de valeur pour l'ensemble des parties prenantes de l'entreprise. La notion de pilotage de la performance fait son entrée dans le vocabulaire de l'entreprise.

Le concept de pilotage de la performance d'un système de production est présenté, dans cette section, en référence à la conduite d'un engin. Cette analogie souligne les différentes phases composant l'acte de pilotage. Les résultats espérés par tout décideur lors de l'exploitation d'un système de pilotage sont ensuite décrits. Ceux-ci sont synthétisés en cinq termes: Cibler, Mesurer, Evaluer, Imaginer et Comparer, composant deux missions indissociables que sont l'évaluation de la performance obtenue et son amélioration continue. Les actions d'amélioration, leur horizon d'application et les bouleversements qu'elles sont susceptibles d'induire dans le système sont, ensuite, abordés.

2.1. PILOTAGE ET PILOTAGE INDUSTRIEL

M-J. Avenier [Avenier, 1984] décrit le mécanisme de pilotage de la performance par une analogie à la conduite d'un engin. « Piloter un engin, c'est choisir un objectif, définir la meilleure trajectoire, lancer l'engin puis corriger en permanence ses écarts par rapport à la trajectoire ; éventuellement, c'est aussi modifier en cours de route la trajectoire ou même l'objectif lorsque les informations sur l'état de l'univers extérieur et sur le comportement de l'engin montrent que le plan initial ne peut être maintenu ».

Cette analogie met en évidence un ensemble de phases essentielles à l'acte de pilotage. La première concerne la *définition d'un objectif* à atteindre. Initiateur de la démarche de pilotage, il conditionne les différentes phases du mécanisme de pilotage : le choix du plan d'actions à mettre en œuvre, les informations qu'il est utile de collecter pour l'évaluation de la trajectoire suivie et éventuellement, les modifications à apporter à la trajectoire initiale.

La seconde étape est la *définition de la meilleure trajectoire possible*, c'est-à-dire, des actions à accomplir pour atteindre l'objectif visé. Pour y parvenir, la connaissance des différentes actions à mettre en œuvre, des objectifs qu'elles doivent atteindre et des ressources capables de les supporter est indispensable. Il s'agit également de définir quel est le pilote disponible le mieux préparé à la conduite de l'engin, quel est l'engin le plus performant et quels sont les points de repère à fixer afin de veiller à ne pas s'éloigner de la meilleure trajectoire [Chaudet, 2002].

Lancer l'engin constitue la troisième phase d'un mécanisme de pilotage. Elle vise la mise en œuvre de la trajectoire définie tout en vérifiant qu'il n'existe pas de dérive de la part du système réel. Bien entendu, les acteurs et les moyens impliqués dans toute action doivent être disponibles au moment de son démarrage.

La dernière étape est *corriger en permanence ses écarts par rapport à la trajectoire*. L'apparition d'un écart entre les trajectoires visée et réellement empruntée déclenche un acte de correction de la part du pilote afin d'appréhender d'éventuels dysfonctionnements ou dérives et d'adapter, si nécessaire, la trajectoire ou l'objectif visé. Au cours de cette étape, il est donc impératif d'acquérir et de traiter les informations nécessaires à la mesure des écarts.

L'analogie à la conduite d'un engin s'applique tout à fait au mécanisme de pilotage de la performance des systèmes de production à condition de ne pas négliger la dimension humaine de ces systèmes. Cela suppose que les décisions de modification de trajectoire ou même d'objectifs soient induites par l'appréciation ou l'interprétation faite par le pilote des performances réalisées par le système [Sénéchal, 2004].

Inspiré par cette analogie au pilotage d'un engin, F. Théroude [Théroude, 2002] propose une modélisation du pilotage composée de trois étapes. Les étapes 1 et 2 de la conduite d'un engin fusionnent et deviennent l'étape de mise en œuvre et les étapes 3 et 4 sont respectivement appelées l'étape de réalisation et de suivi et l'étape d'adaptation.

L. Camman-Ledi, L. Livolsi [Camman-Ledi & Livolsi, 2000] et F. Théroude [Théroude *et al.* 2001a, 2001b] soulignent la présence de mécanismes d'adaptation et d'anticipation dans un mécanisme de pilotage pour permettre à l'engin d'évoluer en fonction des contraintes induites par son environnement.

L'analyse de l'analogie de M.-J. Avenier [Avenier, 1997] a mis en exergue de nombreux éléments caractéristiques du pilotage d'un système de production. Toutefois, elle reste floue sur certains éléments clés de ce mécanisme:

- Où commence et où s'arrête un système de pilotage ? Quels en sont les frontières ?
- Quelle information est-il nécessaire de recueillir pour établir les écarts par rapport à la trajectoire initiale ?
- Quand faut-il agir pour corriger les écarts ?
- Sur quoi les actions de correction doivent-elles agir ?

L'Association Française de Gestion Industrielle [AFGI, 1992] apporte quelques précisions à la notion de pilotage en stipulant que le pilotage de la performance d'un système de production doit être considéré dans sa globalité, qu'il touche tous les niveaux de l'entreprise et doit veiller à la cohérence de l'ensemble des actions de pilotage émises. La mise en œuvre d'une action pour atteindre un objectif particulier ne doit donc pas contrarier l'atteinte d'un autre objectif [Clivillé, 2004].

L'AFGI [AFGI, 1992] définit le pilotage comme « un mécanisme multi-niveaux, hiérarchisé (chaque niveau cadrant le suivant) et bouclé (répercussions et corrections 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, 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 et des moyens d'action ».

Si l'AFGI a contribué à l'identification des frontières d'un système de pilotage, les trois autres interrogations soulevées par M.-J. Avenier restent floues. Les réponses apportées par la littérature sont encore, à l'heure actuelle, partielles ou peu précises.

2.2. LES MISSIONS D'UN SYSTEME DE PILOTAGE DE LA PERFORMANCE

Afin de remplir pleinement son rôle, le pilotage de la performance d'un système de production se doit de remplir deux fonctions indissociables :

- l'évaluation de la performance réalisée par le système analysé,
- l'identification et la mise en œuvre d'actions de pilotage destinées à améliorer le niveau de performance atteint.

Avant de détailler ces deux missions et les activités qui les composent, il est essentiel de définir leur élément fédérateur : l'indicateur de performance. Il est l'outil de pilotage qui permet de quantifier l'efficacité et/ou l'efficience de l'action menée [Burlat & Pellegrin, 2001] et d'orienter la conception du plan d'actions à introduire dans le système piloté.

Dans un mécanisme de pilotage de la performance, l'indicateur doit être considéré dans sa forme tripartite (Objectif, Mesure, Variables d'action). Cette conception présente l'avantage de regrouper les éléments incontournables d'un système de pilotage.

2.2.1. L'OUTIL DE PILOTAGE : L'INDICATEUR DE PERFORMANCE

« Un indicateur de performance est une donnée quantifiée qui exprime l'efficacité ou l'efficience 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 » [AFGI, 1992]. En d'autres termes, il est l'estimation d'une variation d'efficacité ou d'efficience.

La vocation d'un indicateur de performance est d'apporter un éclairage décisionnel aux principaux acteurs d'un centre de responsabilité [Giard *et al.*, 1995]. Ce dernier, appelé également centre de décision, est une entité organisationnelle associée à un cadre de décision et placée sous la responsabilité d'un agent humain [Roboam, 1993]

Chaque centre de décision du système analysé regroupe les indicateurs qui caractérisent son efficacité et/ou son efficience à un moment donné dans un tableau de bord. V. Giard précise que cette liste d'indicateurs est destinée à étayer un jugement sur le fonctionnement du centre de décision [Giard, 2003]. Outre cette mise au point sur l'état du système piloté, les tableaux de bord favorisent, également, la mise en évidence des pistes d'action susceptibles d'en améliorer la performance globale et de le guider vers la réalisation de ses objectifs stratégiques. Pour remplir cette tâche, les indicateurs de performance contenus dans chaque tableau de bord sont construits sous la forme d'un triplet (Objectif, Mesure, Variables d'action), les variables d'action précisant les leviers d'action qu'il est possible d'activer pour atteindre l'objectif.

Les différents tableaux de bord du système analysé constituent un véritable réseau informationnel alimenté par le système d'indicateurs de performance qui les composent. Pour assurer la cohérence de ce réseau, un certain nombre de précautions doivent être prises lors de la conception, de l'exploitation ou de la révision de ces tableaux de bord. Celles-ci sont abordées dans le chapitre 2.

Avant de préciser la composition d'un système de tableaux de bord, détaillons les composantes, les fonctions et les caractéristiques de l'indicateur de performance.

2.2.1.1 Description de l'indicateur de performance

Depuis quelques années, de nombreux chercheurs [Berrah *et al.* 1995] ; [Berrah 1997, 2002], [Clivillé, 2004] [Letouzei, 2001], [Bonnefous, 2001] s'intéressent à la notion d'indicateur de performance et plus particulièrement, à ses paramètres fondamentaux, sa modélisation et son évaluation.

L. Berrah [Berrah 1997, 2002] propose une description ou selon les termes de l'auteur, une modélisation de l'indicateur de performance intégrant trois facettes liées aux différentes phases de calcul de la performance :

- la facette *Objectif* concerne la formalisation de l'objectif : la spécification du domaine d'analyse (univers du discours, qualitatif ou quantitatif) et la détermination de la valeur à atteindre ;
- la facette *Evaluation* concerne la mesure, c'est-à-dire l'acquisition des mesures physiques et l'évaluation du degré d'atteinte de l'objectif défini par rapport à la mesure de performance établie ;
- la facette *Appréciation/Interprétation* concernant l'interprétation de la mesure de performance par l'utilisateur : vérification de la validité de la mesure (conditions d'acquisition de la mesure...) et éventuellement, remise en cause de l'objectif, en fonction des connaissances et de l'expertise de l'utilisateur.

Afin que la description de l'indicateur soit complète, nous ajoutons une quatrième facette : la facette *Action*.

- La facette *Action* concerne la sélection et l'activation de leviers d'action sur lesquels il est possible d'agir ou de réagir pour conduire le système analysé vers les objectifs assignés.

Cette modélisation en quatre axes traduit la complexité de l'indicateur de performance. Celui-ci y est montré comme la résultante de l'association :

- d'un *objectif* négocié, cohérent avec la stratégie d'entreprise ;
- d'une *mesure* de performance, à laquelle une unité d'œuvre est associée ;
- de *variables d'action* déterminantes, qui sont des facteurs sur lesquels agissent un ou plusieurs acteurs du système afin de faire évoluer tout ou partie d'un processus ou d'un système vers les objectifs assignés. La littérature utilise également de façon similaire les termes : inducteur, facteur ou paramètre [Petra, 2008]. Chaque variable activée donne naissance à un plan d'actions où les actions à déployer, les échéances à respecter et les moyens d'action nécessaires sont définis. Ces derniers sont les éléments actifs pour la maîtrise de la performance du processus ou système ; ils concernent, par exemple, les ressources (capacité...), les produits (complexité...).

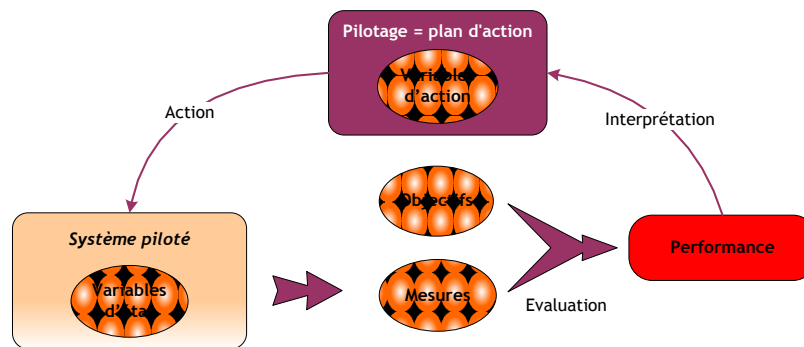


Figure 5 : La boucle de pilotage vue à travers l'indicateur de performance [Berrah, 2002] & [Clivillé, 2004]

L'organisation interne des différents paramètres de l'indicateur de performance est illustrée par la Figure 5. Celle-ci met en exergue la définition sous la forme d'un triplet (Objectif, Mesure, Variables d'action) de l'indicateur de performance et souligne également les deux rôles complémentaires joués par celui-ci dans la boucle de pilotage de la performance [Berrah, 2002] :

- une fonction d'expression de la performance
Celle-ci a pour rôle d'exprimer la performance de l'état réel du système considéré au regard de l'état espéré. Cette fonction se rattache aux deux premiers éléments du triplet et identifie la raison d'être de l'indicateur.
- une fonction d'aide au pilotage
Cette seconde consiste à donner le signal permettant d'enclencher les actions de pilotage. Cette fonction se rattache aux deux derniers éléments du triplet et met l'accent sur les impératifs de réactivité.

La variable d'action sélectionnée et appliquée au système piloté devient, comme l'indique le schéma, une variable d'état.

Les différents indicateurs de performance dispersés dans les centres de décision du système piloté constituent un ensemble cohérent destiné à couvrir tous les aspects pertinents pour le développement de l'organisation. Ils forment un système d'indicateurs capable de juger de l'efficacité et de l'efficience de l'action de pilotage engagée. La mise en relation des indicateurs en un système s'appuie évidemment sur des critères de classification : indicateurs financiers *versus* non financiers, indicateurs internes pertinents pour l'évaluation du fonctionnement de l'organisation *versus* indicateurs externes pour évaluer la performance perçue par le client ou celle du fournisseur... [Pellegrin, 2001]. Cette étape de classification, préalable à la construction d'un système global d'indicateurs de performance, est décrite dans la section suivante.

2.2.1.2 Taxinomie des indicateurs de performance

Les différentes typologies de l'indicateur de performance recensées dans la littérature établissent leur classement selon des critères fortement différents. Certaines mettent en avant la relation des indicateurs à la stratégie et au positionnement concurrentiel de l'entreprise telle que la classification de White ; d'autres, comme l' AFGI fondent celle-ci sur trois critères :

- Le type de performance : que mesure-t-on ? La performance ou la contre-performance ?
- Les composantes des indicateurs : quelles sont les caractéristiques des trois composantes (objectif, mesure et variables d'action) ?
- La nature des indicateurs : quelles sont les caractéristiques liées à leur usage, en particulier les domaines (fonctions, niveaux) concernés par l'évaluation.

Le Tableau 1 présente quelques catégories d'indicateurs répertoriées sur la base d'une logique d'utilisation. Cette liste, non exhaustive, a pour objectif de souligner l'étendue du champ d'action des indicateurs.

Critères de classification	Indicateurs de performance	Auteurs
Selon la logique d'amélioration	- Indicateurs de progrès - Indicateurs de maîtrise - Indicateurs de mobilisation - Indicateurs de référence	[Berrah <i>et al.</i> , 1997] ; [Berrah & Haurat, 1999] ; [Gallois, 1997]
Selon le niveau hiérarchique	- Indicateurs stratégique - Indicateurs tactique - Indicateurs opérationnel	[Greif, 1989].; [Jacot & Micaelli, 1996]; [Berrah & Haurat, 1999]
Selon le degré de réactivité	- Indicateurs de résultat - Indicateurs de processus	[Berrah, 1997] ; [Berrah & Haurat, 1999]
Selon le positionnement du pouvoir d'action	- Indicateurs de pilotage - Indicateurs de reporting	[Berrah, 1997] ; [Berrah & Haurat, 1999]
Selon les variables d'action	- Indicateurs simples - Indicateurs complexes	[Berrah, 1997] ; [Berrah & Haurat, 1999]
Selon l'avenir	- Indicateurs immédiats pour suivre l'évolution du système - Indicateurs de création de potentiels si les actions engendrées augmentent les performances à long terme	[Savall et Zardet, 1989]
Selon l'origine des mesures	- Indicateurs à mesures endogènes, uniquement internes au système évalué - Indicateurs à mesures exogènes, sur l'environnement du système	[Zölch <i>et al.</i> , 1994]
Selon la durée de l'indicateur	- Indicateurs structurels - Indicateurs conjoncturels	[AFGI, 1992] ; [Selmer, 1998]
Selon le comportement du système	- Indicateurs productivité ressources - Indicateurs de flux de produits - Indicateurs de synchronisation	[AFGI, 1992]
Positionnement temporel par rapport à la décision	- Indicateur à vocation ex ante - Indicateur à vocation ex post	[Giard <i>et al.</i> , 1995]

Tableau 1: Typologies de l'indicateur de performance, inspirées de [AFGI, 1992], [Letouzei, 2001] et [Petra, 2008]

La dernière catégorie reprise dans ce tableau de synthèse met en évidence le positionnement temporel de l'indicateur par rapport à la décision. L'approche temporelle de la performance joue un rôle essentiel et mérite donc quelques précisions.

Dans cette catégorie, deux types d'indicateurs de performance sont distingués [Giard *et al.*, 1995] :

- les *indicateurs à vocation ex ante* sont destinés à aider la prise de décision à venir. Ces indicateurs se retrouvent presque exclusivement dans le tableau de bord de pilotage. Ils visent une gestion opérationnelle du court terme. Les indicateurs de charge prévisionnelle globale ou par catégorie de ressources en sont des exemples ;
- les *indicateurs à vocation ex post* sont destinés à évaluer la qualité des décisions passées. Toutefois, Il est également intéressant d'utiliser ce type d'indicateur lors de la préparation de décisions, principalement dans le cadre de simulations destinées :
 - soit à aider à la prise de *décisions opérationnelles* assistée par un système interactif d'aide à la décision (SIAD). Lorsque la décision à prendre est complexe et implique la prise en compte de plusieurs points de vue, son usage sera d'autant plus utile. L'ordonnancement en est un parfait exemple ;
 - soit de tester la validité de stratégies alternatives de commande du système productif dans les analyses de *conception*.

Naturellement, un indicateur de performance est susceptible d'appartenir à plusieurs classes. Il est important de les identifier afin d'exploiter pleinement l'indicateur construit. En effet, la modélisation de l'organisation interne de l'indicateur ne suffit pas à son exploitation [Letouzei, 2001] ; des spécificités apparaissent suivant les classes auxquelles l'indicateur appartient. Il est important de disposer de ces informations pour profiter au mieux de l'indicateur mis en place [Berrah, 1997]. Ainsi, un indicateur de disponibilité peut être indicateur de processus pour le processus de production et indicateur de résultat pour le processus de maintenance. Dans le premier cas, il participe à la définition de plans d'actions en vue de l'amélioration du processus de production. Dans le second, il évalue l'efficacité de la maintenance [Burlat & Pellegrin, 2001].

Après avoir analysé les éléments constitutifs d'un indicateur de performance, nous présentons les principales caractéristiques et qualités qu'il doit afficher pour remplir pleinement son rôle.

2.2.1.3 Caractéristiques d'un indicateur de performance

Selon Lorino [Lorino, 2001 b], un indicateur de performance de qualité doit faire preuve :

- Pertinence stratégique : l'objectif constitutif de l'indicateur contribue-t-il à satisfaire l'objectif stratégique ciblé ?
- Pertinence opérationnelle : l'entité concernée a-t-elle les moyens d'agir sur le niveau de performance mesuré et atteint par l'indicateur ?
- Efficacité cognitive : l'indicateur peut-il être correctement lu, compris et interprété par l'acteur auquel il est destiné ?

Outre les exigences qu'un indicateur de qualité doit satisfaire, d'autres éléments, en lien direct avec la prise de décision ou son évaluation, le caractérisent [Giard *et al.*, 1995] :

- Le positionnement temporel de l'indicateur par rapport à la décision ;
- La relation causale qui existe entre l'indicateur et la décision ;
- La prise de décision est largement influencée par l'interprétation que le décideur donne à l'indicateur et à ses variations. L'interprétation peut se baser sur une valeur unique prise par l'indicateur mais peut également prendre en considération des valeurs antérieures pour dégager une tendance de l'évolution de l'indicateur en vue d'anticiper la dérive.

L'évaluation de la performance est un processus dynamique inscrit dans le temps [Burlat *et al.*, 2003]. L'incidence du temps intervient donc dans la définition même de l'indicateur. Le calcul de l'indicateur

s'effectue à partir de données caractérisant l'état du système à une date donnée ou fait intervenir des flux définis par période.

Ces caractéristiques accroissent les difficultés méthodologiques rencontrées lors de la construction d'un tableau de bord et plus encore, d'un système de tableaux de bord.

2.2.1.4 Composition du tableau de bord

Lors de la conception d'un tableau de bord, il est important de veiller à ce que les indicateurs qui le composent soient, non seulement, pertinents pour l'évaluation de la performance du centre de décision mais également, facilement lisibles et interprétables pour une prise de décision efficace.

Les différents tableaux de bord d'un système de pilotage sont composés d'indicateurs de performance de nature et de fonction différentes. Ils peuvent être financiers ou non ; de résultats ou de processus ; stratégiques, tactiques ou opérationnels ; simples ou complexes... Quelle que soit la composition du portefeuille d'indicateurs, l'essentiel est qu'il fournisse une vision globale et équilibrée de l'entreprise.

Les indicateurs doivent être en nombre restreint et choisis avec minutie. Il s'agit d'éviter la surinformation qui complique la prise de décision, risque de privilégier un point de vue particulier ou de ralentir la mise à jour des indicateurs. Inversement, la sous-information empêche le décideur de détecter suffisamment tôt un dysfonctionnement ou l'oblige à mener une véritable enquête pour en identifier la cause. Piloter une entreprise nécessite d'être capable de décider, en quelques secondes, sur la base d'informations exactes en valeur et dans le temps, des actions de pilotage à mener [Leclainche, 2001].

La présence d'un indicateur dans un tableau de bord dépend de sa capacité informationnelle mais également des autres indicateurs qui composent le tableau. En effet, le portefeuille d'indicateurs établi peut présenter un problème de redondance de l'information. Celle-ci se produit dans un groupe d'indicateurs, lorsqu'il est à peu près assuré d'observer une co-variation de ces indicateurs. Cette redondance d'information perturbe la lisibilité du tableau de bord et complexifie la prise de décision. Pour diverses raisons telles que l'absence de mémorisation, la faible périodicité de calcul d'indicateur, l'évolution du contexte, la rotation du personnel, la détection de ce phénomène est souvent, dans la réalité, malaisée. Le recours à une approche simulateur peut, cependant, aider à mettre en évidence les éventuelles co-variations entre indicateurs par l'utilisation des outils statistiques disponibles. Une fois la co-variation détectée, sur base de leur facilité d'interprétation (compréhension par les acteurs, orientation décisionnelle, ...), s'opère l'élimination des indicateurs en surnombre [Giard *et al.*, 1995].

Différentes méthodologies, plus ou moins élaborées, destinées à concevoir un tableau de bord sont disponibles dans la littérature [Neely *et al.*, 1995]. A. Parida a recensé plus d'une vingtaine de méthodes dans [Parida, 2006].

Les premières réflexions sur la conception d'un tableau de bord mettent en avant des aspects particuliers de l'expression de la performance sans en préciser clairement la manière de les développer. Citons par exemple S. Globerson [Globerson, 1985] dans son *Performance criteria system* et J.R. Dixon [Dixon *et al.*, 1990] dans son *Performance Measurement Questionnaire – PQM* qui illustrent l'aspect multicritère de la performance. La pyramide SMART (*System Measurement Analysis and Reporting Technique*) [Cross & Lynch, 1988-1989], quant à elle, met en exergue une performance exprimée sur plusieurs niveaux décisionnels. La dépendance des critères est, par exemple, gérée et intégrée à la *Performance Matrix* de D.P. Keegan [Keegan *et al.*, 1989] ou à la *Results and determinants matrix* de L. Fitzgerald [Fitzgerald *et al.*, 1991].

Au travail de ces précurseurs, les premières contributions méthodologiques, visant non seulement la définition des indicateurs de performance mais également leur cadre de conception, sont apparues. Les démarches de conception structurées d'un tableau de bord de B.H. Maskell [Maskell, 1991] et de J.D. Wisner [Wisner & Fawcett, 1991] en sont des exemples.

Au fil des évolutions socio-économiques de l'environnement de l'entreprise, les démarches proposées se sont enrichies et ont évolué vers de véritables *Performance Measurement Systems* englobant les différentes phases

de vie d'un système d'indicateurs de performance : conception, exploitation et révision. Parmi ceux-ci, quelques systèmes sont plus amplement présentés dans le chapitre 2 de cette recherche.

La plus usitée est toujours à l'heure actuelle le *Balanced Scorecard* ou *Tableau de Bord Prospectif* que ce soit dans sa version originale ou dans sa version moderne [Kaplan & Norton, 1992 ; 1998] où il s'accompagne d'une *Strategic Map* [Kaplan & Norton, 2000 ; 2004 ; 2007].

R. Kaplan et D. Norton ont été des pionniers en la matière, en proposant leur célèbre tableau de bord prospectif. Dans sa forme générique, le *Balanced Scorecard* couvre quatre axes jugés essentiels et suffisants par les auteurs de la méthode : les axes *financier, clients, apprentissage organisationnel et processus opérationnels*. Toutefois, en fonction des besoins et des particularités de l'entreprise étudiée, d'autres axes pourront être développés si nécessaire. Ce tableau de bord est classiquement qualifié d'équilibré du fait de la vision financière complétée par une vision non financière et de prospectif dans la mesure où des indicateurs de résultats et de processus sont définis sur chacun des quatre axes. La méthode *Process Performance Measurement System – PPMS* [Kueng & Krahn, 1999] [Kueng, 2000] s'organise également autour d'axes prédéfinis, les axes *financier, clients, employés, société et innovation*. La définition d'une structure et d'indicateurs de performance standards caractérise également les méthodologies offrant la possibilité à l'entreprise de se positionner par rapport à des entreprises qui lui sont comparables (en termes de secteur d'activités, de localisation géographique et de taille) et d'identifier les domaines où elle est susceptible de progresser. L'approche *European Network for Advanced Performance Studies - ENAPS* [Browne et al., 1999] ou le référentiel normalisé proposé par l'*European Framework for Quality Management – EFQM* en sont deux exemples.

Le nombre d'indicateurs composant le tableau de bord prospectif n'est pas précisément spécifié dans la littérature. Toutefois, il semble évident que pour des raisons de clarté, de compréhension et d'interprétation aisée des données, un nombre restreint d'indicateurs s'impose. Une fourchette entre sept et quinze indicateurs est fréquemment proposée.

Le choix des indicateurs de performance contenus dans un tableau de bord est, dans la majorité des méthodes proposées, guidé par l'objectif assigné, l'expertise et les habitudes du décideur. Toutefois, les auteurs du modèle *Quantitative Model for Performance Measurement System -QMPMS* [Suwignjo & Bititci, 2000] considèrent que pour établir un tableau de bord affichant un nombre réduit d'indicateurs, ces derniers doivent être distingués selon deux éléments :

- l'impact de la variable d'action suivant une analyse Pareto des effets ;
- la vitesse de changement de la performance selon cette variable : élevée, moyenne ou lente.

Un impact fort et une vitesse de changement élevée conduisent à une mesure continue ou quotidienne alors qu'un impact faible et une vitesse de changement lente donnent une mesure trimestrielle ou annuelle.

Le point commun existant entre les différents systèmes d'indicateurs de performance est leur but unique : satisfaire l'objectif stratégique de l'entreprise. Pour y parvenir, la stratégie de l'entreprise doit être traduite en objectifs directement applicables au système de production. En fonction de la méthodologie appliquée, la décomposition de l'objectif stratégique s'effectue [Clivillé, 2004] :

- selon des axes génériques : *Balanced Scorecard* [Kaplan & Norton, 1992], *PPMS* [Kueng & Krahn, 1999]... ;
- selon des processus : méthodologies liées à l'*Activity Based Costing /Activity Based Management*, approche *ENAPS* [Browne et al., 1999]... ;
- selon la structure de pilotage : par fonction et par niveau dans le modèle *ECOGRAI* [Bitton, 1990] [Bitton, 1990] [Doumeings et al., 1998]... ;
- ...

L'objectif d'un *Performance Measurement System* est donc d'offrir à l'entreprise, grâce à un ensemble limité d'indicateurs de performance, une représentation fiable de la manière dont les résultats sont obtenus en sensibilisant les acteurs à une vision globale de la performance, celle de la stratégie. Certaines de ces approches, mettent l'accent sur les interrelations unissant les indicateurs de performance du système piloté.

Si les indicateurs sont organisés de manière systémique, il en est de même pour les différents tableaux de bord du système piloté. Construire un système de tableaux de bord cohérents dans le temps et dans l'espace est un problème important qui doit faire l'objet d'une attention particulière sous peine de faire « capoter » le système de pilotage développé. Il s'agit de veiller à mettre en place et à conserver un système de pilotage cohérent en toutes circonstances. La garantie de cette cohérence repose en grande partie sur son architecture. Notre proposition est décrite dans sa forme la plus simpliste ci-après.

2.2.2. MISSION 1 : EVALUER LA PERFORMANCE RÉALISÉE PAR LE SYSTÈME DE PRODUCTION

Par essence, un système de pilotage repose sur l'exploitation d'un système d'indicateurs (et de tableaux de bord) qui s'inscrivent dans deux logiques distinctes, l'une de vérification de la performance réalisée et d'anticipation des dérives et l'autre, de progrès du système piloté vers des objectifs stratégiques en constante évolution. Ces logiques ont donné naissance aux deux missions principales d'un système de pilotage de la performance. Faisons le point sur la première *Evaluer la performance réalisée par le système de production*.

2.2.2.1 Phase 1 : Cibler

La constante modification de l'environnement de l'entreprise et l'imprévisibilité grandissante de ces changements compliquent sérieusement son appréhension. Cette difficulté impacte également la définition de la stratégie de l'entreprise et sa déclinaison en objectifs adaptés aux différents niveaux décisionnels. De ce fait, l'identification et la quantification des objectifs à atteindre par les différentes parties prenantes de l'entreprise sont non seulement incontournables mais deviennent beaucoup plus complexes à réaliser [Bronet, 2006].

Cette étape « *Cibler les objectifs à atteindre* » s'effectue en deux phases successives. La première consiste à décliner les objectifs stratégiques en objectifs élémentaires sur les différents niveaux décisionnels de l'entreprise. La garantie d'un recensement exhaustif des objectifs du système passe notamment par les trois questions fondamentales [Sénéchal, 2004] :

- Pour qui / pour quoi le système existe-t-il ?
- Pourquoi le système existe-t-il ?
- Sur quoi / sur qui le système agit-il ?

La seconde phase réside dans la quantification des objectifs à atteindre. Celle-ci doit, bien entendu, constituer une norme réaliste face aux caractéristiques du système (ressources disponibles, règles habituelles de fonctionnement...) et aux sollicitations auxquelles il est soumis (aléas de la demande, des temps opératoires...) [Giard *et al.*, 1995] mais suffisamment motivante pour que les acteurs impliqués se prêtent au jeu.

De la qualité de la réalisation de cette étape de sélection et de quantification des objectifs découle la qualité du pilotage appliqué au système analysé et par la même occasion, le niveau d'atteinte des objectifs stratégiques poursuivis.

2.2.2.2 Phase 2 : Mesurer

Afin de déterminer la performance réalisée par le système de production et de la positionner par rapport à l'objectif ciblé, une mesure de performance doit être établie. Celle-ci représente le degré de réalisation de l'objectif poursuivi et est obtenue à l'issue de la comparaison (ou du rapport) de la mesure physique, reflet de l'exécution de l'activité considérée, à l'objectif [Petra, 2008].

Au cours de cette seconde étape, les mesures physiques à collecter sur le système de production, en cours et en fin de production, sont déterminées. Celles-ci sont soit quantitatives, par exemple, fournies par des capteurs placés sur les postes de travail ou issues de campagne de collectes de données ; soit qualitatives et exprimées au moyen d'une grandeur linguistique par exemple. La fréquence de collecte des mesures

physiques est continue, périodique ou événementielle et est définie en fonction du processus considéré, des objectifs assignés, des possibilités d'amélioration envisagées suite à ces mesures [Berrah, 2002].

Pour établir une mesure de performance, les mesures physiques collectées sur le système de production peuvent être utilisées directement ou transformées à l'aide d'opérations mathématiques simples ou encore agrégées entre elles.

La mesure de performance qui en résulte est destinée à un usage local. Son rôle consiste à renseigner le pilote sur le degré de satisfaction atteint par l'activité concernée au regard de l'objectif imparti. Fort de cette information, le pilote est alors capable d'évaluer la situation et de déterminer si une action de pilotage est nécessaire en vue d'en améliorer le fonctionnement de cette activité.

2.2.2.3 Phase 3 : Evaluer / Interpréter / Apprécier

La première mission d'un système de pilotage « *Evaluer la performance réalisée par le système de production* » se clôture évidemment par l'évaluation, l'interprétation et l'appréciation de la performance globale du système piloté.

Fournissant simplement une information locale, la notion de mesure de performance est trop réductrice pour autoriser l'élaboration d'un diagnostic de pilotage pertinent. L'évaluation vient donc l'enrichir pour en donner une interprétation par rapport à une vision globale ou au cadre de référence, obtenu à l'issue d'une analyse stratégique de l'entreprise. La modélisation de l'indicateur de performance doit donc impérativement intégrer une phase d'interprétation des résultats de performance [Berrah, 2002] [Sénéchal, 2004].

« *Evaluer*, c'est assigner une valeur *bonne* ou *mauvaise*, *meilleure* ou *pire* à une chose ou à un événement. Ce n'est donc pas seulement mesurer la valeur en quelque sorte intrinsèque des objets. C'est établir un ordre de préférence » [Jacot & Micaelli, 1996]. En matière de performance de l'entreprise, son évaluation a pour objectif de permettre au décideur de formuler une décision quant au déploiement d'action de pilotage qu'elles soient d'amélioration ou de correction.

La représentation que chaque acteur du système piloté se fait des résultats obtenus est fortement influencée par la fonction qu'il exerce au sein du système, son savoir, son savoir-faire... L'interprétation qu'il donne aux résultats est une information objectivée sur les effets des actions sur le système piloté [Sénéchal, 2004]. Il est, en effet, fréquent qu'un même événement génère des résultats différents tant dans leur forme que dans leur signification aux yeux des décideurs concernés. Ces résultats peuvent afficher des évolutions de performance tant positives que négatives et engendrer des actions contradictoires. Ces notions d'interprétation et d'évaluation influencent d'autant plus le comportement des systèmes que ceux-ci comptent de nombreux éléments humains.

Après l'évaluation de la performance, succède la phase d'appréciation de la performance dans laquelle l'expertise du décideur est également requise. L'*appréciation* de la performance sera invoquée lorsque des critères autres que les objectifs, c'est-à-dire le contexte dans lequel la performance a été atteinte seront pris en considération.

Dans différents travaux, L. Berrah [Berrah *et al.*, 2001] a proposé le terme générique d'expression de performance afin de désigner la comparaison entre l'état atteint par le système de production et l'état espéré par le décideur, c'est-à-dire le degré de satisfaction attaché à un objectif. Cette notion englobe les termes de mesure de la performance et d'évaluation de la performance. La première est destinée à un usage local et exprimée dans une unité d'œuvre quelconque. Réciproquement, la seconde est vouée à usage global qui en appelle à un besoin d'homogénéité entre les différentes performances. Dès lors, le domaine de comparaison est exprimé dans un domaine imposé.

La démarche d'évaluation de la performance intégrée dans un mécanisme de pilotage est calquée sur le contrôle traditionnel de la performance. Toutefois, dans le contexte actuel, celle-ci ne suffit plus. Elle doit impérativement être accompagnée d'une perspective d'amélioration. Le pilotage de la performance réclame,

en effet, le déploiement d'actions destinées à atteindre le niveau de performance explicité par la définition des objectifs. C'est la seconde mission d'un système de pilotage de la performance.

2.2.3. MISSION 2 : VEILLER À L'AMÉLIORATION CONTINUE DE LA PERFORMANCE OBTENUE

Dès que l'état des lieux a été établi, la seconde mission du système de pilotage consiste à faire progresser le système piloté vers l'objectif stratégique préalablement défini. Cela se fait par la mise en œuvre d'action de correction en cas de performance globale insuffisante ou d'action d'amélioration lorsqu'un potentiel de progrès a été détecté. La procédure est identique quel que soit le type d'action de pilotage nécessaire. Le pilote compare les alternatives de pilotage et décide de l'amélioration à apporter au système piloté.

2.2.3.1 Phase 1 : Imaginer

Les variables d'action identifiées et sélectionnées lors de la conception des indicateurs de performance, sont utilisées dans cette première phase. En cas de performance insuffisante, les variables d'action de l'indicateur incriminé sont traduites en actions de pilotage potentielles. Un pilotage efficace et efficient nécessite d'estimer chacune de ses actions sur base des indicateurs de performance du système évalué et éventuellement, d'en déterminer la performance globale [Dhaevers *et al.*, 2006 a, 2007].

Si l'évaluation du potentiel de chaque action semble couler de source, il est beaucoup moins évident de la concrétiser. La construction d'un mécanisme d'évaluation *a priori* des actions de pilotage, c'est-à-dire avant leur application dans l'entreprise, constitue l'un des points de recherche incontournables en matière de pilotage de la performance. Nous y accorderons donc une grande importance.

Le caractère multidimensionnel de la performance d'un système de production suggère de recourir à des outils d'aide à la décision multicritère pour comparer ces alternatives de pilotage [Dhaevers *et al.*, 2005 a, 2006 b]. Nous veillerons donc à les inclure dans notre système de pilotage.

2.2.3.2 Phase 2 : Décider

Les résultats de la comparaison multicritère mettent en évidence l'action de pilotage qui semble la plus intéressante à déployer sur le système piloté. Elle représente le meilleur compromis aux yeux du pilote ou décideur si l'on se réfère au lexique de l'aide à la décision multicritère.

Toutefois, bien que la supériorité d'une action ait été établie, le décideur peut l'appliquer ou non sur le système. Il est, bien évidemment, libre de privilégier une autre alternative lorsqu'il estime que, pour maintenir une certaine stabilité du système piloté, le jeu n'en vaut pas la chandelle. Cela peut se produire lorsque, par exemple, la modification de la règle d'ordonnancement d'un atelier de production en améliore la performance mais pas suffisamment aux vues des perturbations organisationnelles qu'elle entraîne.

Le système de pilotage de la performance tel que décrit est schématisé par la Figure 6. Ses deux missions principales évoquées précédemment sont illustrées dans le modèle générique proposé. Deux activités secondaires mais néanmoins inéluctables sont également représentées : *Adaptation des modèles de pilotage* et *Capitalisation des connaissances*.

L'*Adaptation des modèles de pilotage* s'applique dès qu'une modification du système piloté ou de son environnement apparaît. Il est en effet inconcevable de développer dans l'entreprise un tel mécanisme sans envisager une remise en question récurrente des objectifs à atteindre, des moyens d'actions à sa disposition... Le simple fait de déclencher une action de pilotage peut entraîner une modification des indicateurs de performance à suivre et en cas de résultats insatisfaisants, une remise en question des décisions prises à un niveau supérieur à celui de l'action. La souplesse et la flexibilité du mécanisme de pilotage déployé dans l'entreprise constitue donc une condition *sine qua non* à son utilisation.

La *capitalisation des connaissances* acquises au cours de l'exploitation du mécanisme de pilotage est une source de gains potentiels pour l'entreprise. Les informations accumulées et peaufinées au fil des utilisations

constituent un atout précieux pour le pilote qui maîtrise de mieux en mieux les tenants et aboutissants des actions d'amélioration qu'il déclenche. Les conditions d'activation sont mieux maîtrisées et les effets pervers induits par l'action mieux appréhendés.

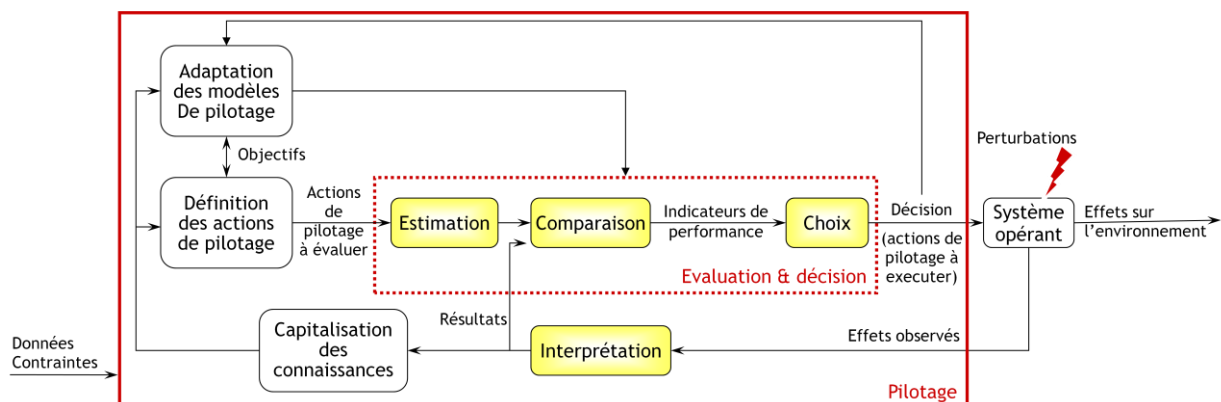


Figure 6: Modèle générique d'un système de pilotage inspiré de [Burlat et al., 2003]

Le pilotage d'un système de production s'effectue dans une perspective de déploiement d'action de pilotage. Celles-ci peuvent se dérouler sur un horizon temporel variable et bouleverser le système piloté de façon plus ou moins marquée. Les différentes formes d'amélioration sont présentées dans la section suivante.

2.3. DEUX DEMARCHES D'AMELIORATION COMPLEMENTAIRES : L'AMELIORATION CONTINUE ET L'AMELIORATION RADICALE

Les démarches d'amélioration de la performance sont classiquement scindées en deux groupes : les démarches visant une *amélioration continue* et celles visant une *amélioration radicale* de la performance.

Les démarches d'amélioration continue impliquent la mise en œuvre de petits changements, fréquents, graduels, rapidement obtenus. Elles s'appuient sur les groupes de résolution de problèmes, les cercles de qualité ou tout autre dispositif qui favorise la participation et la mobilisation du personnel [Dupuy, 2005]. Nous qualifions également d'amélioration continue les actions visant la maîtrise de l'existant. Celles-ci ont pour objectif de maintenir les indicateurs de performance dans leur zone de tolérance afin de garantir le fonctionnement normal du système. La maîtrise de l'existant prend tout son sens au fil du temps en évitant une dégradation du système au fur et à mesure des évolutions de son environnement [Dupuy, 2005].

Les démarches d'amélioration radicale correspondent, quant à elles, à la mise en application de grands changements, le plus souvent très ponctuels, en rupture importante avec le fonctionnement existant et terminés à l'issue d'un délai généralement long. Les modes d'action sont ici moins participatifs et relèvent souvent d'un niveau de décision ou de responsabilité élevé [Dupuy, 2005]. [Davenport, 1993] en énumère les principales caractéristiques reprises dans le Tableau 2.

	Amélioration continue	Amélioration radicale
Nature du changement	Incrémentale	Radicale
Point de départ	Processus existant	Feuille blanche
Fréquence du changement	Haute	Basse
Temps requis	Court	Long
Participation	Bottom-up	Top-down
Portée du changement	Etroite, intra-service	Large, inter-services

Tableau 2: Caractéristiques des démarches d'amélioration de la performance [Davenport, 1993]

Bien que diamétralement opposés, ces deux types d'amélioration doivent plutôt être considérés comme complémentaires et à mener conjointement pour générer des gains de performance significatifs et durables. [Hammer & Champy, 1993] et [Gallois, 1997] soulignent la nécessité pour l'entreprise de mettre en œuvre, de manière alternée, ces deux formes de démarches d'amélioration.

Bien que la portée et la fréquence des changements initiés par ces deux démarches diffèrent, elles présentent une finalité et un mécanisme identiques. La finalité est de satisfaire le client en procédant à une remise en question du fonctionnement des processus de l'entreprise. Le mécanisme consiste à fixer un objectif à atteindre, à établir et à appliquer un plan d'actions pour y parvenir et à évaluer la performance obtenue par rapport au cadre stratégique et au plan d'actions défini.

Les démarches d'amélioration continue et radicale présentent des caractéristiques de mise en œuvre différentes. Un changement de nature incrémentale dont les effets sont uniquement perceptibles au sein de l'entreprise pour la première et un changement radical dont les effets sont également perceptibles par l'environnement de l'entreprise pour la seconde.

A ces deux caractéristiques sont associés deux critères généralement utilisés par l'entreprise pour justifier la pertinence à un instant donné et dans un contexte donné de l'un ou l'autre de ces deux types d'amélioration : pour l'un, des risques d'échec de l'amélioration réduits mais des gains de performance à espérer relativement faibles et pour l'autre, des gains de performance significatifs mais un risque plus important de ne pas voir aboutir l'amélioration.

S'il est évident qu'une démarche d'amélioration continue s'inscrit dans un mécanisme de pilotage de la performance, cela l'est peut-être moins pour une démarche d'amélioration radicale. Toutefois, cette dernière est généralement découpée en plusieurs phases mises en œuvre successivement. Dans un système de pilotage, chaque phase constitue une action de pilotage et l'ensemble de la démarche d'amélioration constitue le plan d'actions à initier.

« *Un plan d'actions est un ensemble construit d'opérations à mener sur les variables d'action d'un processus, d'une activité, d'un système ou d'un sous-système pour que ce dernier atteigne l'objectif visé* » [AFGI 1992]. L'élaboration d'un plan d'actions implique la définition des moyens d'action nécessaires à son aboutissement : les ressources à mobiliser, les processus à déployer et les échéances à respecter. Par abus de langage, nous utilisons dans la suite de ce document indifféremment les termes « action de pilotage » et « plan d'actions de pilotage », le premier étant un sous-ensemble du second.

Généralement, la mise en œuvre d'une démarche d'amélioration, quel qu'en soit le type, requiert l'usage d'un outil ou d'une combinaison d'outils afin de mieux appréhender le changement et d'en faciliter la mise en œuvre. Quelques instruments sont énumérés et classés dans [Dupuy, 2005]. Dans sa thèse de doctorat l'auteur différencie les instruments d'analyse des instruments d'actions, ainsi que les instruments orientés vers les aspects ressources et ceux orientés vers les aspects fonctionnels. Leur examen met en exergue un outil qui allie les facettes *analyse* et *action* et traite tant des aspects *ressources* que *fonctionnels* d'un problème d'amélioration. Cet instrument, le plus complet dans le panel proposé, est la technique de simulation des flux.

La simulation permet non seulement d'élaborer un modèle destiné à l'analyse d'une situation donnée, mais également d'une situation ou d'un système futur. En outre, elle autorise l'évaluation du comportement dynamique des modèles. Enfin, elle intègre les aspects flux, ressources et décisions du système analysé. La simulation constituera, d'ailleurs, l'instrument privilégié de cette recherche.

Quelle que soit la portée des instruments, ils sont des soutiens précieux dans une démarche d'amélioration de la performance d'un système de production. Toutefois, deux éléments inhérents à l'amélioration d'un système ne sont précisés par aucune d'entre elles : Que doit-on améliorer dans le système pour en accroître la performance globale ? Quelles actions d'amélioration doit-on déclencher pour obtenir la meilleure progression ? Nous tenterons de répondre à ses interrogations majeures dans les prochains chapitres de ce document en nous intéressant, notamment, aux systèmes de pilotage contemporains et à leurs pistes d'amélioration.

3. CONCLUSIONS DU CHAPITRE 1

Depuis les années cinquante, la notion de performance d'un système de production a fortement évolué tant dans sa déclinaison que dans son appréhension. Cette mutation trouve ses origines, d'une part, dans le bouleversement du contexte industriel et d'autre part, dans les évolutions technologiques des systèmes industriels [Clivillé, 2004]. Les facteurs d'influence majeurs sont notamment :

- Une demande instable et de plus en plus exigeante ;
- Une concurrence de plus en plus exacerbée ;
- L'apparition de nouvelles formes de commerce telles que l'e-business ;
- La mise en place et le développement de relations de partenariat entre les entreprises du marché ;
- Le développement rapide de nouvelles technologies de l'information et de la communication permettant une relation directe interentreprises, entre les entreprises et leurs clients et entre les entreprises et leurs fournisseurs [Saharidis, 2006] ;
- La prise de conscience que les ressources naturelles ne sont pas illimitées et qu'elles doivent être utilisées avec parcimonie dans une perspective de développement durable...

La nécessité de mettre en œuvre des modes d'organisation réactifs et de gérer explicitement l'évolution de leur entreprise a donc contraint les décideurs à rechercher de nouvelles formes d'évaluation de la performance. La performance monocritère du système taylorien, visant la productivité des moyens mis en œuvre exprimée en termes de coûts, s'est métamorphosée en une performance globale et multicritère.

La performance relève d'une vision plurielle : multicritère, multi-acteur, multi-entreprise, multi-horizon et multi-niveau. Elle se veut également pérenne. L'organisation de cette performance complexe nécessite le développement d'un système de pilotage de la performance résultant de la combinaison de deux fonctions : l'évaluation de la performance et son amélioration continue. Notre proposition est résumée ci-après.

De manière générale, piloter la performance consiste à prendre toutes les décisions utiles au bon fonctionnement du système piloté afin qu'il atteigne les objectifs qui lui sont attribués. La conception du système de pilotage doit être capable d'assurer la cohérence des efforts consentis par l'entreprise pour atteindre ses objectifs stratégiques. Un ensemble de garde-fous, choisis précautionneusement, doivent donc être déployés afin d'y parvenir.

La mise en place d'un tel système nécessite que les différentes parties prenantes réussissent à traduire correctement la stratégie en objectifs applicables à chaque niveau décisionnel et en objectifs individuels. Cette déclinaison de la stratégie en objectifs élémentaires constitue le fondement même du système de pilotage. C'est, en effet, à partir de cette déclinaison que les mesures de performance sont choisies, que l'évaluation de la performance est réalisée et que les alternatives de pilotage sont identifiées. Si nous souhaitons développer un système de pilotage de qualité, une attention particulière devra donc y être accordée.

Il revient, ensuite, au décideur concerné de déterminer parmi les possibilités d'action, celle qui représente la meilleure alternative d'amélioration de la performance globale. Une réflexion sur le mécanisme à développer et sur son utilisation aisée devra donc être menée pour parvenir à comparer des alternatives de pilotage à caractère multicritère avant toute application sur le système de production.

Finalement, il convient de tirer profit de l'amélioration dégagée par l'action appliquée au système piloté en l'intégrant dans le système de pilotage, ce qui, éventuellement, déclenchera une révision de celui-ci. En effet, si des actions d'amélioration de la qualité ou de réduction du cycle de production créent un excès de capacité, encore faut-il que cet excès de capacité se convertisse réellement en une augmentation des revenus ou une réduction des dépenses [Pellegrin, 2001].

Afin d'affiner le mécanisme de pilotage de la performance dont nous venons d'esquisser les bases, une investigation de la composition des systèmes de pilotage, une analyse de leur fonctionnement, un inventaire des différentes catégories de pilotage qu'il est possible de développer se révèlent indispensables. Celles-ci sont proposées dans le chapitre 2 de cette recherche. Afin de mettre en évidence les méthodologies et outils incontournables d'un système de pilotage, différents mécanismes de pilotage contemporains sont également présentés et comparés dans ce second chapitre. De l'ensemble de ces informations émergera notre système de pilotage de la performance que nous qualifions de souple.

CHAPITRE 2

SYSTÈME DE PILOTAGE DE LA PERFORMANCE

CHAPITRE 2

LE SYSTÈME DE PILOTAGE DE LA PERFORMANCE

L'observation des pratiques d'évaluation de la performance mises en œuvre dans différentes PME de la région Rhône Alpes, a permis de repérer un certain nombre de problèmes tels qu'un décalage entre les intentions stratégiques et les actions déployées, des données recueillies essentiellement au niveau opérationnel négligeant les niveaux supérieurs, une prise en compte de la performance limitée à l'axe financier, pas ou peu de recherches d'explications sur les écarts relevés, une présentation inadaptée des résultats...[GRECOPME II, 2003]. Ce constat, effectué dans la période 2000-2002 par les différents centres de recherches impliqués dans le projet de recherche GRECOPME, met en évidence le manque d'intérêt ou de temps accordé par ces entreprises à la problématique de l'évaluation de leur performance. Il semble qu'à l'aube de ce deuxième millénaire, les entreprises observées et de manière générale, les PME européennes, n'ont pas encore saisi l'importance capitale d'une gestion optimale de leur performance. Les grandes entreprises, quant à elles, se sont laissées séduire et convaincre plus rapidement de l'intérêt de recourir à ces pratiques sans toutefois les appliquer de façon irréfutable.

Le besoin d'exploiter un système de pilotage de la performance conciliant diagnostic et amélioration continue de la performance ne fait plus l'ombre d'un doute. La performance des entreprises résulte de l'animation d'une dynamique de progrès, s'appuyant sur le déploiement d'un système d'indicateurs associés à des objectifs et à des leviers d'action. L'objectif de cette dynamique est de permettre, de façon continue et systématique, d'appréhender la situation du moment, de visualiser les gisements et d'éclairer le chemin à parcourir et enfin, d'évoluer tout en mesurant les progrès accomplis [Doumeingts & Ducq, 1998].

L'identification des causes de non performance et la mise en œuvre d'une ou de plusieurs actions de pilotage pour corriger une dérive sont à l'heure actuelle des activités de pilotage incontournables. Celles-ci portent principalement sur la révision de l'organisation intra- et inter-activités. La tendance actuelle consiste, si nécessaire, à remettre en cause les objectifs de l'entreprise. Le processus de régulation ou d'équilibration pour reprendre une expression de J-L. Le Moigne [Le Moigne, 1994], évolue de cette manière, du contrôle du système de production (objectifs stables, environnement non changeant) vers son pilotage (évolution des finalités, environnement changeant).

Afin de perpétuer sa compétitivité et sa solvabilité, l'entreprise est tenue d'adhérer à une démarche proactive visant l'amélioration perpétuelle de son niveau de performance. Celui-ci consiste à mettre en place des actions d'amélioration continues ou radicales. Ce principe d'anticipation s'applique également lorsqu'il s'agit de devancer les difficultés avant qu'elles ne soient devenues une réalité pour l'entreprise et qu'il ne soit trop tard pour réagir. La combinaison d'une vérification *a posteriori* de l'atteinte des objectifs et de l'anticipation des dérives ou des progrès à réaliser réclame également le déploiement d'un système de pilotage de la performance.

Le système de pilotage de la performance tel que nous le concevons consiste à décider dynamiquement des consignes pertinentes à donner à un système soumis à des perturbations pour atteindre un objectif donné décrit en termes de maîtrise de performances [Trentesaux *et al.*, 2000]. Au-delà de l'évaluation du niveau de performance atteint et du maintien de ce niveau, il s'agit également de pousser le système dans une démarche d'amélioration continue de sa performance et de le guider dans l'identification et l'évaluation des actions d'amélioration susceptibles d'être déclenchées. Ces actions de pilotage prennent la forme de consignes isolées ou sont, dans le cadre d'un plan d'amélioration de grande envergure, successives et organisées dans le temps.

Les mécanismes d'amélioration de la performance utilisés jusqu'à ce jour nécessitent d'être remodelés afin de garantir à l'entreprise que les chantiers de progrès qu'elle entreprend rencontrent ses exigences, sont profitables et respectueux de son environnement. Ces mécanismes doivent indéniablement s'enrichir afin de fournir au décideur non seulement une évaluation de la performance réalisée par son système mais surtout une évaluation du gain potentiel que toute action d'amélioration est susceptible d'engendrer. Le contexte économique actuel ne permettant plus la moindre erreur de jugement de la part de l'entreprise, ils doivent également guider le décideur dans la sélection de l'action d'amélioration la plus adaptée aux spécificités du système qu'il dirige. Ces nouveaux besoins sont parties intégrantes de notre vision d'un système de pilotage idéal que nous concrétiserons sous l'appellation de *Pilotage souple*.

Préalablement à la description de son fonctionnement général, afin d'y inclure le meilleur de la littérature et de veiller à corriger le « pire », un ensemble d'éléments sont analysés dans ce chapitre. En section 1, les différentes structures de pilotage sont identifiées. Les problèmes de cohérences qui les caractérisent y sont, entre autres, abordés. En section 2, les différentes typologies de pilotage sont présentées. En section 3, nous détaillons l'organisation interne d'un système de pilotage et son fonctionnement que nous percevons comme un processus de prise de décision. En section 4, une sélection d'approches de modélisation et de systèmes de pilotage contemporains sont passés en revue en précisant leur fonctionnement général et leurs particularités.

Avant de conclure ce chapitre, nous nous interrogeons, en section 5, sur les pistes d'amélioration de l'efficacité et de l'efficience des mécanismes de pilotage actuellement proposés et nous décrivons l'organisation générale de notre système de pilotage souple de la performance.

1. LA STRUCTURE D'UN SYSTEME DE PILOTAGE

Un système de pilotage de la performance peut être organisé selon diverses architectures. Le choix de celle-ci est étroitement lié au système physique de production sur lequel elle repose. L'évolution des techniques, et plus particulièrement celles liées aux technologies de communication, a provoqué une évolution des différentes architectures de pilotage durant ces dernières années [Dilts, 1991]. Les principales sont qualifiées de *centralisée*, *hiérarchisée*, *coordonnée*, *distribuée* et *distribuée supervisée*.

Avant de balayer les différentes caractéristiques des architectures de pilotage, leurs composants sont précisés.

1.1. LES CENTRES DE DECISIONS ET LEURS LIENS DE DEPENDANCE

Chaque structure de pilotage est composée de centres de décision dont le nombre varie en fonction de la complexité du système de production étudié. « Un *centre de décision* ou *de pilotage* est une structure organisée et autonome, dépendante de la stratégie de l'entreprise, ayant un pouvoir décisionnel, associée à une entité à piloter et disposant d'un ensemble de ressources nécessaires à la mise en place d'actions pour atteindre un ou plusieurs objectifs définis dans le cadre global de l'entreprise » [Berchet, 2000]. Plus précisément, le pouvoir décisionnel appartient à un responsable chargé de tout mettre en œuvre pour atteindre les objectifs attribués au centre qu'il dirige. Cependant, son pouvoir est limité par un ensemble de contraintes inhérentes au système piloté et dictées par l'environnement du système. Ces centres peuvent appartenir à des niveaux décisionnels différents (stratégique, tactique ou opérationnel).

Pendant de longues années, l'amélioration de la performance s'est concentrée essentiellement sur l'amélioration du fonctionnement de chaque centre de décision de l'entreprise. La modification du contexte économique a contraint l'entreprise à chercher des gains de performance ailleurs. Actuellement, de nombreux auteurs affirment que les principaux gisements de performance de l'entreprise se trouvent davantage au niveau des interfaces entre les centres de décision [Lorino, 2001 a]. C. Berchet [Berchet, 2000] les situe principalement dans la recherche de l'optimisation des modes de coopération et de coordination entre ces centres de décision.

Les connexions existant entre les centres de décision sont des liens de dépendance qui peuvent être de natures diverses. Ils sont répertoriés en trois catégories: les liens de subordination, les liens de coordination et les liens de communication [Clivillé, 2004], [Pujo & Kieffer, 2002]. La présence ou l'absence de l'un d'entre eux caractérise la structure de pilotage qu'ils composent avec l'ensemble des centres de décision du système analysé.

Les *liens de subordination* ou « verticaux » unissent des centres de décision appartenant à des niveaux décisionnels différents. Ils se matérialisent sous deux formes : une décision imposée au niveau inférieur et un retour d'informations concernant les objectifs, les actions enclenchées et les expressions de performance issues du niveau inférieur vers le niveau supérieur. Cette relation de subordination constitue la base de la cohérence entre les différentes strates hiérarchiques, entre les différents décideurs hiérarchiques.

Les *liens de coordination* ou « horizontaux » permettent aux centres de décisions de s'informer mutuellement, de se consulter ou de décider ensemble des actions à mener pour atteindre un objectif préalablement défini. La coordination est donc une action collective orientée vers un but commun afin d'éviter que des décisions contradictoires ne soient prises au sein d'un même niveau hiérarchique.

Les *liens de communication* entre les différents centres décisionnels représentent de simples échanges d'informations. Ils peuvent toutefois jouer un rôle lors de la sélection et de la mise en place d'actions de pilotage.

Ces liens de dépendance verticaux et horizontaux jouent donc un rôle majeur dans la garantie de la cohérence de la structure de pilotage de la performance d'un système de production.

1.2. LA CLASSIFICATION DES STRUCTURES DE PILOTAGE

De nombreux travaux, citons notamment [Archimède, 1991], [Dindeleux, 1992], [Trentesaux, 1996], [Sohier, 1996] et [Zwegers, 1998], décrivent l'organisation interne des différentes structures de pilotage recensées : centralisée, hiérarchisée, coordonnée, distribuée, distribuée supervisée.

Ces structures sont caractérisées par le nombre de niveaux décisionnels qu'elles comprennent, l'existence de liens de subordination, de communication ou de coordination. V. Clivillé [Clivillé, 2004] synthétise ces informations dans le Tableau 3.

Déclinaison	Nombre de Niveaux	Liens de subordination	Liens de Coordination	Liens de communication
Centralisée	1	oui	Non	Non
Hiérarchisée	>1	oui	Non	Non
Coordonnée	>1	oui	Oui	Non
Distribuée	>1	oui	Non	Oui
Distribuée supervisée	>1	oui	Oui	Oui
Décentralisée (autonome)	1	non	Non	Oui

Tableau 3 : Caractérisation de la structure de pilotage [Clivillé, 2004]

Sans entrer dans le détail de leur organisation interne, soulignons quelques caractéristiques des différentes structures de pilotage illustrées par la Figure 7.

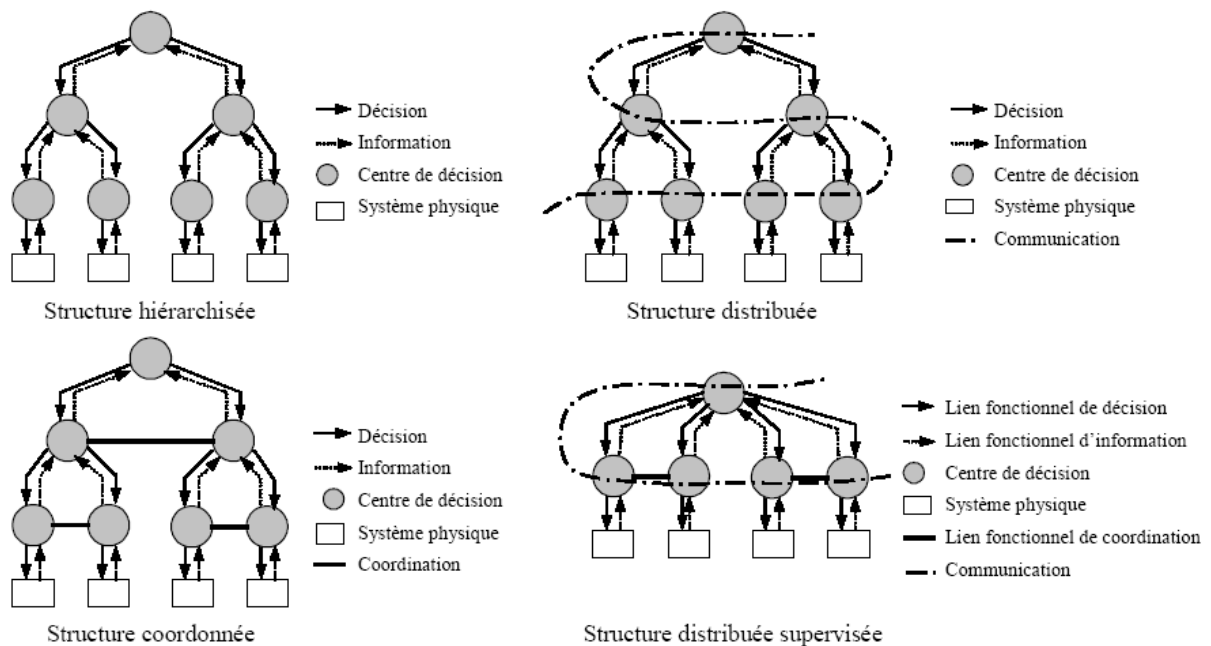


Figure 7: Quelques structures de pilotage [Pujo & Kieffer, 2002]

Dans la structure hiérarchisée, chaque niveau a des relations de dépendance vis-à-vis du niveau supérieur et de dominance vis-à-vis du niveau inférieur. Toute décision prise à un niveau de la structure est donc traitée comme une contrainte par les niveaux qui lui sont inférieurs.

Outre les liens de subordination qui unissent les différents centres de décision, la structure distribuée se caractérise également par des échanges d'informations entre les centres.

La structure coordonnée permet de compléter la structure hiérarchisée par des liens de coordination entre les centres de décision de chaque niveau. Cela accroît la capacité de décision locale au sein de chacun de ces niveaux et favorise ainsi la réactivité par une meilleure intégration en temps réel des perturbations [Pujo & Kieffer, 2002]. Cette structure est plébiscitée par de nombreux auteurs pour sa capacité à assurer la cohérence verticale et horizontale du système de pilotage mis en place.

Afin de fournir aux décideurs un système de pilotage pérenne, nous avons orienté notre recherche vers une architecture coordonnée qui couvre l'ensemble des liens existant entre les centres de décision d'un système de pilotage, le lien de communication pouvant être considéré comme une relation particulière de coordination.

1.3. COHERENCES HIERARCHIQUE, SPATIALE ET TEMPORELLE D'UN SYSTEME DE PILOTAGE

Dans un processus de prise de décision et *a fortiori* dans un système de pilotage de la performance, les décisions émanant des différents acteurs du système doivent constituer un ensemble cohérent et non une succession de décisions locales prises bout à bout. Il est, en effet, impératif que chacun travaille à la réalisation de ses objectifs dans la seule perspective de progresser vers l'accomplissement de la stratégie de l'entreprise. Toutefois, le système de pilotage ne peut être cohérent que lorsque les relations entre les centres de décision pris en compte sont pertinentes ; il ne suffit pas que les décisions et actions prises soient cohérentes et pertinentes de façon individuelle [Berchet, 2000].

La principale difficulté dans la mise en place d'un système de pilotage de la performance est donc de développer une structure telle que sa cohérence globale soit garantie. Cette assurance réside principalement dans l'architecture de pilotage mise en place et dans la conception des systèmes d'indicateurs de performance et de tableaux de bord utilisés pour l'évaluation et l'appréciation de la performance du système piloté.

La cohérence globale d'un système de pilotage de la performance est classiquement perçue comme la combinaison des cohérences hiérarchique ou verticale, horizontale et temporelle de ce système.

La *cohérence verticale* doit être telle qu'il doit y avoir préalablement un déploiement stratégique des objectifs à chaque niveau de l'entreprise et les indicateurs d'un certain niveau doivent être le reflet synthétique des indicateurs de niveaux inférieurs [Bonnefous, 2001].

La *cohérence horizontale* peut être considérée comme la nécessité de s'assurer de la non-contradiction existant entre les indicateurs d'un même niveau hiérarchique, que ce soit entre îlots de production ou à l'intérieur d'un même îlot [Bonnefous, 2001]. L'objectif consiste donc à s'assurer que tous les acteurs d'un même niveau de structuration travaillent dans le sens de la satisfaction des objectifs définis lors du déploiement stratégique.

La *cohérence temporelle* occupe une place prépondérante dans un système de pilotage et est extrêmement difficile à appréhender. En effet, le pilotage se construit à partir de décisions prises simultanément ou à des moments donnés différents en réaction à la performance atteinte par le système géré. Chacune de ces décisions a une influence à court, moyen ou long terme selon le niveau décisionnel d'où elle émane. De plus, les résultats de chaque décision ne sont pas toujours immédiats. L'action déployée sur le système piloté possède une certaine inertie qui peut, dans les cas extrêmes, entraîner une perte de performance globale avant d'entamer sa phase d'accroissement et afficher les résultats attendus. J.-H. Thun [Thun, 2006] le vérifie, par exemple, dans le cadre de la mise en œuvre d'une *Total Productive Maintenance* dans un système de production.

De plus, les acteurs d'un même centre de décision utilisent des tableaux de bord établis sur des horizons et des fréquences différents. Citons, par exemple, le tableau de bord de pilotage établi quotidiennement et le tableau de gestion établi mensuellement. Que les acteurs concernés soient ou non les mêmes, l'utilisation de ces tableaux de bord posent, d'après V. Giard [Giard, 2003], deux types de problèmes :

- Premièrement, les indicateurs composant les différents tableaux de bord entretiennent souvent des relations non triviales, même si la méthode de calcul est la même. En effet, les mêmes indicateurs de performance se référant aux mêmes grandeurs ne sont pas comparables s'ils portent sur des périodes de calcul différentes [Giard, 2003].

La simulation et l'appel aux techniques statistiques sont des pistes de solutions à envisager pour faire face à ce problème d'agrégation temporelle.

- Le second problème réside dans le fait que les tableaux de bord sont largement conçus pour induire des comportements et que rien ne garantit *a priori* la cohérence des comportements des acteurs utilisant les indicateurs de tableaux de bord différents.

Les problèmes de *cohérence spatiale* sont de deux types [Giard, 2003] :

- L'élaboration d'un indicateur synthétique, établi sur la base de règles identiques à celles utilisées pour calculer l'indicateur de performance locale de chaque centre qu'il couvre, pose des problèmes tout à fait similaires à ceux qui viennent d'être évoqués dans l'agrégation temporelle si ces centres sont indépendants. Les difficultés rencontrées sont beaucoup plus complexes dans le cas de centres interdépendants.

Si les centres de décision concernés sont relativement indépendants, l'usage de la simulation peut être envisagé. Toutefois, les difficultés deviennent extrêmes lorsque les centres de décisions sont interdépendants en raison de la très grande difficulté à modéliser correctement cette interdépendance et principalement, au niveau comportemental.

- Etant donné que le comportement et les décisions de chaque acteur de l'organisation sont suggérés par l'interprétation qu'il fait des indicateurs composant son tableau de bord, ces indicateurs interviennent dans les mécanismes de coordination entre centres de décision interdépendants. La cohérence de ce pilotage n'est donc pas garantie !

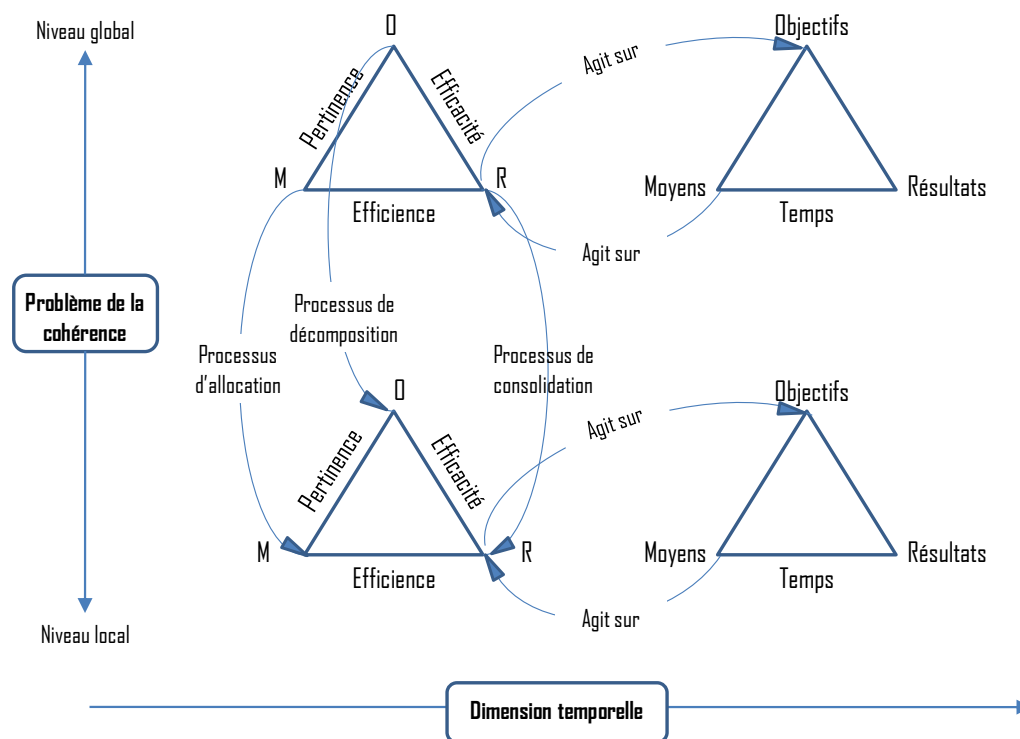


Figure 8: Problématique de la mesure de la performance : cohérences spatiales et temporelles [Pellegrin, 2001]

Dans la Figure 8, les problèmes de cohérences verticale et horizontale, regroupées sous le vocable de cohérence spatiale sont mises en relation avec la dimension temporelle de la cohérence dans le cadre d'un système d'évaluation de la performance. Ce schéma illustre parfaitement la complexité inhérente à un tel système et plus encore à un système de pilotage de la performance.

Comme le souligne le schéma ci-dessus, la gestion des problèmes de cohérence spatiale exige le développement de trois processus centrés sur les dimensions incontournables de la performance que sont les objectifs, les moyens et les résultats.

Le *processus de décomposition* est le processus qui unit les objectifs du niveau global et ceux du niveau local. Il est composé de deux mécanismes similaires d'aide à la cohérence verticale. Le premier réalise la déclinaison des objectifs stratégiques en objectifs élémentaires basés sur une relation de cause à effets et le second identifie les variables d'action potentielles liées à chaque objectif.

Le *processus d'allocation* gère les relations entre les moyens déployés localement et les moyens globaux. Il est une manière de garantir la cohérence spatiale du système de pilotage. La désagrégation des variables d'action en actions de pilotage est le principal mécanisme d'aide à la cohérence déployé à travers ce processus.

Dans le panel des variables d'actions identifiées dans le cadre du processus de décomposition, la variable la plus pertinente est sélectionnée et ensuite opérationnalisée en actions de pilotage. Les moyens d'action à mobiliser et les échéances à respecter sont enfin arrêtés.

Par le biais du processus d'allocation, l'organisation est donc en mesure de veiller à ce que toute action de pilotage entreprise par un centre de décision soit en harmonie avec les objectifs fixés et avec l'ensemble des actions déployées par les autres centres de décision.

Le *processus de consolidation* est le processus par lequel un résultat global est établi à partir de résultats locaux. Au niveau le plus bas, celui-ci consiste à agréger des mesures physiques en une mesure de performance. Dans un système de pilotage de la performance, la gestion de ce problème d'agrégation constitue une aide à la cohérence verticale.

La technique de la simulation peut également être source de cohérence verticale et horizontale [Berchet, 2000]. Elle permet, par exemple, de vérifier l'adéquation des variables d'action avec les objectifs assignés ou encore de s'assurer que les variables d'action activées ne sont pas contradictoires... Dans ce cadre, son rôle est non seulement de valider la cohérence spatiale du système de pilotage de la performance mais également de la confirmer dans le temps. La simulation est donc également vecteur de cohérence temporelle.

Les liens de subordination, de coordination et de communication qui régissent les relations entre les centres de décision constituent le système de pilotage. Les premiers sont les garants de la cohérence verticale du système de pilotage et les suivants de la cohérence horizontale.

Signalons que d'autres actions peuvent être menées pour consolider la cohérence globale d'un système de pilotage. Toutefois, elles relèvent de l'organisation même de l'entreprise et non de l'organisation du système de pilotage. Il s'agit d'un ajustement mutuel, de la standardisation des produits, des procédés, des qualifications, de supervision... Celles-ci constituent des actions d'amélioration qui pourront être déclenchées par le mécanisme de pilotage de la performance pour en renforcer la cohérence.

Les trois dimensions de la cohérence sont illustrées sur la Figure 9 pour une structure de pilotage coordonnée hiérarchisée. Sur cette représentation, proposée par C. Berchet [Berchet, 2000], les dimensions verticale, horizontale et temporelle sont respectivement nommées dimensions hiérarchique, profondeur et temporelle.

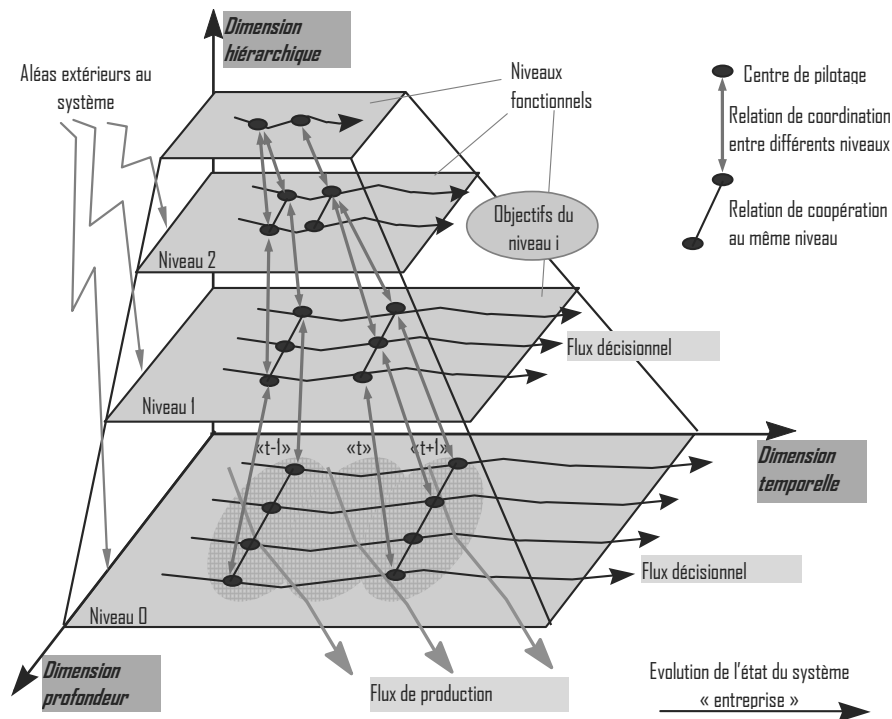


Figure 9: Structure de pilotage coordonnée hiérarchisée intégrant les dimensions spatiale et temporelle [Berchet, 2000]

Quelle que soit la structure de pilotage du système de production, celui-ci peut prendre différentes orientations selon le niveau de décision concerné, de réactivité souhaité ou d'évolution du système. Les caractéristiques de chacun des types de pilotage sont précisées dans la section suivante.

2. LES TYPOLOGIES DE PILOTAGE

La littérature recense différentes typologies de pilotage de la performance. Parmi celles-ci, nous en avons sélectionné trois : une première basée sur l'impact de l'action de pilotage déployée, une seconde axée sur la réactivité du système de pilotage et une dernière liée à la phase de vie dans laquelle évolue le système piloté.

- Pilotage technique et pilotage économique

L'AFGI propose un classement basé sur l'incidence des actions de pilotage sur le processus concerné. Celle-ci identifie le pilotage technique et le pilotage économique [AFGI, 1992].

Le *pilotage technique*, vise la maîtrise des processus et des activités qui le composent notamment par la gestion des aléas et leur amélioration par optimisation. Dans ce mode de pilotage, l'objectif à atteindre est un objectif maîtrisé [Gallois, 1997]. Le pilotage technique s'adresse à des processus structurés de niveaux tactique et opérationnel.

Le *pilotage économique*, quant à lui, présente un caractère davantage stratégique. Il autorise la remise en cause d'un processus ou de sa finalité en vue d'atteindre un objectif d'amélioration de la production. Cet

objectif est qualifié par P. Gallois d'« objectif de progrès » [Gallois, 1997]. Il s'adresse à des processus semi-structurés ou non-structurés de niveaux tactique et stratégique.

- Pilotage *a priori*, pilotage réactif par anticipation et pilotage *a posteriori*

La seconde typologie de pilotage est proposée par C. Berchet [Berchet, 2000]. Elle est basée sur la réactivité du mécanisme de pilotage. Trois types de pilotage, libres de s'exécuter de manière consécutive, sont distingués: les pilotages « *a priori* », « réactif par anticipation » et « *a posteriori* ».

Le pilotage *a priori* prend en compte le plus grand nombre possible de perturbations futures, les teste et les évalue préalablement au lancement du processus. Le pilotage réactif par anticipation corrige en permanence les écarts de la trajectoire réelle par rapport à la trajectoire prévue. Le pilotage *a posteriori* s'enclenche dès l'arrivée d'une perturbation qui n'a pu être anticipée, d'un aléa résiduel ou après obtention des résultats [Berchet, 2000]. Les pilotages *a priori* et *a posteriori* sont schématisés sur la Figure 10.

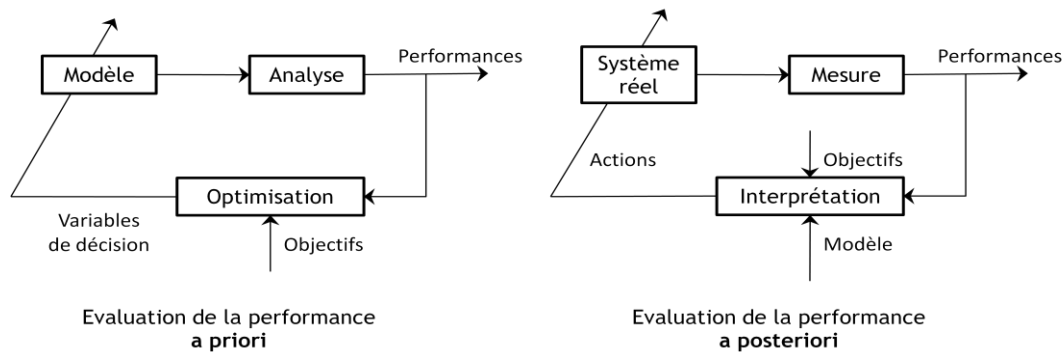


Figure 10: Dualité performance *a priori* / *a posteriori* [Ducq, 2007]

L'importance de la rapidité de prise de décision, essentielle à un mécanisme de pilotage de la performance de qualité, croît respectivement avec les différents modes de pilotage. Pour faire face à un problème de prise de décision en temps limité, l'intégration de la technique de la simulation dans ce mécanisme peut constituer un atout précieux.

- Pilotage lié à la phase de vie du système

L'évaluation de la performance d'un système de production et *a fortiori* son pilotage diffèrent selon la phase du cycle de vie du système de production analysé [Clivillé, 2004].

En *phase de conception*, par exemple, l'une des principales difficultés rencontrées est la méconnaissance *a priori* du processus qui aboutira à certaines spécifications. La subsistance de nombreux degrés de liberté dans le choix des solutions envisageables dont certains peuvent être d'importants leviers d'actions sur la performance constitue l'obstacle majeur à franchir lors de l'évaluation de la performance.

A l'inverse, en *phase d'exploitation*, le pilotage de la performance est contraint par les caractéristiques du système de production analysé. Sa marge de manœuvre est nettement plus restreinte.

En *phase de révision*, la situation est mixte. Le système de pilotage est amené à gérer tant la modification voire la suppression de certaines contraintes que l'ajout de nouvelles contraintes tout en veillant à minimiser les perturbations sur le système existant.

P. Pujo et J-P. Kieffer [Pujo & Kieffer, 2002] décrivent le pilotage des systèmes de production en phase d'exploitation comme étant la superposition de cinq étapes correspondant à des niveaux décisionnels et à des horizons temporels distincts (cf. Figure 11).

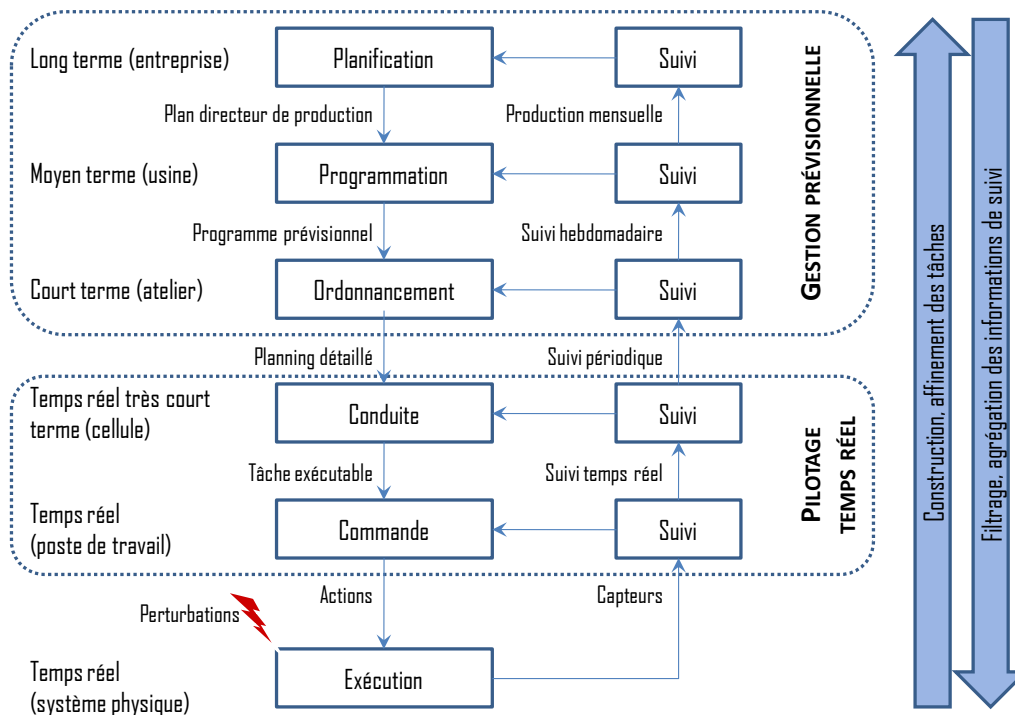


Figure 11: Fonctions de pilotage de la production [Pujot & Kieffer, 2002]

Le pilotage y est scindé en deux phases réparties sur cinq niveaux : la gestion prévisionnelle qui concerne les décisions prises hors-ligne (avant lancement et exécution) et le pilotage en temps réel du système de production qui englobe les décisions prises en ligne [Aléonard *et al.*, 1994]. Trois fonctions de gestion prévisionnelle sont distinguées :

- La *planification* correspond à un horizon temporel à long terme et aboutit à la définition du plan directeur de production à partir des objectifs commerciaux (commandes fermes et prévisionnelles), financiers (coûts fixes et coûts de fabrication) et de production (données techniques et moyens de production).
- A partir du plan directeur de production, la fonction programmation établit le programme prévisionnel de production et définit les besoins nets en fonction des quantités et délais de production (besoins bruts), des approvisionnements et des quantités déjà en stock.
- L'*ordonnancement* élabore le planning de production détaillé sur base de la charge à produire et de l'état des moyens de production à disposition. Ce planning est établi pour chaque atelier et fournit la liste des ordres de fabrication précisant les produits à réaliser, la quantité à produire, la date de lancement au plus tôt de la production et la date de fin au plus tard.

Deux fonctions de pilotage en temps réel sont définies :

- La fonction *conduite* est chargée de réaliser la production stipulée dans le planning détaillé de production. A ce niveau, tous les problèmes liés à l'opérationnalisation des décisions prévisionnelles doivent être réglés ; il s'agit notamment d'intégrer l'ensemble des contraintes de fabrication (contrôle qualité, arrêts liés à la maintenance, etc.) et de réagir aux aléas de production par un suivi de l'exécution du planning de production [Pujo & Kieffer, 2002].
- Le dernier niveau décisionnel, appelé *commande*, est en relation directe avec le système physique. Son rôle consiste à traduire les ordres de production en séquences automatiques. Dans certain cas, un opérateur peut être sollicité pour assurer le suivi d'exécution de certains ordres de fabrication lorsque l'apparition d'une perturbation nécessite une action locale non intégrée par la commande.

Après avoir identifié les composants, les relations qui les unissent et les orientations possibles d'un système de pilotage, examinons son fonctionnement.

3. L'ORGANISATION ET LE FONCTIONNEMENT DU PILOTAGE

Un système de pilotage est un système de prise de décision qui n'a d'intérêt que s'il travaille en étroite collaboration avec le système physique qu'il pilote. Le premier analyse et établit un diagnostic sur base des informations et des mesures collectées sur le second. La définition et l'organisation des interrelations existant entre ces deux systèmes constituent le concept de pilotage et conduisent à la mise en œuvre de boucles de rétroaction. Ce concept est illustré sur la Figure 12.

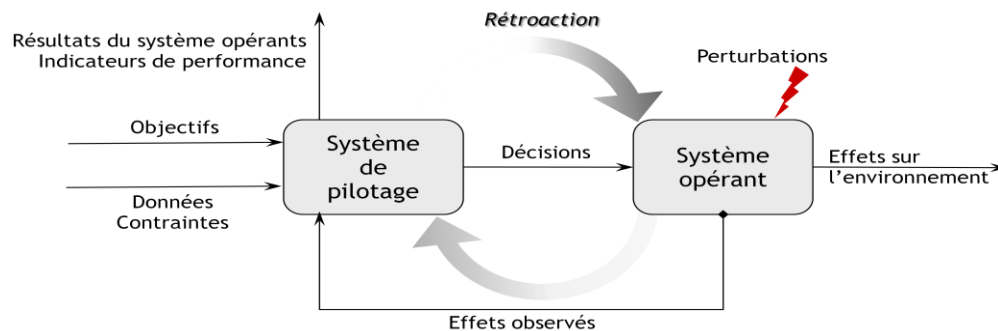


Figure 12: Modèle canonique de l'environnement d'un système de pilotage
[Trentesaux et al., 2000]

La rétroaction engendre le comportement dynamique du système de pilotage. Cette dynamique a pour conséquence d'induire des contraintes temporelles de réaction sur le système de pilotage et de conditionner la qualité des résultats [Forrester, 1980].

L'approche par rétroaction est basée sur une hypothèse fondamentale : l'impossibilité de connaître au niveau de détail souhaité le comportement du système piloté en raison de l'incertitude et de l'imprécision des données et des perturbations subies par ce système [Trentesaux, 2002]. La boucle de rétroaction, comme définie dans l'approche systémique, permet au système d'apprendre de ses erreurs et de chercher à les corriger.

Le système de pilotage étant conçu et exploité dans une perspective de progrès, le responsable du système doit, pour être capable d'agir sur la performance du système piloté, disposer des degrés de liberté nécessaires à toute adaptation et à l'émergence de nouvelles solutions. Le rôle joué par le pilote ou décideur est primordial. Celui-ci est, en effet, constamment amené à effectuer des choix, prendre des décisions qui vont ou non permettre au système de production d'atteindre voire de dépasser les objectifs fixés par les dirigeants.

La marge d'interprétation dont dispose le responsable influence le choix des actions qu'il met en place. Tout ce qui n'est pas défini de manière déterministe et univoque peut et doit être interprété pour fonder l'action. Piloter l'entreprise, ce n'est pas contrôler de manière déterministe les actions multiples d'acteurs multiples mais agir sur des interprétations, influencer des interprétations [Lorino, 1995].

Le pilotage de la performance en tant que processus de prise de décision est décrit dans les sections suivantes. L'organisation interne du système qui permet la prise de décision, la nécessaire cohérence entre les décisions prises et les différents horizons d'application de la décision y sont également précisés.

Le développement d'un système de pilotage de la performance nécessite une organisation par processus du système de production auquel il s'adresse. Ce pré-requis s'explique par différents éléments caractéristiques de cette organisation. Leur présentation constitue le premier point de cette section.

3.1. LE PILOTAGE NECESSITE UNE VISION PAR PROCESSUS DE L'ENTREPRISE

La modification du paysage économique et du comportement du consommateur a substitué la vision par fonction de l'entreprise par une vision par processus. « Reflétant la présence du client dans l'organisation, matérialisant à la fois la vitesse et le débit de réponse et permettant une mesure tangible de la maîtrise simultanée du temps, de la qualité et de la productivité, les notions de flux et de processus deviennent des éléments fondamentaux de management, de gestion et de contrôle. » [Berrah, 2002].

« Un *processus* est un ensemble d'activités, reliées entre elles par des flux d'information ou de matières significatifs qui se combinent pour fournir un produit matériel ou immatériels important et bien défini » [Lorino, 1993]. Par cette définition, P. Lorino met en avant l'agencement des activités selon une logique d'objectifs et de résultats. Ce mode de regroupement des activités permet d'obtenir un *output* précis, un élément créateur de valeur tant pour l'entreprise que pour le client [Guerra, 2007]. L'approche processus s'est concrétisée dans les entreprises par une priorité donnée à la recherche d'une efficacité globale des activités et non plus seulement locale. Cela conduit parfois à accepter l'idée de dégrader la performance d'une activité si cela peut contribuer à dégager au final une amélioration significative du résultat du processus auquel cette activité participe [Megartsi, 2001].

Une *activité* peut être définie comme « un système mettant en œuvre un certain nombre de ressources en vue de transformer un flot de produits ou de services » [Dindeleux *et al.*, 1998] et « produisant des éléments de sortie à partir d'éléments d'entrée » [Lorino, 1991].

Ces définitions soulignent le fait qu'un processus puisse se référer à une activité complexe, par exemple le processus global de l'entreprise, et nécessite donc d'être décliné en sous-processus reliés entre eux et organisés dans le but de produire un résultat déterminé [Siebenborn, 2005].

Pour corriger un dysfonctionnement dans un processus, il convient non seulement de s'intéresser à l'activité incriminée mais également à l'ensemble de la chaîne d'activités à laquelle elle appartient. Les causes du dysfonctionnement sont donc appréhendées en remontant la chaîne d'activités à partir de l'activité incriminée. Celles-ci peuvent également trouver leur origine dans l'agencement même de l'ensemble des processus de l'entreprise ou dans les liens qui les unissent. Autrement dit, certaines sources de problèmes peuvent provenir de l'organisation elle-même [Guerra, 2007].

Le lien existant entre les différents processus de l'entreprise peut notamment résider dans le fait que les processus puissent partager et agir sur les mêmes ressources tels que les équipements de production impliqués dans les processus de production et de maintenance. Dans les cas extrêmes, l'utilisation d'une ressource par un processus peut empêcher l'autre d'entreprendre toute activité nécessitant cette même ressource !

Le modèle de processus proposé par la norme ISO 9000-2000 [ISO 9000, 2000], distingue trois familles de processus : les processus de management ou processus de pilotage, les processus de support et les processus de réalisation. Ce modèle s'applique à l'entreprise, assimilée à un processus global, consommant des ressources en vue de produire des produits/services à destination de clients externes. L'un des intérêts incontestables de ce modèle est de mettre en évidence l'articulation qui s'opère entre les différentes familles de processus et la manière dont les activités collaborent, à un instant donné, pour répondre aux besoins du client [Diridollou & Vincent, 2001].

A la lumière de ces définitions et précisions fournies par la littérature, le *processus piloté* dans un mécanisme de pilotage peut être défini comme « un enchaînement d'exécutions d'activités conduites qui doit contribuer à la réalisation d'un des buts de l'entreprise. Par un mécanisme de pilotage, ce processus évolue d'un état initial à un état final (le but) en passant par des états intermédiaires » [Chaudet, 2002].

L'intérêt d'adopter une approche processus est notamment reconnu en management stratégique [Lorino & Tarondeau, 2006] et dans de nombreuses spécialités de la gestion industrielle : la modélisation d'entreprise [Vernadat, 1996], la conduite des systèmes de production [Grobot, 1998], l'amélioration de la qualité [Cattan

et al., 2003], l'évaluation des performances [Gregory, 1993] [Ducq *et al.*, 2001] [Ducq 2007]... et par conséquent, dans le pilotage de la performance.

En effet, l'approche processus est une approche transversale impliquant plusieurs centres de décision de l'entreprise. Elle favorise la communication entre les différents responsables de ces centres et entre les acteurs qu'elle que soit la fonction qu'ils occupent au sein du processus. Chaque responsable d'activité bénéficie, par ce fait, d'une meilleure compréhension des contraintes amont et des besoins aval de l'activité qu'il gère. La maîtrise complète de son activité lui confère une vision plus globale du rôle qu'il joue au sein du processus et même de l'entreprise. La simple prise de conscience que l'activité exercée fait partie intégrante d'un ensemble d'activités beaucoup plus vaste, appelé processus et que celle-ci est indispensable à son bon fonctionnement, modifie la façon d'appréhender la prise de décision du responsable de l'activité. Désormais, sa décision ne répond plus uniquement aux intérêts de l'activité qu'il dirige mais englobe également un ensemble de critères reflétant les intérêts du processus auquel elle appartient.

L'effet d'amélioration obtenu implique, par conséquent, tous les responsables d'activité compte tenu de leur interdépendance. Les relations instaurées ou renforcées entre les différentes activités d'un processus et entre les divers processus sont les garantes de la cohérence de l'ensemble des décisions prises au sein de chacun d'eux et entre eux.

Outre l'amélioration du fonctionnement de l'entreprise, l'approche processus facilite la mise au point et le partage d'une vision globale de l'organisation par les acteurs de l'entreprise et leur permet de travailler selon une optique d'actions inter-reliées qui implique un travail transversal et le développement de la réactivité à la communication [Megartsi, 2001]. L'intégration de cette approche dans un système de pilotage de la performance semble évidente au vu de ces implications.

3.2. LE PILOTAGE REPOSE SUR UN MECANISME DE PRISE DE DECISION

Prendre une décision en pilotage consiste à déterminer le comportement optimal à adopter dans une situation donnée du système analysé afin de l'emmener vers un nouvel état en respectant un certain objectif [Pujo & Kieffer, 2002]. Pour y parvenir, l'inventaire des solutions admissibles, c'est-à-dire respectant les différentes contraintes (interdits, choix de fonctionnement...) imposées par le système et ses acteurs, doit être établi afin que le pilote puisse sélectionner la plus pertinente. La réalisation de cette tâche s'accompagne de l'exécution d'un ensemble d'activités incontournables telles que la collecte d'informations ou l'évaluation des alternatives. L'ensemble des activités menant à la prise de décision constitue un processus de décision que nous proposons de détailler ci-après.

3.2.1. LE PROCESSUS DE PRISE DE DÉCISION

« L'objectif d'un processus de décision est de définir un espace de solutions répondant à une problématique donnée, un besoin à satisfaire ou un souhait d'amélioration, de changement ou d'adaptation en tenant compte de contraintes diverses » [Monmaint & Penalva, 2003]. Pour ces auteurs, tout processus de décision se compose de quatre activités principales réalisées séquentiellement ou non. Celles-ci sont : collecter l'information, élaborer des hypothèses, rechercher différentes solutions et sélectionner les solutions réellement éligibles.

De manière générale, H. Simon [Simon, 1977] décrit le processus de décision comme un procédé visant à restreindre un ensemble de possibilités à un sous-ensemble strict et à évaluer cette restriction. L'analyse du processus canonique proposé par cet auteur montre que quatre étapes sont nécessaires à la prise de décision : récolte d'informations, conception des alternatives, choix des alternatives et évaluation de la qualité de la prise de décision [Simon, 1977]. Ce processus, schématisé en Figure 13, souligne le chemin à parcourir par un décideur unique ou un groupe de décideurs pour réussir à formuler une décision pertinente.

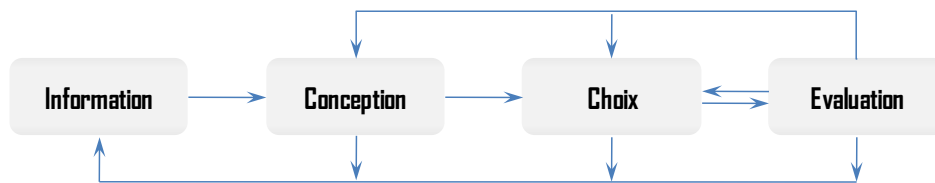


Figure 13: Le processus de décision selon [Simon, 1977]

Ces deux visions d'un processus de décision semblent très proches. Bien que les intitulés des activités constitutives du processus diffèrent, les tâches exécutées au sein de chacune d'elles sont similaires. La terminologie proposée par H. Simon a été retenue dans le cadre de nos travaux en raison de sa parfaite adéquation avec celle caractérisant un mécanisme de pilotage de la performance.

H. Mintzberg [Mintzberg *et al.*, 1976] découpe, pour sa part, le processus de prise de décision en trois étapes consécutives. Celles-ci sont la compréhension des objectifs fixés, la génération d'alternatives et l'évaluation de ces alternatives. Dans un système de pilotage de la performance, ces trois étapes sont également sollicitées afin de décrire le processus de sélection des actions de pilotage à activer. Celles-ci correspondent dans ce cas au déploiement des objectifs stratégiques en objectifs élémentaires sur les processus de l'entreprise (étape 1), à l'identification des variables d'action potentielles (étape 2) et à la sélection des variables d'actions les plus pertinentes (étape 3).

Cette vision du processus de décision, bien qu'en parfaite cohérence avec celles précédemment évoquées, nous semble délaissier un aspect essentiel à un système de pilotage de la performance : la collecte des informations utiles à la prise de décision. La vision de H. Simon est préférée à celle de H. Mintzberg. Examinons les quatre activités majeures d'un processus de décision tel que décrit par H. Simon et leur enchaînement.

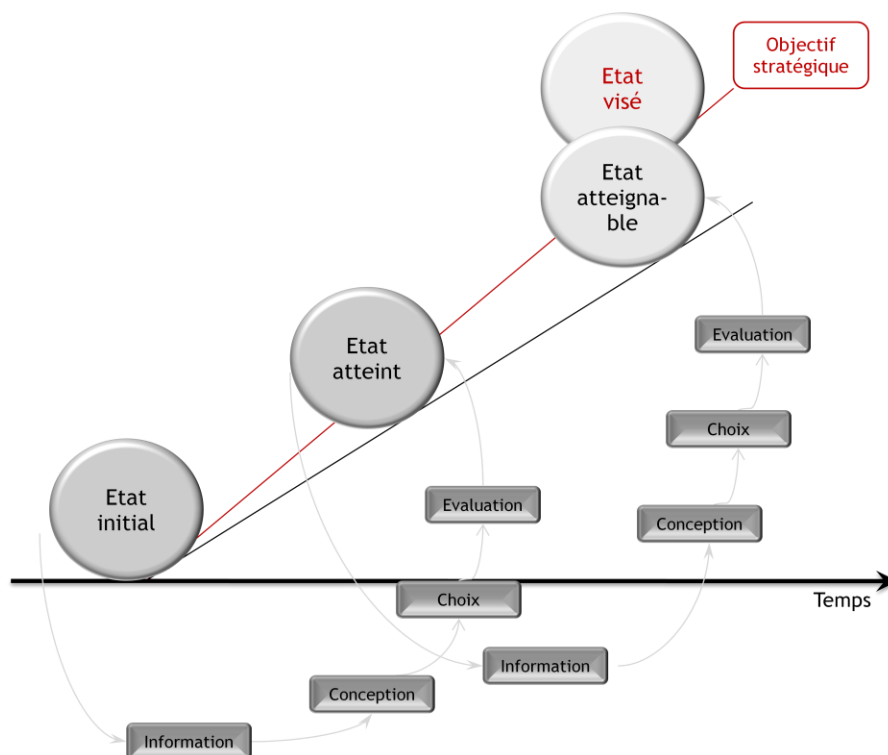


Figure 14: Processus d'évolution continue d'entreprise

La performance d'une entreprise résulte de l'animation d'une dynamique de progrès permettant de façon continue et systématique d'observer la situation actuelle, de détecter les possibilités d'amélioration et enfin de faire évoluer l'entreprise vers l'objectif qu'elle s'est fixé. La Figure 14 illustre cette spirale de l'amélioration continue. Ce principe d'évolution perpétuelle s'applique également au processus de décision sous-jacent à tout mécanisme de pilotage. Celui-ci transparaît dans la boucle de rétroaction du processus de décision.

- Activité 1 : Information

La matière première d'un mécanisme de prise de décision, celle sans qui rien ne peut être fait, est l'information. Celle-ci doit être collectée, analysée, triée afin d'être facilement exploitée par le décideur. Cette étape établit un état des lieux, comprend la situation actuelle de l'entreprise et exprime besoins et contraintes tant opérationnelles que structurelles, sociales ou économiques ou encore environnementales auxquelles la dynamique d'amélioration continue doit répondre.

En matière de pilotage de la performance, cette première étape du processus de décision consiste à capitaliser la connaissance de l'entreprise par la constitution de modèles de connaissances. Leur finalité est de rendre explicites faits et connaissances qui ajoutent de la valeur à l'entreprise [Vernadat, 2001] et peuvent être partagés par les applications d'entreprise et leurs utilisateurs afin de piloter et améliorer les performances de l'entreprise [UEML, 2001].

Par l'élaboration de ces modèles, un vocabulaire unique est défini pour l'ensemble des acteurs de l'entreprise et la communication entre les différents groupes auxquels ils appartiennent est grandement facilitée. L'atout majeur de la modélisation est d'assurer aux différents acteurs de l'entreprise de partager une vision commune et actualisée du fonctionnement du système piloté. La norme qualité ISO 9000 :2000 [ISO 9000, 2000] reconnaît, d'ailleurs, l'utilité de la modélisation dans le cadre du pilotage de la performance industrielle et l'impose en tant qu'outil opérationnel fondamental de ce pilotage.

Outre une compréhension identique du fonctionnement du système piloté, la modélisation d'entreprise, de par ses fondements basés sur la théorie des systèmes, assure également une perception de l'entreprise sous deux angles complémentaires : la vision globale et la vision locale.

A un niveau global, le modèle d'entreprise prend en compte les objectifs du système, ses composants et leurs interactions, ses liens avec l'environnement, son infrastructure et son architecture. A un niveau local, le modèle représente le comportement détaillé du système, sa structure et ses processus en utilisant, par exemple, le concept d'activité. L'intérêt de la modélisation d'entreprise est de lier ces deux vues et d'assurer leur cohérence [Ducq, 2007], cette dernière constituant l'élément clé d'un mécanisme de pilotage de la performance efficace et efficient.

La collecte d'informations est une étape essentielle dans un processus de décision et conditionne la qualité de la prise de décision.

- Activité 2 : Conception

La seconde étape d'un processus de décision est la conception d'alternatives. Cette activité consiste à synthétiser et à agréger les informations pertinentes afin d'établir la liste des possibilités d'action. Celles-ci prennent en compte un certain nombre d'hypothèses : contraintes à respecter, état actuel et état futur souhaité, trajectoires envisageables pour passer d'un état à l'autre et états intermédiaires atteignables, indicateurs de performance (efficacité, efficience et pertinence) retenus pour juger de l'adéquation des solutions futures du problème [Monmait & Penalva, 2003].

L'objectif est donc d'analyser la situation et d'élaborer des alternatives sans préjuger des résultats ni des solutions évidentes. L'identification des pistes d'action est menée de manière à décupler les possibilités de choix en autorisant la créativité individuelle ou collective et l'émergence de solutions originales. Il ne s'agit pas uniquement de reproduire ce qui a déjà fonctionné mais éventuellement de l'adapter ou encore d'innover afin de fournir une réponse totalement ajustée.

J. Monmaint et J-M. Penalva, dans leur description du processus, restreignent cette seconde activité à la définition des hypothèses de travail à considérer lors de l'énumération du champ des possibilités.

- Activité 3 : Choix

La troisième activité, le choix, consiste à restreindre l'éventail des solutions admissibles tout en prenant en compte les contraintes et les besoins spécifiques détectés pour répondre au problème posé. Il s'agit donc de sélectionner les actions de pilotage réellement applicables et pertinentes pour le système de production analysé.

Pour J. Monmaint et J-M. Penalva, cette sélection ne s'opère qu'à l'étape suivante. Cette troisième phase est, pour ces auteurs, consacrée à l'élaboration de l'éventail des possibilités d'action.

- Activité 4 : Evaluation

La dernière tâche consiste à évaluer les alternatives retenues. Les différentes alternatives sont évaluées sur base d'un ensemble d'indicateurs de performance préalablement établi et de critères tels que la facilité d'exécution (technique, humaine...), le coût de mise en œuvre, le risque encouru par l'entreprise... L'action de pilotage, jugée la plus satisfaisante aux yeux du ou des décideurs impliqués est ensuite appliquée au système piloté.

Les deux dernières étapes du processus de décision décrit par H. Simon [Simon, 1977] sont étroitement liées et cyclent de l'une à l'autre jusqu'à l'obtention de la satisfaction du décideur ou de l'adhésion de l'ensemble des décideurs à la solution proposée. Ces étapes sont fusionnées dans le processus de décision tel que décrit par J. Monmaint et J-M. Penalva.

L'ensemble des étapes du processus sont susceptibles d'être remises en cause et de nécessiter la révision de l'étape précédente lorsqu'un dysfonctionnement ou un oubli a été détecté, l'exhaustivité des informations n'étant notamment pas garantie.

3.2.2. COMPLEXITÉ ET INCERTITUDE DANS LA PRISE DE DÉCISION

Trois facteurs caractérisent, à des degrés divers, les situations auxquelles l'organisation fait face et influencent les processus de décision qu'elle met en œuvre : la complexité de l'environnement, l'incertitude de la situation et la multiplicité des acteurs.

L'entreprise est un lieu hétérogène où les acteurs évoluent dans des fonctions et dans des environnements différents. Toute action ou décision de l'un est susceptible d'avoir des conséquences sur le travail des autres. Leur perception de l'entreprise et des objectifs poursuivis par celle-ci est loin d'être unique. La multiplicité des acteurs, individus ou unités, contribue à la complexité dans la prise de décision et en accroît l'incertitude.

L'information nécessaire à la compréhension du fonctionnement de l'entreprise étant, par hypothèse, incomplète ou indisponible, il est donc inimaginable de concevoir un modèle d'entreprise qui inclurait tous les paramètres pertinents et toutes les relations présentes dans l'organisation. Toutefois, dans tout système complexe, des îlots de certitude peuvent être isolés temporairement ou non et autoriser une modélisation fine. Le déroulement du pilotage s'exerce donc sur ces zones de la manière décrite dans la métaphore du pilotage d'un engin [Avenier *et al.*, 1996] et les actions d'amélioration se déploient avec une certaine garantie de succès. L'importance de la présence humaine dans le système de production piloté joue, par conséquent, un rôle non négligeable dans la réussite du pilotage par la performance. Dans la plupart des cas (hors organisation sociale, par exemple), cette présence s'accroît à mesure que l'horizon décisionnel s'allonge, ce qui complexifie principalement le pilotage des niveaux tactique et stratégique.

L'insuffisance de l'information disponible, tant sur la signification exacte des événements passés et sur la survenance possible des événements futurs que sur les actions des autres acteurs, engendre également de l'incertitude autour de la décision. La faisabilité des alternatives de pilotage et l'anticipation de leurs effets se

voient donc affectés par cette incertitude. Ces effets sont d'autant moins prévisibles que le processus de décision est diffus dans le temps et, par conséquent, exposé à des événements ou à des décisions qui se produisent pendant sa durée [de Bruyne, 1981]. En effet, le contexte de l'organisation a peu de chance de rester stable entre le moment où une décision est prise et celui où cette décision est concrétisée. Dans un tel contexte, le raisonnement « *toutes choses égales par ailleurs* », encore largement pratiqué aujourd'hui, n'est pas pertinent [Avenier, 1997]. Les procédures qui visent à figer l'évolution de l'organisation sur une durée relativement longue, tel un plan stratégique, sont à utiliser avec précaution et appellent à être accompagnées d'une évaluation « chemin faisant » [Couix, 1997].

La plupart des décisions à prendre dans un contexte organisationnel étant collectives ou impliquant d'autres acteurs que le preneur de décision, les formes de la participation et la négociation des accords ou des compromis entre participants interfèrent dans le processus lui-même ; des activités telles que la clarification des objectifs, la génération des alternatives, la résolution des conflits de préférences, l'agrégation des informations... en deviennent partie intégrante [de Bruyne, 1981].

Un des moyens de réduire la complexité et l'incertitude existant dans un processus de prise de décision est d'accorder une grande attention à la collecte de la connaissance, à sa diffusion mais également à son évolution au sein de l'organisation. La mise en place d'un mécanisme de capitalisation de la connaissance au sein de l'architecture de pilotage réduit considérablement cette pénurie d'informations par un enrichissement perpétuel des modèles de connaissances de l'entreprise au fil des utilisations du mécanisme.

4. APPROCHE DE MODELISATION ET SYSTEMES DE PILOTAGE : ETAT DE L'ART

La littérature abonde de travaux traitant des notions d'indicateurs, de tableaux de bord et de pilotage de la performance. Toutefois, l'exploitation de ce genre d'outils destinés à piloter un système de production dans une logique d'amélioration permanente soulève certaines interrogations qui demeurent sans réponse. Nous y apporterons une réponse au cours de cette recherche doctorale.

Dans leurs travaux, C. Berchet [Berchet, 2000] et G. Habchi [Habchi, 2001] présentent quelques notions appartenant à des domaines de base d'origines diverses tels que : la gestion, la productique, l'automatique, le génie industriel, la gestion de production... G. Habchi [Habchi, 2001] les synthétise de la manière suivante :

- En 1972, Mélése [Mélése, 1972] crée le concept de *module de pilotage*, entité comprenant outre un décideur, des sous-systèmes programmés, décisionnels et d'évolution. Ce module constitue la première apparition d'un formalisme spécifique dédié à la compréhension du mécanisme de la prise de décision, en particulier dans la gestion de production. Des études de fonctionnement décisionnel ont été menées à partir de ce module.
- Le Moigne [Le Moigne, 1974] définit le *concept de pilotage* et introduit notamment dans le domaine de gestion de production la notion de boucle fermée.
- Breuil [Breuil 1984] exploite les notions de *partie opérative* et de *partie commande*.
- Pour Doumeingts [Doumeingts, 1984], *piloter* c'est assigner à chaque partie du système un ou plusieurs objectifs à atteindre.
- D'après Avenier [Avenier 1984], *piloter un système*, c'est choisir un objectif par rapport auquel il faut définir la meilleure trajectoire...
- Selon l'APICS [Melnik & Carter, 1987], le *pilotage* concerne le domaine opérationnel, il est défini par un groupe d'activités directement responsable de la gestion de la transformation d'ordres de fabrication planifiés en pièces sorties de l'atelier. L'objectif principal de la *fonction pilotage* de la production est la bonne exécution du programme prévisionnel de production par le système physique [Nagi, 1991].

- L'AFGI, Association Française de Gestion Industrielle [AFGI, 1992], définit le *pilotage* comme un mécanisme multi-niveaux, hiérarchisé et bouclé.
- Selon Lorino [Lorino, 1992], *piloter* c'est définir des règles de comportement cohérentes avec un objectif global de l'entreprise.
- Trentesaux [Trentesaux, 1996] définit le *pilotage* comme une structure de décision et d'information associée à la gestion temps réel.
- Grabot et Huguet [Grabot & Huguet 1996 ; 1997] considèrent le *pilotage* comme un ensemble d'activités permettant la production à court terme dans l'atelier et le respect des objectifs établis par la gestion de production.
- Pour Youssef [Youssef, 1998], le *pilotage* a pour but d'assurer la cohérence des décisions entre des ordres issus de la gestion prévisionnelle et les actions exécutées au niveau du système de production.

La liste des propositions définissant la notion de pilotage est en réalité beaucoup plus longue. La multiplicité des définitions traduit la complexité à le définir en quelques mots.

L'évolution de la notion de pilotage est à rapprocher de l'évolution du contexte économique et de la notion de performance de l'entreprise. Le rôle joué par le système de pilotage s'est progressivement étendu et complexifié à mesure que le rôle joué par le décideur a pris de l'ampleur et que le pilotage est devenu de moins en moins opérationnel.

Parmi les nombreux travaux traitant du pilotage de la performance, nous en avons sélectionnés dix qualifiés communément de « *Performance Measurement Systems* ». Ceux-ci ont été choisis pour leur vision moderne du pilotage de la performance ou leur réputation dans le monde industriel. Le Tableau 4 synthétise, pour chaque méthode analysée, le mode de gestion des différentes étapes-clés du fonctionnement d'un système de pilotage et ses caractéristiques inhérentes, établis sous l'angle d'analyse suivant :

1. CIBLER : L'objectif stratégique est-il décomposé en objectifs élémentaires ? Quelle méthode est préconisée ?
2. MESURER : Les mesures sont-elles standardisées
3. EVALUER/ Une procédure d'agrégation de mesures est-elle exploitée? La performance globale est-elle évaluée ?
4. IMAGINER : Comment sont identifiées et sélectionnées les variables d'action potentielles ? Les actions d'amélioration sont-elles évaluées préalablement à leur application sur le système piloté ?
5. DECIDER : Comment est sélectionnée l'action à appliquer ?
6. LIENS ENTRE IP : Les liens existant entre les centres de décision sont-ils gérés ?
7. VERIFICATION COHERENCE : Un mécanisme de vérification de la cohérence globale du système est-il mis en place ?
8. STRUCTURE ET INTERCONNEXIONS DES TB : Quelle structure affiche les tableaux de bord ? Sont-ils interconnectés ?
9. REVISION : Existe-il une phase de révision du système de pilotage ?

Tableau 4: Comparatifs de quelques "Performance Measurement Systems"

PERFORMANCE MEASUREMENT SYSTEM	CIBLER		MESURER	EVALUER		IMAGINER		DÉCIDER			TABLEAU DE BORD	RÉVISION DU PMS
	Technique de décomposition de l'objectif stratégique	Méthode de décomposition	Standardisation des mesures ?	Procédure d'agrégation	Estimation de la performance globale	Variables d'action ?	Evaluation <i>a priori</i>	Méthode utilisée ?	Liens entre indicateurs de performance	Vérification de la cohérence ?	Structure interne et interconnexions ?	
ECOGRAI Pour entreprises de biens et de services [Bitton, 1990], [Doumeingts et al., 1998]	La décomposition est établie selon la structure de pilotage matérialisée par la grille GRAI (par fonction et par niveau) et les liens de subordination et de synchronisation sont identifiés. L'utilisation de la grille identifie les centres de décision.	Non formalisée. Vérification de la cohérence des objectifs décomposés par l'élaboration d'un diagramme de décomposition.	Les mesures s'expriment en termes de <i>coût - délai - qualité</i> .	Les opérateurs d'agrégation (<i>Min/Max, somme ou produit</i>) dépendent du domaine de performance considéré (coût - délai - qualité) et de la forme de décomposition de chaque activité-mère en activités-fille (Séquentielle - ET - OU).	La procédure d'agrégation des performances des activités-fille permet d'établir la performance globale d'une activité-mère.	L'IP est de forme : (Objectif-Variables de décision-Mesure). Chaque IP est spécifié dans une fiche référence. L'IP est une donnée quantifiée. En cas d'objectif qualitatif, la performance est quantifiée grâce à une fonction d'utilité. La quantification est réalisée au moyen d'un coefficient quasi-quantitatif.	NON	Le pouvoir d'action de chaque variable de décision est quantifié. Il s'agit ensuite de choisir la meilleure combinaison possible de VE pour l'atteinte de l'objectif associé à chaque CD.	Les CD sont unis par des liens de subordination et de synchronisation.	L'établissement d'un tableau de cohérence entre les objectifs, les IP et les variables de décision vérifie la cohérence interne de chaque centre de décision.	Le TB de chaque CD est composé des IP associés à chaque activité du CD. Les IP des différents CD sont organisés en système.	Une révision du système doit être opérée chaque fois que les objectifs globaux sont remis en question.
Travaux basés sur ABC /ABM [Lorino, 1991] [AFGI, 1992]	Basé sur un modèle Processus/Activités, la décomposition est réalisée selon un modèle cause à effets.	Un modèle cause à effets est utilisé, généralement la méthode des « 5 pourquoi ».	NON	Les liens de subordination sont quantifiées grâce à des opérateurs issus d'approches multicritères ou des approches à base de règles.	OUI, une logique d'amélioration globale des processus est visée. L'organisation du TB facilite l'amélioration de la performance globale.	L'IP est de forme : (O-M-VA) et permet l'expression d'une performance quantitative et qualitative.	NON	NON	Le regroupement des IP par famille de facteurs de progrès met en évidence les liens entre IP.	Induit par la méthode de décomposition des objectifs et le mécanisme de retour d'expérience et de capitalisation de la connaissance	Les IP sont regroupés - par famille de facteurs de progrès ; - par niveau de décision ; - par processus.	Selon le principe d'amélioration continue, le système d'IP est remis en cause dès qu'un objectif est atteint. Principe du retour d'expérience utilisé.
BSC [Kaplan & Norton, 1998, 2007]	La prise en compte de la stratégie est réalisée au travers de 4 axes génériques interconnectés par une chaîne de relations causales. L'axe financier domine les 3 autres : les perspectives clients, processus interne et apprentissage organisationnel.	La méthodologie préconise l'utilisation d'une <i>Strategy Map</i> afin de partager la vision/stratégie à tous les niveaux de l'entreprise et de vérifier les liens de causalité unissant les objectifs définis. Pour ce faire, la méthode établit un cadre de conception de la stratégie limité aux 4 axes génériques du BSC	Les mesures ne sont pas prédéfinies par la méthode. Des exemples sont donnés dans les applications pratiques.	Une moyenne pondérée est utilisée. Une correction de cette moyenne pondérée est proposée dans [LeClainche, 2001] afin de prendre en compte les interactions existant entre les critères..	Le souci de la performance globale se reflète dans l'organisation dépendante des axes. La performance globale se résume à la rentabilité pour les actionnaires.	L'IP est de forme : (O-M-VA). Les VA sont identifiées par les utilisateurs sur base de leur expérience.	NON	La priorisation d'action n'est pas définie. Le jugement du décideur est sollicité.	Les liens entre les IP sont établis au travers des liens de causalités existant entre les objectifs mis en évidence par la <i>Strategy Map</i> .	La boucle de rétroaction est le seul moyen de vérifier la cohérence du système de management de la performance.	Les TB sont organisés en cascade selon un découpage en <i>Business Units (alignement stratégique vertical)</i> . Chaque BSC est divisé en 4 TB formatés selon un modèle et interconnectés.	Un mécanisme de retour d'expérience est déclenché.
QMPMS [Suwignjo et al., 1997] [Suwignjo & Bititci, 2000] Destinée aux industries de production	La décomposition se fait par l'intermédiaire de l'identification des facteurs d'influence de la performance globale assimilables aux variables d'action telles que nous les avons définies.	Les facteurs d'influence et leurs relations (effets directs & indirects et self-interaction) sont identifiés par la construction d'une <i>Cognitive Map</i> . Le recours à divers outils tels que le diagramme d'Ishikawa facilite l'identification de la hiérarchisation des facteurs.	Une limitation du nombre d'IP est réalisée sur base d'une analyse Pareto des effets et de la vitesse de changement de la mesure Le nombre d'IP est, dans ce dernier cas, réduit en jouant sur la périodicité d'affichage.	Les critères multidimensionnels de la performance sont exprimés sur une dimension unique : la priorité. L'agrégation repose sur la méthode AHP. Les trois types d'interactions sont pris en compte.	Grâce à la méthode AHP, la priorité globale associée à chaque stratégie est fournie.	L'IP est de forme : (VA-O-M). Les VA ou facteurs d'influence sont identifiés au moyen d'une analyse causale telle que <i>Cognitive Map</i> . Les VA sont hiérarchisées afin de déterminer la priorité entre les VA via la méthode AHP.	Construction d'une structure hiérarchique d'évaluation de la performance (Perf globale - scénario - critères de perf - stratégies). L'évaluation est menée par niveau et top-down. <i>CRITIQUES : valeur des estimations : probabilités</i>	Comparaison de différentes stratégies par l'utilisation de la méthode AHP et de l'estimation des performances attendues. Le décideur choisit la stratégie de priorité la plus élevée. Une analyse de	Les liens à effet direct (vertical) entre IP sont quantifiés à l'aide de la méthode AHP. Les liens à effet indirect ou interactions mutuelles (horizontal) et self-interactions sont évalués par l'expertise du décideur. La moyenne pondérée est ensuite corrigée pour une prise en compte de l'effet combiné.	Non formalisée	Non formalisés	Mécanisme d'évolution basé sur la roue de Deming et répété à tous les niveaux de l'entreprise. Présence d'un moniteur extérieur pour l'observation de l'environnement de l'entreprise et d'un moniteur interne pour l'observation des évolutions de la performance.

		La quantification des effets sur la performance globale est réalisée au moyen de la méthode AHP.					<i>d'occurrence, estimation des effets.</i>	sensibilité peut être menée pour évaluer la robustesse de la solution.				Une analyse de sensibilité peut être menée pour estimer si un changement de stratégies est nécessaire.
PBA [Neely, 1995] Destinés aux entreprises de production et de services	-Les objectifs stratégiques sont identifiés à partir des attentes des clients et des besoins des partenaires et décomposés pour définir des IP de résultat et des IP de processus sur les facteurs de performance semblables aux IP avancés du BSC.					L'IP est de forme: (O-M-VA) pour les IP de processus Pour l'IP de résultat, pas VA identifiées, L'IP est déduit des objectifs globaux	NON					Les différentes phases de vie d'un système d'IP sont traitées comme un processus => guide méthodologique 4 familles de causes pour la mise à jour sont envisagées.
IDPMS [Ghalayini <i>et al.</i>, 1997]	Au niveau stratégique, identification de zones de succès génériques et spécifiques à des marchés de produits particuliers pour fournir les IP de résultat. Au niveau tactique et opérationnel, identification des activités à non valeur ajoutée des zones de succès pour fournir les IP de processus.	Au niveau stratégique, les zones et les mesures de performance sont déterminées via le <i>PQM - Performance Measurement Questionnaire</i>. Au niveau tactique, l'identification du plan d'actions défini et des standards de performance à atteindre (objectifs quantifiés) sur un horizon donné repose sur Modified <i>Value Focus Cycle Time Model</i> (activités à non valeur ajoutée) et le concept de demi-cycle de vie (fixation des standards à atteindre).	NON 2 types d'indicateurs sont utilisés. Les IP de résultats, sont agrégés, peu nombreux et déterminent la performance globale du système analysé. Ils sont destinés au niveau stratégique (Management Area) Les IP de processus sont destinés à un usage interne aux Processus Improvement Teams et au Factory Shop Floor (niveau tactique et opérationnel).	Méthode d'agrégation non formalisée	IDPMS fournit au Management Area (niveau stratégique) uniquement des IP de résultats synthétiques et peu nombreux afin d'exprimer le niveau de performance globale atteint pour chaque zone de succès générique et afin de faciliter la prise de décision quant à, notamment, l'utilisation des bénéfices retirés des améliorations menées.	Les actions tactiques et opérationnelles composant le plan d'actions associées à chaque zone de succès découlent de la réalisation d'un diagramme Modified <i>Value Focus Cycle Time Model</i> représentant l'état actuel du système global. Ce diagramme met en évidence les zones de non-performance ou activités de non valeur ajoutée et facilitent l'identification des actions de correction potentielles.	Une estimation des résultats attendus des actions engagées en vue de l'amélioration des zones de succès est prévu par la méthode via l'application du concept de demi-cycle de vie. Cette estimation est réalisée en vue de planifier l'affectation des bénéfices qui résulteront de l'amélioration.	Un arbitrage des actions envisagées pour éliminer les activités à non valeur ajoutée est réalisé. Celui-ci met en balance le gain qu'elles sont susceptibles d'engendrer et l'effort/le coût qu'elles nécessitent pour leur mise en œuvre.	Les liens sont identifiés au niveau stratégique grâce à un graphe générique des liens entre les zones de succès génériques et spécifiques. Les liens sont quantifiés, pour un plan donné, sur base de l'expertise du décideur.	-La stratégie est à la base de toute la démarche. Lors de l'identification des zones de succès par la réalisation du PQM, différents points de vue sont pris en compte afin de s'assurer que tous les besoins spécifiques sont visés -Les interactions entre les zones de succès, les mesures de performance et les indicateurs de performances sont identifiées. -Un suivi dynamique de l'évolution des actions d'amélioration est mis en place par la mise à jour des standards. -Une mise à jour dynamique des zones de succès et des mesures associées est prévue. -IDPMS repose sur une vision globale de la performance	Pour les Processus Improvement Teams et Factory Shop Floor, un TB regroupe les IP de processus relatifs à une zone de succès générique sur les différents niveaux décisionnels. Au niveau Management Area, le TB regroupe les IP de résultats produisant des informations sur la performance globale atteinte par le système. Pour un plan d'action donné, les liens entre TB sont identifiés par un graphe générique des zones de succès sans qu'une performance agrégée ne soit calculée. De manière générale, IDPMS veille à restreindre le TB à un petit nombre de mesures de performance critiques financières et opérationnelles.	Actualisation permanente par la redéfinition des zones de succès génériques et spécifiques, des mesures de performance y associées et aux standards de performance en fonction des évolutions des améliorations, de l'entreprise et de son environnement. Les standards de performance sont régulièrement revus suite au retour d'information du niveau opérationnel. De plus, un second diagramme MVFCTM reflétant l'état attendu à la fin de la période d'application du plan d'action est établi. Le diagramme reflétant l'état actuel est mis à jour au fil des améliorations atteintes afin de guider le décideur dynamiquement dans les choix à effectuer en vue de l'atteinte des objectifs fixés.
PPMS [Kueng & Krahn, 1999], [Kueng, 2000, [Kueng <i>et</i>	Selon 5 aspects génériques. Pour chaque aspect, les objectifs associés à chaque	La méthode utilisée est l'analyse causale. Répétition jusqu'à ce qu'une mesure soit		Méthode d'agrégation non formalisée	Expression de la performance dans sa globalité, performance des processus		NON	Non formalisé mais évocation de méthodes telles que agrégation de	Liens de subordination et de coordination entre les niveaux. Les liens sont		TB structuré en plusieurs niveaux d'IP reliés par des liens de subordination.	Flou, révision du TB en fonction de l'expérience et des résultats

<i>al., 2001]</i>	processus opérationnel sont identifiés	possible. => Pour chaque processus, arborescence d'IP à 5 branches						données, analyse de tendance, recoupe ment d'informations.	quantifiés par la décomposition des objectifs et l'agrégation des expressions de performance.			
ENAPS [Browne <i>et al.</i>, 1999] Destinée aux entreprises de production	L'approche ENAPS modélise l'entreprise sous la forme d'un cube. Les 3 dimensions de celui-ci sont: -3 niveaux hiérarchiques: les niveaux <i>Entreprise</i> , <i>Processus</i> et <i>Activités</i> . 4 processus majeurs et 2 processus secondaires sont identifiés. -4 typologies d'entreprise -6 dimensions de mesures (coût, délai, qualité, volume, flexibilité et environnement) Cette approche définit donc un cadre générique d'analyse mais ne permet pas à l'entreprise de déployer sa stratégie ni de prendre en compte les besoins exprimés par les clients.	Les objectifs de l'entreprise ne sont pas véritablement intégrés dans la méthode.	Les listes de mesures et d'IP de niveaux <i>Entreprise</i> et <i>Processus</i> sont prédéfinies par l'approche afin de permettre les comparaisons entre entreprises de même secteur, taille ou localisation. Les mesures et IP liés aux activités ne sont pas génériques mais doivent s'exprimer selon l'une des 6 dimensions des mesures. Les IP sont obligatoirement quantitatifs.	Les méthodes de calcul sont fixées par les auteurs. Ils ne précisent pas la manière dont ils gèrent le problème de l'agrégation.	Le calcul de la performance globale de l'entreprise n'est pas effectué. Toutefois, en fixant les différents processus et dimensions de la mesure l'approche, ENAPS garantit une couverture globale de l'entreprise et de sa performance.	Les VA qu'il convient d'activer ne sont pas envisagée dans la méthodologie.	Aucune évaluation <i>a priori</i> n'est envisagée.	Bien que les auteurs disent promouvoir l'amélioration continue, les actions d'amélioration ne sont pas évoquées.	Les liens entre les IP sont intégrés à la méthode de calcul des différents IP proposés par la méthodes. Les liens entre les IP de niveaux Activité et Processus ne sont, par contre, pas évoqués dans la méthode.	La cohérence est garantie par le respect des mesures et la méthode de calcul des IP qui intègre les relations existant entre les IP. Les auteurs ne précisent pas la méthode utilisée pour la prise en compte des relations.	Les TB des 3 niveaux sont prédéfinis de par l'existence de listes arrêtées de mesures de performance et d'IP. De même que les liens entre les IP sont pris en compte (mais non explicités par les auteurs) les TB sont interconnectés.	L'évolution du système ENAPS n'est par essence pas envisagée à l'exception des IP de niveau activité qui sont revus semestriellement.
QVAR [Jordan <i>et al.</i>, 2004]	Conception des grilles QVAR pour chaque responsable de la hiérarchie, 2 méthodes possibles. -1 ^{ère} méthode: identification des objectifs puis objectif par objectif, identification de VA. -2 ^{ème} méthode: réflexion indépendante sur les objectifs et sur les VA, puis «confrontation» dans la grille. Attribution de chaque case de la grille aux responsables concernés.	Les méthodes d'identification des objectifs et VA ne sont pas précisées mais le couplage à la <i>Strategic Map</i> est possible. Toutefois, lors de la «confrontation», les lignes vides de la grille révèlent les incohérences et sont immédiatement corrigées.	Les mesures sont établies selon le canevas du BSC.	Le problème de l'agrégation n'est pas évoqué dans cette méthode. Toutefois, la procédure proposée par [Leclainche, 2005] peut en toute logique s'appliquer.	La performance globale n'est pas exprimée mais le souci de la performance globale se reflète dans l'organisation dépendante des axes du BSC.	Les VA de la grille d'un responsable deviennent généralement les objectifs des grilles des responsables subalternes.	NON	La priorisation des actions n'est pas définie. Le jugement du décideur est sollicité.	Les auteurs avouent l'impuissance de la méthode face à des objectifs contradictoires.	Double vérification de la cohérence: -lors de la construction de la grille, vérification de l'absence de lignes ou de colonnes vides; -le principe de l'emboîtement des TB (VA du niveau N-> Objectifs du niveau N-l)	TB sont établis par responsable et sont régis par le principe de l'emboîtement (VA du niveau N->Objectifs du niveau N-l) ce qui est un gage de cohérence. Les auteurs insistent sur la remontée d'informations synthétiques vers le TB du niveau supérieur.	Processus d'apprentissage nécessitant le retour d'expérience.
Approche de V. Clivillé [Clivillé, 2004]	La décomposition des objectifs consiste à partir d'un arbre de variables d'action, identifié par le système de pilotage, à sélectionner et à quantifier leur valeur espérée.	La méthode utilisée n'est pas précisée par l'auteur.	Pour les besoins de l'agrégation, les expressions de performance doivent être commensurables et exprimées selon des échelles d'intervalle (en respect de la théorie du mesurage).	-Définir une échelle d'intervalle sur la base d'intensités de préférence via MacBeth pour fixer les paramètres de l'intégrale de Choquet 2-additive; -Choquet 2-additive: opérateur basé sur la moyenne pondérée corrigée par la prise en compte, 2 à 2, des interactions mutuelles liant les IP.	La performance globale est quantifiée par la méthode. Les incidences des interactions mutuelles 2 à 2 entre IP sont évaluées et sont parties intégrantes de l'évaluation de la performance globale.	L'IP est de forme: (O-M-VA). Lors de la phase de conception du SIP, 3 activités doivent être réalisées simultanément: -Conception IP; -Identification des liens; -Caractérisation des liens. Celle-ci repose sur la décomposition des objectifs et les opérateurs nécessaires à l'agrégation des IP.	L'auteur identifie le plan d'action le plus porteur pour l'atteinte de l'objectif visé. L'évaluation <i>a priori</i> repose principalement sur les intensités de préférence établie par le décideur.	Sélection et mise en œuvre du plan d'actions qui permet d'obtenir la meilleure performance agrégée.	Les liens de subordination et de coordination sont pris en considération lors de l'agrégation des IP en vue de l'établissement de la performance globale.	L'identification et l'intégration des liens unissant les IP 2 à 2 assure l'évaluation de la performance globale avec un certain niveau de cohérence.	TB établis par niveau et organisés en système	L'approche repose sur la mise ne place et l'utilisation d'une boucle de rétroaction. Son rôle consiste à ajuster les IP, les objectifs et les paramètres de l'agrégation.

L'étude des systèmes de pilotage de la performance repris dans le Tableau 4 met en évidence un ensemble de points de convergence et de divergence entre ceux-ci.

La conception de l'indicateur de performance sous la forme d'un triplet *Objectif - Mesure - Variables d'action* est la pierre angulaire de l'ensemble des systèmes analysés. Cette perception de l'indicateur induit que les objectifs stratégiques soient le point de départ de la phase de conception du système, qu'ils soient indubitablement décomposés en objectifs opérationnels et que pour chaque objectif identifié, soient associés les leviers d'action du système piloté, les variables d'action.

Différentes méthodes sont sollicitées pour la réalisation de la décomposition des objectifs stratégiques : *Cognitive Map*, « 5 pourquoi »... Selon la méthode choisie, les liens de dépendance entre les objectifs sont éventuellement établis et les différentes facettes qui caractérisent l'objectif, envisagées avec plus ou moins de complétude... Par exemple, le *Balance Scorecard* [Kaplan & Norton, 1992] privilégie quatre axes d'analyse mais minore l'importance d'acteurs tels que les fournisseurs ou les employés [GRECOPME II, 2003]. Le risque encouru est donc de négliger des pans complets de l'entreprise. L'adjonction d'axes supplémentaires n'est pas exclue de la méthode mais nécessite de la part du décideur une prise de conscience de la faiblesse et le déclenchement d'une démarche complémentaire.

Même si l'élément essentiel est de recommander le recours à une méthode de décomposition d'objectifs, certains mécanismes de pilotage tels qu'ECOGRAI [Bitton, 1990] ou l'approche développée par V. Clivillé [Clivillé, 2004] ne spécifient pas la méthodologie à appliquer.

Le constat étonnant, réalisé à la suite de cette revue de la littérature, est que si la majorité des auteurs reconnaissent l'importance capitale, pour le système analysé, de définir clairement les objectifs qu'il doit atteindre, les auteurs sont beaucoup moins éloquents quant à la manière de les définir et quant aux garanties offertes au décideur sur la qualité du déploiement en termes de cohérences spatiale et temporelle. Le croisement d'informations en vue de la vérification de la cohérence du déploiement est rarement envisagée à l'exception de la méthode *Objectifs - Variables d'action - Responsables ou OVAR* [Jordan *et al.*, 2004] [Löning *et al.*, 2008] qui le prévoit. Le contrôle s'exerce par la vérification de l'absence des lignes ou colonnes vides au sein des grilles Objectifs-Variations d'action. Généralement, la cohérence entre les objectifs et entre les indicateurs de performance est considérée comme acquise par le simple fait de décomposer l'objectif stratégique en objectifs élémentaires et de procéder à un ajustement de ceux-ci en fonction des évolutions du système et de son environnement. La décomposition offre effectivement un certain niveau de cohésion mais ne peut cependant offrir une garantie totale.

Certaines des méthodologies présentées sont établies selon des axes de déploiement définis, des domaines de performance et/ou des listes d'indicateurs prédéfinis. Les auteurs ne justifient pas clairement le choix de cette option ni l'intérêt pour l'entreprise de procéder de la sorte.

Outre, l'expression de la performance réalisée par le système au regard de l'objectif global, l'indicateur exprimé sous la forme d'un triplet désigne également les variables d'action capables d'améliorer cette performance. Sans leur identification, le système d'indicateurs de performance n'est qu'un système de contrôle dans l'expectative plutôt qu'un système réactif engagé dans un processus d'amélioration continue. Si la reconnaissance du rôle joué par les variables d'action est unanime, leur procédure d'identification et leur ordre d'exécution sont rarement explicités.

L'activation d'actions d'amélioration induit, pour les différentes méthodes, la mise en place non seulement d'indicateurs de résultats mais également d'indicateurs de processus afin d'évaluer les progrès réalisés. Quel que soit le mécanisme de pilotage de la performance considéré, ceux-ci sont regroupés en tableaux de bord organisés en système. Peu de méthodes sont cependant prolixes sur la mise en place d'une telle organisation. Soulignons la particularité de la méthode *OVAR* [Jordan *et al.*, 2004] qui prône un principe d'emboîtement des tableaux de bord ou du *Balanced Scorecard* dans lesquels ceux-ci sont formatés et interconnectés.

Les systèmes d'indicateurs de performance les plus récents soulignent l'importance d'adapter régulièrement le système d'indicateurs aux évolutions du système piloté et à son environnement. Pour ce faire, ils intègrent une boucle de rétroaction assurant la mise à jour du système d'indicateurs de performance et la capitalisation des connaissances. L'appellation de système de pilotage de la performance prend, dans ce cas, tout son sens. C'est l'apparition d'un événement déclencheur tel que l'atteinte d'un objectif ou un retour d'expérience positif ou négatif qui provoque l'ajustement du système.

Le problème de l'agrégation de mesures en indicateur de performance est généralement évoqué dans la littérature mais rarement formalisé. La méthode la plus fréquemment appliquée est la moyenne pondérée. Toutefois, celle-ci ne tient pas compte des interactions mutuelles existant entre les mesures ou indicateurs. Cette moyenne sera éventuellement corrigée par le décideur [Leclainche, 2005].

Le recours à la méthode *AHP* pour établir une expression de performance globale du système piloté est suggéré par P. Suwignjo et U.S. Bittici [Suwignjo & Bittici, 2000]. Dans leur méthodologie, les critères multidimensionnels de la performance doivent être exprimés sur une dimension unique : la priorité, le but étant d'établir la priorité globale associée à chaque stratégie de pilotage.

Le système de mesure de la performance proposé par V. Clivillé [Clivillé, 2004] est l'un des rares systèmes à offrir une véritable expression de la performance globale du système piloté. Celui-ci intègre non seulement les liens de subordination qui unissent les indicateurs de performance mais également les interactions mutuelles prises deux à deux. Le problème de l'agrégation est résolu par le couplage de la méthode d'aide à la décision multicritère *MacBeth* et de l'*Intégrale de Choquet 2-additive*. La première fixe les paramètres de l'opérateur d'agrégation et la seconde établit la performance globale. L'inconvénient majeur de cette méthode d'agrégation est de nécessiter que les expressions de performance élémentaires présentent un certain nombre de propriétés issues de la théorie du mesurage. Ces expressions deviennent, à notre sens, beaucoup plus difficiles à interpréter et à communiquer aux subordonnés. L'amélioration de la précision d'évaluation de la performance engendre donc une perte de transparence des informations communiquées.

Les méthodologies de mesure de la performance offrant au décideur la possibilité de se positionner par rapport à d'autres entreprises, n'ont pas été évoquées dans cette revue de la littérature en raison de leur éloignement de l'objectif de cette recherche. En effet, les démarches de *benchmarking* adoptent une vision très externe en observant essentiellement les pratiques de la concurrence. Cependant, le benchmarking constitue une source de bonnes idées pour l'identification de moyens d'actions plutôt que pour la construction d'un système formalisé de mesure de la performance.

La majorité des « *Performance Measurement Systems* » figurant dans la littérature semblent s'adresser à toute entreprise quelle qu'en soit le mode organisationnel. L'absence de définition d'un champ d'application nous semble quelque peu ambitieuse. Tout système, même d'excellente qualité, présente indubitablement des limites d'action imposées par les choix posés par le concepteur. Un système de pilotage de la performance sera d'autant plus efficace s'il est adapté à la réalité de l'entreprise ou s'il a été conçu pour s'y adapter.

Si l'organisation des systèmes de pilotage contemporains s'apparente à un processus de prise de décision (cf. Figure 13), ceux-ci pèchent par l'absence d'une véritable facette « évaluation » au sein de ce processus. Bien entendu, les décideurs ne se lancent pas aveuglément dans une démarche d'amélioration sans en estimer les résultats et les conséquences. Toutefois, il est beaucoup moins évident qu'ils envisagent toutes les démarches possibles et encore moins qu'ils évaluent et comparent, avant toute application sur le système, l'impact de chacune d'elles sur sa performance globale. Nous pensons que le rôle essentiel d'un système de pilotage est de pousser l'entreprise à prendre des décisions de pilotage dès que nécessaire mais également à s'assurer qu'elle fait le bon choix.

5. VERS UN SYSTEME DE PILOTAGE SOUPLE DE LA PERFORMANCE

Des notions de performance et de pilotage telles que définies dans le chapitre 1 de ce travail, nous sommes en mesure d'affirmer que les systèmes de pilotage contemporains doivent, par l'utilisation d'un système de tableaux de bord composés d'indicateurs de forme tripartite,

- intégrer une performance multicritère ;
- prendre en compte les différents niveaux décisionnels de l'entreprise ;
- développer des actions couvrant le long terme jusqu'au temps réel ;
- améliorer le système piloté durablement ;
- piloter l'entreprise et ses relations.

L'examen de la structure, de l'organisation et du fonctionnement des divers systèmes de pilotage contemporains nous a permis d'établir une liste

- d'éléments incontournables devant occuper une place prépondérante dans un système de pilotage efficace ;
- d'éléments imprécis concernant la manière de réaliser certaines étapes essentielles du processus de pilotage ;
- de problèmes restant à résoudre mais essentiels dans le cadre du développement d'un système de pilotage de la performance.

A ces enseignements, imprécisions ou manquements, s'ajoutent également des remarques d'ordre général sur le cadre de pilotage à mettre en œuvre.

Éclairés par les points forts des systèmes de pilotage étudiés et soucieux de combler leurs carences, nous avons dressé les lignes directrices d'un nouveau système de pilotage qualifié de souple en raison principalement de sa capacité d'évaluation *a priori* des actions de pilotage.

5.1. COMMENT AMELIORER L'EFFICACITE ET L'EFFICIENCE DES APPROCHES ET SYSTEMES DE PILOTAGE ACTUELS ?

De l'analyse des systèmes de pilotage contemporains subsiste un ensemble d'interrogations qui résultent de l'absence de prise de position ferme au sein de la méthodologie ou de prise de conscience de l'intérêt à résoudre la question.

Les interrogations se résument, pour chaque angle de l'analyse comparative, comme suit :

1. CIBLER : Quelle méthode mettre en œuvre pour décliner l'objectif stratégique en objectifs élémentaires?

La traduction de la stratégie de l'entreprise en objectifs opérationnels adéquats est la clé de voûte d'un système de pilotage efficace. De cette déclinaison d'objectifs découlent les informations déterminantes pour l'amélioration de la performance du système : mesures de performances, mesures agrégées et variables d'action. La qualité de la déclinaison conditionne la qualité des actions d'amélioration ou de corrections prises par le décideur.

Dans le cadre du Pilotage souple, nous veillerons donc à proposer une méthodologie qui garantisse non seulement la cohérence entre la stratégie de l'entreprise et les objectifs opérationnels identifiés mais également que le projet d'avenir de l'entreprise soit véritablement partagé par ses différents acteurs. Toute action d'amélioration mise en œuvre par l'un d'entre eux doit avoir pour ultime objectif l'atteinte d'une cible unique : la stratégie de l'entreprise.

2. MESURER : Est-il pertinent d'exploiter une liste prédéfinie de mesures et d'indicateurs de performance?

Cette manière de procéder nous semble en décalage par rapport à notre perception de la déclinaison des objectifs. Nous pensons, en effet, que si la décomposition de l'objectif stratégique en objectifs tactiques est relativement similaire pour les entreprises présentant un même profil de taille, d'âge..., cela est beaucoup moins concevable pour les objectifs tactiques et les indicateurs associés. Bien que nous souhaitons concevoir un système de pilotage de la performance souple c'est-à-dire laissant aux décideurs la possibilité de l'adapter à leurs besoins, il y a peu de chances pour qu'une vision formatée de l'entreprise y trouve sa place. La question sera cependant étudiée.

3. EVALUER : Les avantages de la connaissance d'une performance agrégée ou d'une performance globale rivalisent-ils avec les inconvénients engendrés par l'agrégation?

L'agrégation de mesures ou d'indicateurs évalués sur base d'unités différentes impliquent systématiquement une perte de qualité de l'information véhiculée et de transparence pour le décideur. Le jeu en vaut-il la chandelle ? Une solution de compromis pourrait-elle être proposée

afin que le décideur dispose quand même d'une évaluation de sa performance globale ? C'est ce que tenterons de déterminer.

4. IMAGINER : Quelle méthode mettre en œuvre pour désagréger les objectifs en variables d'action et en actions ? Comment fixer les priorités d'action?

Indéniablement, l'identification des variables d'action et des actions de pilotage doit être le prolongement de la démarche de décomposition de la stratégie en objectifs opérationnels, l'action de pilotage étant l'interprétation la plus fine de la stratégie. La méthode de décomposition de la stratégie en objectifs opérationnels devra donc se poursuivre jusqu'à l'identification des actions de pilotage. La définition des priorités d'action clôturera la procédure.

5. DECIDER : Comment garantir au décideur qu'il applique sur le système piloté l'alternative de pilotage la plus prometteuse?

Le challenge le plus important à relever en termes de pilotage de la performance est de garantir au décideur, avec un certain niveau de confiance, que l'action qu'il choisit d'appliquer sur son système est la plus pertinente au regard de l'objectif poursuivi.

Afin de remplir au mieux cette fonction, le système de pilotage proposé doit être conçu de manière à évaluer virtuellement les actions de pilotage, c'est-à-dire avant toute application en entreprise. La résolution de ce problème est l'élément qui permettra au système de pilotage souple de devenir un véritable outil d'aide à la décision. Le recours à une réplique du système de production nous apparaît être une piste plus que prometteuse.

6. LIENS ENTRE IP : Le système de pilotage est-il conçu de manière à gérer les problèmes de cohérence spatiale et temporelle? Comment s'exprime-t-elle au sein du système d'indicateurs?

La problématique de la cohérence globale du système de pilotage doit être prise en considération dès la conception de celui-ci afin d'en assurer une meilleure gestion. Ce problème se résout par la mise en place de mécanismes choisis pour leur potentiel d'amélioration des cohérences spatiales et temporelles d'un système. Les principales difficultés résident donc dans la sélection des mécanismes adéquats et dans la garantie de leur adéquation.

7. VERIFICATION COHERENCE : La mise en place d'un mécanisme de vérification de la cohérence globale du système de pilotage est-elle nécessaire? Quelle forme ce mécanisme doit-il prendre?

Suffit-il de disposer de mécanismes garantissant la cohérence sans en vérifier l'efficacité ? La présence de boucles de rétroaction constitue-t-elle un moyen suffisant pour assurer la cohérence du système ? Est-il nécessaire de développer un véritable mécanisme de vérification de la cohérence ? sont autant de questions à aborder pour piloter efficacement la performance.

8. STRUCTURE ET INTERCONNEXIONS DES TB : Que doivent contenir les tableaux de bord? Comment doivent-ils s'organiser?

Bien qu'une partie de la réponse ait été fournie par l'état de l'art sur la performance et son pilotage, leur contenu et la gestion de leur connectivité est, dans la plupart des cas, passée sous silence. Ces éléments sont étroitement liés à l'organisation même du système de pilotage et aux réponses apportées aux questions précédemment posées.

9. REVISION : Comment gérer la phase de révision d'un système de pilotage? La boucle de réaction suffit-elle?

La phase de révision, dernière étape du processus de pilotage, est fondamentale pour en assurer l'efficacité à long terme. A quelle fréquence la révision doit-elle s'opérer ? doit-elle être programmée, occasionnelle ou continue ? Le mode de révision devra donc être précisé.

Ces différentes interrogations constituent donc des points de recherche privilégiés auxquels nous veillerons à apporter une réponse pertinente lors de la conception du système de pilotage souple de la performance et de son opérationnalisation.

L'analyse nous a également permis de prendre conscience d'éléments d'ordre général concernant directement la phase de conception du mécanisme de pilotage souple. La première concerne le champ d'application du système de pilotage.

Préalablement à l'implantation d'un système de pilotage de la performance, il est important qu'une définition claire du périmètre et de l'horizon de pilotage soit établie afin de piloter adéquatement le système visé. L'identification des acteurs concernés et des activités le composant est un élément à prendre en compte. Toutefois, rares sont les systèmes de pilotage qui délimitent avec précision leur périmètre de pilotage.

Afin de garantir son utilisation, le maniement d'un système de pilotage doit être rapide et aisé et sa mise à jour facilement réalisable par le pilote. Ces deux principes sont des conditions essentielles à l'usage régulier du système de pilotage pour qu'il soit en parfaite harmonie avec les aspirations et les besoins de l'entreprise et qu'il soit porteur de solutions adéquates. La complexité de mise en œuvre et de révision de certains systèmes de pilotage actuels, essentiellement en raison du mécanisme d'agrégation utilisé, constitue un frein à leur exploitation en milieu industriel.

L'obtention de l'adhésion et de la participation active du personnel concerné dans la conception, l'exploitation et la révision d'un système de pilotage est essentielle à son bon fonctionnement. Il est indispensable que chacun, direction et personnel, comprenne l'intérêt de toute décision de pilotage et s'approprie le changement qui en résulte. Il ne faut pas oublier que la réalisation des actions d'amélioration incombe au personnel directement concerné qui, en plus de l'exécution de leurs tâches habituelles, y consacrera du temps et de l'énergie pour obtenir les résultats qui se font parfois attendre.

A chaque décision de pilotage qu'il prend, le responsable d'un centre de décision engage des investissements en ressources matérielles, humaines et financières et met éventuellement en jeu l'image de son entreprise... Tout faux pas peut donc être lourd de conséquences ! Afin de limiter les risques encourus, le décideur est tenu de s'assurer de l'efficacité et de l'efficience de sa décision sur base de paramètres internes et externes du système étudié. Une validation de celle-ci, préalablement à sa mise en œuvre, semble être une solution porteuse mais rarement ou jamais envisagée dans les mécanismes de pilotage de la performance actuel...

Les dérives qui risquent de se produire lors du déploiement des objectifs stratégiques sur les autres niveaux décisionnels et lors de l'agrégation des mesures de performances en performance globale doivent être minimisées ou mieux éliminées afin de garantir l'exploitation d'un système en phase avec la réalité. Il est, en effet, évident que les actions opérationnelles, aussi précises soient-elles, ne garantissent pas l'exactitude d'actions tactiques, encore moins stratégiques [Ducq, 1999]. Les approximations et hypothèses très simplificatrices faites notamment par les modèles comptables, amplifient également cette imprécision [Berliner & Brimson, 1986], [Cooper & Kaplan, 1991], [Mévellec, 1991]. L'étude de différents systèmes de pilotage contemporains a montré que le déploiement et l'agrégation, procédés garants de la cohérence du système mais également sources potentielles de dérives, ne sont généralement que faiblement maîtrisés.

La gestion des interactions mutuelles unissant différents centres de décision d'un même processus ou de processus différents n'est pas intégrée dans les systèmes de pilotage proposés par la littérature à l'exception de quelques méthodes telles que GRAI, « Clivillé » et QMPMS qui s'y intéressent de manière plus ou moins forte. L'incidence de ces interactions n'est, cependant, pas négligeable. Elles sont susceptibles de modifier légèrement voire en profondeur les résultats attendus à l'issue des décisions de pilotage.

Le perfectionnement du pilotage passe également par la réduction des imprécisions introduites par les processus de conversion assurant la continuité de la chaîne d'évaluation des performances. Ces processus sont parfois discutables notamment lorsqu'ils ne sont pas basés sur des principes de la physique. L'indicateur de criticité, utilisé dans les approches AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) et RCM (*Reliability Centered Maintenance*), est un bon exemple d'imprécision d'indicateurs de performances tactiques (gravité et fréquence décrites en termes de « classes ») [Zwingelstein, 1996], [MSG, 2001]. Cette réfutabilité est d'autant plus grande que l'on aborde le niveau stratégique [Porter, 1986].

Maîtrisant les tenants et aboutissants du pilotage de la performance, nous sommes maintenant en mesure de décrire le système de pilotage idéal. Nous qualifions cette vision de *système de pilotage souple de la performance*.

5.2. LE PILOTAGE SOUPLE DE LA PERFORMANCE

L'objectif d'un système de pilotage souple de la performance est d'offrir aux entreprises de production une vision agrégée et cohérente de la performance de leur système productif et de leur permettre d'accroître continuellement ce niveau de performance. L'atteinte de cet objectif se fonde sur un système d'indicateurs en interaction, chaque indicateur étant le fruit de l'association (*Objectif, Mesure, Variables d'action*).

Le développement du pilotage souple consiste à mettre au point :

- un système de contrôle des écarts entre la performance réalisée et les objectifs fixés afin d'apprécier la performance réalisée ;
- un système d'amélioration continue dont l'objectif est de réduire ou éliminer les écarts constatés par la mise en œuvre d'actions correctrices ou amélioratrices ;
- un système d'aide à la décision facilitant l'identification de la ou des actions à appliquer prioritairement.

Le système de pilotage de la performance tel que nous l'avons conçu vise donc un pilotage technique, *a priori, réactif par anticipation* ou *a posteriori*, applicable essentiellement en phases d'exploitation et plus précisément en matière de gestion prévisionnelle (planification, programmation et ordonnancement).

Le pilotage souple se démarque principalement de la vision classique d'un système de pilotage en autorisant l'évaluation des actions de pilotage avant leur application sur le système physique. Pour ce faire, il est composé de deux boucles de pilotage : une boucle de décision et une boucle de pilotage virtuel.

5.2.1. LA BOUCLE DE DÉCISION

La première boucle, appelée *boucle de décision*, concerne le système réel de production.

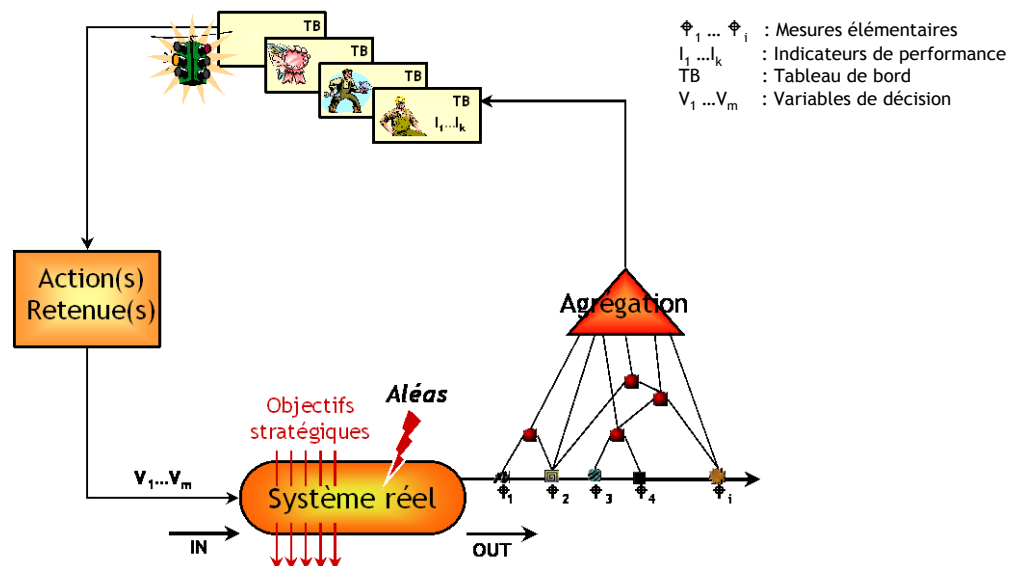


Figure 15: Vision classique d'un système de pilotage

Son rôle consiste à appliquer, sur le système réel, la ou les actions de pilotage retenues par le décideur afin d'éliminer ou au moins réduire l'écart constaté entre la performance réelle et la performance attendue du système. Elle illustre parfaitement la vision classique d'un système de pilotage (cf. Figure 15).

5.2.2. LA BOUCLE DE PILOTAGE VIRTUEL

La seconde boucle, appelée *boucle de pilotage virtuel*, utilise une représentation du système réel fournie par un modèle de comportement.

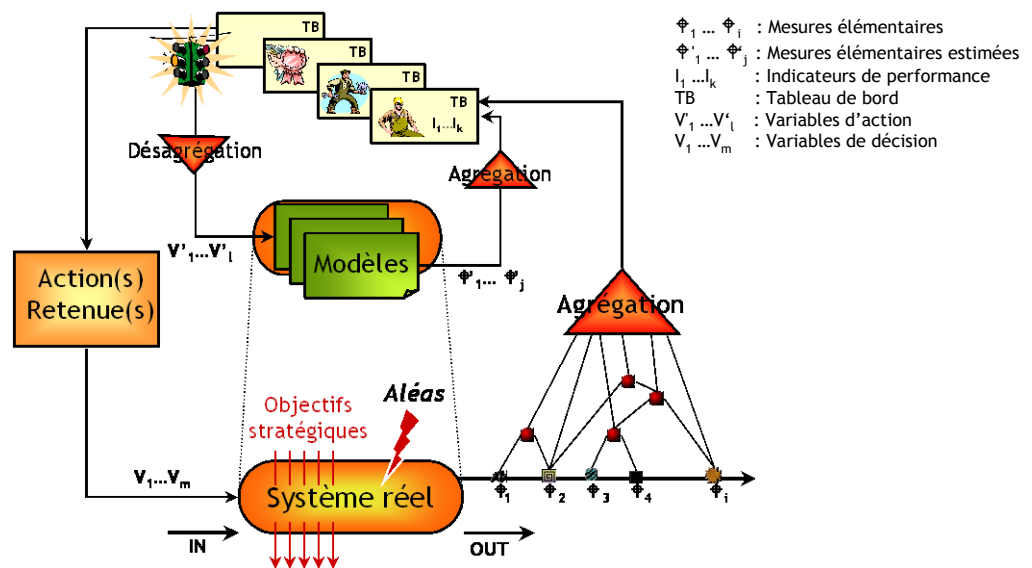


Figure 16: Système de pilotage souple de la performance

Le rôle de celle-ci est d'éprouver, préalablement à son application, toute action de pilotage de manière à en détecter les effets positifs sur le système ou au contraire, les effets pervers. Elle constitue également un banc d'essai pour comparer différentes actions de pilotage et déterminer celle qui sera la plus porteuse pour l'entreprise. L'une des originalités de notre approche réside dans l'hybridation de méthodes issues de différentes disciplines (analyse multicritère, optimisation, simulation...) et dans le développement de cette boucle de pilotage virtuel.

Notre système de pilotage souple de la performance est représenté sur la Figure 16. Nous constatons que le mécanisme classique de pilotage est enrichi par la boucle de pilotage virtuel.

La composante principale d'un système de pilotage de la performance est l'indicateur de performance. Celui-ci est utilisé pour évaluer le niveau de performance atteint par le système de production soit en vue d'un contrôle *a posteriori*, soit afin de maintenir un état de vigilance. Après une sélection minutieuse, les indicateurs impliqués dans le pilotage participent à la formation de tableaux de bord destinés aux responsables des différents centres décisionnels.

Le rôle de chaque tableau de bord est d'informer le décideur concerné de la performance réalisée et d'attirer son attention sur les dérives du système par l'activation d'alarmes. La mise en évidence des indicateurs traduisant des résultats insatisfaisants facilite l'identification des sources de dysfonctionnement.

L'indicateur de performance étant le fruit de l'association (*objectif, mesure, variable(s)*), la mise au point de celui-ci nécessite la prise en compte simultanée de ces trois éléments où le premier représente la valeur objectif cible c'est-à-dire l'état espéré, le second la mesure de performance effectivement obtenue c'est-à-dire l'état réel et le troisième définit la ou les variables d'action à activer pour améliorer le résultat obtenu.

L'objectif composant l'indicateur est le résultat du déploiement de la stratégie de l'entreprise sur ses différents processus et niveaux décisionnels. De cette étape, dépend la qualité de l'indicateur et par conséquent, du système de pilotage développé. Une attention particulière est donc portée sur l'identification et la sélection des objectifs à poursuivre et à la valeur cible associée à chacun d'eux.

A cet état espéré de l'indicateur est confronté son état réel. Ce dernier est évalué au moyen de la deuxième composante de l'indicateur : la mesure de performance. Cette mesure est élaborée sur base soit

d'une mesure directe collectée sur le système physique soit de l'agrégation de mesures élémentaires ou d'autres mesures préalablement agrégées. De cette manière, le système s'organise sous forme d'indicateurs de performance en interaction.

L'identification de la ou des variables constitutive(s) de l'indicateur est réalisée, pour l'objectif composant cet indicateur, par la construction de l'arbre de dépendance des variables. Le coût de ces variables en termes, notamment, d'efforts à fournir pour leur activation, de délai d'obtention de résultats,... est confronté à la qualité de leur réponse, aux effets de levier qu'elles sont susceptibles de déclencher ou au contraire, aux effets pervers qu'elles induisent. Les variables les plus coûteuses sont ensuite éliminées. Les variables déterminantes retenues jouent un rôle majeur en cas de performance insuffisante affichée par l'indicateur qu'elles composent.

L'activation d'un clignotant dans un tableau de bord permet au décideur concerné d'identifier l'indicateur incriminé et de démarrer la phase de désagrégation de ses variables d'action en actions d'amélioration. Ces actions sont ensuite évaluées au moyen des modèles d'actions et de résultats intégrés dans la boucle de pilotage virtuel. Ces modèles sont les outils mis à la disposition du décideur pour tester et comparer les actions avant leur application sur le système réel. Ils composent une bibliothèque de modèles et sont sollicités en fonction du type d'actions de pilotage à mener.

Les modèles d'action prennent différentes formes. Ils sont, par exemple, dédiés à la maintenance, à l'ordonnancement, à la planification... et interagissent entre eux. Parmi ces modèles d'action, se trouve le cœur de notre boucle de pilotage : le modèle de comportement adapté au système piloté.

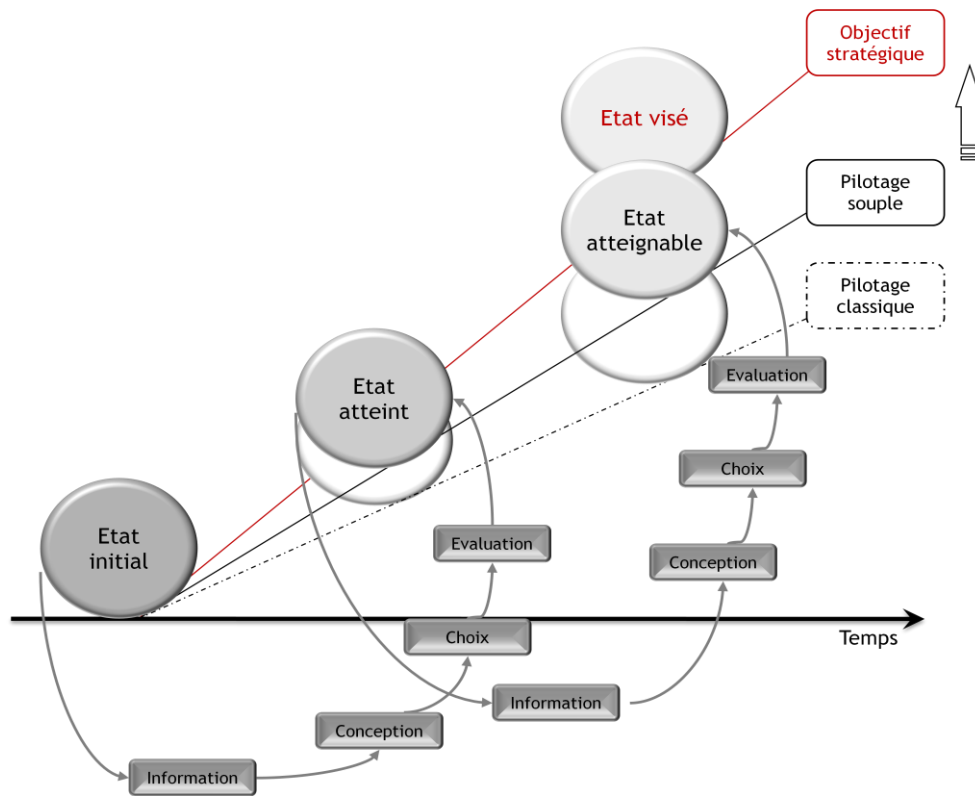
Dans le cas d'un système de production complexe, un modèle de simulation sera systématiquement sollicité lors de l'utilisation de la boucle de pilotage virtuel. Celui-ci est capable de reproduire précisément le fonctionnement du système de production. La simulation modélise, en effet, finement, les aspects dynamiques et stochastiques du système étudié.

Les modèles de résultats sont de deux types. Le premier est destiné à l'analyse statistique de solutions issues d'une optimisation à caractère stochastique. Le second modèle de résultats est un outil d'aide à la décision multicritère utilisé pour comparer et trier les actions testées en fonction des indicateurs de performance du tableau de bord et des préférences du décideur.

Dès que l'action ou les actions les plus prometteuses pour la performance globale du système ont été identifiées, elles sont appliquées au système réel de production *via* la boucle de décision et le mécanisme de pilotage est à nouveau relancé. Les mesures élémentaires, nécessaires à l'alimentation des tableaux de bord définis, sont collectées et la boucle de pilotage virtuel sera activée en cas de performance insuffisante.

Outre une garantie de résultats, la boucle de pilotage virtuel joue également un rôle pédagogique auprès du personnel concerné par les changements envisagés. Elle permet de visualiser les effets de l'action d'amélioration sur la performance globale de l'entreprise mais également d'en déduire les implications sur l'exécution des tâches qui lui sont confiées. Cet aspect des choses est loin d'être négligeable ! Rien n'est plus précieux que de comprendre pourquoi décider de modifier le déroulement des tâches, de visualiser les changements et surtout de palper les avantages qui en résultent. Cette boucle est, dans une certaine mesure, un soutien utile à la gestion des problèmes de résistance aux changements.

Dans ce bref descriptif du Pilotage souple, la boucle de pilotage virtuel est présentée dans sa forme la plus complexe. Celle-ci pourrait toutefois, lors de la mise en œuvre d'actions de pilotage beaucoup moins technique, prendre une forme plus simple où les tableaux de bord seraient alimentés, par exemple, par les prévisions des décideurs et non par une représentation optimisée du système réel. Nous sommes conscients que nous ne pouvons modéliser avec efficacité l'entreprise dans son intégralité et tout type d'entreprise, le champ d'application privilégié du pilotage souple devra être précisé.



La Figure 17 illustre le progrès attendu de l'exploitation d'un système de pilotage souple par rapport à celle d'un système classique en soulignant les quatre phases qui construisent un processus de décision. Réduire ou éliminer totalement l'écart constaté entre le niveau de performance atteint et le niveau espéré lorsque le pilotage est emprunt de souplesse, est donc la ligne directrice de cette recherche.

6. CONCLUSIONS DU CHAPITRE 2

Comprendre les tenants et aboutissants des notions de performance et de pilotage, les missions attendues du pilotage de la performance, les forces et faiblesses des systèmes de pilotage actuels, nous a permis de dresser les lignes directrices d'un système de pilotage plus à même de répondre aux besoins des décideurs : le *Pilotage souple*

Ce système de pilotage de la performance est un système d'aide à la décision destiné à guider l'entreprise vers l'atteinte de ses objectifs stratégiques. Il vise une amélioration continue de la performance globale de l'entreprise. Cette amélioration est engendrée par la réalisation de plan d'actions conduisant l'entreprise à progresser de manière continue voire radicale.

Sans remettre en cause la capacité du décideur à estimer les résultats et à anticiper les conséquences de ses actes de pilotage, l'utilisation d'un outil d'aide à la décision tel que le pilotage souple se révèle sur plusieurs aspects très appréciable.

Le pilotage souple réduit les risques de choix malheureux, offre une estimation du niveau de réussite dans un délai restreint. Outre ces avantages directement liés à la conception du système de pilotage, la vision emprunte de souplesse réduit l'énergie dépensée par le décideur à étudier les diverses actions probables sans véritable garantie de succès. Le temps économisé peut être consacré à d'autres tâches.

Le pilotage souple constitue également, dans une certaine mesure, un outil de gestion des résistances au changement que les différents acteurs impliqués dans le processus d'amélioration risquent de développer. Grâce à la possibilité d'évaluation *a priori* des actions de pilotage, les acteurs concernés par les modifications engendrées par les actions d'amélioration sont capables de visualiser les effets bénéfiques qu'elles produiront.

De plus, la facilité et la rapidité d'utilisation du mécanisme de pilotage souple de la performance enlève toute hésitation quant à son recours.

Conscients du potentiel offert par le système de Pilotage souple de la performance mais également des risques d'une modélisation à outrance de l'entreprise, le champ d'application du pilotage souple devra être précisé afin de déterminer les entreprises, les processus... pour lesquels ce système de pilotage de la performance sera le plus adapté et le plus profitable.

Afin de permettre le développement d'un système de pilotage, il est impératif que ses acteurs utilisent le même langage, accordent aux objectifs, aux mesures... la même signification. La modélisation du système piloté fait émerger l'ensemble des connaissances partagées par des acteurs possédant des objectifs, des compétences et des points de vue différents et les intègre afin de fournir à l'ensemble de ces acteurs une base sémantique unique [Sénéchal & Tahon, 1998] [Ducq, 2007]. La modélisation de la connaissance est donc la première démarche à accomplir lors de la mise en place d'un mécanisme de pilotage.

L'heure est venue d'opérationnaliser le pilotage souple et de décrire son cadre d'application...

CHAPITRE 3

PROPOSITION D'UNE

ARCHITECTURE DE PILOTAGE SOUPLE

DE LA PERFORMANCE

CHAPITRE 3

PROPOSITION D'UNE ARCHITECTURE DE PILOTAGE SOUPLE DE LA PERFORMANCE

La connaissance de l'état espéré, la maîtrise de la mesure de l'état atteint et la confrontation de ces deux éléments remplissent la première mission d'un système de pilotage : l'évaluation et l'appréciation de la performance. La qualité de cette évaluation dépend de celle des mesures qui la composent. Toute imprécision de la mesure a donc une incidence sur l'expression de performance et par conséquent, sur l'aptitude du système de pilotage à remplir sa seconde mission : l'amélioration de la performance.

Pour véritablement piloter l'entreprise, il est nécessaire, en plus de connaître l'état du système, de prendre les actions correctrices qui s'imposent en cas de performance insatisfaisante ou les actions amélioratrices lorsqu'un potentiel d'amélioration est détecté.

L'identification des actions de pilotage à mettre en œuvre repose sur la notion de variable d'action. Ces variables sont celles pour lesquelles des degrés de liberté subsistent et qui ont donc l'opportunité de faire évoluer la performance du système piloté vers l'objectif assigné. Elles constituent le troisième composant d'un indicateur de performance. L'identification de la ou des variables d'actions pertinentes associées à l'objectif poursuivi facilite ensuite l'élaboration du plan d'actions qui fixe les actions à mettre en œuvre, les moyens d'actions nécessaires pour y parvenir et les échéances à respecter.

Le système de pilotage de la performance est donc un mécanisme générique d'aide à la décision et d'amélioration continue de la performance dont le champ d'application est très vaste. Le recours à ce mécanisme souple est toutefois plus efficace lorsqu'il concerne des structures organisationnelles présentant certaines caractéristiques. Celles-ci sont précisées dans la première section de ce chapitre.

Le pilotage souple nécessite la mise en place et l'exploitation d'une architecture gérant un ensemble d'étapes préparatoires à l'accomplissement de l'acte de pilotage *via* la boucle de pilotage virtuel. Ces étapes sont la modélisation de la connaissance, l'analyse des besoins et exigences de l'entreprise et l'établissement des modèles d'action. L'organisation de l'architecture est décrite en section 2. Les différentes étapes de sa mise en œuvre en sections 3 à 9.

1. DEFINITION DU CADRE DE L'ETUDE

Le système de pilotage proposé repose sur une approche organisationnelle de la décision dans laquelle la rationalité du décideur est limitée, l'organisation est soumise à différentes contraintes et l'alternative de pilotage retenue est une solution satisfaisante mais pas nécessairement optimale [Monmaint & Penalva, 2003]. Notre choix s'est porté sur ce modèle d'organisation pour sa capacité à refléter la réalité d'un système de production. Il est, en effet, évident que les décideurs ne détiennent pas toute la connaissance et que le système, intégré dans son environnement, n'est pas totalement libre de ses actes. De plus, les décideurs disposent rarement de suffisamment de temps, d'informations et de moyens pour identifier l'action de pilotage optimale à appliquer.

Le système piloté auquel nous nous intéressons est un système du secteur secondaire dont l'objectif est la production de biens ou de services, présentant un certain niveau de systématisation des tâches et des durées opératoires mesurables. Il est nécessairement un système bouclé et donc intégrant un mécanisme de rétroaction. Il englobe toutes les activités qui assurent la transformation des produits et comprend les opérations de production, de gestion de la production, de conception, d'industrialisation, d'achats, d'expéditions... Le système de pilotage regroupe l'ensemble des moyens et flux qui élaborent les plans d'action en fonction des objectifs visés et le niveau de performance du système piloté... [Clivillé, 2004].

La littérature recense quatre principaux modes d'organisation de la production : organisations de type « série unitaire », en ateliers spécialisés, en lignes de production ou l'industrie de process [Giard, 2003]. Les systèmes de production visés par notre approche sont des processus organisés en ateliers spécialisés ou en lignes de production mais qui ne sont pas des productions de masse. La production de masse laisse peu de place à la flexibilité, permet une organisation de la production relativement stable et exige une standardisation des produits. La régularité et l'importance de la demande caractérisant les industries de *process* permet l'identification de problèmes stables, répétitifs et d'une complexité limitée [Giard, 2003]. Dans une organisation de type « série unitaire », l'exécution de tâches est peu répétitive, une grande autonomie est laissée aux opérateurs de l'entreprise et les équipements utilisés sont le plus souvent polyvalents.

Pour des raisons évidentes, le recours au système de pilotage souple tel que nous l'avons conçu ne s'applique pas à l'ensemble des modes organisationnels de la production. Les problèmes induits par chacun d'eux ne se résolvent pas de façon similaire et nécessitent de recourir à des outils et méthodologies adaptés.

De manière générale, pour que le système de pilotage souple puisse s'appliquer à un système de production et en améliorer la performance globale, le système de production doit afficher un certain nombre de caractéristiques.

En référence à la théorie de la contingence de H. Mintzberg [Mintzberg, 1986], la structure d'une organisation est influencée par cinq facteurs de contingence que sont l'âge, la taille de l'organisation, le système technique, l'environnement et les relations de pouvoir. Examinons l'incidence de chacun d'entre eux sur la possibilité d'application du système de pilotage souple.

Pour que le système de pilotage souple de la performance soit efficace, la structure de l'entreprise doit présenter une taille raisonnable et un certain niveau de complexité. Si elle est trop petite, un tel déploiement d'efforts n'est pas nécessaire. Des solutions beaucoup plus simples sont envisageables.

A l'inverse, plus une organisation est de grande taille, plus sa structure est élaborée, plus les tâches y sont spécialisées, les unités différenciées et la composante administrative développée. L'organisation des entreprises de grande taille est beaucoup trop formalisée pour tirer profit d'un système de pilotage souple. Il est indispensable que l'organisation dispose d'une certaine liberté d'action c'est-à-dire de leviers d'action pour que le système de pilotage puisse véritablement agir sur le système de production.

L'âge de l'organisation joue également un rôle dans la formalisation de son comportement et dans la structure de son activité. A mesure qu'une organisation vieillit, elle apprend à faire face à son environnement et à traiter les problèmes internes de communication et de coordination... et pérennise

ses acquis par l'élaboration de règles, de procédures... Comme nous l'avons précédemment souligné, une certaine liberté d'action est nécessaire.

Le troisième facteur de contingence est le système technique. Plus celui-ci est régulé, plus le travail opérationnel est formalisé, plus le centre opérationnel est bureaucratique et moins l'utilisation d'un système de pilotage souple de la performance se justifie, son efficacité n'étant dévoilée que lorsque la structure organisationnelle de l'organisation lui en laisse l'opportunité.

La structure organisationnelle de l'entreprise est fortement influencée par son environnement. La puissance de la pression qu'il exerce sur elle oblige l'entreprise à adopter de nouvelles formes organisationnelles adaptées aux changements qu'il impose et aux modifications internes qui en découlent. Ce processus d'adaptation conditionne la survie et la prospérité de l'entreprise [Thompson & Mac Ewen, 1969].

L'architecture du pilotage souple de la performance que nous détaillons dans ce chapitre s'adresse essentiellement à des organismes confrontés à un environnement dynamique. L'utilisation de ce mécanisme constitue, pour l'entreprise, un moyen simple mais efficace de satisfaire les exigences de son environnement sans déstabiliser son organisation interne. Le recours à un système de pilotage intégrant un modèle de comportement apparaît comme une évidence. Par l'exploitation de la boucle de pilotage virtuel, le processus d'adaptation est mieux maîtrisé grâce à la connaissance de l'incidence de chaque action d'adaptation sur l'organisation. La communication interne est également facilitée grâce à la perception, avec un certain niveau de confiance, des résultats escomptés et des implications pour chaque membre concerné du personnel.

L'entreprise confrontée à un environnement dynamique, quels que soient sa taille et son âge, adopte naturellement une structure plus organique que bureaucratique et dans ce cas de figure, élargit le champ d'application du pilotage souple.

En outre, l'incertitude qui entoure l'entreprise évoluant dans un environnement instable s'exprime, notamment, en termes de vitesse de changement de l'environnement, du degré de fiabilité des informations externes ou de la rapidité de la connaissance de l'impact sur l'entreprise des actions menées. Les niveaux de flexibilité et de réactivité qu'elles doivent développer pour y faire face soulignent également l'intérêt de recourir à un système de pilotage de la performance proactif.

La notion de pouvoir est enfin le dernier facteur de contingence influençant la structure organisationnelle de l'entreprise. Plus le contrôle externe exercé sur l'organisation est puissant, plus la structure de l'organisation est centralisée et formalisée. L'existence de forces de contrôle telles que les actionnaires ou le gouvernement pousse, en effet, l'organisation à être plus réfléchie quant au choix des actes qu'elle pose. Une évaluation *a priori* de ses actes constitue un moyen efficace de s'assurer de leur impact sur le système piloté. De plus, le principe de déploiement de l'objectif stratégique canalise les actions et décisions prises par les décideurs. L'identification des variables d'action associées aux objectifs identifiés repose sur le relevé des degrés de liberté de l'entreprise et des contraintes auxquelles elle est soumise. La notion de pouvoir ne constitue donc en rien un obstacle à l'utilisation du pilotage souple.

Actuellement, de plus en plus d'entreprises américaines et européennes, à l'instar des entreprises japonaises, tentent la transformation de leur organisation en organisation apprenante. Les capacités d'apprentissage organisationnel et individuel de ces entreprises sont renforcées afin qu'elles soient en mesure de découvrir et de corriger une défaillance par rapport à leurs normes de fonctionnement mais également de remettre en question la pertinence de celles-ci. Les principes inhérents à un apprentissage « en boucle double » [Morgan, 1996]

- prévoir, comprendre et analyser les données du milieu environnant ;
- exploiter les informations obtenues en fonction des normes et procédures internes ;
- mesurer et détecter les éventuelles variations entre ces informations et les normes internes ;
- prendre les mesures correctives en vue de s'adapter ;

sont en harmonie avec la logique de fonctionnement du système de Pilotage souple. Celui-ci constitue d'ailleurs un cadre propice à cette évolution organisationnelle, l'apprentissage se fondant sur l'action et sur le choix d'outils autorisant la réalisation d'essais et de vérifications [Morgan, 1996].

De cet apprentissage nous retenons que la réalisation des objectifs de l'entreprise doit être tempérée, afin d'éviter l'atteinte de la cible à n'importe quel prix, par la mise en place de balises définissant le cadre de l'action c'est-à-dire un espace de comportement acceptable dans lequel un individu peut agir, innover lui-même à son gré.

Si une stratégie claire, précise et mûrement réfléchie est incontestablement à l'origine d'un système de pilotage de la performance, notre recherche ne couvre pas son élaboration. Elle se focalise sur la mise en place, l'exploitation et la révision du système de pilotage. Nous faisons donc l'hypothèse de son existence et nous nous plaçons en simple utilisateur de celle-ci. Néanmoins, nous ne rejetons pas la possibilité de suggérer à l'organisation une remise en cause de sa stratégie si le pilotage montre ses limites.

Le système de pilotage souple vise un pilotage technique, *a priori* ou *réactif par anticipation* ou *a posteriori*, applicable essentiellement en phases d'exploitation et plus précisément en matière de gestion prévisionnelle (planification, programmation et ordonnancement). Le pilotage souple concentre donc son action sur le niveau décisionnel opérationnel et éventuellement tactique de l'entreprise.

La liaison vers le ou les niveaux supérieurs est cependant établie grâce à la conception même du Pilotage souple. Son déploiement englobe, en effet, tous les niveaux décisionnels et tous les processus de l'entreprise. Les différents composants de l'architecture y sont donc exploitables tels quels à l'exception de la boucle de pilotage virtuel. En effet, intuitivement, nous percevons que tout ne peut être modélisé dans l'entreprise et que le pilotage souple basé sur une reproduction du système piloté ne peut s'appliquer de façon efficiente à tous les niveaux décisionnels et tous les processus. Toutefois, le principe de la boucle de pilotage virtuel peut être conservé mais nécessite le recours à un autre mécanisme, éventuellement couplé à une représentation du système réel, pour l'évaluation *a priori* des actions de pilotage du niveau visé.

Prenons l'exemple d'une action de pilotage, issue du système de pilotage souple, visant à établir des plans de vente et de production à moyen terme qui soient en parfaite adéquation avec les capacités productives de l'entreprise, les objectifs de service et financiers qu'elle se fixe. La mise en œuvre de cette activité pourrait consister à implanter sur le système réel un outil S&OP - Sales & Operations Planning ou Plan Industriel et Commercial couplé une représentation du système de production afin d'éprouver le plan établi avec un niveau de confiance accru. Les similitudes organisationnelles existant entre le Pilotage souple et le processus faciliteront leur intégration.

Les problèmes de gestion des ressources humaines au sein d'une entreprise présentant le profil adéquat sont probablement les plus délicats à résoudre au moyen du système de pilotage souple sans toutefois les exclure. S'il est improbable d'apporter une réponse fiable à une action de pilotage visant à réduire le taux d'absentéisme du personnel, le pilotage souple peut être un appui de qualité dans la mise en œuvre d'actions de pilotage orientées personnel. Prenons l'exemple de l'augmentation de la polyvalence du personnel. Afin de répondre à un besoin de formation du personnel, le Pilotage souple peut se monter efficace à divers étapes de la mise en œuvre de l'action. Premièrement, la boucle de pilotage virtuel calibrera, en jouant sur le paramétrage du modèle de comportement, les besoins en formation en termes de nombre de personnes à former et de compétences à acquérir afin d'accroître le rapport coût-bénéfice engendré par la formation. La seconde intervention du Pilotage souple concernera l'élaboration du planning de formation et l'organisation de la production en l'absence du personnel.

Nonobstant, le Pilotage souple concerne essentiellement des systèmes de production dont les problèmes de gestion de personnel sont « secondaires » c'est-à-dire qu'ils n'occupent pas une place prépondérante dans l'organisation de la production et que les activités qu'ils exercent sont relativement formalisées. Une conclusion similaire peut être tirée pour les processus qui n'ont pas ou peu lien direct avec le processus de production.

2. OPERATIONNALISATION DU PILOTAGE SOUPLE DE LA PERFORMANCE

Notre réflexion sur le pilotage de la performance de systèmes de production a établi qu'un système de pilotage est un processus de prise de décision qui, pour être performant, doit être emprunt de souplesse. L'architecture du pilotage élaborée présente donc ses caractéristiques. Elle est illustrée sur la Figure 18.

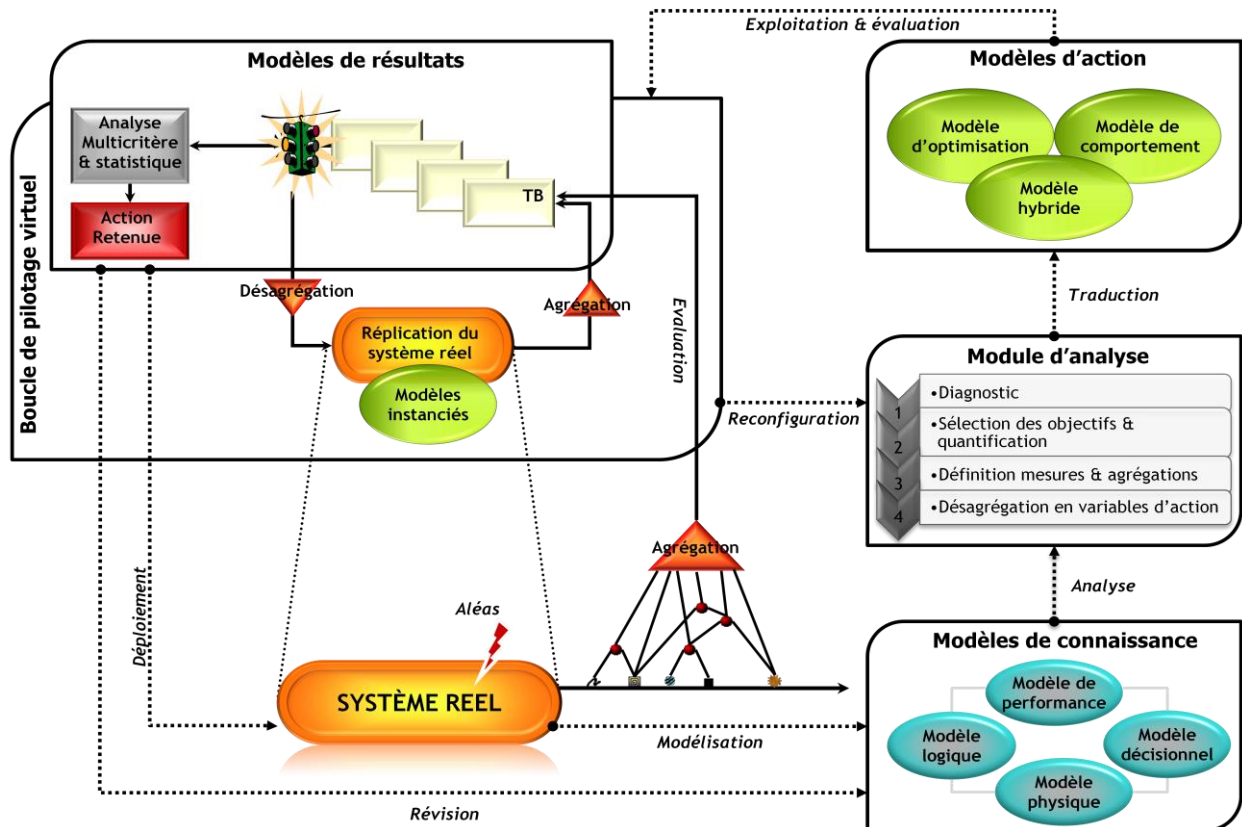


Figure 18: Architecture d'un système de pilotage souple de la performance

Notre système de pilotage souple est composé de cinq éléments distincts. L'élaboration de chacun de ces éléments repose sur l'élément qui le précède immédiatement, le point origine du mécanisme étant le système de production réel. Le rôle de chaque composant du système de pilotage est brièvement décrit ci-après :

- Les modèles de connaissance formalisent la connaissance du système à piloter c'est-à-dire l'ensemble des entités, processus et règles de gestion et d'évaluation du système ;
- Le module d'analyse définit avec précision le cadre de pilotage et identifie les indicateurs de performance clé du système de pilotage ;
- Les modèles d'action sont destinés à répliquer le système réel et à optimiser son fonctionnement grâce à l'utilisation de modèles comportementaux (modèles analytiques, modèles de simulation, réseaux de neurones...), de méthodes d'optimisation (modèles mathématiques, heuristiques, métaheuristiques...) ou d'un couplage des deux ;
- Les modèles de résultats établissent une évaluation de l'état du système et des actions de pilotage éprouvées en vue de l'amélioration continue du système ;
- La boucle de pilotage virtuel fournit, par l'exploitation des modèles d'action instanciés et des modèles de résultats, une estimation *a priori* de l'impact des actions de pilotage sur la performance globale et guide le décideur dans le choix de l'action à appliquer prioritairement sur le système réel.

L'architecture se calque sur la méthodologie de modélisation *Analyse, Spécification, Conception, Implémentation* – *ASCI* développée par M. Gourgand et P. Kellert [Gourgand & Kellert, 1991]. Les composants de la méthodologie ont été adaptés afin de répondre précisément à nos attentes.

Les éléments *modèles de connaissance*, *modèles d'action* et *modèles de résultats* sont issus de la méthodologie *ASCI*. Les éléments *module d'analyse* et *boucle de pilotage virtuel* sont des originalités de notre système de pilotage. Soulignons également que sous l'enveloppe *modèles de résultats* sont regroupés différents outils d'analyse des résultats indispensables dans le cadre d'une prise de décision intégrant plusieurs critères voire plusieurs points de vue. Le modèle de la méthodologie *ASCI* dédié à l'examen des résultats a donc subi de profondes modifications pour son intégration dans notre architecture. Le rôle joué par la méthodologie *ASCI* mérite que nous nous y attardions quelques instants.

L'approche de modélisation *ASCI* est une approche adressée à un large panel de systèmes de production complexes tels qu'un système de production de biens ou de services, une chaîne logistique, un système hospitalier... La démarche *ASCI* propose une démarche générique, indépendante du domaine étudié qui à l'aide de l'enchaînement des tâches *Analyse, Spécification, Conception, Implémentation* établit deux classes de modèles : le modèle de connaissance et les modèles d'action.

Le modèle de connaissance décrit la structure et le fonctionnement du système dans un langage naturel ou graphique. Il se compose de trois sous-systèmes : logique, physique et décisionnel. Sa construction est effectuée lors des étapes d'analyse et de spécification de la méthode *ASCI*.

Un modèle d'action traduit le modèle de connaissance dans un formalisme mathématique ou dans un langage de programmation permettant l'évaluation des critères de performance choisis. Il est constitué lors des étapes de conception et d'implémentation de la méthode. Plusieurs modèles d'action sont susceptibles d'être construits à partir du même modèle de connaissance [Mebrek & Tanguy, 2006].

La construction et l'utilisation consécutive de ces deux modèles constituent, selon la méthodologie *ASCI*, le processus de modélisation. Son opérationnalisation s'organise en cinq étapes.

- La compréhension du système et de ses acteurs ;
- La construction d'un modèle de connaissance ;
- L'élaboration d'un modèle d'action à partir du modèle de connaissance ;
- L'exploitation d'un modèle d'action donnant naissance au modèle de résultats ;
- Les modifications éventuelles sur le système suite à l'analyse des résultats et à la prise de décision.

Cette approche offre une réponse efficace aux différents besoins indissociables de la conception d'un système de pilotage et s'intègre parfaitement dans une logique de pilotage souple. Elle met l'accent sur l'enrichissement de la connaissance du système par l'analyse itérative des résultats afin d'appréhender de façon de plus en plus fine le comportement du système. La maîtrise du système et éventuellement l'anticipation qui peut en découler sont deux éléments substantiels d'un mécanisme de pilotage.

Le modèle de connaissance de la méthodologie *ASCI* repose sur une vision systémique de la décomposition d'un système industriel en trois sous systèmes [Le Moigne, 1992]. Cette organisation de la connaissance améliore indéniablement la conception, la compréhension et la modularité des modèles comportementaux [Mebrek & Tanguy, 2006], éléments-clés de la boucle de pilotage virtuel de notre système de pilotage. Toutefois, nous complétons cette vision tripartite par un quatrième sous-système dédié à la performance pour plus d'efficacité dans ce domaine.

La méthodologie *ASCI* suppose que les valeurs de l'entreprise et les indicateurs de performance soient préalablement identifiés et que la modélisation de la performance soit implicitement réalisée au cours de l'étape d'analyse et de compréhension du système. A l'instar des auteurs de la méthodologie *Purdue Enterprise Reference Architecture* - *PERA*, nous estimons que toutes les informations de performance nécessitent une attention spécifique, ce que nous proposons en constituant le modèle de performance.

Les modèles d'action traduisent le modèle de connaissance et les objectifs poursuivis par l'entreprise. Les modèles de résultats donnent des informations utiles à la prise de décision.

Les composants du mécanisme de pilotage souple sont organisés de manière systémique et sont sollicités, à une fréquence plus ou moins élevée, selon la phase d'évolution du pilotage. Les modèles de

connaissances sont, par exemple, principalement exploités en phase de conception ou de révision du système de pilotage tandis que les modèles de résultats le sont en phase d'exploitation.

Le passage d'un composant à l'autre s'effectue par la réalisation d'une activité de pilotage. Les activités sont schématisées sur la Figure 18 par une flèche pointillée reliant deux composants. Les composants *Boucle de pilotage virtuel* et *Modèles de résultats* font exception à cette règle étant donné que, lorsqu'ils sont tous deux sollicités par le système de pilotage, ils s'imbriquent l'un dans l'autre.

Une activité de pilotage s'effectue rarement en une seule itération. Des affinages successifs sont nécessaires pour obtenir un composant de qualité même si, à l'origine, un composant générique est exploité. La capitalisation des connaissances, quelle que soit l'activité de pilotage concernée, est donc une démarche inéluctable tant lors de la mise au point du modèle initial que dans les phases d'affinage. Par souci de clarté, les boucles de retour unissant les activités de pilotage de la phase préparatoire ne sont pas représentées sur le schéma illustrant le système de pilotage souple de la performance.

Dès qu'une activité de pilotage est réalisée, les informations nécessaires à la réalisation de l'activité suivante sont disponibles et celle-ci est déclenchée. Chaque activité et sa résultante sont décrites dans les sections suivantes de manière à offrir au lecteur une vision synthétique mais complète du système de pilotage souple développé.

3. ACTIVITE DE PILOTAGE 1 : MODELISATION DE LA CONNAISSANCE

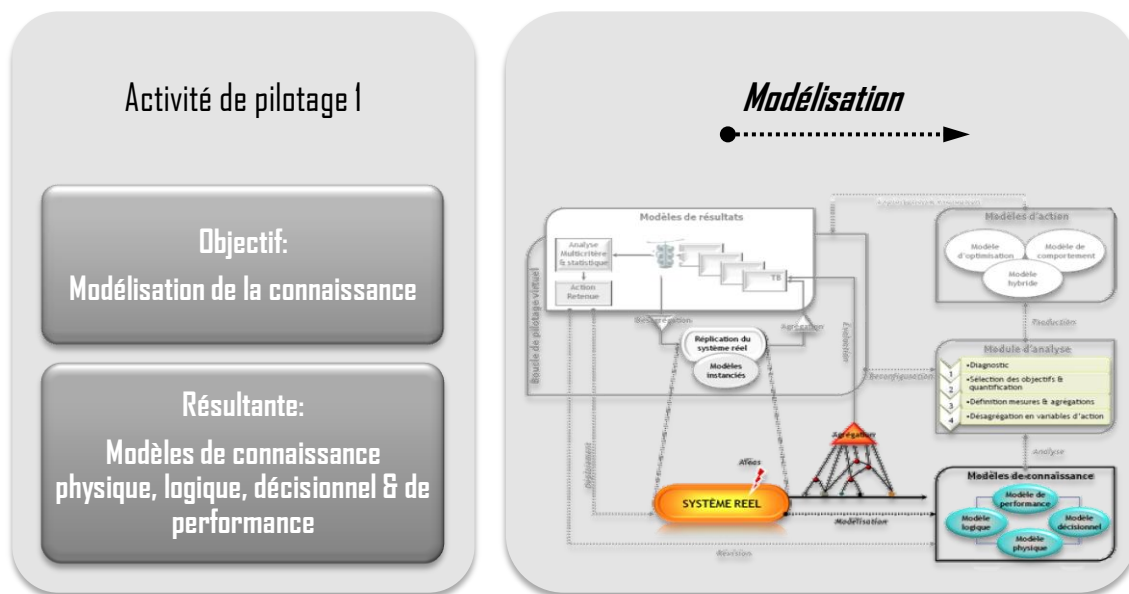


Figure 19: Activité de pilotage 1 « Modélisation »

Toute la connaissance nécessaire à la compréhension et à la description d'un système de production et de son pilotage est regroupée dans le composant « Modélisation de la connaissance » du système de pilotage souple (cf. Figure 19). Ce recueil d'informations résulte de l'observation du système et de ses spécifications. La collaboration du personnel directement concerné par la zone pilotée est indispensable afin d'obtenir toutes les données utiles en matière de pilotage.

La modélisation du système réel que nous avons adoptée, se décline selon quatre points de vue : physique, logique, décisionnel et évaluation de la performance. Chacun d'eux a donné naissance à un modèle du même nom présenté ci-après. Cette décomposition de la connaissance scinde le composant *Modèles de connaissance* en quatre sous-systèmes complémentaires, communicants et disjoints deux à deux [André & Roux, 2008]. Ces différents sous-systèmes sont ouverts et donc susceptibles d'être enrichis

au fil des utilisations du système de pilotage ou adaptés en raison de modifications de l'environnement impactant l'entreprise. Une fois développés, les modèles sont validés par les décideurs concernés.

L'exploitation de la modélisation de la connaissance donne ensuite naissance au module d'analyse et aux modèles d'action, résultant respectivement de la réalisation des activités de pilotage 2 et 3 du mécanisme proposé. Ces trois activités composent la phase préparatoire du pilotage souple de la performance.

3.1. OBJECTIF DE L'ACTIVITE 1 DE PILOTAGE « MODELISATION »

Le recensement de la connaissance de l'entreprise est un travail fastidieux qui nécessite la collaboration des responsables de centres de décision concernés par le système piloté. Ils sont, en effet, les seuls à détenir toutes les ficelles de leurs métiers et des systèmes qu'ils dirigent. Deux difficultés majeures sont rencontrées lors de la réalisation de la collecte des connaissances de l'entreprise.

La première est d'amener les décideurs à livrer toutes les données utiles au projet, y compris celles dont ils sous-estiment l'importance, qu'ils estiment superflues en raison de leur faible taux d'utilisation ou qu'ils rechignent à partager afin de conserver une singularité par rapport aux autres. En réalité, ces informations sont bien souvent d'une grande importance. Les connaissances tacites sont, en effet, au cœur du pilotage de l'entreprise, de la conduite du changement et de l'apprentissage individuel et collectif [Lesca, 2007]. Elles sont de natures très diverses, disséminées, souvent méconnues et difficiles à mobiliser. Réussir à les capturer et à les gérer est un avantage non trivial pour la direction de l'entreprise.

La seconde difficulté est de distinguer précisément les informations liées à l'organisation actuelle du système de production (son mode de fonctionnement, les ressources dédiées...) et les capacités réellement exploitables du système sans remettre en cause la sécurité du fonctionnement, la pérennité ... Procéder de la sorte consiste à discerner les habitudes de fonctionnement des contraintes incontournables auxquelles le système est soumis et à mettre en évidence les degrés de liberté dont dispose réellement le décideur.

L'acquisition de toute connaissance, tacites ou non, est facilitée par le recours à une démarche structurée, en s'appuyant sur les modèles de référence adaptés au milieu analysé et en favorisant la compréhension et la communication entre les personnes concernées. Les systèmes d'information et les technologies de l'information et de la communication apportent des outils et des solutions fragmentaires utiles pour formaliser, mémoriser, transférer et partager des connaissances explicites ou explicables [Lesca, 2007].

Le système piloté fixe le sujet de modélisation. Si celui-ci est une chaîne logistique, une entreprise, un service, une ligne de production, un ensemble de ressources critiques, la modélisation porte respectivement sur la chaîne logistique, l'entreprise, le service, la ligne de production, l'ensemble de ressources critiques.

Le contexte doit également être pris en compte. Si l'entreprise appartient à une chaîne logistique, elle doit être modélisée en tant qu'entreprise mais également en tant que maillon de la chaîne. Il est évident que les obligations émanant de la chaîne restreignent les degrés de liberté de l'entreprise et doivent indubitablement être connues pour en assurer un pilotage efficace et efficient.

3.2. RESULTANTE DE L'ACTIVITE DE PILOTAGE 1 : LES MODELES DE CONNAISSANCE

De l'activité de modélisation du système, il résulte que les informations concernant le système à modéliser sont collectées et traitées afin de fournir comme résultat final quatre modèles de connaissances approuvés et validés. Cette première activité s'effectue intégralement lors de l'élaboration d'un système de pilotage. En cours de fonctionnement, seules des mises à jour de taille beaucoup plus raisonnables, sauf cas exceptionnel, seront apportées, si nécessaire.

Les informations contenues dans les quatre modèles sont appelées *construct* de modélisation à l'instar de *Unified Enterprise Modelling Language - UEML* [UEML, 2001] [Vernadat, 2001]. Un *construct* correspond donc à un élément de modélisation structurel, décisionnel informationnel ou de performance.

Le *modèle ou sous-processus physique* rassemble les entités physiques qui composent le système de production piloté. Il permet de décrire la topologie des unités de production, de stockage..., les caractéristiques techniques des moyens de production ainsi que des liens physiques (moyens de transport) et logiques entre ces moyens [Gourgand *et al.*, 2003].

Le *modèle ou sous-processus logique* recense les informations échangées entre et au sein des entités physiques. Il comprend notamment les gammes et nomenclatures des produits que fabrique le système, des règles opératoires ou des cycles.

Le *modèle ou sous-processus décisionnel* regroupe les mécanismes de prise de décision qui agissent sur les systèmes physique et logique. Il spécifie donc les règles de fonctionnement du système de production et les algorithmes pour la conduite des entités de production.

A cette conception traditionnelle, une quatrième dimension consacrée à l'évaluation de la performance a été ajoutée. Le rôle de ce *modèle de performance* est de garantir, dès la phase de modélisation, que les indicateurs, utilisés lors de l'évaluation et du pilotage de la performance, reflètent les objectifs stratégiques de l'entreprise et offrent une vision globale et cohérente de sa performance. C'est dans ce modèle que la stratégie de l'entreprise est définie, qu'elle est déclinée en objectifs stratégiques, tactiques et opérationnels et que des mesures de performance et des variables d'action potentielles sont ensuite associées à chaque objectif.

Avant de procéder à la modélisation de la connaissance, il est indispensable de s'interroger sur les frontières du système à piloter. Quels en sont les bornes ? Quels éléments désignent les limites de la zone de pilotage ?

3.2.1. LE PÉRIMÈTRE DE PILOTAGE DU SYSTÈME DE PRODUCTION

La première étape de la mise en place d'un système de pilotage consiste donc à en délimiter le périmètre, notamment en termes d'objectifs stratégiques à atteindre ou de processus à suivre, de manière à focaliser les efforts consentis sur les activités critiques de l'entreprise. La littérature rapporte différentes manières de déterminer le périmètre de pilotage. Le ressenti du décideur, basé sur sa maîtrise du système de production, est également un précieux indice pour en déterminer les limites.

P. Kueng [Kueng, 2000] dans son approche *Process Performance Measurement System – PPMS*, préconise de considérer le système de production dans sa globalité. C'est une situation idéale dans le cadre d'un processus de pilotage de la performance globale mais qui s'avère très difficile à appliquer aux systèmes de production visés par cette étude. Le pilotage technique de la performance réclame, en effet, une modélisation assez fine de l'ensemble du système piloté mais la complexité inhérente aux systèmes visés ne l'autorise pas ou très difficilement. Le risque encouru est que le système de pilotage soit très peu réactif et évolutif et qu'en fin de compte, il passe à côté de son rôle.

D'autres auteurs ne prennent en compte que les processus stratégiques de l'entreprise [Lorino, 2001 b]. Ces processus sont sélectionnés pour leur impact significatif sur la réalisation de la stratégie de l'entreprise [Lorino, 2001 a]. La connaissance des objectifs stratégiques détermine les processus clé sur lesquels l'entreprise doit agir en priorité.

Une troisième possibilité repose sur une cartographie générique des processus de l'entreprise organisée en un ensemble de processus définis. Par exemple, le modèle SCOR [SCOR, 2008], destiné à l'évaluation de la performance d'une chaîne logistique, considère que celle-ci est caractérisée par cinq processus majeurs : planification, approvisionnement, production, livraison et retour des produits.

Conscients que la modélisation détaillée, intégrale et en une seule passe, d'un système de production complexe est une douce illusion, il nous semble préférable de restreindre le champ d'application du pilotage et, par conséquent, la modélisation aux zones les plus sensibles de l'organisation. Ce champ d'application sera, si nécessaire, étendu en fonction des besoins. Afin de garantir la prise en compte d'une performance globale et cohérente, un ensemble de dispositions établies dans le modèle de performance et centrées sur la stratégie de l'entreprise, devront être appliquées.

Afin de réduire la complexité inhérente aux systèmes de production visés, nous avons donc décidé d'opérer une sélection des processus stratégiques de l'entreprise. Celle-ci consiste à définir précisément, en collaboration avec la direction de l'entreprise, l'objectif stratégique à poursuivre. Pour ce faire, la cartographie des processus de l'organisation est dressée. Celle-ci contient les principaux processus de l'entreprise, précise les activités qui les composent et les liens qui les unissent. Elle a pour avantage de cerner toutes les composantes du système de production et de faciliter la représentation de sa performance globale. Son objectif, dans le cadre d'un système de pilotage à développer, est d'identifier les processus critiques concernés par l'objectif stratégique poursuivi par l'entreprise et donc à fixer ses limites d'action. Cette manière de procéder coïncide parfaitement avec le besoin de définir préalablement l'objectif de modélisation comme préconisé par la méthodologie ASCI sous-tendant notre système de pilotage.

Une première collecte des informations utiles à l'identification des principaux processus et activités de l'entreprise est donc réalisée. La combinaison de ces informations réparties dans les modèles de connaissance physique, logique, décisionnel et de performance permet d'établir la carte des processus de l'entreprise et de sélectionner les processus fortement impliqués dans la réalisation de l'objectif stratégique prioritaire. Dès que le périmètre de pilotage est défini, la modélisation de la connaissance s'intensifie sur cette zone d'action. Des informations d'une granularité plus fines sont collectées afin de maîtriser tous les rouages des processus concernés.

La frontière du système piloté étant définie, les limites de la modélisation le sont également. Sa couverture englobe donc les processus stratégiques sélectionnés à spécifier selon les quatre points de vue définis préalablement.

3.2.2. MODÈLE DE CONNAISSANCE PHYSIQUE

Le premier modèle, le sous-système physique décrit, de façon objective, la réalité physique du système afin de mieux le comprendre et l'analyser. Les différentes catégories de ressources impliquées dans le processus de production et l'ensemble des mesures physiques disponibles sur chacune d'elles sont donc recensées dans ce modèle.

Trois catégories de ressources sont décrites :

- Ressources humaines : en termes de nombre de personnes, de compétences, d'horaire... ;
- Ressources matérielles principales : postes de travail (nombre de postes, compétences, disponibilité, fiabilité, caractéristiques techniques...), matières premières (types de matières, qualité, quantité, prix, disponibilité...) ;
- Ressources auxiliaires : supports de stockage de produits semi-finis, bacs Kanban... (caractéristiques techniques, quantités disponibles, disponibilité, délai de restitution...). Ces ressources jouent un rôle important dans de nombreux systèmes de production et méritent d'être explicitées. Leur absence peut, par exemple, entraîner des blocages de production et leur nombre conditionner l'organisation de la production.

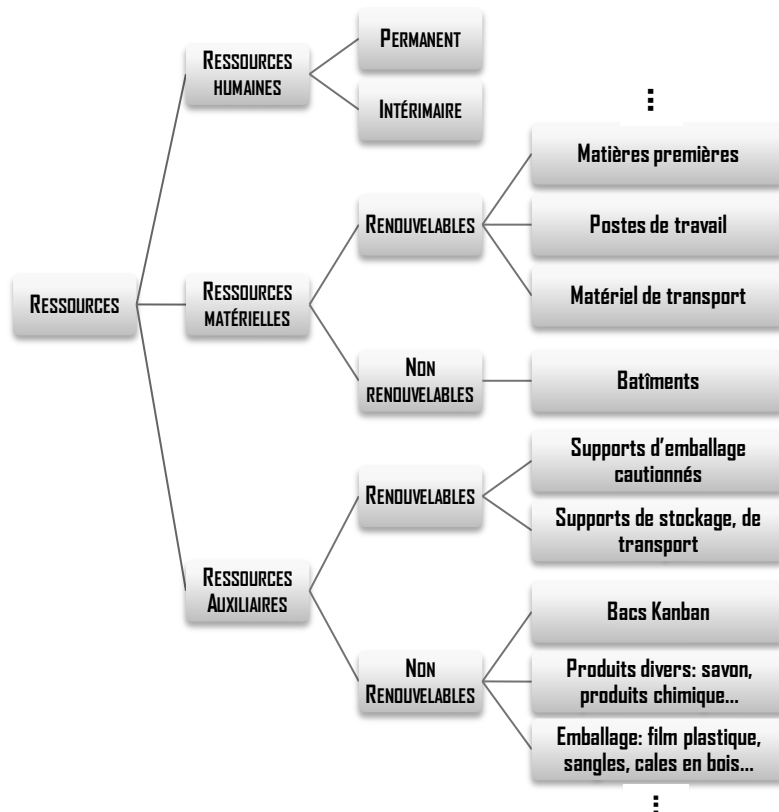


Figure 20: Différentes catégories de ressources

Ces catégories, non limitatives, sont éventuellement scindées en sous-catégories. Sur la Figure 20, est illustrée une scission de ces catégories en personnel permanent et intérimaire pour les ressources humaines et en ressources renouvelables et non renouvelables pour les ressources matérielles et auxiliaires. L'affinage de la répartition des ressources limite les omissions et favorise l'exhaustivité.

La collecte des informations se réalise par l'analyse de divers documents disponibles dans l'entreprise, par l'organisation de rencontres avec les décideurs ou opérateurs concernés par les informations recherchées. L'utilisation de fiches-types telles que les zooms sur les activités de production, présentées en Figure 21, soutiennent le modélisateur dans la réalisation de sa tâche.

Pour chaque opération du processus de production, le zoom sur opération présente une description de l'activité de production concernée et recense les informations utiles à la compréhension de son fonctionnement.

Ces informations concernent les postes de travail capables de réaliser l'opération, leurs limites physiques, les ressources matérielles, auxiliaires et humaines indispensables à leur fonctionnement, les besoins de maintenance, les temps de préparation et de fonctionnement de chaque poste.

Afin d'appréhender l'opération dans sa globalité, la disponibilité de l'opérateur pour la réalisation de tâches en temps masqué et les contraintes inhérentes à l'opération sont également déterminés.

Les mesures physiques exploitables font également partie de la collecte, leur utilité dans l'élaboration du modèle de connaissance dédié à la performance ne faisant aucun doute.

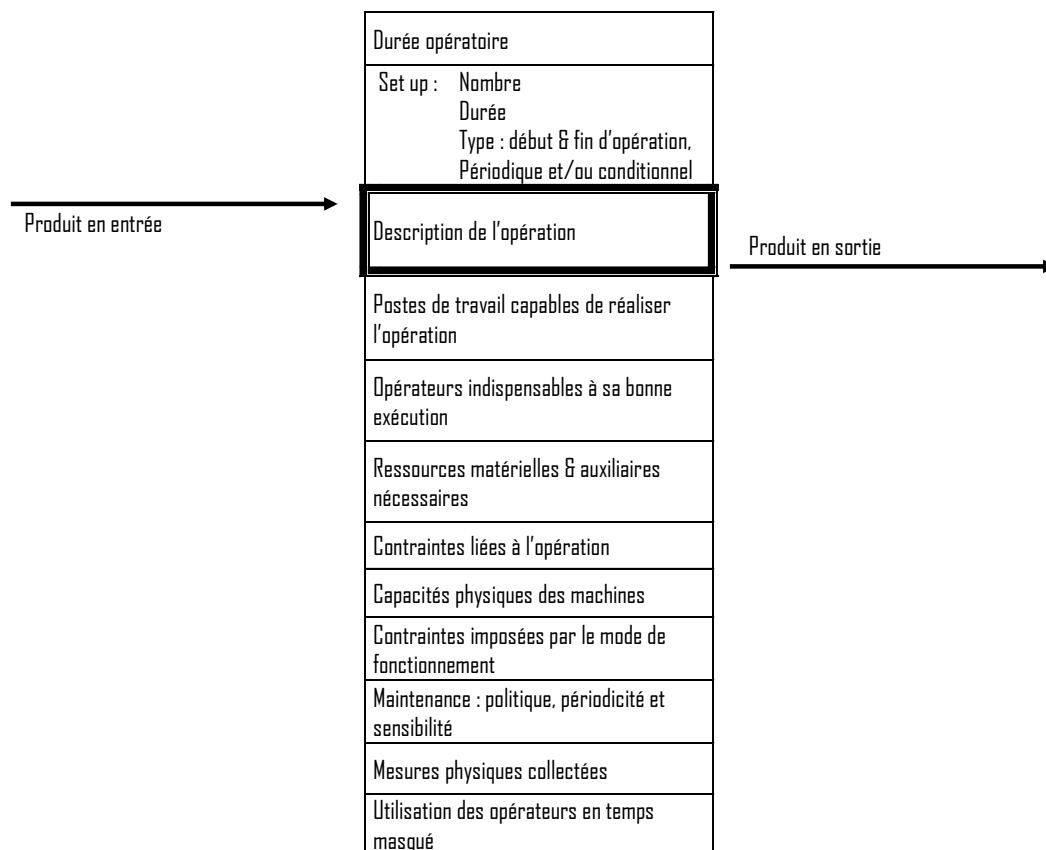


Figure 21: Zoom sur les opérations

Outre la description des composants du système de production, le modèle contient également les données relatives au catalogue de produits finis, aux clients, aux fournisseurs....

Les informations que le décideur ne maîtrise pas ou peu telles que les durées opératoires de certains postes de travail, diverses activités de maintenance... sont estimées ou font l'objet de campagne de mesures sur site.

Le modèle de connaissance physique est la pierre angulaire d'un système de pilotage technique. Cependant, ses *constructs* physiques ou éléments génériques de modélisation ne sont pas d'une grande utilité si leurs règles de gestion ne sont pas recueillies. Celles-ci composent le second modèle de connaissance présenté dans ce chapitre : le modèle logique.

3.2.3. MODÈLE DE CONNAISSANCE LOGIQUE

Le *modèle logique* recense les informations échangées entre et au sein des entités physiques afin de décrire l'aspect dynamique du système de production étudié. Il décrit les enchaînements logiques, les règles de fonctionnement adoptées, les cycles... Ce modèle gère donc l'organisation des différents types de ressources recensées dans le modèle physique. Il s'agit des gammes et nomenclatures du catalogue des produits proposés à la clientèle, les règles de planification et d'ordonnancement appliquées, les procédures à suivre en cas panne de machine...

Ce modèle collecte donc non seulement les informations échangées entre les entités d'un processus mais également entre les différents processus du système piloté. Ces dernières sont, par exemple, les liens de coordination évidents et incontestables qui unissent les processus de production et de maintenance. Le principal lien réside dans le fait que ces processus agissent sur les mêmes ressources (les équipements de production par exemple). La manière de procéder pour résoudre ce problème est répertoriée dans le modèle de connaissance logique. Deux exemples extrêmes sont l'application d'une politique opportuniste

de maintenance profitant de tout arrêt de production pour maintenir les postes de travail ou l'établissement d'un ordonnancement conjoint des activités de ces deux processus.

En règle générale, les informations sont représentées sous forme de schémas facilitant leur compréhension et leur exploitation. La représentation est réalisée dans un formalisme éprouvé tel que les logigrammes ou mis au point par l'entreprise. Son but est d'établir les différents flux de produits, d'informations... qui traversent le système de production. L'essentiel est que chaque schéma permette aux décideurs qui les consultent de détenir en un coup d'œil toute la connaissance logique du système modélisé. Nous préconisons, par exemple, d'associer à la gamme opératoire d'une famille de produits le routage des ressources auxiliaires impliquées dans sa production.

La gestion d'un système de production et de son pilotage de la performance impose qu'un ensemble de décisions anodines ou beaucoup plus complexes soient prises pour en assurer le fonctionnement. Le troisième modèle de connaissance à mettre en place réalise cette tâche.

3.2.4. MODÈLE DE CONNAISSANCE DÉCISIONNEL

Le *modèle décisionnel* regroupe tous les processus de prise de décisions qui régissent les *constructs* physiques logiques et de performance du système piloté. Il spécifie donc les règles à appliquer lors de toute prise de décision. Les règles de décision sont, généralement, exprimées sous une forme Si <condition> Alors <action(s)> ou pour les plus complexes, sous la forme d'arbres de décision.

Si nous reprenons l'exemple des liens de coordination existant entre les processus de production et de maintenance, la règle de décision consiste à déterminer selon les caractéristiques du système la stratégie d'ordonnancement à développer. Lorsque la stratégie est connue, la règle de décision en détermine les conditions de mise en œuvre. La politique opportuniste mettra à profit tout arrêt de la production (programmés ou non) pour réaliser les tâches de maintenance proactive, à condition, bien entendu, qu'un besoin de maintenance existe et que les ressources (humaines, matérielles...) nécessaires à leur réalisation soient disponibles. L'ordonnancement conjoint des activités de ces deux processus nécessite que l'exécution des tâches de maintenance soit planifiée en altérant le moins possible le plan de production et en respectant la périodicité de maintenance des équipements. Les interventions des services de production et de maintenance doivent donc être ordonnancées afin d'éviter tout chevauchement au cours de leur exécution.

Ce sous-système décisionnel est également appelé dans la méthodologie *ASCI* sous-système de gestion et de pilotage. Outre les règles de fonctionnement du système de production, il spécifie l'ensemble des algorithmes pour le pilotage des entités du système [Gourgand *et al.*, 2003].

Dans le cadre de notre mécanisme de pilotage, nous avons préféré regrouper l'ensemble des éléments relatifs à la performance dans un sous-système dédié aux valeurs véhiculées par l'entreprise et au pilotage de sa performance. Ce groupement d'informations de performance est un point de divergence avec la méthodologie *ASCI* qui préfère les diluer dans les sous-systèmes physique, logique et décisionnel. La section détaille le modèle de performance que nous avons mis au point.

3.2.5. MODÈLE DE CONNAISSANCE DE LA PERFORMANCE

Le modèle de performance n'apparaît habituellement pas dans les approches classiques de modélisation. Au sein de ces approches, les informations liées à l'évaluation de la performance et à son pilotage sont disséminées dans les modèles de connaissance physique, logique et décisionnel. Pourtant, le modèle de performance est d'une importance capitale. C'est, en effet, généralement, la nécessité d'améliorer ou de stabiliser la performance qui motive toute l'étude, de la modélisation aux applications.

L'intérêt de créer un modèle de performance est de garantir que la vision de la performance de l'entreprise soit globale, plurielle et pilotée, et qu'elle soit clairement établie dès la conception du système de pilotage et tout au long de son exploitation. En procédant de la sorte, les décideurs sont poussés à coucher sur le papier les éléments-clés du pilotage, à y réfléchir et s'interroger sur la meilleure manière de les atteindre. Les objectifs attribués à chaque décideur et à son équipe sont donc officialisés et chaque membre de l'organisation en prend facilement connaissance. La construction du modèle de performance

contribue donc à réduire le risque que chaque décideur pousse son équipe à améliorer sa performance propre et non à œuvrer à l'intérêt général de l'organisation. En l'absence de ce modèle, si chaque décideur fait indubitablement de son mieux pour atteindre l'objectif fixé par la direction, ses efforts risquent d'être réduits à néant par manque de concertation et de cohérence avec les autres décideurs. Au final, la situation résulte en un véritable désordre lourd de conséquences : perte de temps, d'énergie, d'argent et une situation difficile à redresser.

Inspirés par la modélisation de l'indicateur de performance proposée dans le chapitre 1 en section 2.2.1.1, le quatrième modèle de connaissance se compose de trois des facettes de modélisation identifiées. Celles-ci correspondent aux composants de l'indicateur de performance, à savoir l'objectif, les mesures de performance et les variables d'action. La quatrième facette le décrivant, *Appréciation/Interprétation* de la mesure de performance, interviendra, de manière naturelle, en phase d'évaluation de la performance instrumentée par les modèles de résultats mais également dans le module d'analyse de notre architecture de pilotage là où le contexte et la facilité d'interprétation de l'indicateur influencent le choix des mesures de performance.

3.2.5.1 Premier élément du triplet : les objectifs

La mise en place et l'utilisation d'un système de pilotage au sein d'une entreprise nécessite que ses objectifs stratégiques aient été préalablement identifiés. Ceux-ci sont, en effet, les référents non seulement en matière d'évaluation de la performance accomplie par l'entreprise mais ils orientent également la définition et la sélection des actions de correction ou d'amélioration à mener [Dhaevers *et al.*, 2007]. Ils constituent le point de départ de la réflexion et de la démarche de pilotage et *a fortiori* de la modélisation de la performance.

Les objectifs stratégiques de l'entreprise ne peuvent être directement utilisés à tous les niveaux décisionnels [Garvin, 1993]. Ils doivent préalablement être déployés sur l'ensemble de l'entreprise afin d'être opérationnels et engendrer une prise de décision efficace. La résultante de cette activité est la mise en exergue des objectifs élémentaires de pilotage attachés à chaque centre de décision. Ceux-ci constituent la première catégorie d'informations du modèle de performance. Leur identification est une tâche essentielle qui conditionne la qualité et le niveau de réussite du pilotage mais est très complexe à réaliser. La littérature est, cependant, peu explicite sur la manière de procéder. Passons en revue quelques propositions.

Résoudre cette problématique consiste, pour chaque objectif stratégique, à doter les centres de décision, impliqués dans sa réalisation, d'objectifs locaux cohérents avec la vision globale de l'entreprise.

Généralement, la déclinaison concerne les trois niveaux décisionnels de l'entreprise et est réalisée pour chaque processus du système piloté. Il existe différentes méthodologies susceptibles d'aider les gestionnaires à déployer de façon cohérente les objectifs stratégiques sur l'ensemble des processus de leur entreprise. Citons notamment le diagramme d'Ishikawa [Ishikawa, 1984] ou le diagramme de relations. Toutefois, le recours à ces outils d'analyses causales ne garantit en aucun cas que les actions de pilotage menées pour satisfaire les objectifs conduisent au résultat escompté mais elles constituent déjà un premier pas vers une approche globale de la performance.

Cette identification des objectifs élémentaires s'effectue de manière libre ou selon des critères de performance prédéfinis à l'instar de la méthode *Process Performance Measurement System - PPMS* qui définit 5 aspects génériques (Financier, Clients, Employés, Société et Innovation) [Kueng, 2000] ou la méthode *Balanced ScoreCard* qui privilégie quatre axes (Financier, Clients, Apprentissage organisationnel et Processus opérationnel) [Kaplan & Norton, 1992, 1998, 2004].

R. Kaplan et D. Norton soulignent dans leur ouvrage [Kaplan & Norton, 2004] la nécessité que les indicateurs formalisant la performance de l'entreprise ne soient pas simplement juxtaposés mais qu'ils soient intégrés dans une chaîne de relations causales reliant les résultats stratégiques attendus à leurs inducteurs [Guerra, 2007]. Ces auteurs qualifient cet ensemble de relations de cause à effet de *Strategy map* ou *Carte stratégique*. Ils en proposent un modèle générique adaptable à toute entreprise en fonction de ses propres objectifs stratégiques. A titre d'exemple, cette carte est illustrée sur la Figure 22.

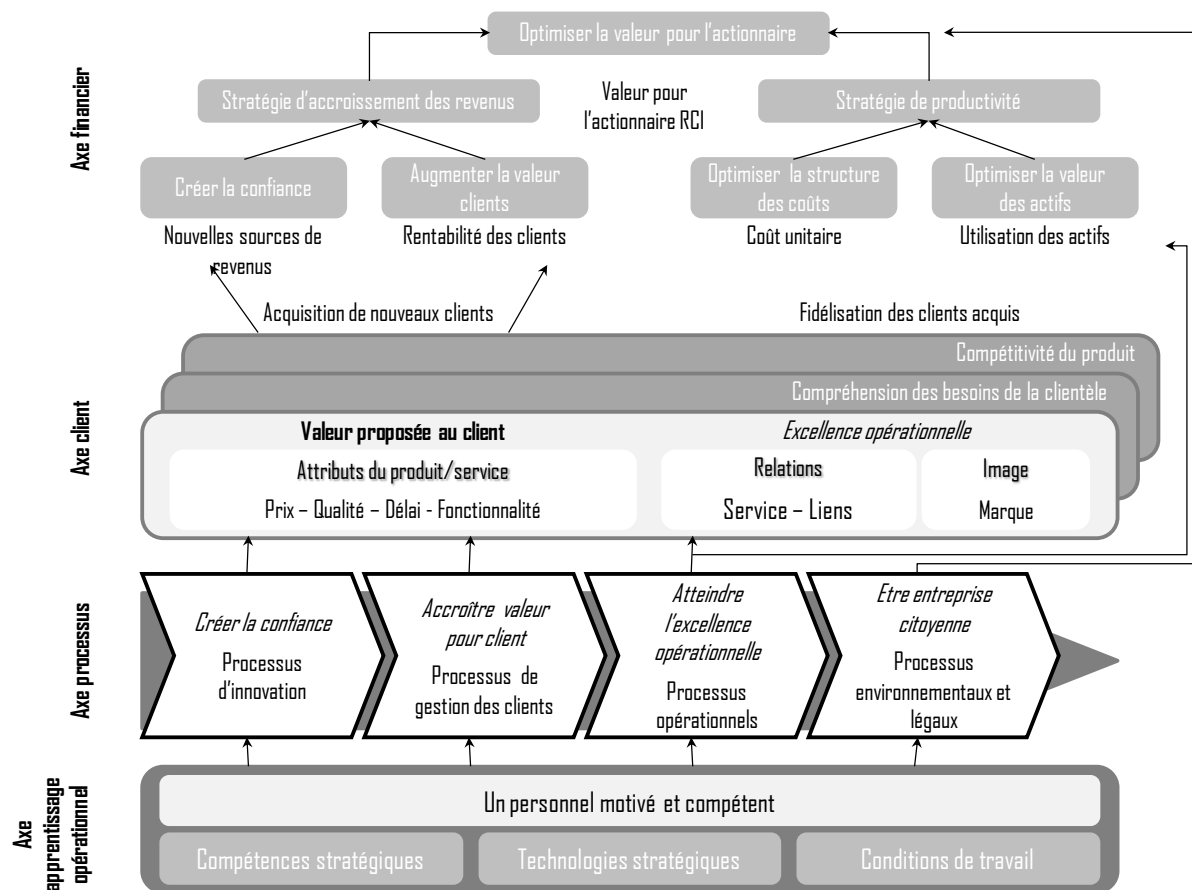


Figure 22: Une carte stratégique type [Guerra, 2007]

Déclinée selon les axes du *Balanced Scorecard*, cette carte stratégique, présente les différents « blocs » destinés à accueillir les indicateurs et le sens des chaînes causales afin de suivre les décisions stratégiques, l'allocation des ressources et la communication des progrès réalisés. Les indicateurs retenus par le décideur doivent donc faire partie d'une chaîne causale qui suit l'un des chemins de la carte stratégique. Les liens qui composent la carte sont de type « si...alors » [Guerra, 2007].

B. Grabot [Grabot, 1998] propose une structure générale d'objectifs opérationnels à adapter aux besoins spécifiques de l'entreprise. La Figure 23 met en évidence ses deux branches principales : l'une dédiée aux objectifs externes et plus précisément, aux relations entre le système et son environnement et l'autre aux objectifs internes afin d'améliorer le fonctionnement des ressources au sein du système. Ces derniers sont scindés à leur tour en objectifs locaux dédiés à l'amélioration des opérations et en objectifs globaux qui concernent le processus lui-même.

L'intérêt de ce déploiement d'objectifs stratégiques à travers l'entreprise est double. Il est non seulement le garant du partage des objectifs stratégiques par l'ensemble des parties prenantes de l'entreprise mais également de la cohérence globale du système de pilotage de la performance. Son inconvénient majeur est qu'il masque le rôle que jouent les ressources humaines et auxiliaires dans la satisfaction des objectifs de production.

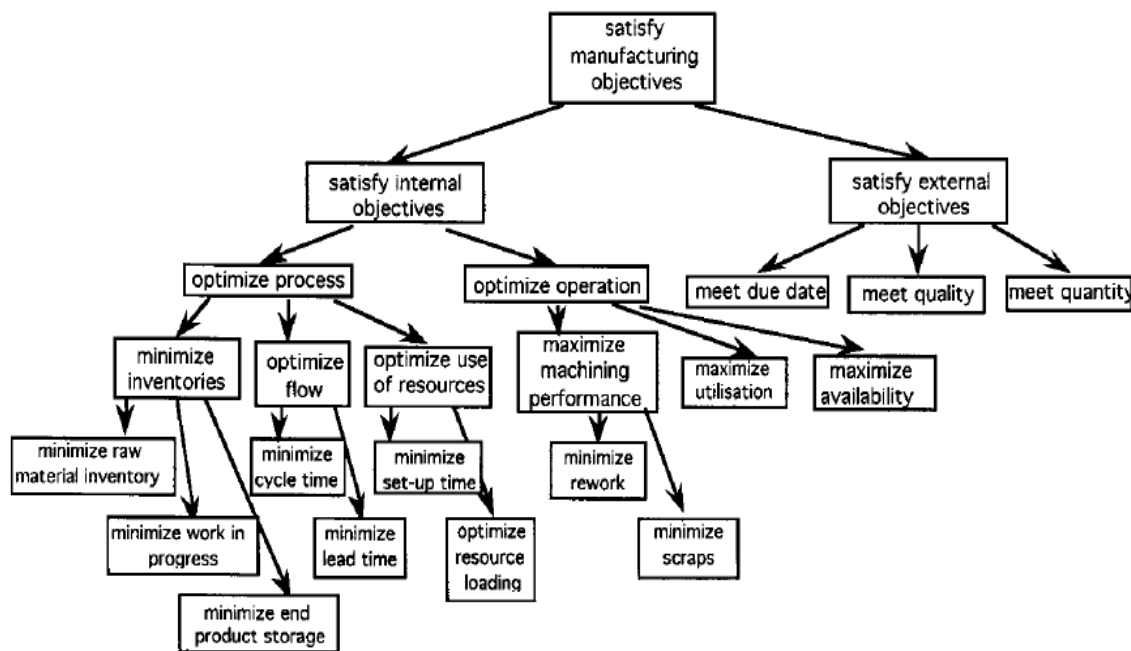


Figure 23: Structure d'objectifs de production [Grabot, 1998]

Les différents mécanismes de déploiement d'objectifs brièvement présentés constituent, pour le décideur, soit un capital dans lequel il puise la méthodologie correspondant le mieux aux exigences du système de pilotage qu'il gère, soit une source d'inspiration pour l'élaboration de son propre système de déclinaison d'objectifs. Le recours à un outil d'analyse causale s'impose, par exemple, lorsque le décideur souhaite une analyse approfondie d'une partie du système qu'il pilote. La vision de R. Kaplan et D. Norton est utilisée de façon privilégiée dans un contexte de pilotage de niveaux tactique ou stratégique.

Conscients des spécificités d'un système de pilotage de qualité et inspirés des méthodologies de décomposition d'objectifs relevées dans la littérature, nous proposons notre propre démarche de déploiement d'un objectif stratégique en actions d'amélioration organisée en deux phases successives : une phase de décomposition structurelle suivie d'une phase de décomposition causale. La démarche adoptée est synthétisée en Figure 24.

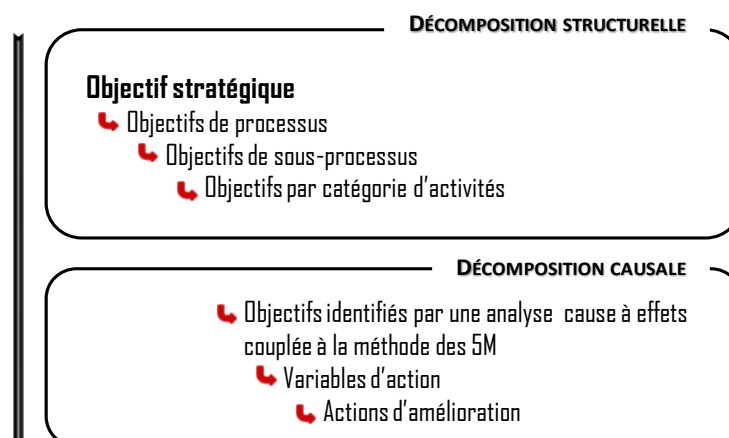


Figure 24: Méthodologie de décomposition de l'objectif stratégique

En raison de l'indisponibilité des informations nécessaires à leur élaboration, ces deux phases doivent être exécutées au sein de deux activités de pilotage distinctes : « Modélisation de la connaissance » et

« Analyse de l'existant ». L'intégralité de la méthodologie est, toutefois, présentée dans cette section, étant donné que l'objet de celle-ci, l'identification des objectifs élémentaires, concerne les deux niveaux de décomposition.

La première phase de la méthodologie consiste à identifier les objectifs élémentaires, c'est-à-dire les objectifs de niveau opérationnel composant l'objectif stratégique. La réalisation de ce découpage débute par une scission de l'objectif stratégique en objectifs propres aux processus identifiés dans le système piloté. Ces objectifs sont qualifiés d'objectifs de processus.

Dans une organisation par processus, les processus sont éventuellement organisés en sous-processus interconnectés. La décomposition structurelle reproduit également cette scission. Des objectifs qualifiés d'objectifs de sous-processus sont donc associés à chaque sous-processus identifié.

En calquant l'arbre des objectifs sur le découpage en processus du système de production, nous veillons à garantir une vision partagée de l'évolution de l'organisation par ses différents acteurs. Toute action d'amélioration mise en œuvre par l'un d'entre eux aura donc pour ultime objectif l'atteinte de cette cible unique.

En outre, le recensement des processus et sous-processus permet l'identification de la personne chargée, explicitement ou non, de leur gestion. Dans le système de pilotage, celle-ci est nommée responsable de centre de décision.

Les objectifs attachés aux processus et sous-processus impliqués dans le périmètre de pilotage sont, à cette étape, organisés sous la forme d'un arbre. Chaque branche résultant de la décomposition structurelle porte les objectifs attachés à un centre de décision majeur.

Lorsque cela s'avère utile, les différentes catégories d'activités recensées au sein de chaque processus ou sous-processus complètent la décomposition en arbre du système. Chaque catégorie d'activité est également susceptible d'être scindée en fonction des particularités des opérations qui la composent.

Grâce à la décomposition structurelle, l'arbre des objectifs de niveau décisionnel tactique est défini par l'association d'un objectif de progrès à chaque activité, sous-processus et processus répertoriés. L'aboutissement de cette démarche constitue la première phase de la déclinaison de l'objectif stratégique en objectifs élémentaires.

La seconde phase, la décomposition causale, concerne l'identification des objectifs de niveau de décision opérationnel, de leurs variables d'action et de leurs actions d'amélioration. Elle apporte donc, par l'identification de ses deux derniers éléments, une réponse au problème de la désagrégation qui sera abordé en section 4.2.4).

Afin de veiller à ce que les décideurs concernés par la construction de l'arbre s'impliquent et comprennent rapidement l'intérêt de la démarche, nous préconisons le recours à une méthode d'analyse causale simple et rapide. La procédure résulte de l'hybridation d'une démarche d'analyse cause à effets et de la méthode des « 5M » - *Matières, Main d'œuvre, Machines, Méthodes et Milieu*.

Les objectifs opérationnels de l'entreprise sont extraits des causes de premier niveau ou de second niveau proposées par l'analyse. Leur identification clôturée, à ce stade de la mise en place du système de pilotage, l'arbre des objectifs de l'entreprise. Les variables d'action sont également issues de ces causes.

Les actions potentielles, troisième élément issus de l'analyse cause à effets, ne pourront être identifiées qu'au cours de l'élaboration du module d'analyse, à la suite de l'analyse de l'existant et de la sélection des objectifs prioritaires par les décideurs.

Le croisement des objectifs nés de la décomposition structurelle et des causes inventoriées dans l'analyse causale a donc pour avantage de construire un arbre ou un graphe des objectifs soumis à des conditions de cohérences spatiale et temporelle et balayant l'ensemble des processus impliqués dans le système piloté de l'entreprise et leurs différents aspects.

Sur la Figure 9, nous mettons en évidence l'instanciation de l'arbre des objectifs résultant de la décomposition sur les différents niveaux décisionnels. Celle-ci est enrichie des séquences temporelles liées à chaque décision.

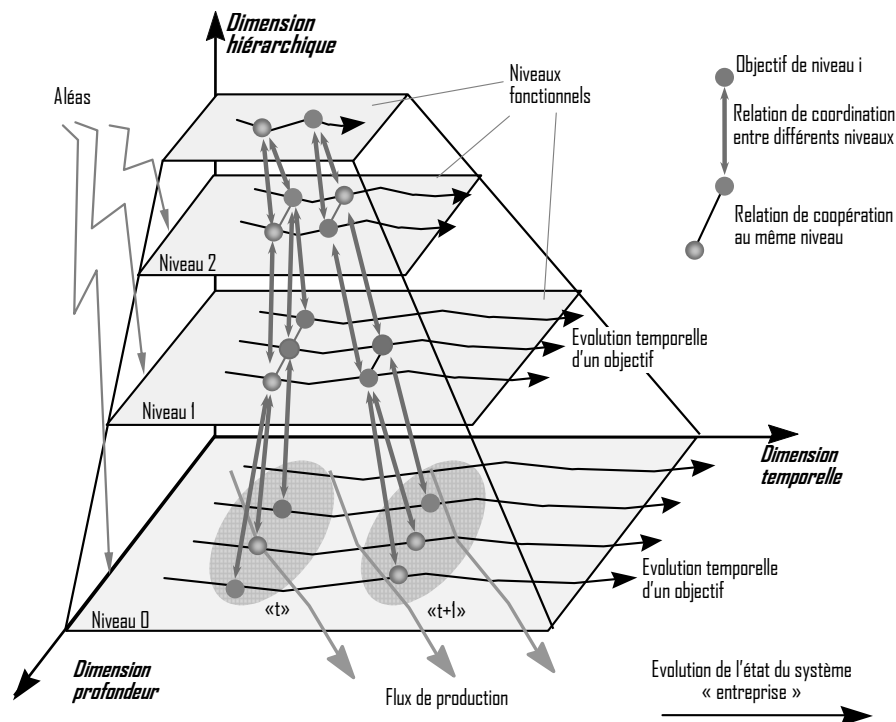


Figure 25: Evolution de l'arbre des objectifs d'une structure de pilotage coordonnée hiérarchisée intégrant les dimensions spatiale et temporelle, adaptée de [Berchet, 2000]

L'obtention de l'arbre des objectifs clôture la première phase de collecte et d'analyse d'informations de la modélisation de la performance. La seconde concerne les mesures de performance abordées dans la section suivante.

3.2.5.2 Deuxième élément du triplet : les mesures de performance

Dès que les objectifs sont arrêtés, il convient d'identifier les différents moyens dont dispose l'entreprise pour déterminer leur niveau de réalisation. Mesures de performance, mesures agrégées et modes de calcul sont donc des informations à collecter dans le cadre de la modélisation de la performance.

- Mesures de performance et mesures physiques

Une mesure de performance est établie selon trois modes d'élaboration [Berrah, 2002]. Dans le premier mode, elle est directement prélevée sur le système de production. Il s'agit généralement d'une mesure physique ou technique, issue d'un capteur par exemple. Dans le second, elle résulte d'opérations mathématiques simples réalisées sur des mesures physiques élémentaires exprimées en unités d'œuvre homogènes. Le troisième mode d'élaboration consiste en une « collecte » de données afin de mesurer, par exemple, la satisfaction de la clientèle renseignée à partir d'une enquête menée auprès de celle-ci.

La prise de mesure est effectuée de manière événementielle, fréquentielle ou continue. La fréquence de mesure est dépendante des processus considérés, des objectifs assignés et des possibilités d'améliorations [Berrah, 2002].

- Mesures de performance et mesures agrégées

L'identification de la mesure de performance soulève le problème de l'agrégation des performances. Celle-ci consiste à exprimer la performance, relativement à un objectif, par la combinaison de mesures physiques et/ou de mesures de performance de niveau inférieur. La performance ainsi obtenue est qualifiée de performance agrégée et autorise le passage d'un niveau de détail donné à un niveau plus synthétique.

L'opérateur d'agrégation le plus usité est la moyenne arithmétique pondérée. Celle-ci synthétise plusieurs mesures de performance en une seule. Pour ce faire, l'importance relative de chacun des composants de la performance agrégée est définie sur base de l'expertise du décideur. L'inconvénient majeur de cet opérateur est de négliger les interactions existant entre les mesures de performance à agréger.

Dans la littérature, nous avons relevé deux méthodes d'agrégation prenant en compte les effets de l'interaction mutuelle de mesures.

La première est utilisée dans le système de pilotage *Quantitative Model for Performance Measurement System - QMPMS* [Suwingnjo & Bititci, 2000]. L'opérateur d'agrégation est la moyenne arithmétique pondérée. La procédure d'agrégation se déroule en deux étapes. Il s'agit dans un premier temps de quantifier des liens à effet direct (liens de subordination) qui unissent un composant d'un niveau supérieur aux composants de niveau inférieur. Le poids accordé à chaque composant de niveau inférieur est explicité à l'aide de la méthode *Analytic Hierarchy Process - AHP* [Saaty, 1980]. Au cours de la seconde phase, les poids sont corrigés pour prendre en considération les liens à effet indirect (liens de coordination) qui apparaissent lorsqu'un composant d'un niveau donné est influencé par un autre composant d'un même niveau. La quantification est réalisée grâce à l'expertise de l'équipe dirigeante. Soulignons que cette procédure est proposée dans la méthode *QMPMS* pour définir les liens qui unissent les variables d'action, appelées facteurs par les auteurs.

La seconde méthode est proposée par V. Clivillé [Clivillé, 2004] [Clivillé *et al.*, 2007]. Elle repose sur l'hybridation de la méthode multicritère *Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique - MACBETH* [Bana e Costa & Vansnick, 1997] et de l'intégrale de Choquet 2-additive [Marichal, 1999] [Labreuche & Grabish, 2003].

L'opérateur d'agrégation utilisé est l'intégrale de Choquet 2-additive. Celui-ci se base sur la moyenne pondérée mais prend en compte, deux à deux, les interactions mutuelles qui sont susceptibles d'exister entre les indicateurs de performance. La pondération des expressions de performance et des coefficients d'interaction est établie sur base des intensités de préférence exprimées par le décideur lors de l'utilisation de la méthode *MACBETH*. L'auteur insiste sur le fait que l'agrégation des expressions de performance doit se faire conjointement à la décomposition des objectifs et à l'élaboration des expressions de performance.

L'intérêt de cette méthode est loin d'être négligeable mais celui-ci est, toutefois, compromis par le fait que le traitement de l'agrégation nécessite que les expressions de performance présentent un certain nombre de propriétés issues de la théorie du mesurage (commensurabilité, signifiante et échelle), ce qui rend l'évaluation de la performance beaucoup moins intuitive et beaucoup plus consommatrice de temps et d'énergie pour le décideur.

B. Grabot [Grabot, 1998] suggère une utilisation des réseaux de neurones pour agréger les mesures de performance. Contrairement aux précédentes méthodes, les pondérations ne sont pas figées *a priori* mais obtenues sur base d'un mécanisme d'apprentissage sur un ensemble de cas réels.

Le réseau de neurones est utilisé en phase d'agrégation des mesures de performance en calculant les poids à partir des mesures élémentaires d'une part et de la valeur d'une mesure agrégée d'autre part. Le réseau est « entraîné » à faire apparaître un clignotant dans le tableau de bord lorsque le seuil d'alerte d'une ou plusieurs mesures de performance est atteint. Lors de l'interrogation du système, le réseau se base sur les cas « mémorisés » si le cas s'est déjà présenté et, pour simplifier, « interpole » entre les occurrences connues si tel n'est pas le cas. Le mécanisme d'apprentissage peut être continu, c'est-à-dire que les nouveaux cas rencontrés viennent alimenter le réseau de neurones en permanence.

L'inconvénient majeur d'une telle méthode est que le décideur perd son pouvoir de gestion sur le système qui devient de plus en plus opaque au fil des utilisations. Le réseau de neurones ne laisse, en effet, rien transparaître. Il se comporte en véritable boîte noire, ce qui n'aide guère le décideur à comprendre la décision suggérée par le réseau !

En conclusion, l'utilisation d'un outil trop complexe rend l'analyse des indicateurs agrégés très difficile. De la même manière, si les résultats ne sont pas agrégés, le décideur éprouve des difficultés à faire la synthèse de l'ensemble des informations dont il dispose [Bonnefous, 2001].

Conscients de l'intérêt d'offrir au décideur une évaluation globale de sa performance, il nous semble, cependant, nécessaire de favoriser l'emploi de méthodes simples même si, tout en conservant l'essentiel des informations, elles en omettent une partie. En agissant différemment, le risque d'appliquer mécaniquement des règles de décisions et de ne plus percevoir la réelle signification des indicateurs qui la composent est loin d'être négligeable [Bonnefous, 2001].

Nous estimons qu'il est préférable de préserver les indicateurs de performance dans leur forme originale afin qu'ils gardent toute leur signification aux yeux du décideur. Sans renier leur intérêt scientifique, les méthodes d'agrégation présentées précédemment, du moins les deux premières, nécessitent d'exprimer dans une même grandeur les indicateurs constituant la performance globale. Cela nous paraît être un sérieux handicap pour le décideur surtout dans les premiers temps de l'utilisation du système de pilotage. Cependant, avec la maîtrise de son système de pilotage, le décideur pourra faire évoluer le mécanisme d'évaluation de la performance et y intégrer un outil d'agrégation plus sophistiqué. Les désagréments de l'outil restent, bien évidemment, de mise et le choix délicat !

Dans le système de pilotage souple, nous contournons le problème de l'agrégation d'indicateurs et d'expression de performance globale par le recours à la méthode d'aide à la décision multicritère *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations II*, *Prométhée II* [Brans *et al.*, 1986], [Brans & Mareschal, 1994 ; 2002], [Pomerol & Barba-Romero, 2000] utilisée par les modèles de résultats de l'architecture (section 6.2.3). Elle est une méthode d'agrégation partielle qui compare, paire par paire, les actions testées tout en prenant en compte les préférences du décideur. Elle appartient à la famille des méthodes de surclassement définie par B. Roy [Colette & Siarry, 2002].

Prométhée II nécessite de la part du décideur des informations sur chaque critère de décision : sa fonction de préférence, l'objectif (minimiser/maximiser) et son poids. La fonction de préférence est choisie parmi six possibilités : critère usuel ou vrai-critère, quasi-critère ou forme en U, critère à préférence linéaire ou forme en V, critère à niveaux, critère à préférence linéaire et zone d'indifférence et critère gaussien. Pour chaque critère, selon la fonction de préférence définie, des nuances sont introduites par le décideur par le biais de seuils d'indifférence (q) et/ou de préférence (p).

Dans le cadre d'une utilisation normale de la méthode, d'une comparaison critère par critère de deux solutions a et b , résulte un indice de préférence mesurant l'intensité de la préférence de la solution a sur la solution b . Le processus est répété pour toutes les paires de solutions. Cette valeur, le flux net ϕ de la solution, est utilisée pour déterminer un classement des solutions selon les préférences du décideur. Évidemment, le classement des solutions est influencé par les valeurs des différents paramètres assignés aux critères [Brans & Mareschal, 2002]. Toutefois, *Prométhée II* est robuste face aux valeurs des poids des critères à condition que ceux-ci se trouvent dans l'intervalle de stabilité [Mareschal, 1988].

Cette méthode classe donc toutes les actions et, par conséquent, ne laisse aucune indifférence entre les solutions comparées à condition que la valeur de leur flux net ϕ ne soit pas identique. Dans ce cas particulier, les solutions sont classées arbitrairement par la méthode *Prométhée II*. La prise de décision est facilitée par cette approche fournissant un pré-ordre complet. Néanmoins, plus l'écart entre les valeurs de flux net associées à deux solutions est important, plus le classement est significatif.

Bien que, comme nous venons de le décrire, la méthode soit une méthode de classement de décisions et non d'agrégation de mesures, nous l'exploitons dans ce but afin que le décideur soit en mesure de porter un jugement sur le progrès que devrait accomplir le système, en termes de performance globale. La méthode conserve l'unité de mesure de chaque indicateur impliqué dans l'agrégation mais procure une expression de performance globale relative, la valeur de ϕ .

Par son exploitation, le décideur conserve donc une maîtrise et une compréhension totale des indicateurs qu'il analyse tout en étant conscient que la méthode ne peut lui procurer qu'une évaluation de la performance globale en termes d'amélioration ou de régression par rapport à la situation antérieure.

Il ne nous semble pas indispensable qu'il soit fourni au décideur une valeur représentative de sa performance globale mais que l'expression d'un changement suffit. De plus, comme nous le préciserons ultérieurement, cette procédure a pour principal objectif de comparer plusieurs situations sur base de critères identiques. La mise en balance de différentes actions de pilotage par cette méthode présente de nombreuses prérogatives.

Cette méthode d'aide à la décision peut également être exploitée par un décideur afin d'intégrer dans sa prise de décision le point de vue de plusieurs décideurs subalternes sur la priorité à accorder à un ensemble déterminé d'actions de pilotage. L'agrégation d'informations se base, dans ce cas, sur une remontée du classement proposé par chaque décideur concerné. Les critères d'évaluation sont indépendamment choisis par chaque décideur.

Cette situation se produit, par exemple, lorsque le directeur de production sélectionne l'action de pilotage à mettre en œuvre en intégrant dans l'évaluation de chaque action envisagée le niveau de priorité qui lui est accordé par les responsables de production, de maintenance et de qualité.

Lors de l'établissement du classement final, les critères supplémentaires adjoints par le décideur de niveau hiérarchique supérieur prennent, pour permettre la comparaison des actions, la forme d'un vecteur de données dont chaque élément est la valeur obtenue par une action pour ce critère. En procédant de la sorte, le classement établi reflète, selon l'importance qui leurs est accordée, les critères chers au décideur final et les différentes perceptions de la situation.

Les objectifs définis et leurs mesures potentielles recensées, il reste, afin de piloter la performance, à établir comment améliorer l'organisation du système de production afin de poursuivre notre quête d'efficacité et d'efficience.

3.2.5.3 Troisième élément du triplet : les variables d'action

La génération des variables d'action liées à l'objectif visé est une tâche difficile qui peut se révéler lourde de conséquences, si elle n'est pas correctement réalisée. En effet, les actions de pilotage à mettre en œuvre en cas de performance globale insuffisante sont induites par les variables d'action associées aux différents objectifs de l'entreprise. Si le panel d'alternatives est incomplet ou peu pertinent, le manager risque de choisir une variable d'action, dans laquelle il va investir des ressources matérielles, humaines et financières, sans garantie d'efficience de son choix.

L'arbre de dépendance des variables d'actions associées à chaque objectif identifié se construit à partir du savoir-faire du décideur et de l'expertise du domaine.

Comme dans l'étape du déploiement des objectifs stratégiques, la littérature du domaine propose de recourir à des outils d'analyse causale tels que les diagrammes d'Ishikawa, d'influence, Why/why.... (cf. Tableau 5).

Ceux-ci constituent une aide précieuse lors de l'étude de la cause et des effets d'une situation et lors de la génération d'un modèle de variables d'action. Ils facilitent, en effet, la mise en évidence des variables d'actions les plus pertinentes, la détection des liens qui les unissent et l'analyse de ces liens [Dhaevers *et al.*, 2006 a, 2007].

Toutefois, les modèles de variables d'action fournis par ces outils sont souvent trop complexes pour conduire à une identification aisée et rapide des actions de pilotage à mettre en œuvre (*cognitive mapping* par exemple) ou à l'inverse, trop centrés sur des problèmes spécifiques et par conséquent, globalement trop simples (diagramme d'Ishikawa, encore appelé *Fishbone*, par exemple).

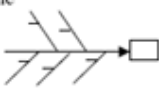
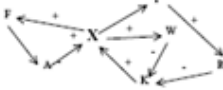
Mapping Techniques	Characteristics	Strengths	Weaknesses	Useful software
Fishbone 	Identifies root cause of a problem by breaking it down into its components	Detail analysis on specific narrow problems	- Narrowly focused - Difficult to analyze if the diagram becomes too complex	SmartDraw
Why/Why 	Generates a hierarchy of causes and subcauses by continually asking the question "Why?"	Simple to apply, even verbally	Tends to build a complex hierarchy because there is no boundary for asking the question "Why"	Autocad; Microsoft Office
Influence Diagram 	Represents all causal relationships of a phenomenon in a manner that is nonambiguous and probabilistic	Quantitative analysis can be performed on the developed model	May not be suitable to analyze complex problems that involve relationships that are qualitative in nature	Analytica
Mindmapping 	Images and keywords are used as an aid to memory and making intuitive associations	Personalized diagrams are easy to recall and associate	Mainly for education purposes	InfoMap
Cognitive Mapping 	Uses statements to build complex networks for a problem. Allows multiple foci.	- Easy to apply - Could build a network from any focus	- Could result in a very complex model - No structured approach for constructing a network	Decision Explorer

Tableau 5: Différentes méthodes d'analyse causale proposée dans la littérature [Tan & Platts, 2003]

Les auteurs du système de pilotage *QQPMS*, P. Suwingnjo et U.S. Bititci, utilisent une *Cognitive map* pour déterminer les facteurs susceptibles d'influer la performance du système étudié [Suwingnjo & Bititci, 2000]. L'avantage de cette représentation est de mettre en évidence les différentes relations (subordination, coordination et self-relation) qui unissent les variables d'action et d'évaluer l'impact, positif ou négatif, d'une variable de niveau inférieur sur une variable de niveau supérieur.

L'approche de pilotage de la performance proposée par J. Korpela [Korpela, 2006] intègre une analyse *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats - SWOT*. Son application détermine les facteurs internes, *Strengths* et *Weaknesses* et externes, *Opportunities* et *Threats*, qui ont une incidence sur le niveau de performance atteint par le système analysé, et définit, par une analyse *AHP*, les actions d'amélioration et de corrections qui semblent les plus appropriées pour relever ou maintenir ce niveau de performance.

J. Burbridge [Burbridge, 1984 a ; 1984 b] a établi une carte générique, nommée *Connectance model* regroupant 200 variables de production et identifiant les liens qui les unissent. L'auteur considère que les relations identifiées sont valables quel que soit le système de production analysé. Etant donné le caractère générique de ce modèle, les liens représentés sont uniquement qualitatifs, c'est-à-dire que seul le sens de la relation est précisé. Bien que le réseau de variables du *Connectance model* soit très large, l'analyse de celui-ci montre que certaines liaisons manquent. Son utilisation nécessite, par conséquent, que le décideur le modifie et/ou l'enrichisse. Il constitue, toutefois, un canevas de qualité pour l'élaboration de l'arbre des variables d'actions de l'entreprise mais son caractère générique le rend souvent trop complexe pour une analyse aisée des relations.

K.H. Tan et K. Platts [Tan & Platts, 2003 ; 2004] placent le *Connectance model* au cœur de leur réflexion sur le développement d'un réseau cause-effet hiérarchique de variables d'action à partir d'un objectif défini (cf. Figure 26). Les variables et les interactions identifiées par J. Burbridge ont été, lorsque cela a été nécessaire, corrigées et actualisées. La formation du réseau se réalise en quatre étapes. La première étape consiste évidemment à spécifier l'objectif sur lequel porte l'analyse, la seconde à identifier les dimensions de l'objectif analysé. Pour chaque dimension, il s'agit ensuite d'établir la liste des variables d'action qui ont une relation de premier niveau c'est-à-dire un impact direct sur la réalisation de l'objectif. La dernière phase consiste à identifier et à discuter des actions pertinentes et des outils utiles à l'atteinte de ces objectifs.

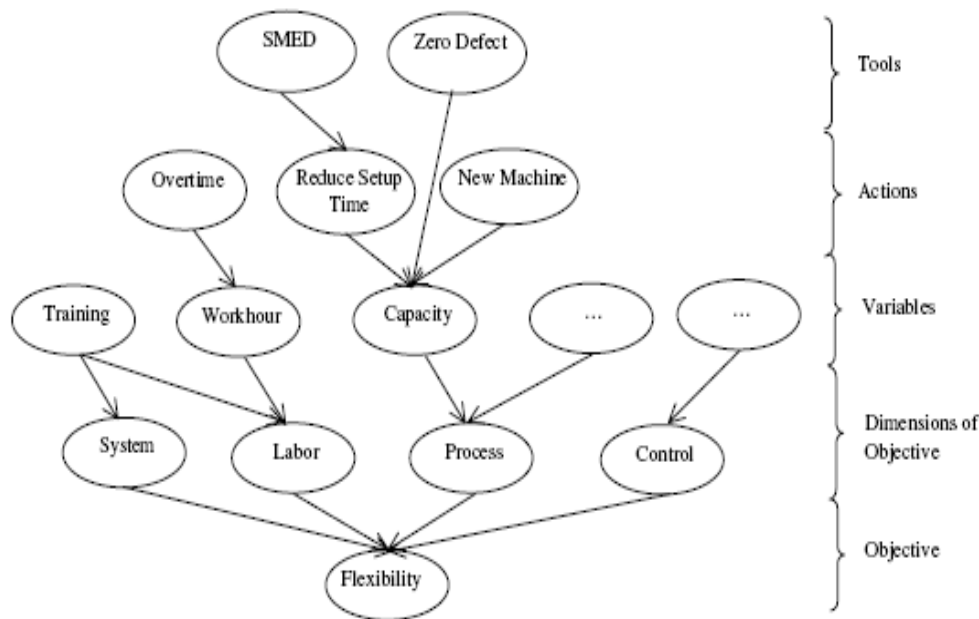


Figure 26: Réseau cause-effets hiérarchique de variables d'action à partir d'un objectif défini, la flexibilité [Tan & Platts, 2003 ; 2004]

Chaque variable et chaque lien du réseau sont ensuite caractérisés par un ensemble d'attributs définis par le décideur. Sur base de ces derniers, un système de filtres peut être activé afin de réduire la complexité du réseau cause-effet et de ne se focaliser que sur les variables présentant certains attributs (sélection des variables d'action qui ont un impact « fort » sur l'objectif et qui induisent un coût de changement « faible », par exemple). En revisitant le *Connectance model*, ces auteurs proposent aux décideurs un arbre de variables d'action mieux structuré et plus propice à l'analyse de ses composants.

Comme nous l'avons exprimé lors de la décomposition des objectifs, nous proposons de poursuivre le principe de la double décomposition pour l'identification des variables d'action afin de garantir la cohérence globale de l'ensemble. Les variables sont issues des causes de premier ou de second niveau de l'analyse cause à effets.

En conclusion, trois activités sont essentielles pour construire et structurer le sous-système de performance de l'architecture proposée :

- La première détermine les objectifs qu'il convient de suivre afin de faire face aux dysfonctionnements détectés et d'atteindre les objectifs stratégiques de l'entreprise ;
- La seconde action définit les mesures de performance potentielles à utiliser pour refléter le degré de réalisation de chaque objectif poursuivi. La ou les mesures physiques associées à chaque mesure de performance sont également précisées en fonction des informations recensées dans le modèle physique. Ces mesures physiques font éventuellement l'objet d'une agrégation pour remplir la mission première de l'indicateur de performance : le calcul de la performance atteinte par le système. Ce mécanisme d'agrégation est également précisé au cours de cette phase.
- La dernière étape met en évidence, pour chaque objectif identifié, les facteurs pour lesquels il existe un potentiel d'amélioration de la performance c'est-à-dire les variables d'action.

Dès que ces activités sont réalisées, toutes les informations indispensables à la construction du système d'indicateurs de performance tel que défini dans le cadre du module d'analyse sont disponibles.

4. ACTIVITE DE PILOTAGE 2 : ANALYSE DE L'EXISTANT

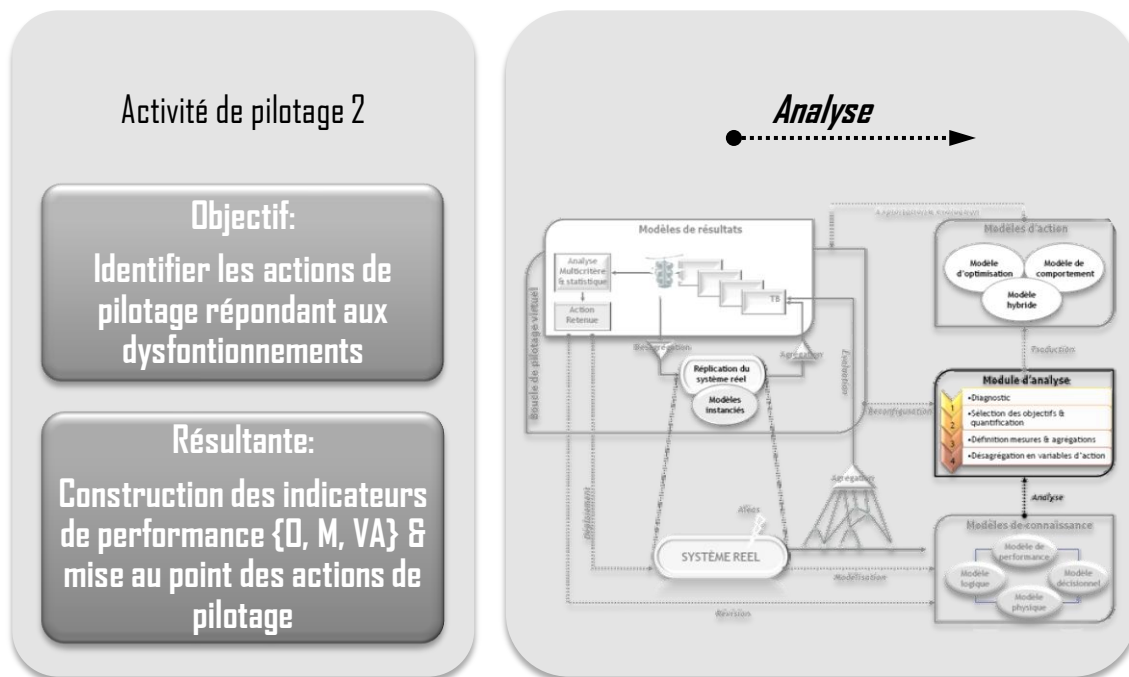


Figure 27: Activité de pilotage 2 « Analyse »

Quelle que soit la phase d'évolution du système de pilotage, le rôle joué par la seconde activité de pilotage dans le pilotage souple est essentiel. Le positionnement de l'activité « Analyse de l'existant » dans notre architecture est indiqué en Figure 27.

Au cours de cette étape, l'ensemble des informations de modélisation du système de production est utilisé pour déterminer la priorité à accorder aux actions susceptibles de répondre aux besoins d'amélioration détectés et pour sélectionner les indicateurs de performance qui composeront les tableaux de bord du système analysé. A cette étape d'analyse des dysfonctionnements de l'entreprise et de la manière d'y faire face, succède la construction des modèles d'action.

4.1. OBJECTIF DE L'ACTIVITE DE PILOTAGE 2 « ANALYSE »

Piloter un système de production exige que le décideur soit capable de porter un jugement sur le niveau de performance obtenu par le système et prendre les mesures qui s'imposent pour le redresser ou le faire cheminer vers l'atteinte de l'objectif stratégique.

La première mission du système de pilotage exige qu'un nombre réduit d'indicateurs adaptés à l'analyse de la performance soit mis à la disposition du décideur. C'est ce que propose le module d'analyse par l'élagage de l'arbre des objectifs, la sélection des objectifs pertinents et l'association des mesures de performance reflétant leur niveau d'atteinte.

La seconde mission du système requiert que, pour chaque objectif, les variables d'action les plus congruentes soient sélectionnées dans le modèle de performance afin que, par l'activation de l'une d'entre-elles, la spirale de l'évaluation continue soit alimentée.

Cependant, afin de mener efficacement les deux missions de pilotage, un état des lieux de la situation est indispensable. Celui-ci a pour objectif de fixer la ligne de conduite à suivre afin d'assurer la progression du système vers son objectif stratégique.

4.2. RESULTANTE DE L'ACTIVITE DE PILOTAGE 2 : MODULE D'ANALYSE

L'activité de pilotage *Analyse* requiert la réalisation de quatre étapes successives destinées à fixer les objectifs que le système productif souhaite satisfaire, à construire, sous leur forme tripartite, les indicateurs de performance à exploiter et à imaginer des actions d'amélioration et ce, en fonction des résultats de l'analyse de l'état du système.

4.2.1. DIAGNOSTIC

Au cours de la première étape d'élaboration du module d'analyse, le diagnostic sur l'état de santé global du système piloté est posé.

Après avoir pris connaissance et analysé les missions des différents centres de décision, le bilan de leur fonctionnement et de leur coordination est dressé. Les dysfonctionnements mis en évidence et le ressenti des décideurs orientent incontestablement les pistes d'amélioration prioritaires. Ceux-ci doivent, en effet, être résolus avant la mise en place d'une action d'amélioration destinée à cheminer vers l'objectif stratégique ou du moins, être pris en compte lors de sa conception. Il est essentiel de veiller à ce que ces problèmes ne freinent pas l'épanouissement du système piloté.

L'analyse des points faibles s'accompagne également de l'examen de divers éléments tels que le contexte ou la fréquence de leur apparition, l'amplification du phénomène... Ils sont des sources d'informations pertinentes pour la compréhension et la correction des dysfonctionnements.

Comme pour les démarches d'amélioration, les démarches visant la correction des lacunes du système piloté nécessitent la mise en place d'indicateurs de performance destinés à suivre le résultat de l'action de pilotage entreprise et l'évolution de la performance globale du système induite par celle-ci. Les composants des indicateurs sont puisés dans le modèle de connaissance préalablement établi. La sélection de chaque composant, quelle que soit la catégorie d'action de pilotage à mettre en œuvre, s'opère au cours des étapes 3 et 4 de cette activité de pilotage *Analyse*. Examinons chacune d'elles.

4.2.2. SÉLECTION ET QUANTIFICATION DES OBJECTIFS PRIORITAIRES

L'objectif stratégique poursuivi, extrait de la stratégie de l'entreprise, a permis non seulement d'établir le périmètre de pilotage ciblé mais a également donné naissance, au sein du modèle de performance, à l'arbre des objectifs y associés. Les dysfonctionnements, mis en évidence par le bilan de santé du système piloté, signalent les points faibles du système étudié, à appréhender lors de la sélection des objectifs prioritaires.

La définition de la zone à traiter, la réalisation de son état des lieux et la construction de l'arbre des objectifs attachés à l'objectif stratégique poursuivi, facilitent grandement la sélection des branches les plus porteuses de l'arbre. Les autres branches, jugées secondaires, sont élaguées. Ces dernières sont des branches sur lesquelles le décideur ou de manière générale, le système, n'a que peu d'influence en raison notamment de la pression de l'environnement (certification de qualité des produits...) ou de spécificités techniques fortes qui limitent les degrés de liberté dont disposent le décideur pour agir sur le système.

L'identification des liens de coordination existant entre les objectifs qui composent l'arbre met en évidence l'incidence positive ou négative que la réalisation d'un objectif aura sur les autres (*cf.* Figure 28). Elle relève essentiellement de l'expertise du décideur.

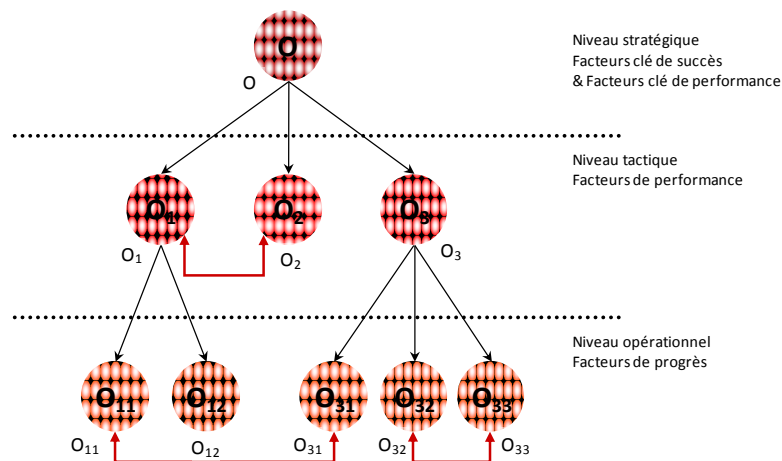


Figure 28: Arbre des objectifs élagués et quantifiés

Le degré attendu de réalisation de chaque objectif est ensuite défini afin de fixer le niveau de performance à atteindre et l'ampleur de l'amélioration à réaliser. La quantification des objectifs consiste donc à associer une valeur à chaque objectif sélectionné. P.M. Gallois [Gallois, 1990] formule le problème posé de la manière suivante : « Quand le PDG se fixe un taux de croissance de 8% de son chiffre d'affaires et une part de 60% du marché national, comment peut-on déduire pour le contremaître d'entretien un objectif de taux de panne inférieur à 3% ? ». La quantification est un point difficile qu'aucune méthode simple ne permet de réaliser. En conséquence, cette quantification s'inscrit souvent dans une démarche itérative mise en œuvre niveau par niveau et fait appel aux connaissances des experts [Cha & Jung, 2003] [Clivillé, 2001] [Ducq, 1999] [Gomez *et al.*, 2001] [Grabot, 1998].

L'ordre d'exécution des objectifs est enfin établi afin de déterminer l'ordre dans lequel le décideur éprouvera les actions d'amélioration. C'est à lui que revient cette tâche importante.

4.2.3. ASSOCIER À CHAQUE OBJECTIF PRIORITAIRE SA MESURE DE PERFORMANCE, LE MÉCANISME D'AGRÉGATION À UTILISER ET LE SEUIL DÉCLENCHÉUR DE L'ACTION

A l'étude des objectifs impartis aux différents centres de décision, succède, pour chaque objectif, l'étude de la manière la plus appropriée de le quantifier ou de le qualifier afin qu'il reflète le plus justement possible l'état atteint par le système piloté.

4.2.3.1 Sélection de la mesure de performance reflétant au mieux l'objectif

Evaluer la performance d'un système de production au moyen d'un outil de mesure créé sans tenir compte d'une réflexion stratégique sur l'atteinte de l'objectif, risque de déconnecter la mesure et la stratégie. Le risque est grand de passer à côté du but recherché par le système de pilotage [Atkinson *et al.*, 1997].

J.M. Loeb [Loeb, 2004] préconise de définir les « objectifs de mesures stratégiques » pour l'organisation, c'est-à-dire définir ce qui doit être mesuré, pourquoi et comment, et de vérifier ensuite l'existence de données fiables pour établir la mesure. Il est, en effet, impensable que la réflexion à la base du système de pilotage soit guidée par la disponibilité ou l'indisponibilité d'une mesure physique. Par contre, le choix de l'indicateur ou de son mode de construction est influencé par la disponibilité, dans le système d'information de l'entreprise, des mesures physiques constitutives de celui-ci.

Le choix d'une mesure de performance est, en effet, guidé par la facilité de mise à disposition et de mise à jour des informations qui la composent. Le dilemme pour le décideur est d'utiliser des données disponibles mais pas forcément totalement adaptées à ses besoins ou de recueillir des données nouvelles et originales souvent plus intéressantes mais exigeant un investissement plus ou moins important pour leur acquisition. De même, lorsque certaines informations sont inexistantes, le système d'informations de l'entreprise est adapté pour qu'il soit capable de les produire. Toutefois, si l'investissement financier,

humain et technique est trop important, celles-ci peuvent être substituées par d'autres informations de qualité légèrement inférieure.

La disponibilité des données constitue, à juste titre, le premier critère d'évaluation de la pertinence d'un indicateur. [Champagne *et al.*, 2005] [GMSIH, 2005] [Bounekkar & Lamure, 2005] supposent qu'il est également fiable et valide pour être pertinent.

La fiabilité d'un indicateur est sa capacité à mesurer fidèlement un phénomène, c'est-à-dire sans trop de variation aléatoire et de manière reproductible lorsque la mesure est répétée dans le temps, dans des conditions identiques et sur les mêmes éléments [Bonvoisin *et al.*, 2008]. La fiabilité est une condition nécessaire mais insuffisante de la validité. Elle est d'autant plus élevée que la mesure s'éloigne d'un jugement subjectif.

La validité, notion plus abstraite que la fiabilité, dépend principalement du contexte d'utilisation de l'indicateur. Elle est l'aptitude de l'indicateur à refléter ce qu'il est censé mesurer, c'est-à-dire l'adéquation qui existe entre les variables retenues et le concept théorique à mesurer [Bonvoisin *et al.*, 2008]. Cette caractéristique de l'indicateur tente de réduire la liberté d'interprétation de l'indicateur et d'éliminer toute ambiguïté quant à sa signification. Celle-ci est unique à travers toute l'organisation, quel que soit le niveau décisionnel ou le responsable qui l'utilise.

Lorsque qu'un indicateur de performance a été choisi et mis au point, la pratique est d'essayer de le conserver même en phase de révision du système d'indicateurs, le changement n'intervenant qu'en cas de besoin avéré [Clivillé, 2004]. Le changement d'indicateur a pour incidence que les mesures physiques nécessaires à l'élaboration du nouvel indicateur n'aient pas toujours été collectées antérieurement. Le risque que le système d'information soit incapable de fournir un historique pour le nouvel indicateur est donc bien présent. Or, l'interprétation de nombreux indicateurs nécessite d'établir une expression tendancielle de la performance dont le but est de visualiser l'évolution de l'indicateur sur une période donnée, d'en anticiper les dérives ou encore de comparer les résultats obtenus à ceux des années précédentes, pour prendre en compte des phénomènes cycliques.

Tant que l'objectif poursuivi est toujours d'actualité, les mesures de performance et les mesures physiques associées le restent autant que possible. C'est la pratique de l'indicateur qu'elles composent qui sera plus facilement modifiée afin d'être améliorée.

Le mécanisme d'agrégation est choisi dans le modèle de connaissance dédié à la performance en fonction des caractéristiques des mesures physiques à unir, de l'objectif poursuivi et de la préférence du décideur pour l'une ou l'autre des méthodes envisageables.

Soulignons, toutefois, que l'utilisation de mesures de performance agrégées requiert quelques précautions. Le risque de masquer des variations essentielles des mesures qui la composent est présent et oblige le décideur à décomposer la mesure agrégée afin d'identifier le composant contestable. La non identification de l'origine du problème incite le décideur à agir sur les effets plus que sur les causes profondes du problème signalé par la mesure défailante.

Une mesure de performance est non seulement nulle de sens sans référence à l'objectif à atteindre mais nécessite également que son interprétation soit nuancée afin de déterminer s'il est opportun de déclencher une action de pilotage. Un seuil d'action doit donc être arrêté.

4.2.3.2 Définition de l'échelle de classement et du seuil d'action

Afin de déterminer si une action de pilotage s'impose ou non, le décideur doit avoir préalablement défini, pour chaque indicateur, une échelle de classement destinée à fournir une information qualitative « bon », « moyen » ou « mauvais » à partir des valeurs discrètes ou continues de l'indicateur. L'échelle délimite donc les niveaux de performance à partir desquels il est rendu compte d'une bonne ou d'une mauvaise performance. Le principe est bien connu dans le domaine des systèmes de mesures et son élaboration peut, par exemple, s'appuyer sur la définition d'une échelle de classement telle que préconisée par la norme ISO 9126 [ISO 9126, 2003].

La construction d'une échelle de classement peut se faire au moyen de diverses méthodes. D. Mollard [Mollard, 2006] en énumère cinq :

- La référence à une base historique : en exploitant les données et les informations stockées dans le système d'information décisionnel depuis sa création, le décideur détermine le niveau moyen ou le meilleur niveau de performance atteint par le passé. Le niveau de référence établi constitue une base de départ à affiner par la suite, au fur et à mesure des observations faites sur de nouvelles périodes ;
- L'analyse technique de l'activité concernée et son mode opératoire qui fixe les performances maximales atteignables en principe ;
- La satisfaction et les attentes des usagers ou des clients formalisées en termes de besoins et d'exigences ;
- Le *benchmarking* : la performance d'une autre unité, interne ou externe, dont les caractéristiques et les activités sont similaires, est le niveau de référence ;
- L'évaluation des progrès possibles en définissant des cibles progressives qui auront vocation à être remplacées sitôt atteintes par des cibles plus ambitieuses.
- Les outils statistiques tels que les techniques de régression qui donnent une vision précise des données et des indicateurs et définissent des valeurs acceptables pour les prévisions.

Les bornes de l'échelle de classement sont susceptibles d'être modifiées au fil des évolutions du système et de sa performance afin de persévérer dans le processus d'amélioration continue.

L'une des bornes de l'échelle de classement constitue le seuil d'action. Tout franchissement de ce seuil indique au décideur que la performance réalisée est insuffisante et qu'une action de correction semble nécessaire. Il lui reviendra de décider d'agir ou non pour améliorer la situation et de déterminer comment agir. Pour certains indicateurs, l'échelle de classement se restreint à une valeur pivot qu'est le seuil d'action.

Le seuil d'action est éventuellement entouré d'une zone d'indifférence destinée à atténuer les imprécisions potentielles et éventuellement, de contrebalancer les valeurs trop précises estimées par simulation. Lorsque la valeur de l'indicateur se trouve dans la zone d'indifférence aucune action n'est jugée indispensable même si la performance atteinte est loin d'être brillante. Cet indicateur sera, par conséquent, à « tenir à l'œil ».

Outre l'évaluation de la performance, un système de pilotage est conçu pour aider les responsables du système productif à atteindre leurs objectifs en mettant à leur disposition des informations exploitables du point de vue de l'action, c'est-à-dire qui tiennent compte des réelles marges de manœuvre dont disposent les opérationnels et qui stimulent la recherche d'amélioration [Giard *et al*, 2000]. Examinons cet aspect des choses.

4.2.4. SÉLECTION DES VARIABLES D'ACTION RETENUES ET DÉSAGRÉGATION DE CHACUNE D'ELLES EN ACTIONS

La désagrégation des objectifs en variables d'action effectuée lors de la modélisation de la performance a donné naissance, pour chaque objectif, à un arbre des variables d'action potentielles. Dans le cadre de l'activité de pilotage centrée sur l'analyse de l'existant, il revient au décideur de déterminer, parmi les variables associées à l'objectif prioritaire, la plus enrichissante. Le choix qu'il effectue est lourd de conséquences. En effet, si la variable d'action retenue est de piètre qualité ou peu adaptée au contexte du moment, les résultats qu'elle induira le seront également. Même si l'approche de pilotage souple dispose d'une boucle de pilotage virtuel pour éprouver les variables d'action et d'une méthode multicritère pour guider le décideur dans la sélection de la variable la plus appropriée au contexte, une alimentation saine de ce modèle fera gagner un temps précieux !

L'identification des variables d'action associée à un objectif et la sélection des plus pertinentes constituent, ce que nous appelons, le problème de la désagrégation. Sa résolution nécessite une participation active du décideur afin de tirer profit de son expertise et de sa maîtrise du système. Ces étapes d'identification et de sélection sont réalisées au sein de deux activités de pilotage différentes : « Modélisation de la connaissance » et « Analyse de l'existant ».

La scission du problème de la désagrégation au sein du mécanisme de pilotage souple est induite par la disponibilité des informations utiles à la réalisation de chaque étape. En effet, l'étape de sélection des variables d'action ne peut s'effectuer au moment de la collecte des informations de performance. Elle

dépend d'un ensemble d'éléments identifiés suite à l'état des lieux et au diagnostic posé dans le cadre du module d'analyse. Ces informations sont principalement les dysfonctionnements du système piloté et le contexte dans lequel il évolue.

Le nombre d'actions d'amélioration menées en parallèle influence, par exemple, l'ampleur de la nouvelle action qui sera entreprise ; de même que le type d'actions entreprises influence le choix de la variable d'action. Il est important que l'entreprise n'entame, sans une réflexion globale et une planification minimale, des travaux de grande envergure ou ne disperse ses efforts dans de multiples directions. De plus, le démarrage d'une action d'amélioration sollicite fortement le personnel qui, en plus de ses tâches habituelles, doit effectuer un certain nombre d'opérations liées au lancement de l'action. Le décideur doit parfois se montrer patient et éventuellement retarder le lancement d'une action afin de ne pas noyer les exécutants de travaux supplémentaires et finalement leur ôter toute envie de s'impliquer dans la démarche de pilotage. Il est important d'éviter que leur engouement ne s'amenuise au fil des efforts consentis.

Différentes techniques simples existent pour renforcer l'adhésion du personnel. Citons, par exemple, l'affichage des indicateurs pertinents et de leur évolution, la mise à disposition de boîtes à suggestions, l'octroi de primes liées aux résultats de l'entreprise...

Outre le contexte dans lequel se déroule la prise de décision, la pertinence d'une variable d'action est également évaluée en fonction de différents facteurs à concilier, tels que [Berrah, 2002] :

- la localisation de l'action ;
- les efforts nécessaires qu'elle suscite en termes de ressources ;
- la qualité de réponse au regard de l'action, l'effet de levier ;
- le temps de réponse entre l'action et le résultat, l'inertie ;
- la capacité à ne pas limiter l'atteinte des objectifs des autres processus, l'effet pervers.

Lors de l'opérationnalisation d'une variable d'action et *a fortiori* de plusieurs variables activées simultanément, il est indispensable de prendre en compte l'inertie du système piloté de façon à ne pas sous-estimer la qualité des solutions que les variables sont capables d'offrir. De plus, la concomitance des variables risque également de décupler les effets pervers susceptibles d'apparaître ou à l'inverse, les effets de levier.

La sélection des variables suppose donc la réalisation d'une analyse coût/bénéfice des variables associées à l'objectif de façon à éliminer les variables les plus coûteuses et ne garder que les variables les plus porteuses pour l'entreprise. Le coût est exprimé en termes d'efforts à consentir pour mettre en œuvre l'action et, le bénéfice espéré en termes de qualité de solutions obtenues et de synergies engendrées.

Les variables prioritaires sont donc répertoriées en fonction de l'ampleur de l'amélioration que chacune d'elles est susceptible d'engendrer et du coût de son implémentation. Les variables les plus prometteuses sont prioritairement éprouvées par la boucle de pilotage virtuel.

Il est également intéressant de définir et d'actualiser, au fil des utilisations, des probabilités d'activation des variables d'actions liées à un objectif. Les variables présentant les probabilités les plus élevées sont naturellement éprouvées en premier lieu par la boucle de pilotage virtuel. Toute influence positive d'une variable sur le système piloté est donc récompensée par une augmentation de sa probabilité d'occurrence. Le développement d'un classifieur [Goldberg, 1994] semble adapté à la résolution de ce problème.

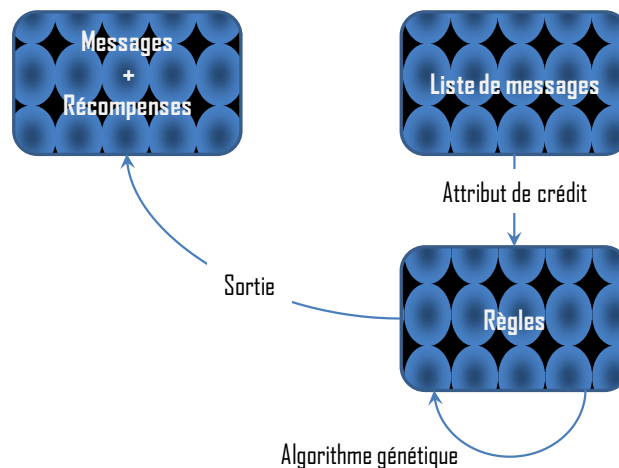


Figure 29: Fonctionnement d'un classifieur génétique

Comme illustré sur la Figure 29 présentant un classifieur génétique, celui-ci est composé de trois parties principales : un système de règles, un système d'attribution de crédit et un algorithme génétique. Une règle peut s'écrire sous la forme : <Condition> : <Résultat>.

La règle consiste à déterminer l'action de pilotage identifiée dans l'arbre des variables d'action à mettre en œuvre. La <Condition> est l'élément déclencheur de l'action de pilotage, le franchissement d'un seuil d'action par un indicateur de performance. Le <Résultat> est le niveau de performance globale que l'action est susceptible d'atteindre. Il est estimé par le modèle de comportement instancié composant la boucle de pilotage virtuel. Sur base des offres émises (les probabilités d'activation) par les règles, le système d'attribution de crédits sélectionne la règle la plus offrante et l'active. Ce mécanisme n'a, toutefois, pas été développé dans le cadre de cette recherche, mais sa mise en œuvre constitue l'une des premières améliorations que nous souhaitons y apporter.

La sélection des variables d'action à expérimenter ne clôture pas la phase 4 de l'analyse. Celle-ci se poursuit par le découpage des variables d'action prioritaires en actions concrètes applicables au système réel. L'identification de ces actions de pilotage n'est que la suite logique de la désagrégation d'un objectif en variables d'action. Les actions de pilotage mises au point peuvent être bien distinctes et concerner des objets différents. Elles visent, par exemple, la polyvalence du personnel, la révision de la méthode de planification, d'ordonnancement ou de la gestion des stocks, l'acquisition de ressources auxiliaires supplémentaires... en vue de répondre à une variable d'action visant directement ou indirectement la fluidification du flux de production.

La sélection consiste, dans ces circonstances, à déterminer celles qu'il convient d'appliquer au système piloté, à définir leur priorité d'exécution et finalement planifier leur exécution dans le cadre d'un plan d'action global.

La nature des actions de pilotage découlant d'une variable d'action nécessitent parfois qu'une sélection soit obligatoirement opérée entre elles. Elles visent, dans ce cas, un même but et ne sont applicables au système piloté que de façon concomitante. Elles représentent différents paramétrages d'une variable d'action ou différentes méthodes de résolution d'un même problème. Le choix d'une méthode d'ordonnancement entre plusieurs possibilités (méthodes sérielles, algorithmes itératifs de recherche locale...) en est un cas d'application.

S'il est possible d'identifier et de sélectionner les variables d'actions ou actions de pilotage relativement facilement, déterminer celle qui apporte au moindre coût la performance globale optimale n'est pas si simple. C'est pourquoi, notre mécanisme de pilotage souple propose de recourir à une boucle de pilotage virtuel pour tester les variables d'action les plus prometteuses et choisir, sur base d'une estimation des résultats attendus, la plus intéressante pour la performance globale du système. Cependant, son utilisation nécessite qu'un ou plusieurs modèles d'action ait été préalablement développés. Passons ceux-ci en revue avant de décrire la boucle de pilotage virtuel et son fonctionnement.

5. ACTIVITE DE PILOTAGE 3 : TRADUCTION DES ACTIONS DE PILOTAGE EN MODELES D'ACTION

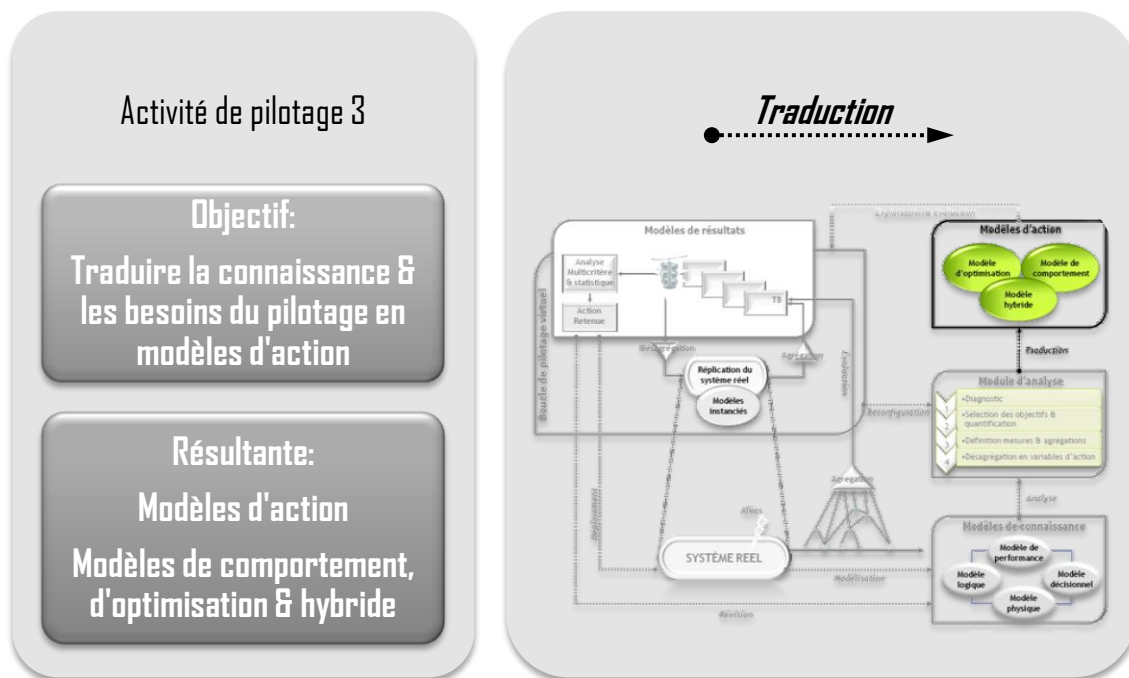


Figure 30: Activité de pilotage 3 « Traduction »

La troisième phase du pilotage souple consiste à traduire les besoins identifiés lors de l'activité d'analyse en modèles d'action à intégrer, après instanciation, dans la boucle de pilotage virtuel (cf. Figure 30). La réalisation de cette troisième activité de pilotage clôture la phase préparatoire du pilotage souple et enclenche la phase d'exploitation du système de pilotage.

5.1. OBJECTIF DE L'ACTIVITE DE PILOTAGE 3 « TRADUCTION »

Cette activité de pilotage consiste à puiser dans la bibliothèque de modèles génériques les modèles d'action adaptés aux besoins des actions de pilotage sélectionnées lors de l'analyse de l'existant. La bibliothèque de modèles s'alimente avec l'apparition de nouvelles variables à traiter et pour lesquelles les modèles d'action font défaut. L'élaboration des nouveaux modèles devra, dans certains cas, être confiée à un expert du domaine.

Le choix du modèle d'action à activer est réalisé aisément par le décideur grâce à l'interface utilisateur de la plate-forme de pilotage souple. Le décideur n'a donc pas à choisir directement parmi les modèles disponibles le modèle à appliquer mais simplement à fixer un ensemble de paramètres de l'interface pour le faire. Par souci de simplification, nous ne ferons plus cette distinction. Nous considérerons que le décideur choisit le modèle d'action à appliquer sans préciser l'élément intermédiaire : l'interface.

Les modèles d'action développés sont répertoriés, au sein de la bibliothèque, en trois catégories : les modèles de comportement, les modèles d'optimisation et les modèles hybrides. Avant leur exploitation par la boucle de pilotage virtuel, ils font l'objet d'une instanciation.

Deux difficultés majeures apparaissent lors de la traduction des variables d'action en modèles d'action.

La première réside dans le fait de filtrer adéquatement les informations fournies par les modèles de connaissances de l'entreprise afin de ne conserver que les *constructs* indispensables à l'élaboration du

modèle d'action visé et de veiller au respect des consignes dictées par le diagnostic posé lors de l'activité 2 de pilotage.

La seconde est de choisir la catégorie de modèle qui répond parfaitement aux exigences de la situation en termes, notamment, de granularité ou d'adéquation des solutions proposées.

En règle générale, nous pouvons affirmer que plus le modèle repose sur un formalisme complexe, plus il propose des résultats précis et de valeur, plus il exige de temps et de réflexion pour sa mise au point et son exploitation. A l'inverse, un modèle trop simpliste ou synthétique risque de négliger certains comportements importants de l'organisation et de ne fournir que des réponses de piètre qualité. La difficulté est donc de trouver le juste équilibre entre le temps dont dispose le décideur pour développer et exploiter le modèle d'action et la qualité des solutions indispensables à la prise de décision.

5.2. RESULTANTE DE L'ACTIVITE DE PILOTAGE 3: LES MODELES D'ACTION

Les modèles d'action sont générés à partir des modèles de connaissances et selon les exigences de l'action de pilotage que le décideur souhaite éprouver. Ils prennent la forme de modèles d'optimisation ou de modèles hybrides dédiés à l'ordonnancement, à la maintenance...

Les modèles de comportement appartiennent également à la catégorie des modèles d'action. Leur objectif est de reproduire avec un certain niveau de précision le fonctionnement du système piloté. Une fois paramétré, ils sont qualifiés d'instanciés et constituent la pièce maîtresse de la boucle de pilotage virtuel.

Les modèles de comportement auraient pu constituer un composant de l'architecture de Pilotage souple à part entière. Néanmoins, afin de ne pas la complexifier inutilement, ils ont été intégrés à la catégorie des modèles d'action, aucun élément probant ne s'y opposant. Ils suivent, en effet, un processus de génération identique à celui des modèles d'optimisation et hybrides et ils y sont systématiquement associés ou presque. L'un des rares cas d'application où un modèle de comportement agit seul est pour son calibrage afin de vérifier qu'il reproduise exactement le système de production étudié.

5.2.1. LES MODÈLES DE COMPORTEMENT

Les modèles de comportement sont des modèles d'action particuliers. Outre l'opérationnalisation de variables d'action, ils ont pour objet de fournir au décideur une réplique du système qu'il dirige et des entités en lien direct avec lui. Ils prennent le plus souvent la forme d'un modèle mathématique ou sont issus de la technique de la simulation. Un réseau de neurones, un arbre de décision... peuvent également fournir au décideur une réplique du système qu'il dirige. Cependant, nous abordons dans cette recherche uniquement les modèles de comportement les plus souvent utilisés.

5.2.1.1 Les modèles mathématiques

Un modèle mathématique est une traduction de la réalité utile pour lui appliquer les outils, les techniques et les théories mathématiques, puis généralement, en sens inverse, la traduction des résultats mathématiques obtenus en prédictions ou opérations dans le monde réel.

Deux catégories de modèles mathématiques existent : les modèles prédictifs et descriptifs. Les modèles prédictifs sont utilisés pour anticiper des événements ou des situations. Dans ces modèles, les variables connues, dites « explicatives », sont utilisées pour déterminer des variables inconnues, dites « à expliquer ». Les modèles descriptifs servent à représenter des données historiques. L'objectif est de rendre compte, de manière interprétable, d'une masse d'informations.

Bien entendu, les deux types de modèles sont parfaitement liés : une bonne prédiction suppose au moins la prédiction de la situation passée et actuelle, c'est-à-dire une bonne description. Inversement, une bonne description serait parfaitement vaine si elle ne servait pas au moins au diagnostic, ou mieux, à l'identification de la conduite à tenir.

Les modèles mathématiques ont pour principal avantage de garantir au décideur l'optimalité de la solution qu'ils proposent. Toutefois, ces modèles ne sont sollicités par le système de pilotage que lorsque le niveau de complexité du système piloté le permet. Ils réussissent, en effet, très difficilement, à modéliser, avec un niveau de granularité très fin, le fonctionnement complet et fidèle d'une structure organisationnelle telle que visée par cette recherche.

Le modèle mathématique ou plutôt la mise en équations et en inéquations du comportement du système de production sous forme principalement de contraintes et d'équations est assimilé dans cette recherche à un modèle de comportement [Artiba *et al.*, 2011] ; l'optimisation de l'objectif à atteindre, partie inhérente de ces modèles, fait, quant à elle, partie de la catégorie des modèles d'optimisation.

Compte tenu du cadre défini pour notre étude, l'utilisation de modèles mathématiques concerne principalement la résolution de problèmes de pilotage de niveaux décisionnels tactique ou stratégique. Un objectif visant l'amélioration de la planification de la production peut être un cas d'application. Le recours à d'autres méthodes de modélisation du comportement telle que la simulation est généralement préconisé en cas de pilotage de niveau opérationnel.

5.2.1.2 Modèle de simulation

Sans réduire l'importance ou l'incidence positive de l'utilisation de modèles mathématiques dans un système de pilotage souple de la performance, nous tenons à mettre en exergue la technique de la simulation qui en raison de la complexité des systèmes de production actuels et du niveau de précision demandé par les décideurs, est inéluctable.

La simulation en tant qu'outil d'aide à la décision dans le cadre d'un système de pilotage de la performance est précieuse [Castagna *et al.*, 2001]. C'est pourquoi nous avons donc doté notre système de pilotage d'une boucle de pilotage virtuel incorporant un modèle de simulation, instanciation de notre modèle de simulation générique. Ce dernier est qualifié de générique au sens où il est constitué d'éléments [ré]utilisables dans bon nombre de modèles de simulation. Il reproduit non seulement le fonctionnement général de tout système de production de type job-shop mais intègre également de nombreuses spécificités rencontrées lors d'études menées en milieu industriel. Bien que notre système de pilotage possède déjà un large champ d'application, il n'est toutefois pas limité à ce type de système de production. Le modèle générique de simulation peut, en effet, être modifié ou développé selon les besoins du système à piloter.

Le modèle de simulation est obtenu par un assemblage d'éléments de modélisation issus des modèles de connaissances physique, logique, décisionnel et de performance. De ce fait, avant d'être appliqué au système réel, le modèle de simulation générique doit être instancié en un modèle de simulation adapté à l'entreprise cible et être éventuellement complété de *constructs* ou *patterns* dédiés au problème étudié. Un modèle de simulation est donc capable de représenter de manière réaliste un système complexe en autorisant notamment l'incorporation d'interactions susceptibles d'exister entre différents composants du système [Habchi, 2001]. Il est présenté dans le chapitre suivant

L'atout principal d'une approche simulatoire est qu'elle permet de visualiser l'impact de tout changement proposé sur l'ensemble du système de production analysé. Elle laisse, en effet, la possibilité au décideur de prendre en considération chaque ressource du processus comme entité interdépendante. En introduisant des paramètres dynamiques tels que le temps, les volumes, les capacités et la qualité, la simulation est source d'amélioration des performances du processus considéré. Elle facilite la détection des éventuels goulots d'étranglements, le suivi de l'évolution des temps de traitement ou de toute autre mesure de performance dynamique [Dhaevers *et al.*, 2004 ; 2006 a ; 2007] [Duvivier *et al.*, 2005] [Roux *et al.*, 2006]. Ce qui n'est pas le cas d'une analyse statique [Aguillar *et al.*, 1999].

De plus, lors de l'étude de problèmes concrets, il apparaît clairement que les méthodes exactes sont limitées par leurs exigences en temps de calcul et en espace mémoire. Plus spécifiquement, ces méthodes, s'appuyant sur un modèle mathématique, éprouvent de grandes difficultés à mettre en équations les détails du fonctionnement réel d'un atelier de production. Il est également très ardu de se baser directement sur ce type de formalisme pour expliquer la logique de fonctionnement des modèles aux décideurs.

La simulation autorise la modélisation des différents flux de l'entreprise qu'ils soient physiques, informationnels et décisionnels. La représentation de ces flux s'exerce selon différents niveaux de granularité spacio-temporelle. Le choix de celui-ci dépend du degré de précision nécessaire à la résolution du problème posé.

La condition essentielle à un fonctionnement efficient du système de pilotage souple est la rapidité d'exécution du modèle de simulation. Une grande attention doit donc être portée sur ce point lors de l'élaboration du modèle générique.

Toutes les phases du cycle de vie d'un système industriel peuvent être étudiées à l'aide de la simulation : la conception, l'exploitation et la révision.

En phase de conception et de révision, la simulation est essentiellement utilisée pour comparer différentes configurations industrielles par rapport aux résultats que celles-ci sont potentiellement aptes à fournir. Les résultats sont généralement quantifiés en termes de délais, de quantités produites et/ou de coûts.

Lors de la phase d'exploitation du système de production, la simulation est une aide précieuse pour définir les moyens qu'il convient de mobiliser afin de garantir l'atteinte des objectifs visés ou encore pour valider les résultats attendus par rapport aux objectifs fixés [Marcon *et al.*, 2003]. C'est, principalement, cette particularité que nous avons exploité dans le mécanisme de pilotage. Elle caractérise, d'ailleurs, le fonctionnement de la boucle de pilotage virtuel.

La simulation joue, en effet, un rôle capital dans le choix de la politique de gestion la plus enrichissante pour le système piloté. Les modèles de simulation des processus organisationnels sont un moyen très efficace pour étudier l'efficacité des politiques appliquées [Hansford *et al.*, 1992].

5.2.2. LES MODÈLES D'OPTIMISATION

Par définition, les algorithmes d'optimisation cherchent à déterminer le jeu de paramètres d'entrée d'une fonction donnant à cette fonction sa valeur maximale ou minimale [Osman & Laporte, 1996].

Les métaheuristiques sont une classe d'algorithmes d'optimisation. Elles visent à résoudre des problèmes d'optimisation difficile pour lesquels aucune méthode classique ne semble plus efficace. Ces méthodes utilisent un haut niveau d'abstraction leur offrant la capacité intrinsèque de s'intéresser à une large gamme de problèmes.

Parmi les métaheuristiques figurent les algorithmes stochastiques itératifs, qui progressent vers un optimum global, c'est-à-dire l'extremum global d'une fonction par échantillonnage d'une fonction objectif. Elles se comportent comme des algorithmes de recherche, tentant d'apprendre les caractéristiques d'un problème afin d'en trouver une approximation de la meilleure solution [Talbi, 2009].

La littérature recense de nombreuses métaheuristiques allant de la simple recherche locale à des algorithmes complexes de recherche globale (*cf.* Figure 31). Méthodes dédiées (méthodes sérielles), algorithme itératif de recherche locale ou méthode Tabou composent notre bibliothèque de modèles d'optimisation.

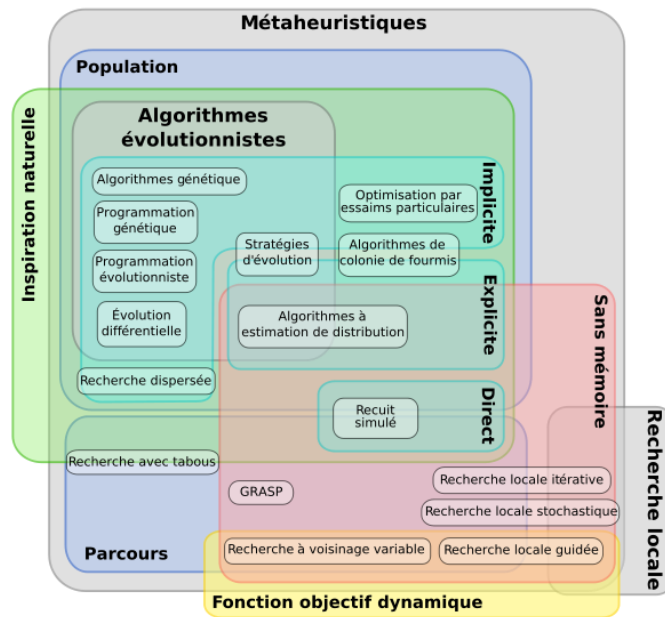


Figure 31: Classement des principales métaheuristiques [Wikipédia, 2009]

Dans le système de pilotage développé, un algorithme d'optimisation est sollicité dès que le décideur désire accroître sa performance dans la réalisation d'une tâche, à condition qu'il dispose du temps nécessaire pour le faire. Le caractère stochastique de cet algorithme suppose la réalisation de plusieurs expérimentations relativement consommatrices de temps de calcul. Il ne concerne donc pas la résolution de problèmes de prise de décision en temps très limité et nécessite l'élaboration de plan d'expériences.

Bien que l'efficacité des modèles d'optimisation ne soit pas à remettre en cause, certaines situations nécessitent, afin d'en améliorer la performance, de les hybrider avec d'autres modèles d'action.

Faire dialoguer et collaborer plusieurs modèles d'action est induit par les diverses obligations liées à la variable d'action à tester et par le désir d'améliorer la qualité des solutions proposées. De nombreuses études [Osman & Kelly, 1995] [Osman & Laporte, 1996] [Reeves, 1995] [Jain & Meeran, 1999] mettent en évidence l'intérêt de recourir à une hybridation.

5.2.3. LES MODÈLES HYBRIDES

En accord avec les travaux de E.-G. Talbi [Talbi, 2002], un modèle hybride est un assemblage de différents outils à différents niveaux de couplages. Pour la suite, nous définissons une méthode hybride comme une instantiation d'un modèle hybride obtenue par instantiation de ses constituants, c'est-à-dire en implémentant les différents modèles constitutifs de la méthode hybride sous forme de différents outils ou méthodes.

L'objectif d'une méthode hybride est d'allier les points forts de plusieurs méthodes en annihilant leurs points faibles, dans le but d'améliorer la qualité des solutions engendrées et/ou d'accélérer leur découverte en tenant compte éventuellement de certaines contraintes au niveau des ressources « informatiques » (espace mémoire, temps...)[Reeves, 1995] [Teghem & Pirlot, 2002].

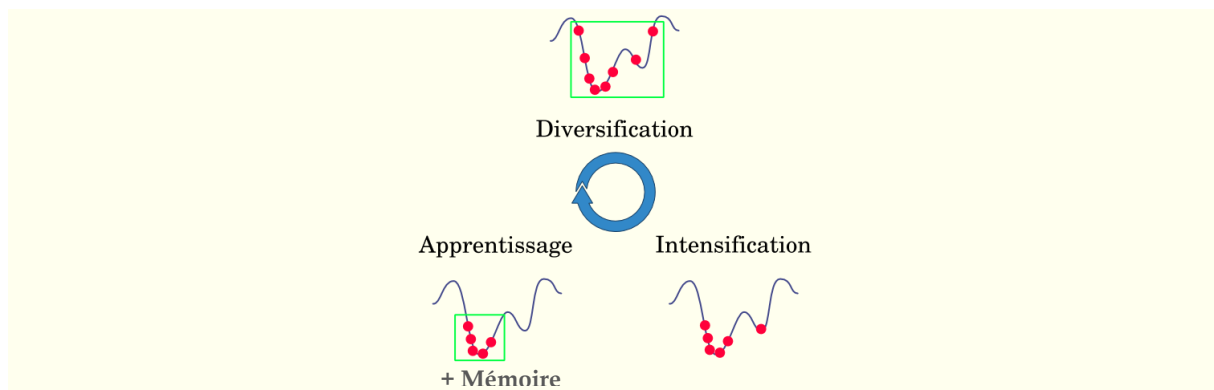


Figure 32: Les trois phases d'une métaheuristique itérative inspirées de E.-G. Talbi [Talbi, 2002]

Dans la plupart des problèmes à optimiser, la méthode hybride développée allie une phase de *diversification* ou d'*exploration* afin de récolter de l'information sur ce problème et une phase d'*intensification* ou d'*exploitation* afin d'utiliser l'information déjà récoltée pour définir et parcourir les zones intéressantes de l'espace de recherche. La méthode établit un équilibre délicat entre ces deux dynamiques de recherches complémentaires. Un mécanisme d'*apprentissage* lui est généralement adjoint pour éviter de réexplorer des régions déjà explorées, de réévaluer des solutions précédemment évaluées (surtout si l'évaluation est coûteuse en temps de calcul) ou pour collecter des briques de base présentes dans les solutions de qualité [Talbi, 2002]. Sur la Figure 32, sont illustrées ces trois phases.

La *mémoire* de l'algorithme constitue le support de l'apprentissage. Elle tient compte des zones où l'optimum global est susceptible de se trouver et évite, de cette manière, à l'algorithme d'être piégé par les optima locaux.

L'état de départ est souvent choisi aléatoirement ou généré sur base d'un algorithme glouton. L'algorithme progresse de façon itérative, en alternant les phases d'intensification, de diversification et d'apprentissage, ou en les mêlant de façon plus étroite jusqu'à ce qu'un des ses critères d'arrêt soit atteint.

La difficulté est d'utiliser :

- la bonne méthode, c'est-à-dire la méthode la plus adéquate par rapport à la tâche à accomplir en regard des contraintes globales de la méthode hybride (en temps, en ressources informatiques...) ;
- au bon endroit, i.e. en ciblant le (sous-)problème sur lequel la méthode va agir ;
- pour la bonne action, c'est-à-dire l'objectif de la méthode (intensifier, diversifier, simuler/évaluer, agréger, classer, comparer, visualiser...) ;
- au bon moment, c'est ce qui correspond à activer la méthode à un instant judicieux de l'exécution de la méthode hybride, c'est-à-dire le critère qui déclenche son exécution.

Ces méthodes sont robustes et relativement génériques. Leur inconvénient majeur réside dans leur mise au point. Cette étape nécessite, en effet, une parfaite connaissance des modèles et méthodes constitutifs pour obtenir une méthode hybride efficace et efficiente.

Un exemple d'hybridation de méthodes est disponible dans la bibliothèque de modèles d'action du système de pilotage souple. Il s'agit d'un modèle dédié à la gestion de l'ordonnancement de la production. Il résulte de l'hybridation de règles d'ordonnancement simples (méthodes sérielles), du modèle de simulation reproduisant le système piloté, d'un algorithme itératif de recherche locale et d'une analyse multicritère. Son fonctionnement est décrit dans le chapitre 5 dédié à la validation de notre système de pilotage [Dhaevers *et al.*, 2005 b] [Duvivier *et al.*, 2003 ; 2007] [Roux *et al.*, 2006].

6. ACTIVITE DE PILOTAGE 4 : EXPLOITATION DES MODELES D’ACTION DANS LA BOUCLE DE PILOTAGE VIRTUEL ET EVALUATION, PAR LES MODELES DE RESULTATS, DES ACTIONS DE PILOTAGE PROPOSEES

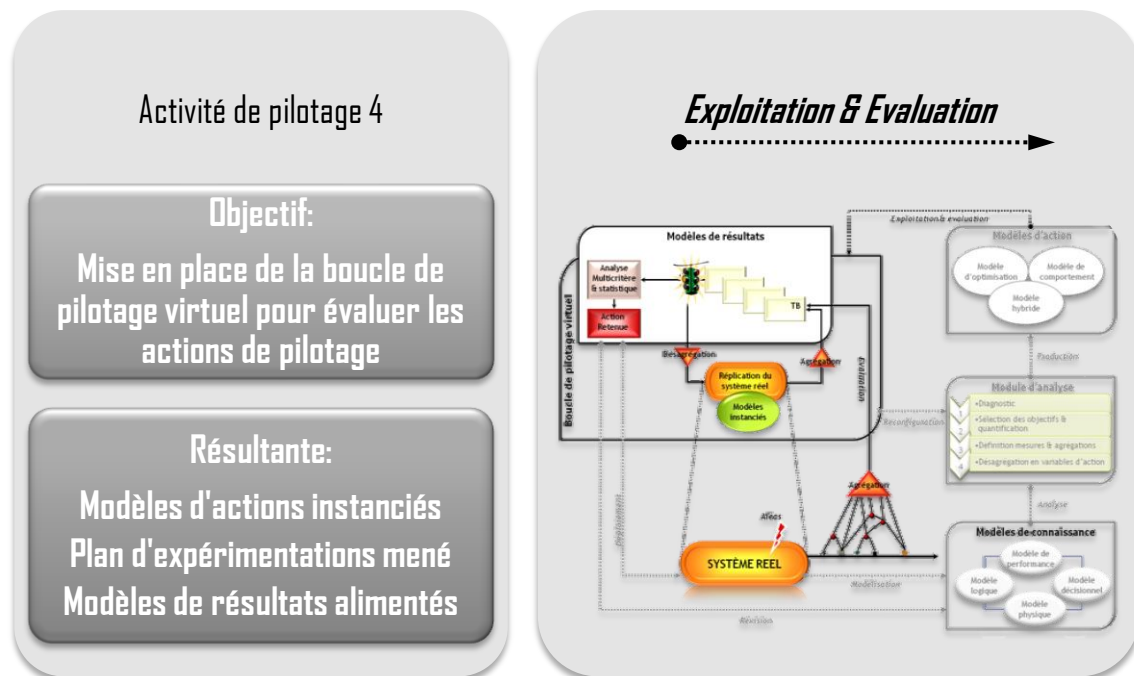


Figure 33: Activité de pilotage 4 « Exploitation & Evaluation »

Prendre la meilleure décision à tout instant pour améliorer la performance globale du système que l'on pilote est le rêve de tout décideur !

Toutefois, la complexité des choix à effectuer et la contingence des situations à traiter ne permettent pas de ramener le problème de décision de pilotage à l'identification d'une solution unique et optimale. Au contraire, dans ce domaine, la performance d'une décision peut le plus souvent s'évaluer selon des points de vue antagonistes. Il s'agit plutôt de trouver la moins mauvaise des solutions au regard d'un ensemble de critères d'évaluation [Pujo & Kieffer, 2002]. De plus, cette décision doit être prise en un temps limité en tenant compte de beaucoup d'indicateurs situés à différents niveaux spacio-temporels et impliquant des niveaux hiérarchiques décisionnels différents.

Pour faire face à ces difficultés, le système de pilotage souple intègre deux dispositifs majeurs au sein de sa boucle de pilotage virtuel : un outil d'aide à la décision multicritère et un système d'évaluation *a priori* des actions de pilotage. Le premier s'assure que la décision prise est la meilleure d'un panel de possibilités défini avec soin ce qui est déjà un premier pas vers l'excellence... sous réserve que la sélection des alternatives et des critères d'évaluation de celles-ci ait été mûrement réfléchi par le décideur. Le second offre au décideur une estimation des résultats attendus de chaque alternative, indispensable à la comparaison des alternatives.

L'évaluation d'une action d'amélioration préalablement à sa mise en œuvre fait, en réalité, défaut à la grande majorité des architectures de pilotage recensées dans la littérature. Notre approche de pilotage souple se distingue des autres méthodologies sur ce point en proposant d'adjoindre à la boucle de pilotage classique une boucle de pilotage virtuel (*cf.* Figure 33).

Pour ce faire, la boucle de pilotage virtuel utilise une représentation du système réel couplée à un ou plusieurs modèles d'action paramétrés à ce système. Sa construction repose sur les informations édifiées lors de la phase préparatoire du système de pilotage. Dans l'optique de concevoir un système de pilotage opérationnel, la réplique du système réel prend la plupart du temps la forme d'un modèle de simulation.

Grâce à son utilisation, les mesures nécessaires à l'évaluation de la performance estimée de chaque action de pilotage testée, alimentent les modèles de résultats. Ceux-ci organisent et classent les résultats des différentes actions afin de déterminer l'action à appliquer au système.

Comme nous le constatons, la boucle de pilotage virtuel est un composant quelque peu particulier de l'architecture de pilotage souple. Elle inclut et ne peut fonctionner sans un autre composant de l'architecture : les modèles de résultats.

6.1. OBJECTIF DE L'ACTIVITE DE PILOTAGE 4 « EXPLOITATION & EVALUATION »

La boucle de pilotage virtuel et ses composants sont assimilables à quatre outils de travail complémentaires destinés à faciliter les prises de décision du décideur et à le seconder dans la conduite de son système vers la réalisation des objectifs stratégiques. Le bénéfice que le décideur retire de l'exploitation de chaque facette d'utilisation de la boucle est exposé dans les paragraphes suivants.

L'objectif majeur de la boucle de pilotage est de permettre au décideur de tester toute action de pilotage avant sa mise en œuvre dans le système réel, afin d'évaluer l'incidence de l'action sur l'entité qu'il dirige mais également sur les entités en relation directe avec l'entité visée. La boucle de pilotage virtuel est donc un outil efficace pour détecter les effets pervers, à plus ou moins long terme, liés à l'application d'une action ou au contraire, souligner les effets de levier qu'elle est susceptible de déclencher. Dans le même ordre d'idée, l'utilisation de la boucle permet également d'apprécier, sur le système simulé, l'impact de l'insertion d'une nouvelle action de pilotage dans un plan d'actions en cours de réalisation ou d'évaluation. La boucle de pilotage virtuel est, dans cette utilisation, outil d'étude d'incidences.

Lors d'utilisations répétées de la boucle, le décideur est également en mesure de parfaire le paramétrage d'une action de pilotage afin de s'assurer que celle-ci donnera le meilleur d'elle-même. Nous qualifions la boucle de pilotage virtuel, dans ce cas de figure, d'outil de paramétrage.

Si la boucle autorise l'estimation de l'impact d'une action sur le système piloté et sur son environnement immédiat, elle offre également la possibilité de répéter la manœuvre pour plusieurs actions, de les comparer, grâce à l'analyse multicritère proposée par les modèles de résultats et de sélectionner celle qui s'avère être la plus adaptée au contexte socio-économique de l'entreprise. La validité statistique de la solution choisie est ensuite, si nécessaire, vérifiée au moyen de l'analyse statistique proposée par la boucle. Ce rôle d'outil de sélection est le plus fréquemment employé dans le système de pilotage souple de la performance.

L'intérêt d'un système de pilotage doté d'une boucle « test » réside également dans la possibilité de visualiser la nouvelle organisation du système de production et d'aider le personnel concerné par le changement à mieux le maîtriser et à mieux percevoir ses apports. La boucle est, dans ce cas, exploitée en tant qu'outil didactique.

Pour remplir ses quatre fonctions, la boucle de pilotage virtuel repose sur deux catégories de modèles : les modèles d'action instanciés et les modèles de résultats.

Les modèles d'action sont activés en fonction des variables d'action que le décideur souhaite éprouver. Parmi ceux-ci, l'élément principal est un modèle de simulation reproduisant le fonctionnement du système de production complexe.

Le modèle de résultats regroupe et analysent les résultats de chaque alternative de manière à faciliter la prise de décision du décideur. Il est fréquent, lorsque, par exemple, des méthodes stochastiques sont utilisées, qu'un plan d'expérimentations soit établi et mené afin de veiller à la représentativité des résultats qui viendront alimenter les modèles de résultats.

6.2. RESULTANTE DE L'ACTIVITE DE PILOTAGE 4 : LA BOUCLE DE PILOTAGE VIRTUEL

Grâce à cette boucle virtuelle, le décideur pilote son système de production au travers de différents modèles d'action qu'il active en fonction des variables d'action qu'il souhaite tester. Les mesures de performance produites par ces modèles sont ensuite analysées grâce au système de tableaux de bord et aux outils d'analyses multicritère et statistique contenus dans le composant « modèles de résultats ».

Deux tâches essentielles caractérisent donc cette quatrième étape du mécanisme de pilotage. La première est l'exploitation des modèles d'action dans la boucle de pilotage virtuel et la seconde, l'évaluation, par les modèles de résultats, des actions de pilotage proposées. Examinons ces deux tâches.

6.2.1. RÉPLICATION DU SYSTÈME RÉEL

Afin de remplir ses missions, la boucle de pilotage virtuel requiert une réplication du système réel. Celle-ci est fournie, dans une majorité de cas, par un modèle de simulation adapté au système piloté de manière à refléter les moindres détails de son fonctionnement. Dans les autres cas, lorsque la complexité du système ne l'exige pas, un modèle analytique est, par exemple, sollicité.

La complexité des structures organisationnelles visées et les prérogatives offertes par la simulation font du modèle de simulation le cœur de la boucle de pilotage virtuel. Observons ces apports dans la cadre d'un système de pilotage de la performance.

6.2.1.1 Modèle de simulation instancié

Afin de dupliquer le système réel, le modèle de simulation générique, proposé par la bibliothèque de modèles d'action ou mis au point par le décideur, doit être instancié en un modèle de simulation adapté à l'entreprise cible [Duvivier *et al.*, 2005 ; 2007]. Cette opération consiste à paramétrer les différents *constructs* de modélisation composant le modèle de simulation générique. Il s'agit, par exemple, de définir pour l'élément de modélisation « opérateurs » les opérations que les différents opérateurs sont capables de réaliser et avec quel niveau de compétence, leurs horaires de travail... Les paramètres non fixés, lors de l'instanciation du modèle de simulation générique, constituent les degrés de liberté du modèle de simulation. Ce sont sur ces paramètres qu'agiront éventuellement un ou plusieurs modèles d'action. Dans le cadre d'un système de pilotage de la performance, la simulation permet une visualisation immédiate des effets attendus de l'action de pilotage envisagée et si nécessaire, une amélioration du paramétrage de celle-ci [Dhaevers *et al.*, 2004 ; 2007]. De plus, l'approche par simulation a la capacité de fournir aux décideurs les mêmes indicateurs de performance que le système réel, ce qui est d'autant plus précieux dans le cadre d'un mécanisme d'évaluation de la performance.

Le modèle de simulation instancié, en réalité, offre un très large éventail de mesures de performance représentant l'état du système en cours de fonctionnement. Afin d'analyser la performance réalisée par l'entreprise, ces mesures doivent impérativement faire l'objet d'une sélection pointue et d'agrégations éventuelles conformément à la sélection réalisée dans le module d'analyse. Par défaut, le modèle de simulation propose aux utilisateurs de nombreuses mesures de performance traditionnellement suivies (mesures opérationnelles, financières...) et inclut également les indicateurs spécifiques définis par l'entreprise analysée. Ce panel de mesures est notamment exploité lorsque le décideur souhaite comparer la qualité informative des différentes mesures capables d'exprimer une même notion.

Dans le même ordre d'idée, la simulation met en évidence les éventuels effets pervers que l'action de pilotage envisagée peut déclencher. Il arrive, en effet, que la mise en œuvre d'une action engendre, à plus ou moins long terme, une dégradation du fonctionnement et de la performance globale du système de production ou encore que l'action perturbe le déroulement de plans d'action déjà engagés dans l'entreprise. Éprouver les actions de pilotage sur une représentation du système réel renforce la cohérence globale du système de pilotage et des décisions qu'il engendre.

Dans un environnement en constante mutation, le délai de réaction à toute modification de celui-ci est source de compétitivité pour l'entreprise. De plus, si le délai de mise en œuvre de l'action de pilotage est trop long, il est probable que lors de l'engagement de l'action, celle-ci soit déjà obsolète. Le fait d'éprouver préalablement les actions de pilotage réduit le délai de réponse entre le moment où la décision de

corriger une performance insatisfaisante est prise et le moment où celle-ci est transformée en action de pilotage pertinente appliquée au système réel. Les résultats des scénarios alternatifs sont rapidement estimés avec un niveau de confiance élevé et sont ensuite aisément comparés afin de sélectionner l'action de pilotage la plus pertinente. L'intégration d'un tel mécanisme dans un système de pilotage renforce sa capacité à adapter le fonctionnement de l'entreprise à son environnement voire à anticiper les évolutions potentielles.

Ce principe d'expérimentation qui caractérise la simulation a également le pouvoir de minimiser les risques pris par l'entreprise lors de l'engagement de nouvelles actions. Ceux-ci sont de différents ordres. Citons notamment la mobilisation de ressources humaines, l'investissement financier, la dégradation de l'image de l'entreprise...

La technique de la simulation offre au décideur, la possibilité d'élargir l'éventail des possibilités d'action sans conséquence sur la performance du système réel. En effet, si le savoir-faire des managers est incontestablement inestimable et irremplaçable, ils sont cependant susceptibles de limiter les possibilités d'action en tentant de reproduire ce qui a déjà été fait et a fonctionné dans le passé. Ils omettent d'envisager des alternatives suffisamment innovantes. J.D. Arnold [Arnold, 1992] ajoute que fréquemment les décisions prises par les managers ne se révèlent pas être des plus bénéfiques à long terme. La simulation peut donc révéler toute sa puissance en testant des actions originales et en éprouvant les actions sur le long terme, les caractéristiques du système et de son environnement étant stables. Le mécanisme de pilotage de la performance proposé soutient la simulation dans cet exercice en favorisant l'émergence de l'ensemble des actions amélioratrices qu'elles soient innovantes ou non.

Un atout supplémentaire de la simulation est qu'elle est un outil didactique capable de jouer un rôle prépondérant dans la réduction des problèmes de résistance au changement manifestés principalement par les acteurs de l'entreprise. En effet, par la visualisation des résultats attendus, le personnel impliqué dans le changement comprend plus facilement l'intérêt du changement proposé et se l'approprie également plus aisément.

A la lecture de ce qui précède, il est aisé de constater le rôle essentiel joué par la simulation dans la mise en place des quatre fonctionnalités de la boucle de pilotage virtuel : étude d'incidences, paramétrage d'action, sélection d'action d'amélioration et didacticiel ; ce qui en fait un élément incontournable de la boucle de pilotage virtuel d'un système de production complexe.

Le modèle de simulation se différencie des autres modèles d'action par son utilisation systématique lors d'une prise de décision opérationnelle. En cas de décisions relevant des niveaux décisionnels tactiques et stratégiques, d'autres modèles de comportement sont susceptibles d'être développés pour répliquer le système piloté. Des modèles d'optimisation ou hybrides sont éventuellement sollicités pour évaluer les stratégies d'amélioration de la performance.

6.2.1.2 Modèles mathématiques instanciés

Une fois construit et instancié, le modèle mathématique offre des possibilités analogues à celles proposées par la technique de la simulation.

Si la capacité optimisatrice de cette dernière se limite à des interventions locales, le modèle mathématique dépasse la « simple » reproduction ou optimisation du système analysé en proposant, systématiquement, si elle existe, la solution optimale au problème posé.

Son principal inconvénient réside dans son inadéquation à représenter un système de production trop complexe et/ou de granularité spacio-temporelle trop fine. Bien qu'extrêmement efficace, ce type de modèle comportemental ne sera donc exploité que dans des circonstances précises.

Quel que soit le modèle de comportement sollicité, le fonctionnement de la boucle de pilotage virtuel et l'utilisation des modèles de résultats sont inchangés.

6.2.2. AUTRES MODÈLES D'ACTION INSTANCIÉS

Pour atteindre ses objectifs, la boucle de pilotage virtuel utilise différents modèles sélectionnés dans la bibliothèque de modèles d'action ou développés pour les besoins du pilotage. Après instantiation, ces modèles sont exploités pour construire différentes solutions et évaluer les scénarios *via* les tableaux de bord des modèles de résultats.

L'exploitation des modèles d'action nécessite, dans le cadre d'un pilotage opérationnel, qu'ils soient couplés avec le modèle de simulation. Le principe de fonctionnement de ce modèle hybride est illustré sur la Figure 34.

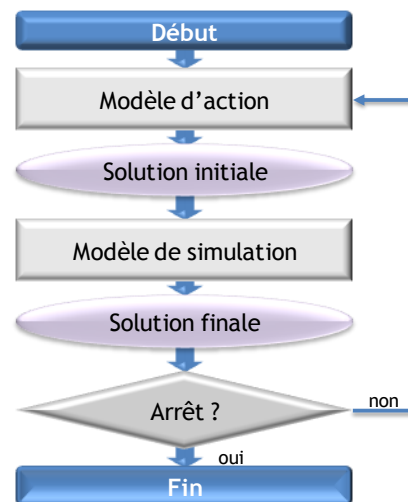


Figure 34: Hybridation d'une méthode d'optimisation et d'un modèle de simulation, principe de fonctionnement

Les solutions sont établies par le modèle d'action et leur évaluation estimée par simulation [Dhaevers *et al.*, 2007] [Duvivier *et al.*, 2007] [Roux *et al.*, 2005 ; 2008 a ; 2008 b]. Tant que les conditions d'arrêt ne sont pas rencontrées le processus est relancé. Ces conditions sont, par exemple, un nombre d'itérations à mener ou un temps d'exécution maximal.

La nécessité de fournir des solutions de compromis entre des critères d'évaluation et des objectifs souvent antagonistes et de vérifier leur validité statistique lors d'optimisation à caractère stochastique nous a amenés à intégrer, respectivement, dans la boucle de pilotage, une méthode multicritère et une analyse statistiques des résultats. L'utilisation du module d'analyse multicritère et statistique repose sur un groupement des indicateurs de performance en un système de tableaux de bord.

Le système de tableaux de bord, l'analyse multicritère et l'analyse statistique composent les modèles de résultats. Passons en revue ces différents composants.

6.2.3. MODÈLES DE RÉSULTATS

Les modèles de résultats fournissent au décideur l'ensemble des outils nécessaires à l'évaluation, à la validation, au classement et à la sélection des alternatives de pilotage.

En règle générale, ce composant est intégré dans la boucle de pilotage virtuel mais il peut également être utilisé en dehors de la boucle virtuelle. Dans ce cas, son utilisation a pour objectif de superviser la performance du système réel ou de calibrer le système de pilotage en aiguillant le choix des indicateurs de performance ou des mesures qui les composent, en déterminant la fréquence de prélèvements des mesures physiques...

Toutefois, dans le cadre d'un mécanisme de pilotage souple, cette situation est plutôt exceptionnelle et se déroule principalement lors de la mise en place du système de pilotage. La philosophie du pilotage souple

est d'évaluer *a priori* toute action avant son application sur le système réel et donc de recourir systématiquement à la boucle de pilotage virtuel.

Le premier élément, basique et incontournable, des modèles de résultats est le système de tableaux de bord qui offre une vue synthétique et globale de la performance du système piloté. Son second élément, le module d'analyse multicritère et statistique, utilise ces indicateurs de performance pour comparer les alternatives de pilotage et valider le choix effectué.

6.2.3.1 Systèmes de Tableaux de bord

Un tableau de bord doit fournir au décideur une vue complète et cohérente des résultats de l'entité qu'il dirige. Il est idéalement présenté dans un format facilitant la prise de décision et est uniquement constitué des indicateurs nécessaires et suffisants à l'appréciation du niveau de performance réalisé.

La sélection des bons indicateurs doit être rigoureusement menée de façon à ne choisir que des indicateurs riches de sens, facilement interprétables, restituables au bon moment et à la bonne personne. Satisfaire l'ensemble de ces exigences est le problème prépondérant de l'élaboration du tableau de bord du décideur.

L'ordre de présentation des indicateurs est un élément essentiel de l'ergonomie d'un tableaux de bord. La manière la plus efficace de les disposer pour faciliter une prise de décision est de les classer selon leur pertinence par rapport aux préoccupations de suivi. C'est le seul élément relatif à l'ergonomie que nous abordons dans cette recherche doctorale, ce sujet constituant un sujet de recherche à part entière.

Compte tenu notamment du caractère multi-acteur de la performance, son évaluation implique la mise en place non pas d'un tableau de bord unique mais d'un système de tableaux de bord calqué sur la structure de pilotage de l'entreprise. Au sein de ce système, chaque tableau de bord est associé à un centre de décision et les différents tableaux sont interconnectés par des liens de subordination et de coordination.

Garantir la cohérence de l'ensemble et sélectionner les indicateurs les plus appropriés ne sont pas choses aisées, toute redondance ou incohérence, spatiale ou temporelle, étant à bannir ! Par exemple, un indicateur peut être affiché à divers niveaux d'agrégations et sous des formats visuels adaptés aux besoins de chaque utilisateur. Le développement et l'exploitation d'un tel système présentent donc des obstacles multiples.

La gestion de l'ensemble des tableaux de bord impliqués dans le pilotage de la performance, chacun correspondant à une vue, un niveau de détail ou de préoccupation différent, a donc pour conséquence de complexifier considérablement la gestion du système de pilotage.

L'organisation du système de tableaux de bord élaborée par D. Mollard [Mollard, 2006] autorise une navigation entre les tableaux de bord de différents niveaux selon la hiérarchie de l'organisation ou selon les niveaux d'agrégation des indicateurs (*cf.* Figure 35).

Cette vue « maître-détail » est très performante. Un tableau de bord unique peut être défini comme le point de départ de la navigation et correspondre aux préoccupations directes de son utilisateur. Néanmoins, l'accès aux informations détaillées ou relatives au processus évalué dans sa globalité n'est pas verrouillé.

Le système d'information décisionnel proposé intègre la conception des systèmes d'alimentation, de stockage et de restitution en intégrant la gestion de la qualité des données, la validation du système et la gestion de ses évolutions. Un modèle d'architecture du système d'information décisionnel est développé.

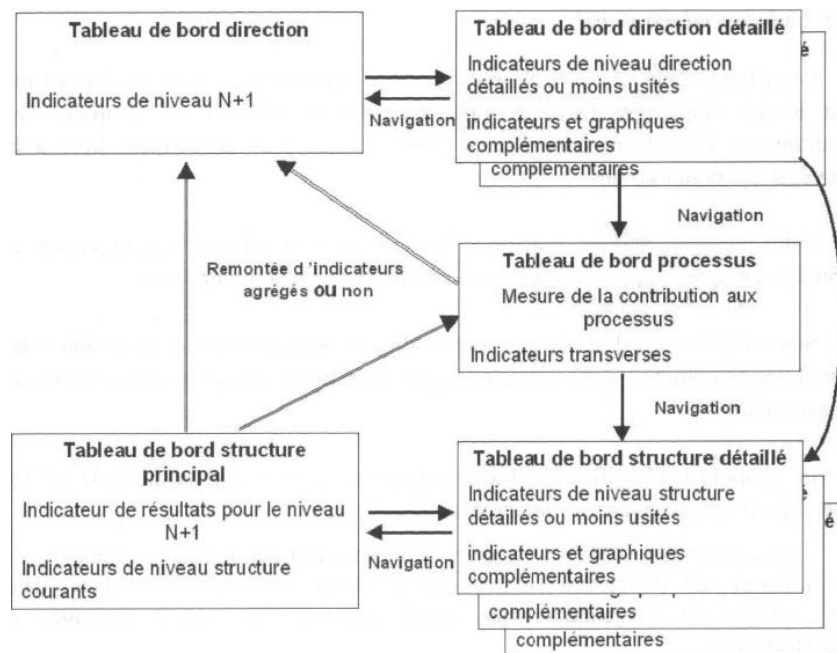


Figure 35: Système de tableaux de bord [Mollard, 2006]

Le mode de fonctionnement du système de tableaux de bord que nous venons de décrire succinctement a été adopté au sein de la boucle de pilotage virtuel. La mise en place d'une architecture pointue de gestion des données n'a cependant pas été réalisée. Celle-ci constitue l'un des développements souhaité de la plate-forme.

Toutefois, pour chaque centre de décision, deux séries similaires de tableaux de bord principaux cohabitent. L'une contient les mesures de performance en provenance du système réel et l'autre les mesures fournies par sa réplique.

Aux informations communes contenues dans ces deux séries, s'ajoutent, dans les tableaux de bord virtuels, les indicateurs de performance liés aux objectifs jugés prioritaires et destinés à sélectionner l'action de pilotage à mettre en œuvre. Ces tableaux de bord sont construits à partir des données fournies par le modèle d'action instancié résultant de l'hybridation d'un modèle comportemental et d'un modèle d'optimisation.

Le tableau de bord réel est, quant à lui, alimenté par l'action « Evaluation » qui collecte et achemine les mesures physiques du système réel de production de l'entreprise vers le composant « modèles de résultats » afin d'en apprécier la performance.

La comparaison entre les résultats réels et fictifs s'opère à divers moments de l'exploitation du système de pilotage voire de façon continue. Elle intervient notamment afin de veiller à la parfaite concordance entre la réalité et la fiction, afin de jauger l'intérêt de la mise en œuvre de l'action de pilotage éprouvée ou de son paramétrage.

Le second élément constitutif du composant « Modèles de résultats » est le module d'analyse multicritère et statistique.

6.2.3.2 Module d'analyse multicritère et statistique

Au sein de notre approche, le décideur choisit un plan d'actions ou une configuration de celui-ci, évalué à partir d'un ensemble d'expressions de performance élaborées par le système d'indicateurs. Ce choix est guidé par une méthode multicritère de façon à bénéficier d'une évaluation consensuelle.

L'aide à la décision est l'activité de celui qui, se basant sur certains modèles, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions posées par un intervenant dans un processus de décision. Ces éléments ont

pour objectifs d'accroître la cohérence entre l'évolution du processus, d'une part, et les objectifs et le système de valeur de l'intervenant, d'autre part [Roy *et al.*, 2003].

Un tri lexicographique¹ peut paraître suffisant pour déterminer la performance globale du système piloté tant qu'il est possible de classer strictement les critères à optimiser. Or, il est rarement facile de classer les critères dans le cadre d'un problème réel ; mais surtout, lors de la comparaison de deux solutions de progrès, un décideur accepte bien souvent une stratégie qui est moins intéressante du point de vue d'un critère si cette dernière offre des améliorations significatives sur d'autres critères. De ce fait, le classement des stratégies de pilotage selon plusieurs critères de performance est loin d'être trivial, surtout en présence de critères antagonistes de même importance aux yeux du décideur.

L'analyse multicritère ou les méthodes d'aide à la décision multicritères désignent généralement un ensemble de méthodes permettant d'agréger plusieurs critères avec l'objectif de sélectionner une ou plusieurs actions, options ou solutions [Sassine, 1998].

Les spécialistes distinguent quatre approches d'analyse multicritère [Roy, 1985] :

- La programmation mathématique à objectifs multiples [Zeleny 1982] : une action est représentée par un ensemble de variables réelles. L'ensemble des solutions possibles est défini par des contraintes linéaires. La solution choisie doit satisfaire les critères (numériques). Il existe trois approches de résolution : la recherche de solutions efficaces, la programmation des buts et la recherche du meilleur compromis ;
- La théorie de l'utilité multi-attribut [Zeleny 1982] : extension de la théorie classique de l'utilité cette méthode représente les préférences d'un individu au moyen d'une fonction d'utilité qui agrège plusieurs critères. La meilleure solution est celle maximisant cette fonction d'utilité ;
- L'approche de surclassement de synthèse [Roy, 1968] : cette approche est la base de l'école française de décision multicritère. La relation de surclassement définit qu'une action en surclasse une autre s'il existe suffisamment de critères sur lesquels elle est mieux classée, et si les écarts sur les autres critères ne sont pas trop importants ;
- L'approche de la désagrégation des préférences [Jacquet-Lagrèze & Siskos, 1983] : le but de la méthode est d'évaluer chaque action dans son ensemble, sans décomposition par critère. A chaque critère est associée une fonction d'utilité, la fonction d'utilité additive permet une évaluation globale de l'action. Les alternatives évaluées appartiennent à un ensemble de référence.

A ces quatre approches, une approche issue des sciences politiques, sociales et économiques peut être ajoutée : la méthodologie *Analytic Hierarchy Process* ou *AHP* [Saaty, 1977 ; 1980]. Après avoir décomposé le problème en une structure hiérarchique, la méthode propose de comparer des paires d'alternatives par critère. A partir de ces comparaisons, les poids des critères sont déterminés et une agrégation permet d'obtenir une évaluation globale de chaque action possible.

La méthode *AHP* est utilisée dans diverses études relatives à l'évaluation de la performance pour la sélection d'actions de pilotage. Elle est associée ou non à d'autres méthodes ou analyses lors de la réalisation de cette troisième étape du processus de décision. Citons notamment le modèle *QMPMS* ou *Quantitative Models for Performance Measurement Systems* [Suwignjo *et al.*, 1997] [Suwignjo & Bititci, 2000] et l'approche proposée par J. Korpela *et al.* couplant les analyses *AHP* et *SWOT* (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) [Korpela, 2006].

Outre la visualisation du réseau cause-effet hiérarchique, la seconde activité « Conception » du processus de prise de décision, l'outil *TAPS* développé par K. Tan et K. Platts fournit aux décideurs un système d'identification des variables d'action clé de son système de pilotage, des actions à implémenter prioritairement et des techniques/outils à déployer pour activer ces variables. *Via* les analyses *trace-down* et *trace-up*, cet outil évalue l'impact de toute modification d'une variable sur les autres variables du réseau et inversement, détermine quelles variables modifier et dans quelle direction pour produire le changement souhaité. De cette manière, il facilite la mise en évidence des variables d'action incontournables pour l'atteinte de l'objectif visé. Toutefois, le diagramme cause-effet résultant est, dans de nombreux cas, encore trop complexe. La fonction filtre pourra également être utilisée en complément de ces analyses *trace-down* et *trace-up* de manière à ne sélectionner que les variables répondant à des

¹ Les critères sont triés de gauche à droite, du plus important au moins important, à l'instar du classement alphabétique des mots d'un dictionnaire.

critères spécifiques. Le résultat de cette étape est l'identification des variables clé du système. Pour chacune d'entre elles, un ensemble d'actions potentielles est généré. L'application de la méthode *AHP* compare et évalue ensuite les différentes actions afin de sélectionner la plus pertinente. Afin de réduire le temps de calcul de la méthode *AHP*, une pré-sélection des actions peut être opérée grâce à l'utilisation de l'outil de filtrage et de jugements d'experts.

L'inconvénient majeur de l'approche *AHP* est que l'opérateur d'agrégation utilisé pour le calcul de la performance globale des actions de pilotage est la moyenne arithmétique pondérée. Cette dernière synthétise plusieurs mesures de performance en une seule mais néglige les interactions mutuelles existant entre les mesures de performance à agréger.

Il est aussi possible de considérer l'approche de Pareto optimalité [Jacquemin et Tulkens, 1996]. Une solution est dite Pareto optimale si la valeur de n'importe quelle fonction objectif la caractérisant ne peut être améliorée sans dégrader au moins une des autres fonctions objectif [Chankong & Haimes, 1983]. La comparaison de deux solutions Pareto optimales est laissée à l'appréciation du décideur lui-même.

Le recours à une méthode d'aide à la décision multicritère se justifie pleinement dans un système de pilotage de la performance d'un système de production. L'analyse multicritère est, en effet, en parfaite adéquation avec la vision multicritère de la performance dans laquelle les critères d'évaluation de la performance ou indicateurs sont multiples.

Aux niveaux décisionnels opérationnel et tactique, un système de pilotage est généralement sollicité dans un contexte de prise de décision en temps limité. Dans ce cadre, ce n'est pas l'optimalité des solutions trouvées qui est visée mais plutôt l'obtention d'une solution satisfaisante représentant le meilleur compromis aux yeux du décideur, ce qui cadre parfaitement avec le principe directeur d'une méthode multicritère.

Une analyse multicritère guide le décideur dans le choix du plan d'actions à mener ou du paramétrage à appliquer. Nous avons donc choisi d'implémenter ce type de méthode dans la plate-forme de pilotage souple. Notre choix s'est porté sur la méthode *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations II, Prométhée II* [Brans *et al.*, 1986], [Brans & Mareschal, 1994 ; 2002], [Pomerol & Barba-Romero, 2000] qui présente des avantages non négligeables. Dans cette méthode, le décideur peut par le biais des seuils d'indifférence et/ou de préférence nuancer le classement des actions de pilotage en fonction de l'importance accordée par le décideur aux différents critères, prendre en compte l'imprécision des données, l'imprécision inhérente à un modèle de simulation ou encore l'apparition de phénomènes imprévisibles tels que des aléas liés à la production (interventions humaines, pannes...) [Dhaevers *et al.*, 2005 a ; 2005 b ; 2006] [Roux *et al.*, 2005, 2008 a]. De plus, la méthode ne nécessite pas que chaque critère d'évaluation soit exprimé dans une même unité. Lors d'un classement d'actions envisagées sur base d'une évaluation globale de la performance, cette particularité autorise donc le décideur à conserver chaque indicateur de performance dans son unité habituelle ce qui préserve la lisibilité et l'interprétation des indicateurs.

Afin de valider le choix de l'action qu'il a retenue, le module d'analyse multicritère et statistique offre au décideur l'opportunité de mener une démarche de validation statistique [Dhaevers *et al.*, 2005 a ; 2005 b] [Duvivier *et al.*, 2006] [Roux *et al.*, 2007]. Celle-ci consiste essentiellement à établir ou réfuter l'existence de différences significatives entre des solutions évaluées sur plusieurs critères lorsque celles-ci résultent d'une optimisation à caractère stochastique (mono- ou multicritère). C'est le cas notamment lors de l'évaluation d'une périodicité de maintenance. Il est, en effet, nécessaire de rester vigilant face aux comparaisons, sans tenir compte de leur variabilité, des moyennes des valeurs des critères de différentes solutions. Une fois la différenciation établie, le décideur trie les actions et détermine, avec un certain niveau de confiance, celle qu'il convient d'appliquer.

La démarche utilise le modèle de résultats de la boucle de pilotage virtuel consacré à l'analyse statistique des données. Ce modèle est actuellement composé de divers tests statistiques, paramétriques et non paramétriques basés sur les rangs. Citons notamment les tests de Kruskal-Wallis, Mann-Whitney, Friedman et Wilcoxon [Dagnelie, 1998a;1998b] [Gibbons & Chakraborti, 1992] [Lebart *et al.*, 1982].

Grâce à l'utilisation consécutive des deux modèles de résultats proposés par la boucle de pilotage virtuel, le décideur détient toutes les informations nécessaires pour déterminer l'action qui représente le meilleur compromis à ses yeux. Lorsque celui-ci est convaincu de la pertinence et de la supériorité d'une

action d'amélioration, il l'applique sur le système réel via la boucle de décision du mécanisme de pilotage c'est-à-dire l'activité 5 « Déploiement de l'action sur le système réel ». Dans le cas contraire, s'il n'est convaincu par aucune des alternatives, c'est l'activité 6 « Reconfiguration du système de pilotage » qui est enclenchée.

7. ACTIVITE DE PILOTAGE 5 : DEPLOIEMENT DE L'ACTION SUR LE SYSTEME REEL

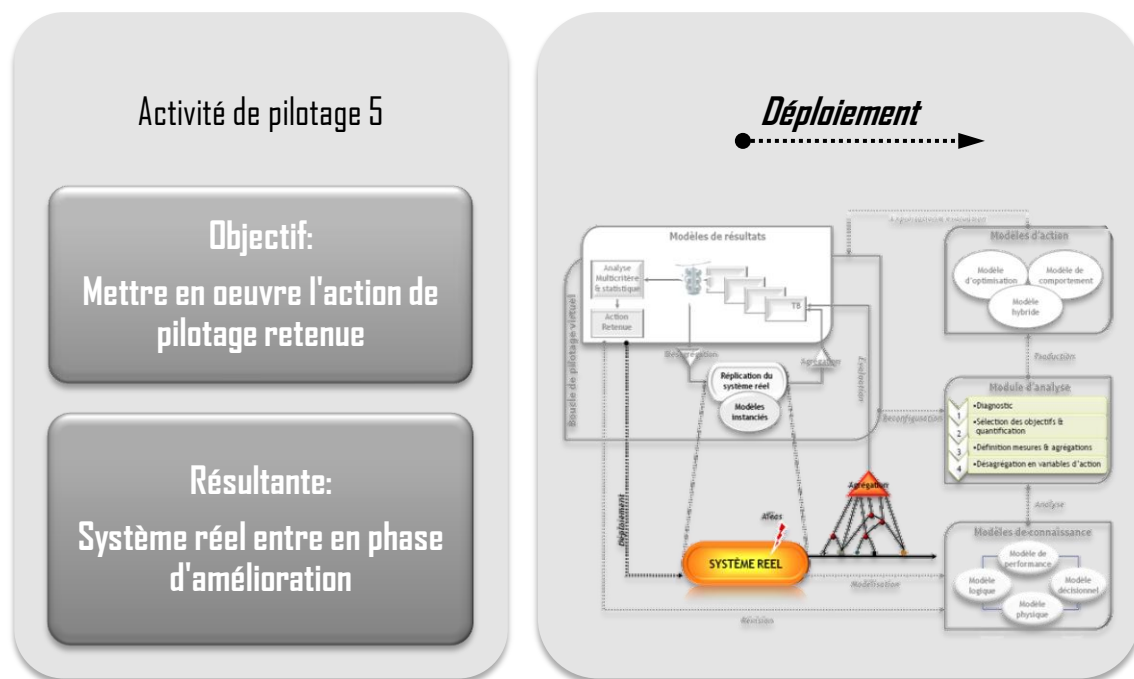


Figure 36: Activité de pilotage 5 « Déploiement »

Le déploiement d'une action de pilotage sur le système réel résulte du fait que le décideur a choisi l'action qu'il estime être la plus bénéfique pour le système piloté. Ce choix est, bien entendu, guidé par les critères d'évaluation utilisés au sein de l'analyse multicritère et statistique de la boucle de pilotage virtuel et par leur hiérarchisation (cf. Figure 36). Néanmoins, le système de pilotage souple développé n'est qu'un outil d'aide à la décision. Toutes les décisions qu'il propose sont validées sur une représentation de qualité mais simplifiée de la réalité. Elles ne sont que des propositions que le décideur acceptera ou refusera. Il est, en effet, le seul à maîtriser totalement l'ensemble des rouages de l'entité qu'il dirige. En dehors des obligations émanant de niveaux hiérarchiques supérieurs, le décideur détient le pouvoir décisionnel final.

Les modifications du système réel induites par la mise en œuvre de l'action de pilotage telle que l'acquisition de ressources auxiliaires supplémentaires ou de compétences additionnelles par un groupe d'opérateurs... sont, dès que possible, recensées dans le ou les modèles de connaissance concernés. Le mécanisme de pilotage est alors relancé par l'activité de modélisation.

8. ACTIVITE DE PILOTAGE 6 : RECONFIGURATION DU SYSTEME DE PILOTAGE

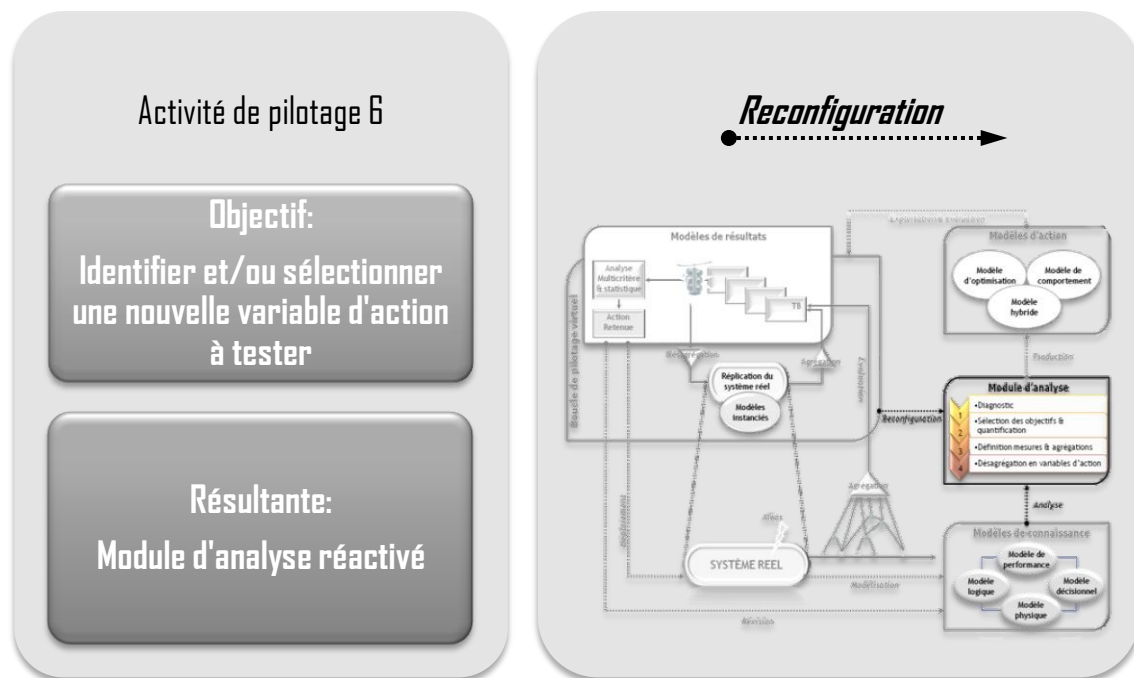


Figure 37: Activité de pilotage 6 « Reconfiguration »

Lorsque les résultats des actions testées au sein de la boucle de pilotage virtuelle sont décevants, une activité de reconfiguration du système de pilotage est engagée par le décideur. Cette activité a pour objectif de solliciter, à nouveau, le module d'analyse et de relancer la réflexion sur la sélection des objectifs à poursuivre et des variables d'actions à tester (*cf.* Figure 37).

Deux niveaux de reconfiguration sont possibles. Le premier niveau consiste simplement à choisir dans le panel résultant de l'activité de pilotage *Analyse* une nouvelle variable d'action à éprouver. Dès que la nouvelle variable d'action et les actions associées sont identifiées, la sélection ou le développement des modèles d'actions pertinents est activée et la boucle de pilotage de nouveau sollicitée. Cette reconfiguration du système de pilotage est la plus fréquemment utilisée.

Le second mode de reconfiguration réitère l'analyse du fonctionnement du système piloté, la simplification de l'arbre des objectifs associés à l'objectif stratégique étudié, l'identification des mesures liées à chaque objectif résultant, et établit un nouveau panel de variables d'actions à tester. Toutefois, si l'analyse réalisée sur le système piloté a été correctement menée, cette seconde possibilité de reconfiguration ne doit que très rarement se produire. Ce travail en profondeur sur la manière d'atteindre l'objectif poursuivi ne se limite généralement pas à l'amélioration de la sélection des variables d'action, une révision du système de pilotage depuis l'étape de modélisation s'avère nécessaire. Celle-ci est réalisée par le déclenchement de l'activité de pilotage 7.

9. ACTIVITE DE PILOTAGE 7 : REVISION DES MODELES DE CONNAISSANCE SUITE AUX MODIFICATIONS INTERVENUES SUR LE SYSTEME REEL OU EN CAS DE CORRECTION DE LA MODELISATION ETABLIE

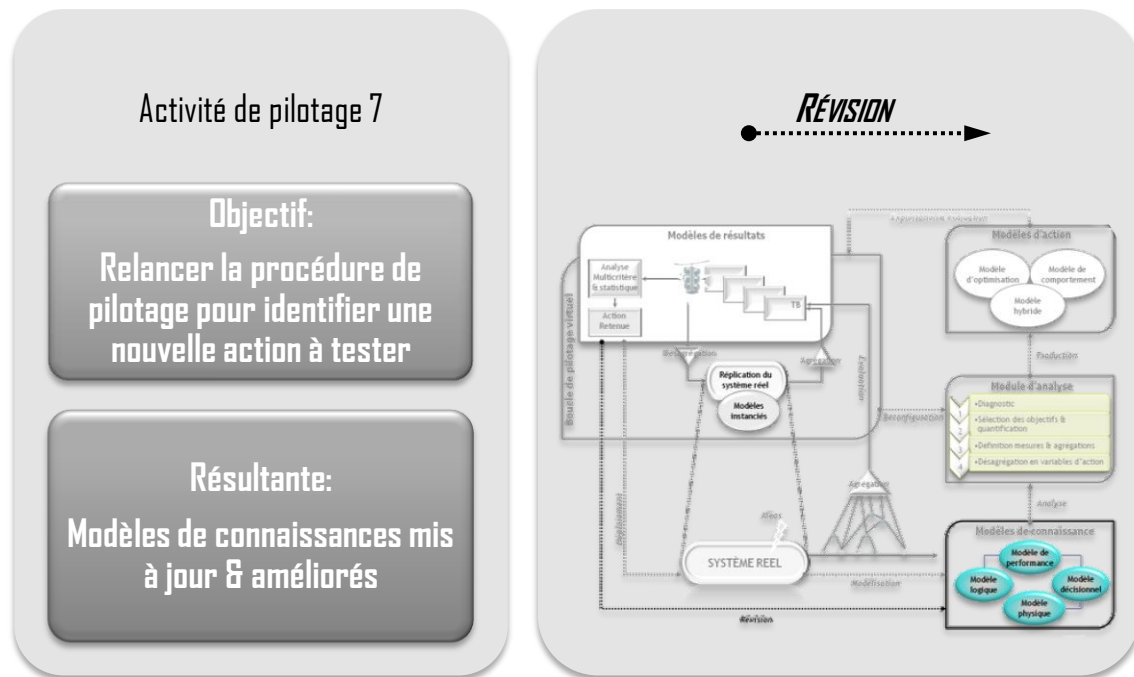


Figure 38: Activité de pilotage 7 « Révision »

Lorsqu'aucune des variables d'action testées n'aboutit aux résultats escomptés et que toute tentative de reconfiguration du système de pilotage a échoué, le décideur est amené à constater l'absence d'informations ou la qualité insuffisante des informations contenues dans l'un des modèles de connaissance. La révision de leur contenu et la relance de la dynamique de pilotage s'impose donc !

Certaines modifications de l'environnement du système piloté freinent ou bloquent complètement l'utilisation du système de pilotage, ce qui nécessite également une mise à jour des modèles de connaissance afin de veiller à leur parfaite adéquation avec la réalité de l'entreprise (*cf.* Figure 38). L'acquisition de nouveau matériel ou la panne d'une machine sont des motifs de révision des modèles de connaissances.

L'activité de pilotage « Révision » impose non seulement une remise en question du système de pilotage d'un décideur mais également du système de pilotage dans sa globalité. Dans cette optique, l'objectif de l'activité est d'initier une révision des variables d'action activées à un niveau décisionnel directement supérieur et d'enclencher la spirale de l'amélioration continue.

Un système piloté dont les objectifs sont extrêmement changeants engendre de fortes perturbations dans le déroulement du pilotage de la performance et nécessite des phases de révision du système plus fréquentes et ce, quel que soit le système de pilotage utilisé par l'entreprise. Ces changements impliquent une mise jour fréquente de l'arbre des objectifs et en bout de course des indicateurs de performance du système piloté. Pour tout système de pilotage, la situation sera difficile à gérer ! Dans l'architecture de pilotage souple, l'impact se fera sentir également au niveau des modèles d'action qui animent la boucle de pilotage virtuel. Le modèle de simulation sera, toutefois, nous semble-t-il, moins sensible à ces perturbations. Un grand nombre de mesures étant calculé par défaut par le simulateur. La capitalisation des modèles d'optimisation et hybrides sera d'autant plus précieuse dans ce scénario.

En conclusion, comme énoncé précédemment dans le second chapitre de ce travail, le système de pilotage de la performance que nous venons de décrire se calque sur le mécanisme de prise de décision décrit par H. Simon [Simon, 1977]. Les quatre étapes fondatrices de ce mécanisme y sont donc reprises.

La première étape du processus de décision, la collecte d'informations équivaut à la première activité de mise en place d'un mécanisme de pilotage de la performance d'un système de production : la constitution du modèle de connaissance.

La seconde, la conception d'alternatives, est comparable dans notre approche, aux étapes d'analyse de la situation, de sélection des objectifs à poursuivre et des variables d'actions qu'il est possible de déployer pour les atteindre. Ces étapes sont regroupées dans notre système de pilotage sous l'intitulé module d'analyse.

La troisième phase, le choix des alternatives, correspond à la sélection des actions de pilotage réellement applicables et pertinentes pour le système de production analysé et à la mise au point des modèles d'actions qui vont permettre de les évaluer.

La dernière, l'évaluation des alternatives retenues, est réalisée dans le système développé par la boucle de pilotage virtuel incluant les modèles d'action instanciés. Celle-ci a pour objectif de valider ou invalider les variables d'action activées en vue d'accroître le niveau de performance du système analysé. L'évaluation de l'impact de chaque variable d'action éprouvée sous la forme d'une action de pilotage est réalisée au moyen des modèles de résultats.

Comme dans le processus de prise de décision, des mécanismes de reconfiguration et de révision sont intégrés dans notre système de pilotage afin de répondre aux besoins d'adaptations identifiés ou de faire face à des événements imprévisibles.

10. CONCLUSIONS DU CHAPITRE 3

Le champ d'application de notre système de pilotage souple a été défini dans ce chapitre en référence à la théorie de la contingence de Mintzberg [Mintzberg, 1986]. Il s'adresse à des organisations de taille raisonnable présentant un niveau de complexité certain afin d'en justifier le développement. Elles sont idéalement des organisations d'âge moyen arborant un service technique peu développé afin que le système de pilotage puisse agir sur les degrés de liberté subsistant dans ce type d'entreprises. Lorsque les organisations visées sont confrontées à un environnement dynamique, le pilotage souple se révèle être un outil encore plus appréciable. Il constitue, en effet, un moyen d'assurer une réaction rapide, adaptée et efficace à toute mutation de l'environnement.

D'une manière générale, les relations de pouvoir exercées sur et au sein de l'organisation réduisent les leviers d'action sur lesquels le système de pilotage souple est susceptible d'agir. Cependant, la souplesse qui caractérise notre système constitue un atout supplémentaire dans l'identification et l'évaluation des actions de pilotage à mener, tout en respectant les exigences imposées.

La conception et l'exploitation d'un système de pilotage reposent sur la connaissance et l'intégration, par l'ensemble des niveaux décisionnels de l'entreprise, des objectifs stratégiques de celle-ci. En effet, le partage de ces objectifs entre les différentes parties prenantes garantit une vision cohérente de la stratégie de l'entreprise et la mise en œuvre d'une approche globale et multicritère de sa performance. Le système de pilotage souple que nous proposons remplit cette mission.

Conformément à notre analyse de la notion de pilotage de la performance, le pilotage souple réalise les activités constitutives d'un processus de prise de décision allant de la collecte d'informations à l'évaluation des alternatives. Sa mise en place et son utilisation se déroulent en sept activités de pilotage réparties en deux phases.

Une phase préparatoire dans laquelle les informations utiles sont recensées ou mises à jour, les besoins d'amélioration sont déterminés et les dispositifs nécessaires à leur obtention sont sélectionnés dans la bibliothèque et instanciés. La préparation consiste à développer trois composants du système de pilotage : le modèle de connaissances, le module d'analyse et les modèles d'action.

Le *modèle de connaissances* regroupe et trie toute l'information utile au pilotage de la performance en quatre sous-systèmes : physique, logique, décisionnel et performance. Lors son élaboration, le modèle de performance, élément-clé de cette étape, requiert l'utilisation d'un mécanisme de décomposition double, structurelle et causale, afin d'identifier l'arbre des objectifs de l'entreprise et les variables d'action associées à chaque objectif. Les mesures potentielles sont également définies pour chaque objectif identifié.

Le *module d'analyse* établit le diagnostic du système piloté afin de déterminer les objectifs à traiter en priorité, identifie la mesure de performance la plus appropriée pour refléter chaque objectif prioritaire et sélectionne leurs variables les plus pertinentes afin de les désagréger, à l'aide du mécanisme de décomposition, en actions de pilotage.

Les *modèles d'action* mettent en scène les actions de pilotage retenues sur une représentation du système de pilotage réel. La plate-forme comprend une bibliothèque de modèles de comportement, d'optimisation et hybrides dans laquelle le décideur choisira, par l'intermédiaire de l'interface utilisateur, les modèles répondant à ses besoins. Actuellement la bibliothèque se compose d'un modèle de simulation dupliquant une production de type jop-shop utilisant le simulateur RAO, un modèle mathématique de planification à capacité finie, un modèle mathématique de planification-programmation résolu à l'aide d'une méthode exacte de type Programmation Linéaire en Nombres Entiers, de trois méthodes hybrides plus ou moins complexes exploitant diverses méthodes sérielles, un Hill-Climber, le modèle de simulation, l'aide à la décision Prométhée II et/ou une méthode Tabou.

La seconde phase du Pilotage souple est la phase d'exploitation. Celle-ci consiste à activer la *boucle de pilotage virtuel* utilisant les données récoltées et les dispositifs mis au point lors de l'étape de préparation du système de pilotage.

L'évaluation des actes de pilotage repose sur l'exploitation des *modèles de résultats* inclus dans la boucle. Ce composant comprend de deux éléments : le double système de tableaux de bord, réel et virtuel, et le module d'analyse multicritère et statistique. Les tableaux de bord virtuels sont alimentés par les résultats fournis par la représentation du système réel couplée aux modèles d'action paramétrés et les tableaux de bord réels sont établis lors de l'application de l'action choisie sur le système réel. Le module d'analyse multicritère et statistique classe les alternatives de pilotage afin d'identifier l'action à mettre en œuvre prioritairement sur le système réel et valide statistiquement la proposition. Pour ce faire, la plate-forme intègre la méthode d'aide à la décision *Prométhée II* pour le classement des solutions et utilise le logiciel *Minitab 14* pour l'analyse statistique des résultats.

La révision du système de pilotage est partie intégrante dans la phase d'exploitation du Pilotage souple. Celle-ci doit, en effet être continue, afin de veiller à la parfaite cohérence des résultats issus du monde réel et du monde virtuel.

Lors du développement du système de pilotage, la phase préparatoire occupe une place prépondérante. Son niveau de déploiement conditionne la rapidité et la facilité avec laquelle le système de pilotage sera opérationnel.

En cours d'exploitation, la seconde partie de l'architecture est la plus sollicitée. Les informations nécessaires au bon fonctionnement du système de pilotage ont été collectées, analysées et sélectionnées. Sans véritable mutation du système de production, de ses objectifs ou de son environnement, les modèles constituant la préparation du pilotage ne font, en effet, l'objet que d'enrichissements ou de révisions légères.

De par sa conception, le système de pilotage souple de la performance apporte une réponse pertinente à chacune des interrogations mises en évidence lors de l'analyse comparative de systèmes de pilotage contemporains. Tous les choix et prises de position ont été justifiés. De même, les remarques d'ordre général ont été prises en compte lors de la conception de l'architecture de pilotage souple.

Les réponses apportées se résument donc comme suit :

- Une méthodologie pour la déclinaison des objectifs stratégiques en objectifs opérationnels a été proposée. Son originalité réside dans la mise en œuvre d'une double décomposition, structurelle et causale ;
- Privilégier la conservation des mesures et indicateurs précédemment utilisés dans l'entreprise et non le recours à des mesures génériques imposées est l'option que nous avons retenue ;
- Dans le même ordre d'idées, il nous semble essentiel de conserver les mesures de performance exprimées dans leur unité d'œuvre. Le mécanisme d'agrégation que nous proposons pour la construction de performances agrégées respecte ce choix en établissant une performance agrégée relative, expression d'un changement fournie par la méthode d'aide à la décision *Prométhée*.
- La désagrégation des objectifs en variables d'actions et en actions est perçue, dans notre système, comme la continuité de la déclinaison des objectifs afin d'accroître la cohérence globale du système de pilotage. Une décomposition structurelle et causale est donc également utilisée. La sélection des variables d'action à traiter en priorité repose sur un processus d'analyse organisé en quatre phases.
- Une évaluation *a priori* des alternatives de pilotage est proposée par le pilotage souple au moyen de la boucle de pilotage virtuel, élément-clé de ce système. En outre, une analyse multicritère guide le choix du décideur et, si nécessaire, ce choix peut être validé statistiquement.
- Les liens entre les indicateurs de performance sont évidemment pris en compte par le pilotage souple, et ce de différentes manières :
 - par l'existence même du modèle de performance ;
 - par la méthode de construction de l'indicateur au sein du modèle d'analyse de l'existant ;
 - par la procédure d'agrégation proposée ;
 - par l'identification des liens au moyen des graphes de corrélations ou corrélographes ;
 - par l'utilisation de la simulation qui est capable de mettre en évidence les effets de leviers, les effets pervers et l'inertie de l'action.
- Le pilotage souple prévoit une mise à jour continue de son modèle de connaissance et de la concordance entre réalité et virtuel afin de s'assurer de la cohérence globale du système. Le recours à la simulation est également un outil garant de la cohérence spatiale et temporelle du système de pilotage ;
- Un double système de tableaux de bord compose l'architecture du pilotage souple afin d'alimenter les deux boucles de pilotage. Le graphe de corrélation constitue un outil précieux lors de leur conception ou de leur révision afin de détecter toute redondance d'information et en améliorer la qualité informative.
- La révision du système de pilotage souple est, de par sa conception, continue. Elle concerne la modélisation, l'analyse de l'existant et le modèle de comportement instancié. La révision est notamment induite par la boucle de pilotage.

Le système de pilotage souple couvre donc, dans un cadre d'application défini, non seulement les fonctionnalités attendues d'un système de pilotage : évaluation et amélioration continue mais également la fonctionnalité originale d'aide à la décision.

Toutes les étapes de réalisation du pilotage souple sont identifiées et outillées à partir la stratégie de l'entreprise jusqu'à l'application sur le système réel d'une décision qui soit le meilleur compromis aux yeux du décideur et statistiquement validée. Nous pouvons donc souligner le caractère complet du système de pilotage souple.

Trois éléments originaux caractérisent ce système. Le premier est la création d'un modèle de connaissance dédié à la performance afin de veiller à ce que les informations de performance soient l'enjeu majeur du système de pilotage et qu'elles soient organisées de manière cohérente. Un mécanisme de décomposition double des objectifs stratégiques adapté à un pilotage technique a été développé pour renforcer cette cohérence.

Le second est le module d'analyse de l'existant qui est une démarche structurée qui officialise les objectifs poursuivis et les indicateurs de performance. Ce module oblige également la mise à jour des tableaux de bord. Le mécanisme de décomposition double est également sollicité en phase d'analyse pour l'identification des variables d'actions et des actions de pilotage afin d'accroître la cohérence globale du système.

Le troisième élément concerne la création d'une boucle de pilotage virtuel et le choix de ces différents composants.

Le premier composant caractéristique de cette boucle est le recours à une représentation du système réel pour y expérimenter, sans risque, les actions de pilotage retenues par le décideur pour leur valeur potentielle en termes d'amélioration du niveau de performance globale. Compte tenu du cadre d'application fixé pour cette étude, l'intérêt de recourir à la simulation dans un système de pilotage est, en effet, apparu comme une évidence pour sa capacité d'évaluation *a priori* des actions de pilotage mais également pour sa capacité à vérifier et/ou garantir la cohérence globale du système de pilotage.

La nécessité de fournir des solutions offrant de bons compromis entre les critères bien souvent antagonistes de l'entreprise nous a amenés à intégrer au sein de notre système de pilotage un autre élément original : une méthode d'aide à la décision multicritère afin d'absorber les incertitudes et d'apporter des nuances dans le classement des actions d'amélioration. Cette méthode a également été exploitée pour contourner le problème de l'agrégation de mesures ou d'indicateurs de performance et fournir une performance globale relative au décideur sans toucher aux unités de mesure des éléments agrégés.

Une démarche de validation statistique est enfin proposée au pilote dans le modèle de résultats de la boucle de pilotage virtuel afin d'établir l'existence de différences significatives entre les actions de pilotage éprouvées.

Tous les choix réalisés ont été effectués dans l'esprit de faciliter l'adhésion du personnel, l'utilisation et la mise à jour de la plate-forme gérant le pilotage souple.

Cependant, la plate forme n'est pas fermée mais, au contraire, elle a été développée de manière à être enrichie de toutes les méthodes ou outils en phase avec le système étudié qui seraient susceptibles d'en accroître l'efficacité. C'est dans ce but que, par exemple, nous avons présenté différents outils utiles à la collecte des informations composant le modèle de connaissances. Nous avons, cependant, toujours conclu, les sections concernées, par la description de la méthodologie préconisée ou développée par nos soins pour le système de pilotage souple.

L'architecture de pilotage souple a été déployée avec succès dans l'entreprise ArcelorMittal Fontaine. Le chapitre 4 présente cette validation et l'utilisation des outils pour élaborer chaque composant de l'architecture.

CHAPITRE 4
CONFRONTATION
À LA RÉALITÉ DE L'ENTREPRISE,
LE CAS ARCELORMITTAL FONTAINE

CHAPITRE 4

CONFRONTATION

À LA RÉALITÉ DE L'ENTREPRISE,

LE CAS ARCELORMITTAL FONTAINE

Ce chapitre est consacré à l'expérimentation du système de pilotage souple en milieu industriel et plus précisément, à la réalisation de la phase préparatoire à tout acte de pilotage d'un système de production. Les résultats obtenus lors de l'exploitation du système de pilotage et les démarches d'amélioration mises en œuvre en réponse à ceux-ci font l'objet du chapitre suivant.

Notre partenaire industriel est l'entreprise belge ArcelorMittal Fontaine, filiale du groupe international ArcelorMittal. Celle-ci est brièvement décrite dans la première section de ce chapitre.

La seconde section souligne la particularité de la problématique à résoudre dans le cadre d'une validation du système de pilotage souple en milieu industriel.

La troisième section est consacrée à la mise en place du pilotage souple dans notre entreprise cible. Le contenu de chaque composant du système de pilotage et la procédure suivie pour son élaboration y sont détaillés. Seules les informations utiles à l'exploitation du pilotage souple sont décrites dans ce chapitre.

Lors de l'élaboration des composants de pilotage, nous avons privilégié, chaque fois que cela était possible, le développement de composants génériques en vue d'un réemploi dans d'autres cas d'application moyennant éventuellement de légères modifications. La définition du mode de pilotage visé pour lequel les composants sont aisément réutilisables précède la description des composants établis lors de la validation.

Quelle que soit la phase d'évolution d'un système de pilotage de la performance (mise en place, exploitation ou révision), son utilisation nécessite que la stratégie développée par l'entreprise soit clairement et judicieusement définie et que le système d'informations de l'entreprise soit suffisamment développé et instrumenté pour fournir les informations utilisées par la démarche de pilotage. Dans ce travail de recherche, nous considérons que ces deux conditions préliminaires sont respectées.

Le lecteur comprendra aisément qu'afin de ne pas mettre en difficulté l'entreprise partenaire, les données et renseignements contenus dans les différents composants du système de pilotage ne sauraient être divulgués dans leur intégralité. Certaines informations telles que la capacité de production, les perspectives de développement de l'entreprise... seront donc partiellement présentées ou tues.

1. VALIDATION EN ENTREPRISE : LE CAS « ARCELORMITTAL FONTAINE »

Notre partenaire industriel est la tréfilerie ArcelorMittal Fontaine du groupe ArcelorMittal, premier producteur mondial d'acier. Elle est située à Fontaine-l'évêque en Belgique.

Après avoir dressé un portrait général du groupe ArcelorMittal et de sa stratégie, les différents composants du système de pilotage de l'entreprise partenaire de notre étude sont décrits.

1.1. LE GROUPE ARCELORMITTAL

Le groupe ArcelorMittal est né de la fusion d'Arcelor S.A. et de Mittal Steel N.V. en 2006. Il est la première industrie de l'acier dans le monde. Ce groupe sidérurgique compte 320 000 employés répartis dans plus de soixante pays sur quatre continents : Europe, Asie, Afrique et Amérique.

Sa présence mondiale lui donne accès à tous les marchés clés de l'acier tels que l'automobile, la construction, l'électroménager et l'emballage tant dans les économies émergentes que dans les économies développées. L'objectif majeur d'ArcelorMittal est de développer sa position sur les marchés chinois et indien, caractérisés par un fort taux de croissance. Cependant, la crise financière actuelle qui touche de plein fouet le groupe l'a obligé à ralentir la mise en œuvre de cet objectif de quelques mois voire années.

Parmi les industries qui composent le groupe, quarante usines sont des tréfileries qui, ensemble, occupent la place de leader mondial. ArcelorMittal Fontaine est un des membres de *ArcelorMittal Tréfileries*. Ces tréfileries proposent à leurs clients un panel diversifié de fils à faible et haute teneur en carbone, de câbles métalliques et de solutions résistantes à la corrosion. L'industrie automobile est le plus gros client du segment, suivi par la construction, l'énergie et l'agriculture.

ArcelorMittal Tréfileries est le tréfileur le plus important et le plus diversifié du monde, avec une capacité de production de 3 millions de tonnes. Sa stratégie est de poursuivre la consolidation menée en Europe et de se développer en Asie, en se concentrant sur des projets renforçant sa position de fournisseur de solutions mondiales doté d'un service de « recherche et développement » de pointe et d'une capacité d'innovation supérieure.

Dans ce cadre, le développement des énergies renouvelables, comme l'énergie solaire, a fait émerger de nouvelles opportunités pour ArcelorMittal Tréfileries. De nouveaux fils ont donc été développés pour satisfaire les besoins de l'industrie photovoltaïque.

Depuis quelques années, la pression sur les marges s'est intensifiée de manière générale dans les tréfileries du groupe afin de rester forte face à l'apparition de surcapacités dans certaines régions. Bien entendu, cette attitude face aux coûts a encore été renforcée par l'arrivée de la crise financière qui frappe l'économie mondiale depuis 2009.

Soucieux du développement durable, le groupe ArcelorMittal estime que son progrès passe par une amélioration continue de la performance environnementale et notamment par la mise en œuvre d'un système de gestion des impacts d'ArcelorMittal sur l'environnement [ArcelorMittal, 2007].

Le but consiste à s'assurer que le groupe respecte les réglementations environnementales et développe des méthodes de production plus respectueuses de l'environnement. La plupart des investissements et procédés améliorés jusqu'à ce jour ont permis une reconnaissance des performances environnementales des sites d'ArcelorMittal. Parmi les exemples, ArcelorMittal Gand, en Belgique, s'est vu attribuer en 2006 la Charte environnementale des Flandres de l'Est, décernée aux entreprises qui démontrent une amélioration continue de leurs performances environnementales et vont au-delà des réglementations existantes.

1.2. L'ENTREPRISE ARCELORMITTAL FONTAINE

L'entreprise ArcelorMittal Fontaine produit environ 35.000 tonnes de fil d'acier de précontrainte par an pour un chiffre d'affaires avoisinant les trente millions d'euros en 2006. Pas moins de 4000 commandes, réparties entre les 200 clients, sont gérées chaque année. Elle occupe 73 personnes dont 55 ouvriers. Ceux-ci travaillent cinq jours sur sept en trois pauses de huit heures. Certains postes de travail fonctionnent également le week-end.

L'usine ArcelorMittal Fontaine exporte environ 80% de sa production dans le monde entier. Elle produit essentiellement sur commande. Les stocks de produits finis de l'entreprise sont, par conséquent, très faibles. Une fraction des commandes, 5 à 10%, correspondent à la reconstitution de ce stock.

Influencée par la pression exercée par une concurrence de plus en plus exacerbée et une conjoncture de plus en plus instable, la stratégie définie par l'entreprise est de conserver son niveau de production en maximisant la satisfaction de sa clientèle, le maintien de la qualité des produits, la minimisation des coûts et des retards de production étant les principaux vecteurs de cette satisfaction.

Toujours en conformité avec la stratégie dictée par le groupe, les préoccupations environnementales et la sécurité du personnel sont également des objectifs majeurs.

En outre, les consignes organisationnelles émanant du groupe sont de garantir, dans les délais impartis, les commandes de fils des usines partenaires et de s'approvisionner en matières premières auprès des producteurs d'acier du groupe.

Les objectifs que nous nous sommes fixés dans le cadre de la validation de cette recherche sont définis précisément dans les paragraphes suivants. Ils résultent de l'adaptation du système de pilotage souple mis au point au système de production étudié et à ses contraintes.

2. EXPOSE DE LA PROBLEMATIQUE DU PILOTAGE SOUPLE CENTREE SUR LA RESOLUTION DU PROBLEME INDUSTRIEL « ARCELORMITTAL FONTAINE »

Le système de pilotage souple développé se définit, conformément aux définitions énoncées dans le Chapitre 2, Section 2, comme un système de pilotage technique visant la gestion prévisionnelle du système de production. Les niveaux décisionnels tactiques et opérationnels sont, par conséquent, directement concernés. Le système de pilotage peut être perçu comme une superposition de trois systèmes complémentaires [Dhaevers *et al.*, 2006 a ; 2006 b] :

- un système de contrôle de l'écart entre l'état atteint et l'état visé afin d'apprécier la performance globale réalisée ;
- un système d'amélioration continue destiné à élaborer des actions d'amélioration de la performance réalisée ;
- un système d'aide à la décision afin de guider le décideur dans le choix d'une ou de plusieurs actions à appliquer prioritairement au système analysé.

Ce mécanisme de pilotage souple permet donc au décideur d'élaborer une politique de pilotage de son système de production en se basant sur les objectifs stratégiques établis par la direction et diverses mesures collectées sur celui-ci. Grâce aux différents composants de pilotage élaborés, ces mesures sont traduites, selon des logiques d'agrégation appropriées, en indicateurs de performance compatibles avec les besoins des différents niveaux décisionnels de l'entreprise. Ces indicateurs participent à la formation de tableaux de bord. La mise en évidence d'un faible niveau de performance signale au décideur le besoin d'amélioration et le mécanisme de détection de la variable d'action la plus appropriée est enclenché.

Dans le contexte actuel de prise de décision en temps limité, un haut degré de réactivité de l'entreprise est essentiel. L'architecture de pilotage souple est une réponse à ce besoin vital qui, s'il n'est pas satisfait à temps, plonge l'entreprise dans une situation où les améliorations deviendront de plus en plus conséquentes et difficiles à mettre en place. Ce constat est vrai quel que soit l'élément créant le besoin de réactivité : un niveau de performance insuffisant ou une possibilité d'amélioration.

En cas de performance insuffisante, lorsqu'une décision de pilotage se fait attendre, la situation ne peut que continuer à se dégrader. La productivité de l'atelier décline, les délais de production s'allongent et les retards de livraison s'accumulent... Les réactivités d'ordre 1 et d'ordre 2, évoquées dans le chapitre 1, sont directement concernées.

En cas de potentiel d'amélioration détecté, l'action de progrès envisagée risque de voir ses effets positifs sur la performance globale du système atténués par une mise en œuvre tardive. La progression des concurrents et de manière générale, l'évolution de l'environnement de l'entreprise le justifient entre autres. De plus, si le responsable ne saisit pas suffisamment rapidement l'opportunité de progrès, l'intérêt du projet ne peut qu'au fil du temps, se dissiper aux yeux des acteurs concernés.

La réactivité est donc, à l'heure actuelle, un critère de performance incontournable. Elle ne peut donc être négligée par les entreprises. Selon leur mode d'organisation, le critère est mis en exergue de manière plus ou moins soutenue. Une production sur commande nécessite, par exemple, un niveau de réactivité élevé.

Le système de production visé par notre validation est de type discret ou semi-continu. L'ensemble des outils méthodes et dispositifs utilisés dans le cadre du pilotage ont été minutieusement choisis en fonction des caractéristiques énumérées ci-dessus. Ces outils ont été conçus sous une forme générique afin d'autoriser leur réemploi dans le pilotage de systèmes productifs correspondant à la description.

Une vision mono-acteur est envisagée dans la validation de notre recherche. Bien que la perception du système analysé soit unique, elle intègre, cependant, différents aspects. Ceux-ci sont en lien avec les responsabilités directes de l'acteur mais également avec les concepts périphériques à celles-ci. Par exemple, le responsable de production s'intéresse à l'organisation de sa production sans négliger la qualité des produits réalisés, la maintenance des postes de travail ou encore l'approvisionnement en matières premières de ceux-ci... qui sont susceptibles d'influencer la performance du système qu'il gère.

Pour chaque aspect, les niveaux décisionnels tactique et opérationnel sont considérés. En matière d'organisation de la production par exemple, le calcul de charge des différents postes de travail, la planification ou l'ordonnancement de la production sont pris en compte de façon à couvrir ces deux niveaux de décision.

Si de prime abord, se limiter à un seul décideur semble trop restrictif pour être efficace, le problème du pilotage de la performance d'un système de production tel que nous l'avons défini est déjà complexe à gérer mais, moyennant certaines précautions que nous soulignons dans la section suivante, apporte d'excellents résultats. Envisager une vision multi-décideurs nécessite d'exploiter des techniques de négociation entre décideurs [Huguet *et al.*, 1996] [Maystre & Bollinger, 1999] [Verrons, 2004] qui n'entrent pas dans le cadre de cette recherche mais qui ne sont néanmoins pas à exclure des perspectives de développement futur.

3. LE DEPLOIEMENT DU SYSTEME DE PILOTAGE DE LA PERFORMANCE CHEZ ARCELORMITTAL FONTAINE

La réalisation de la phase préparatoire au pilotage souple est la première étape de cette validation au sein de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine. Les travaux, menés dans le cadre de cette section, concernent essentiellement la mise au point des différents modèles constitutifs du système de pilotage souple. La phase applicative du pilotage souple est abordée dans le Chapitre 5.

3.1. ACTIVITÉ DE PILOTAGE « MODÉLISATION DE LA CONNAISSANCE »

Toute la connaissance contenue dans ce modèle émane de différentes sources : le système d'information de l'entreprise, les descriptifs établis par l'entreprise, le recueil manuel de données sur le terrain et les entretiens obtenus avec le directeur de l'usine, le responsable de production et divers opérateurs.

Ce premier composant de pilotage est, comme nous l'avons justifié dans le chapitre précédent, composé de quatre modèles de connaissance. La définition du périmètre de pilotage et l'élaboration de ces modèles physique, logique, décisionnel et de performance font l'objet des sous-sections suivantes.

Par souci de concision et de confidentialité, toutes les informations contenues dans le modèle de connaissance ne sont pas présentées. Seules les données utiles à la compréhension des systèmes productifs et pilotés sont reprises dans ce document.

3.1.1. LE PÉRIMÈTRE DE PILOTAGE DÉFINI

L'objectif stratégique de l'entreprise étudiée est de conserver sa position concurrentielle par le maintien du niveau de production actuel et la qualité des produits en minimisant les coûts et les retards de production.

Afin de cerner le périmètre de pilotage, une carte des principaux processus de l'entreprise a été établie sur base des interviews données par le directeur et les responsables de la production, de la qualité et des aspects commerciaux de l'entreprise [Dhaevers *et al.*, 2006 a]. Une version simplifiée de la carte résultante est présentée sur la Figure 41.

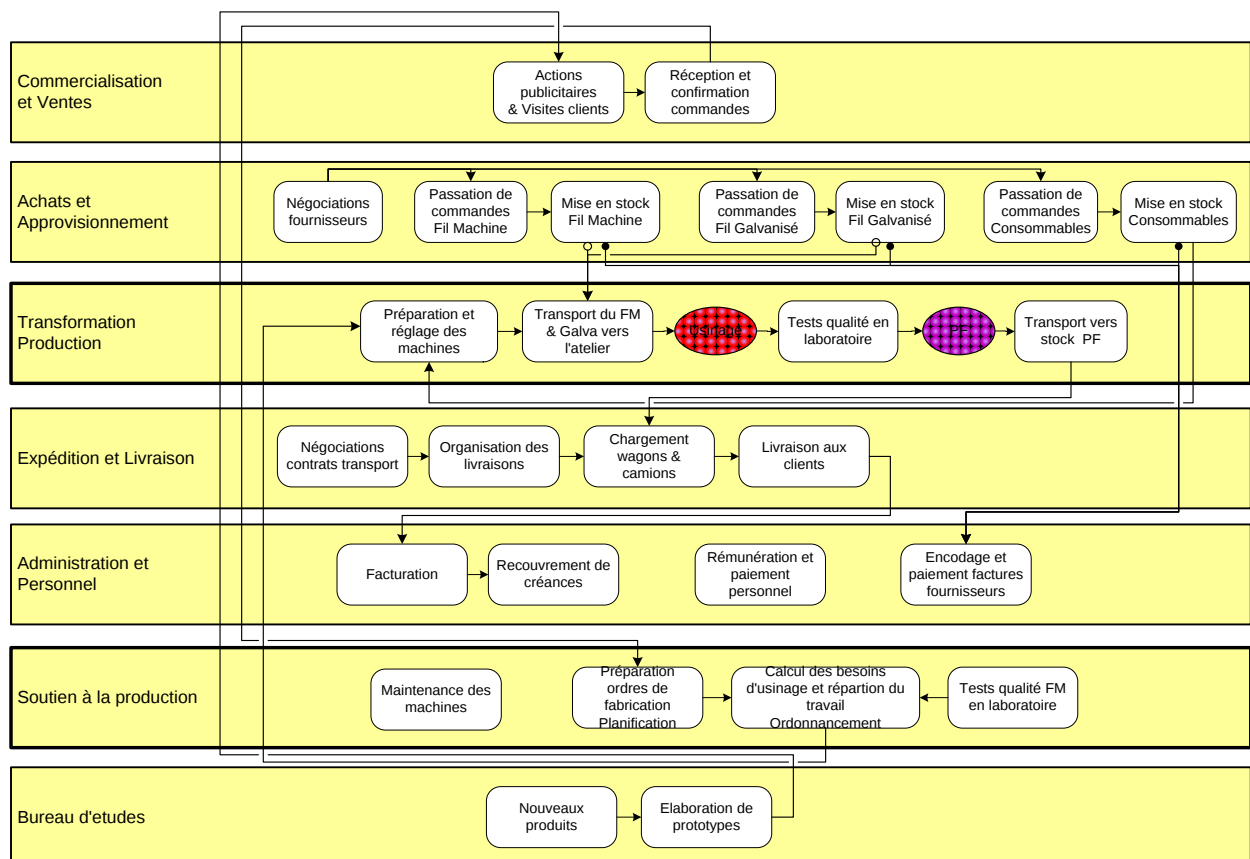


Figure 39: Cartographie simplifiée des processus de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine

Dans le cas de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine, le système piloté se compose des processus de production et de soutien à la production. Les processus de gestion des achats et des expéditions ne sont

pas directement parties prenantes de cette recherche. Les degrés de liberté autorisant une action sur ces processus sont fortement réduits. Le premier est soumis à des contraintes fortes en tant que maillon d'une chaîne logistique et le second ne disposant que d'une marge de manœuvre réduite liée au mode d'expédition des produits.

Les processus de conception des nouveaux produits, d'administration du personnel et de commercialisation des produits ont été écartés. Bien que toute action d'amélioration les concernant destinée à atteindre l'objectif stratégique ne soit oubliée, la direction ne les a pas, en tout cas dans un premier temps, jugés prioritaires. La pression sur les prix exercée par les pays émergents tels que la Chine ou les pays de l'Est en est la raison majeure.

Conscients qu'un système de pilotage doit idéalement concerner l'entreprise dans sa globalité et mieux encore la chaîne logistique ou le réseau auquel elle appartient, nous avons cependant décidé de nous focaliser sur deux des processus critiques d'un système productif : *le processus de transformation/production* et *le processus de soutien à la production*. Toutefois, afin de garantir que le système de pilotage œuvre à la réalisation des objectifs stratégiques de l'entreprise et à l'amélioration de sa performance globale, un ensemble de dispositifs ont été mis en place. Parmi les principaux, citons notamment la déclinaison des objectifs stratégiques en objectifs élémentaires et l'identification des variables d'action conduisant à l'atteinte de ces objectifs. L'utilisation d'outils tels que le simulateur *RAO* [Artiba *et al.*, 1998] ou la méthode d'aide à la décision multicritère *Prométhée* [Brans *et al.*, 1986] [Brans & Mareschal, 1994 ; 2002] complète l'action de ces dispositifs.

3.1.2. LE MODÈLE DE CONNAISSANCE PHYSIQUE

Les éléments physiques du système analysé sont recensés et décrits dans le modèle de connaissance physique du système de pilotage. Ces éléments portent indifféremment le nom de « ressources » mais leur type et leur consommation diffèrent largement. Elles sont susceptibles d'être humaines ou matérielles, principales ou auxiliaires, consommables ou non...

Les principales ressources rencontrées dans cette entreprise sont passées en revue dans les sections suivantes mais préalablement, une vision très synthétique du processus de production est donnée [Duvivier *et al.*, 2005 ; 2007] [Roux *et al.*, 2006].

3.1.2.1 Le processus de production en quelques mots...

La production d'ArcelorMittal Fontaine est composée de fils et de torons d'acier de haute qualité. Un toron est un câble constitué de 2, 3 ou 7 fils d'acier. Les produits sont utilisés dans le monde entier, dans des constructions de grande envergure telles que les aéroports, les stades, les ponts... Le site travaille vingt-quatre heures sur vingt-quatre, cinq jours sur sept (à l'exception de la décaperie qui travaille sept jours sur sept) à raison de trois pauses par jour. Une pause est une période de travail de huit heures à laquelle sont affectés onze ouvriers.

Le système de production considéré est composé de dix-sept postes de travail. Il peut être apparenté à un *job-shop* [Carlier & Chrétienne, 1988], [Jain & Meeran, 1999], dans lequel au moins une étape du processus peut être réalisée sur plus d'un poste et/ou au moins un produit peut emprunter plus d'un chemin.

Le processus de production comporte sept groupes de machines, associés aux étapes du processus de fabrication (*cf.* Figure 40) :

- décapage, 1 poste de travail ;
- tréfilage, 5 postes de travail ;
- toronnage, 3 postes de travail ;
- stabilisation, 5 postes de travail ;
- conditionnement, 5 postes de travail ;
- gainage, 1 poste de travail ;
- emballage, 2 postes de travail.

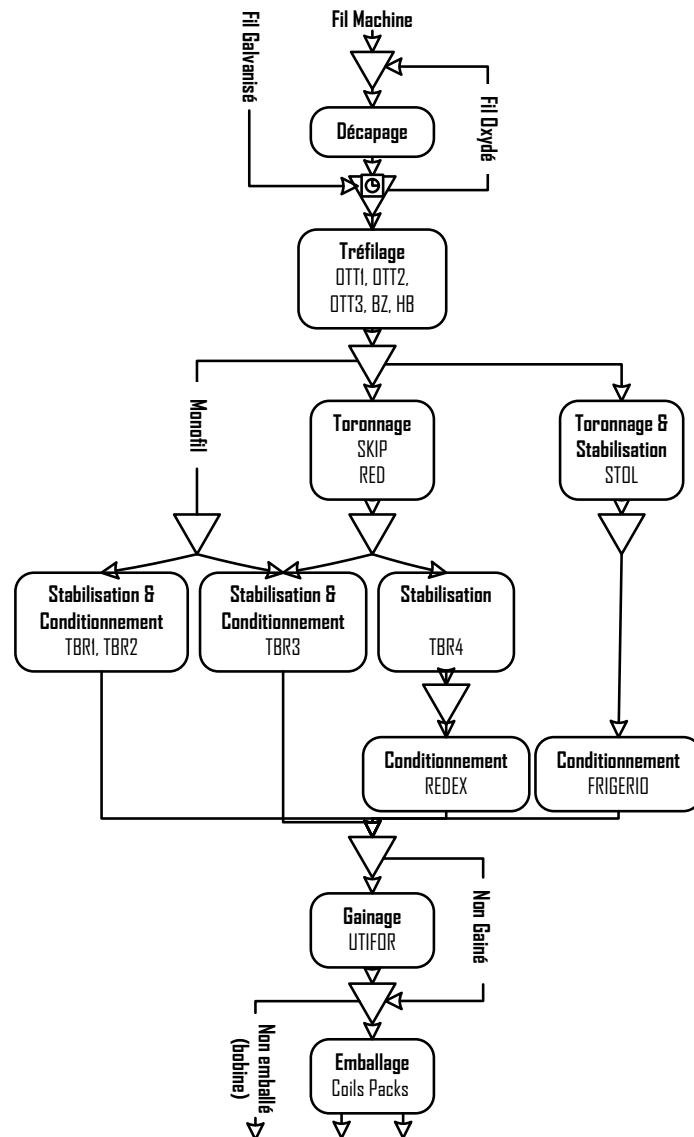


Figure 40: Schéma synthétique du système de production de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine

Les opérations continues et discrètes s'enchaînent via respectivement des opérations de soudure ou de découpe en vue du stockage des produits semi-finis sur des supports, appelés bobines. Par ce procédé, les opérations de tréfilage, de toronnage et de stabilisation correspondent à des sous-systèmes continus. Les autres opérations sont, quant à elle, discrètes par nature.

La production est divisée en quatre grandes familles selon le diamètre externe du produit fini :

- Famille Monofils, fil d'acier unique ;
- Famille Petit Toron, toron présentant un diamètre extérieur de moins de 9,30mm ;
- Famille Moyen Toron, toron dont le diamètre est compris entre 9,30mm et 11,30mm ;
- Famille Gros Toron, toron présentant un diamètre extérieur supérieur ou égal à 11,30mm.

Chaque produit, obtenu à partir de fils machine (FM) ou de fils galvanisés est le résultat d'une séquence d'opérations ordonnancées en respectant les contraintes liées aux ressources et aux relations de précédence. La gestion de ces contraintes amplifie considérablement la complexité du système étudié. Examinons les différentes contraintes auxquelles est soumis le système de production.

3.1.2.2 Les ressources

Le sous-système de connaissance physique établi est organisé en six catégories : les ressources humaines, les ressources auxiliaires, les consommables, les matières premières, les ressources matérielles et les produits. Outre le recensement et la caractérisation des éléments qui composent chacune de ces catégories, un petit nombre de mesures physiques, les plus représentatives ou spécifiques, associées à chacun d'eux est présenté.

- Les ressources humaines

Le fonctionnement de l'atelier de production nécessite la présence de onze opérateurs par pause. Ceux-ci sont responsables d'un, deux ou trois postes. En cas de nécessité, certains d'entre-eux sont détachés à l'opération d'emballage.

Le rôle principal des opérateurs est d'assurer le chargement et le déchargement du poste de travail auquel ils sont affectés. D'autres tâches telles que le transport des produits semi-finis vers le poste de travail suivant, les tâches de maintenance de premier niveau... leur sont également attribuées. Toutefois, celles-ci, réalisées en temps dit *masqué*, ne sont pas considérées comme prioritaires par l'entreprise étant donné leur faible impact sur l'organisation ou plutôt la désorganisation du système. Elles n'ont, par conséquent, pas été intégrées dans notre analyse du système de production.

L'attribution des postes est réalisée en début de pause en fonction de la capacité de l'ouvrier à utiliser ou non le poste considéré et de son niveau de compétence (faible, moyen ou bon) dans cet exercice. L'attribution est effective pour toute la durée de la pause. Le personnel dispose d'un arrêt de 20 minutes par pause pour les repas.

D'autres postes de travail tels que laboratoire, expédition,... peuvent être occupés par les opérateurs de production. Toutefois, cette étude étant limitée au système de production « pur », seuls les postes recensés précédemment ont été pris en compte.

Chaque opérateur est donc caractérisé par son niveau de compétence dans l'utilisation des postes de travail et un horaire de travail. Les données relatives à la présence ou non de l'individu sur son lieu de travail, le motif de son absence (formation, maladie, accident de travail...) sont également récoltées.

- Les ressources auxiliaires

Dans cette usine, les ressources auxiliaires jouent un rôle crucial dans l'organisation de la production. Il est, par conséquent, inconcevable de les négliger dans l'analyse menée. Les principales ressources auxiliaires utilisées sont des bobines destinées à stocker et à véhiculer les produits semi-finis d'une opération de production à l'autre. Toutes les bobines ne sont pas compatibles avec tous les postes de travail en raison de l'hétérogénéité de ceux-ci. Toute absence de bobine appropriée à une étape de la production entraîne un arrêt de production pour au minimum une famille de produit fabriquée sur la ligne.

Ce problème de gestion des ressources auxiliaires n'est pas spécifique aux industries de production de câble. Il est, en réalité, partagé par tout processus au sein duquel le transport des produits est sollicité pour chaque unité de produit pour une courte période de temps et après laquelle le support est libéré et réutilisé pour les autres unités de produit. Les bacs gérés en Kanban en sont un exemple.

REFERENCE	TYPE DE BOBINES	QUANTITE DISPONIBLE	POIDS SUPPORTE	UTILISATIONS
B1	Bobines RED	XX	3T	PT & MT
B2	Bobines STOL	XX	3,4T	GT (diam >= 11.30)
B3	Grosses Bobines	XX	8T	Mono
B4	Bobines « 8T »	XX	8T	PT & MT
B5	Bobines « 24T »	XX	23T	GT

Tableau 6: Recensement des ressources auxiliaires ou bobines

Les ressources auxiliaires de l'entreprise étudiée sont répertoriées dans les Tableau 6 et Tableau 7. Les caractéristiques physiques et utilisations des bobines y sont précisées. Les quantités disponibles ne sont, cependant, pas diffusées pour des questions de confidentialité. Le premier tableau recense les bobines

utilisées en cours de production ; le second les bobines métalliques destinées au conditionnement de produits finis mais restituées à l'entreprise après un délai moyen de sept jours.

Trois types de bobines métalliques sont utilisés dans l'entreprise. Toutefois, seules les bobines AS sont en nombre limité et sont incorporées dans notre étude.

TYPE DE BOBINE	QUANTITE DISPONIBLE	POIDS SUPPORTE	UTILISATION	CONDITIONNEMENT REALISE SUR :
Bobine AS	Nombre limité	1.3T	PT et MT	TBR3
			PT et MT	Redex (Ligne 4)
			MT et GT	Frigerio
Bobine LENS	Le donneur d'ordre envoie les nombre de bobines nécessaires au conditionnement de la quantité commandée ↳ Non contraignant	1.3T	PT et MT	TBR3
			PT et MT	Redex (Ligne 4)
			MT et GT	Frigerio
Bobines D4	Stock suffisant ↳ Non contraignant	1.3T	PT et MT	TBR3
			PT et MT	Redex (Ligne 4)
			MT et GT	Frigerio

Tableau 7: Caractéristiques des bobines métalliques destinées à l'opération de conditionnement

Le comptage des différentes bobines en cours d'utilisation et des bobines réservées pour la réalisation des produits en cours de production est une mesure physique que nous avons mise en place au vu du rôle primordial que celles-ci jouent dans le système de production.

Les moments de chargement et de déchargement de fil sont également des mesures physiques collectées sans discontinuer.

- Les consommables

La réalisation des sept opérations de production nécessite la consommation de divers produits tels que de l'acide, du borax, des palonniers, des bobines en bois, du savon, des feuilles d'emballage en plastique, des cales en bois.... Ces consommables ne sont que très rarement impliqués dans des arrêts de production. Ils ne sont donc pas plus amplement détaillés dans ce document.

Les filières, utilisées lors du tréfilage du fil sont, par contre, source de blocages fréquents. Elles ont donc retenu notre intérêt. Celles-ci nécessitent d'être changées toutes les 140 ou 150 tonnes produites ce qui a une incidence non négligeable sur la durée et l'organisation de la production.

Un setup, appelé *setup périodique*, représente le temps utile à la réalisation de cette opération et se produit dès que le seuil d'usure est atteint. Le nombre de setups périodiques et la durée de chacun d'eux sont donc comptabilisés et constituent des mesures physiques incontournables.

- Les matières premières

La matière première principale utilisée dans le processus de fabrication du monofil et du toron est le *fil machine*. ArcelorMittal Fontaine utilise seize références de fil machine provenant de cinq fournisseurs différents. Celles-ci sont réparties selon la qualité du fil en sept familles notées de A à G. Soixante pour cent de la production utilise du fil machine de qualité supérieure, c'est-à-dire issu de la classe A.

Le fil machine est un fil d'acier brut au diamètre irrégulier utilisé par la première étape de production : la décaperie. Il est produit à partir de coulée d'acier. Son unité de conditionnement est la botte. Le poids moyen d'une botte est estimé en fonction de deux paramètres : le poids total de la coulée et le nombre de bottes réalisées dans la coulée. L'identification de la coulée à partir de laquelle le fil machine est créé est une notion incontournable qu'il faut impérativement suivre en vue du contrôle de qualité.

Une autre matière première peut également donner naissance à des monofils ou à des torons : le *fil galvanisé*. Ce type de matière entre moins fréquemment dans la composition des produits finis. Il présente la particularité de ne pas subir de décapage et d'entamer son processus de transformation par l'opération de tréfilerie. Il est également conditionné sous la forme de botte.

Les principales mesures physiques dédiées aux matières premières visent les quantités de fils puisées dans le stock, le numéro de coulée, le poids moyen de la botte, le fournisseur et le client destinataire du produit fini... Ces dernières mesures sont indispensables à la traçabilité du produit fini. Le nombre de tests « qualité » à effectuer est dicté par l'origine géographique du client à fournir.

- *Les ressources matérielles ou les postes de travail*

Dans cette sous-section, les différents postes de travail composant le système de production sont regroupés par compétences. Sept types d'opérations ou compétences sont distingués. Une synthèse des informations collectées, baptisée « zoom sur les opérations » a été établie pour chacune de ces opérations. Par leur consultation, le décideur dispose des données essentielles à la compréhension du système modélisé. Ils constituent également une source d'informations non négligeable pour l'élaboration du modèle de connaissance logique.

Tous les postes de travail présents dans l'atelier ne laissent pas la possibilité d'interrompre la fabrication d'un produit pour en débiter une autre. La préemption n'est donc autorisée par aucun d'eux.

Les mesures physiques attachées aux différentes opérations de production sont regroupées dans la sous-section 3.1.5.2 en raison du caractère répétitif des mesures collectées.

a. Le décapage

Au cours de cette étape, les bottes de fil machine, à l'exception du fil galvanisé, sont plongées dans divers bains afin d'ôter la couche d'oxyde qui recouvre le fil et de le préparer à la suite du processus de fabrication. Cette opération est entièrement gérée par un automate programmable, de sorte qu'il est possible d'obtenir pour chaque botte d'une coulée des informations de décapage telles que le stade de décapage, le temps restant avant disponibilité...

La décaperie est organisée en pipeline. Elle est composée de douze palonniers, chacun supportant une charge de quatre tonnes. Un cycle de décapage dure trois heures. Il est identique pour tous les types de fil machine. Deux unités pourront être traitées en même temps sur un palonnier si le poids moyen des bottes, variable selon le producteur du fil machine, le permet. Une ou deux botte(s) de fil sorte(nt) donc toutes les vingt minutes de la décaperie.

L'alimentation de la décaperie en fil machine n'est pas automatisée et nécessite la présence d'un opérateur. Celui-ci assure également le déchargement des wagons des bottes de fil machine et leur mise en stock. Cette dernière opération l'occupe pendant 20% de son temps de travail. Toutefois, cette activité est considérée comme réalisée en temps masqué étant donné la capacité de stockage sur les palonniers en amont et en aval de la décaperie et son rythme de production.

Les bottes de fils doivent être utilisées dans les deux à cinq jours qui suivent le décapage afin d'éviter l'oxydation du fil. La durée maximale admise entre le décapage et le tréfilage dépend des conditions de stockage et, plus particulièrement, du degré d'humidité dans l'air ambiant. Par conséquent, cette durée varie en fonction de la saison et des conditions climatiques.

Cette étape de production étant continuellement saturée, l'entreprise garde toujours à sa disposition une réserve de bottes décapées correspondant à vingt-quatre heures de fonctionnement afin de ne pas perturber le flux de matières. Ce stock est alimenté par les unités décapées pour reconstitution de stock et les surplus de fil décapé par crainte de bloquer la production en cas de rupture de fil lors du tréfilage (15% à 25% des quantités commandées).

b. Le tréfilage

Le tréfilage consiste à étirer le fil machine en le faisant passer au travers d'une succession de filières afin d'obtenir le diamètre de fil souhaité pour les étapes suivantes du processus de production. Selon le produit à fabriquer, le diamètre prendra la valeur du diamètre final du produit fini s'il est de type monofils ou du diamètre du fil central ou des fils périphériques s'il est de type toron.

Afin d'éviter l'arrêt et le chargement de la tréfileuse après le passage de chaque botte de fil machine décapé, il est possible de souder entre-elles plusieurs bottes de fils de même diamètre. Ces soudures sont effectuées en temps masqué. Il arrive également que de telles soudures soient réalisées, si le client le

permet, en cas de rupture du fil machine en cours de tréfilage. Pour des raisons de sécurité, cette procédure n'est pas autorisée pour les produits de type monofil.

Outre les setups liés au chargement et au changement de diamètre, les tréfileuses nécessitent un setup périodique afin de remplacer les filières toutes les 140 à 150 tonnes produites.

En sortie des bancs de tréfilage, le fil est enroulé sur des bobines. A cette étape de la production, ces supports recyclables sont de trois types : Bobine RED ou B1, Bobine STOL ou B2 et Bobine B3. L'entreprise n'a à sa disposition qu'un nombre limité de chacun d'entre eux.

Comme leur nom l'indique, les bobines RED sont admises par les toronneuses Redaelli et Skip Redaelli. Les bobines STOL sont uniquement exploitables sur la Stolberger. Les bobines B3 sont consacrées aux produits monofil. Elles sont directement envoyées sur les bancs de stabilisation TBR1, TBR2, TBR3.

Les cinq bancs à tréfiler ne permettent pas indifféremment l'utilisation de toutes les bobines. Seule la répartition précisée dans le Tableau 8 est tolérée.

		OTT1	OTT2	OTT3	BZ	HB
RED ou B1:	Bobine en entrée de Redaelli ou Skip Redaelli		x	x	x	x
STOL ou B2:	Bobine en entrée de Stolberger	x	x	x	x	x
Grosse bobine ou B3:	Bobine en entrée de TBR1, TBR2, TBR3	x	x			

Tableau 8: Bobines admises par les bancs à tréfiler

Le tonnage de fil tréfilé supporté par les bobines est de maximum 3 tonnes pour les bobines B1, 3,4 tonnes pour les Bobines B2 et 8 tonnes pour les bobines B3. Toutefois, les charges effectives des supports B1 et B2 n'atteignent jamais leur limite maximale en raison des restrictions imposées en entrée des toronneuses. La capacité des bobines B1 et B2 étant calculée en fonction des caractéristiques des bancs de toronage, nous les quantifierons dans la section relative à cette opération.

Les particularités des cinq bancs à tréfiler de l'atelier sont mises en évidence notamment au moyen de différents paramètres tels que diamètre FM admis en entrée de poste (mm), nombre de passes, diamètre de fil possible en sortie (mm), utilisation prioritaire du poste, possibilité de réalisation d'un crantage synchrone ou non, vitesse maximale autorisée (m/s), vitesse de fonctionnement habituelle ...

Les affectations des bancs de tréfilage sont définies en fonction des diamètres en entrée et en sortie tolérés par ceux-ci et éventuellement, des bobines acceptées sur les bancs de toronage.

c. Le Toronage

L'étape de toronage consiste à associer différentes bobines de fil tréfilé, périphérique et central, afin de produire du toron. La production monofils ne nécessite donc pas cette manipulation du fil.

Trois bancs de toronage, gérés par un seul opérateur, sont présents dans l'atelier. La possibilité d'utiliser une machine pour effectuer une tâche dépend principalement du nombre de fils qui compose le produit et du diamètre extérieur du toron à réaliser. Le Tableau 10 illustre la répartition.

MACHINES	TYPE DE PRODUIT
Stolberger	MT GT
Redaelli	PT 2 fils PT 3 fils
Redaelli Skip AB	MT ($\varnothing \leq 9,6\text{mm}$) PT 7 fils 2 x PT 2 fils 2 x PT 3 fils

Tableau 9: Répartition des types de produit sur les toronneuses

La machine Redaelli est incapable réaliser des torons composés de 7 fils, elle est donc exclusivement utilisée pour produire des petits torons de moins de 7 fils.

Le paramétrage de la Redaelli Skip autorise la confection de moyens torons de diamètre extérieur allant jusque 12,50 mm. Cette machine peut être configurée pour réaliser un toron de 7 fils ou simultanément deux torons de 2 ou 3 fils. Le temps de passage d'une configuration à l'autre est de l'ordre de quatre heures. Cette machine est également capable de fabriquer un seul toron de 2 ou 3 fils, dans ce cas, le temps de paramétrage du passage d'un toron 7 fils à un toron 2 ou 3 fils est du même ordre de grandeur qu'un changement de production.

La phase de toronnage nécessite, avant le démarrage de l'opération, la mise à disposition de bobines « 8T » et « 24T » (B4 et B5) pour accueillir le fil toronné. Dès que le toron est réalisé, elle libère les emballages recyclables B1 et B2 utilisés au cours du tréfilage. Les possibilités d'utilisation des bobines sur les différents bancs sont résumées dans le Tableau 10.

BANC	BOBINES EN ENTREE	BOBINES EN SORTIE
Red	Bobine RED – B1	Bobine «8T» - B4
Skip	Bobine RED – B1	Bobine «8T» - B4
Stol	Bobine STOL – B2	Bobine «24T» - B5

Tableau 10: Bobines admises en entrée et en sortie des toronneuses

Comme l'indique leur nom, les bobines « 8T » et « 24T » sont caractérisées par une charge maximale de fil. Une seconde limite, induite par la charge tolérée par les toronneuses, restreint encore leur capacité. En effet, la bobine nommée « 24T » ne contiendra que 23T de fil toronné conformément à la charge maximale admise par la STOL. La bobine « 8T », quant à elle, n'autorisera qu'une charge de 6T dans les cas de traitement de torons 2 fils sur la Red comme sur la Skip. Ces restrictions de capacité ont une implication sur les charges admises sur les bobines sorties des tréfileuses. Nous calculons donc celles-ci en divisant la charge maximale admise par les bancs de toronnage par le nombre de bobines nécessaires pour fabriquer le produit.

d. La Stabilisation

L'étape de stabilisation consiste à mettre le câble en traction sous une température donnée. Cette opération provoque un allongement de 2% du fils traité et libère les ressources auxiliaires utilisées lors du toronnage ou du tréfilage. Pour le gros toron, la stabilisation se fait en ligne sur la Stolberger.

Les machines TBR1, TBR2 et TBR3 ont la double compétence de stabilisation et de conditionnement. En raison de celui-ci, ces trois lignes sont régulièrement interrompues dès que deux tonnes sont stabilisées. Le conditionnement succédant directement à la stabilisation sur les TBR1, TBR2, TBR3, aucun support recyclable n'est nécessaire entre ces deux opérations.

La ligne TBR4 peut stabiliser huit tonnes en une étape et offre donc davantage de possibilités au niveau du conditionnement. Celui-ci est toujours réalisé sur la Redex. Le fil stabilisé sur la TBR4 ne nécessite pas l'emploi d'une bobine intermédiaire. En effet, entre les machines TBR4 et Redex, il existe un système constitué d'une « fosse de 8 tonnes » et d'un mécanisme de traction depuis la fosse vers la ligne Redex. TBR4 et Redex constituent ce que l'entreprise appelle « la ligne 4 ».

Les quatre lignes de stabilisation acceptent indifféremment en entrée les bobines de 8 tonnes B3 et B4.

e. Le conditionnement

Cette étape consiste à conditionner les produits sous différentes formes ou sur différents supports :

- Botte : monofil enroulé sous forme de tore ;
- Pack : monofil ou toron bobiné sous forme de cylindre, sans support ;
- Bobine métallique consignée ;
- Bobine en bois non consignée.

Comme précisé dans le Tableau 11, tout produit toronné sur la Stolberger doit impérativement être conditionné sur la Frigerio et tout produit en provenance de la TBR4 poursuit son processus de production sur la Redex.

	BOTTES	PACKS	BOBINES METALLIQUES	BOBINES EN BOIS
TBR 1	Mono	Mono	Mono	
TBR 2	Mono			
TBR 3		Mono PT MT	PT MT	PT MT
Redex (< TBR 4)		PT MT	PT MT	
Frigerio (< STOL)		MT GT		

Tableau 11: Modes de conditionnement autorisés par les postes de travail

Les trois lignes TBR1, TBR2, TBR3 sectionnent le fil d'acier dès que deux tonnes ont été conditionnées. Cette opération entraîne un arrêt de dix à quinze minutes de la machine afin de permettre à l'opérateur de décharger le pack ou la bobine métallique arrivé en fin de traitement. Aucun setup n'est comptabilisé pour le dernier élément produit car celui-ci est toujours déchargé en temps masqué. Aucun setup de fin de processus ne doit être pris en compte pour les bottes.

f. Le gainage

Au cours de cette étape, le toron est enrobé dans une gaine de polyéthylène. Différents types de gainages sont proposés aux clients. Quelle que soit la catégorie à réaliser, la ligne de gainage Utifor est utilisée.

g. L'emballage

Cette étape consiste à emballer les produits sous différentes formes. Une emballeuse de bottes ou de packs est utilisée selon le type d'emballage à réaliser.

Cette opération s'effectue généralement en temps masqué sauf lorsque de petites unités, en termes de poids, sortent des étapes précédentes. Dans ce cas, il est possible de faire appel à un intérimaire ou de laisser momentanément de côté, deux à trois jours au maximum, les unités à emballer.

Le temps opératoire varie selon le type d'emballage de cinq à dix minutes pour emballer un monofil et environ trente minutes pour emballer un toron en packs. En outre, cinq minutes de manutention supplémentaire sont à ajouter à ces temps opératoires pour la mise en stock du produit emballé.

h. Les mesures physiques associées aux opérations de production

Un inventaire des capteurs, compteurs ou autres dispositifs de collecte de données automatisés ou non a été établi. De ceux-ci, découlent un ensemble de mesures liées aux activités de production telles que la date de démarrage d'une activité de production, la date de fin, le tonnage réalisé sur le poste de travail depuis la dernière intervention de maintenance...

D'autres mesures physiques collectées concernent les temps de préparation des postes de travail ou *setups*. Dans ce processus de production, l'enchaînement des opérations nécessite une préparation des postes concernés qui consiste à charger la ou les bobines, à éventuellement, changer les filières et à engager le fil. Le temps nécessaire à la préparation des tréfileuses est réduit lorsque la séquence de production concerne des produits issus d'une même famille. Ce temps de préparation comprend également le temps nécessaire à la prise d'échantillon de fil en vue de la réalisation des tests qualité imposés par le client et la réglementation en vigueur et lorsque le besoin se fait sentir, l'ajustement de différents paramètres de production.

Outre les setups dépendants et les setups indépendants de la séquence de réalisation des produits sur les postes de travail, des setups proportionnels au tonnage réalisé doivent également être pris en considération. Les informations sur le moment de démarrage et de l'arrêt de toute activité de préparation, les séquences de production programmées et le tonnage réalisé sur chaque tréfileuse sont donc récoltées.

Un extrait du recensement des mesures physiques associées aux différents postes de travail est présenté dans le Tableau 12.

NOTATION	DESCRIPTION
D_p	Disponibilité du poste de travail p
Nrs_a	Nombre de ressources auxiliaires
$DurOp$	Durée de l'opération O du produit I
$SetUp$	Durée de setup de l'opération O du produit I
P_p	Nombre de pannes subies par le poste de travail p
...	...

Tableau 12: Notation et description de différentes informations structurelles

La majorité de ces mesures physiques entreront, après manipulation, dans la composition des mesures de performance nécessaires à l'évaluation de la performance réalisée par le système de production et à son pilotage.

- Les produits

Après avoir comparé la liste complète des références fabriquées par l'entreprise et de nombreux carnets de commandes mensuels, nous avons constaté que parmi les 293 produits réalisables, moins d'un tiers était régulièrement produit.

Une analyse ciblée de ces produits aurait pu être réalisée par souci de simplification du modèle. Toutefois, cette restriction aurait engendré une perte d'informations importante et mis en doute la pérennité du modèle connaissant la forte variabilité de la composition du carnet de commande et la propension de l'entreprise à développer de nouveaux produits. C'est pourquoi nous avons privilégié des regroupements en familles de produits, ce système permettant d'éviter le traitement d'informations inutiles sans perte de précision du modèle.

Une famille de produits rassemble tous les produits qui suivent le même processus de fabrication. Une nouvelle famille est donc créée chaque fois qu'un produit ne s'inscrit dans aucune famille existante.

La décomposition en familles que nous avons imaginée se base sur les caractéristiques des machines présentes dans l'atelier, les contraintes liées aux bobines et aux modes de conditionnement actuellement utilisés. Volontairement, nous avons créé des familles de produits indépendantes du catalogue de références actuelles. Les noms des familles permettent donc, de par leur conception, de couvrir, non seulement les produits existant dans le catalogue de produits fabriqués, mais également les futures extensions de ce catalogue. Un outil, *RAODataGenerator*, a également été créé pour générer facilement ces noms de familles.

Une démarche multi-niveau a été adoptée pour déterminer ces familles. Celle-ci est décrite ci-après et illustrée sur la Figure 41. Le diagramme présente également la terminologie que nous avons établie pour identifier les familles.

- Niveau 1 : L'ensemble des références du catalogue ont été triées en deux groupes de produits nécessitant un processus opératoire totalement différent : les monofils constitués d'un fil unique et les torons qui requièrent plusieurs composants et une opération supplémentaire d'assemblage.
- Niveau 2 : Selon les tolérances des bancs de tréfilage, le groupe « Torons » a, ensuite, fait l'objet d'une décomposition en cinq sous-groupes. Les paramètres pris en compte sont : le diamètre des fils machine centraux et périphériques en entrée des tréfileuses et le fait qu'ils nécessitent ou non un crantage. Ce dernier critère n'a, bien entendu, été appliqué que dans le cas où les caractéristiques des machines le permettait. Le groupe des monofils est resté identique.

- Niveau 3 : A l'exception du monofil, chaque sous-famille de niveau 2 est décomposée selon les particularités du produit fini à fabriquer : le nombre de fils qui le compose (2, 3 ou 7 fils) et le diamètre du produit final. Le nombre de sous-groupes créés suite à ce morcellement s'élève à dix-huit.
- Niveau 4 – Familles de produits finis : Le critère de décomposition final de chaque sous-famille de type 3 est la mode de conditionnement du produit fini : botte, pack, bobine métallique ou bobine en bois. Trois sous-groupes résultant, les MT 1.0 PK, MT 2.0 PK et MT 3.0 PK, ont dû être scindé afin de respecter les contraintes de succession de machines imposées par la STOL et la SKIP. Au total, quarante-neuf familles de produits finis ont donc été élaborées. Parmi elles, dix sont effectivement utilisées.

Pour éviter de multiplier par trois le nombre de familles, nous avons constitué celles-ci uniquement en considérant une production d'articles non gainés et non galvanisés. Bien que ce soit en contradiction avec la définition d'une famille, nous avons inclus les références de produits gainés ou galvanisés dans les familles de produits présentant une gamme opératoire identique, à l'exception des opérations de gainage ou de décapage. En cas de nécessité, des familles distinctes de produits gainés et galvanisés seront facilement constituées.

Les mesures physiques liées aux familles de produits sont, en règle générale, associées aux commandes composant le carnet de commandes. Il s'agit du nombre de commandes, du type de produits commandé (cf. Tableau 13)...

NOTATION	DESCRIPTION
N	Nombre de commandes
q_k	Quantité à produire de la commande k
d_k	Date d'exigibilité de la commande k
C_k	Date de fin de production de la commande k
...	...

Tableau 13: Mesures physiques associées aux familles de produits et aux commandes

La description des familles de produits et l'énumération de leurs principales mesures physiques clôturent l'inventaire des ressources composant le modèle de connaissance physique. Intéressons-nous maintenant au second sous-système du modèle de connaissance du système de pilotage : le modèle de connaissance logique.

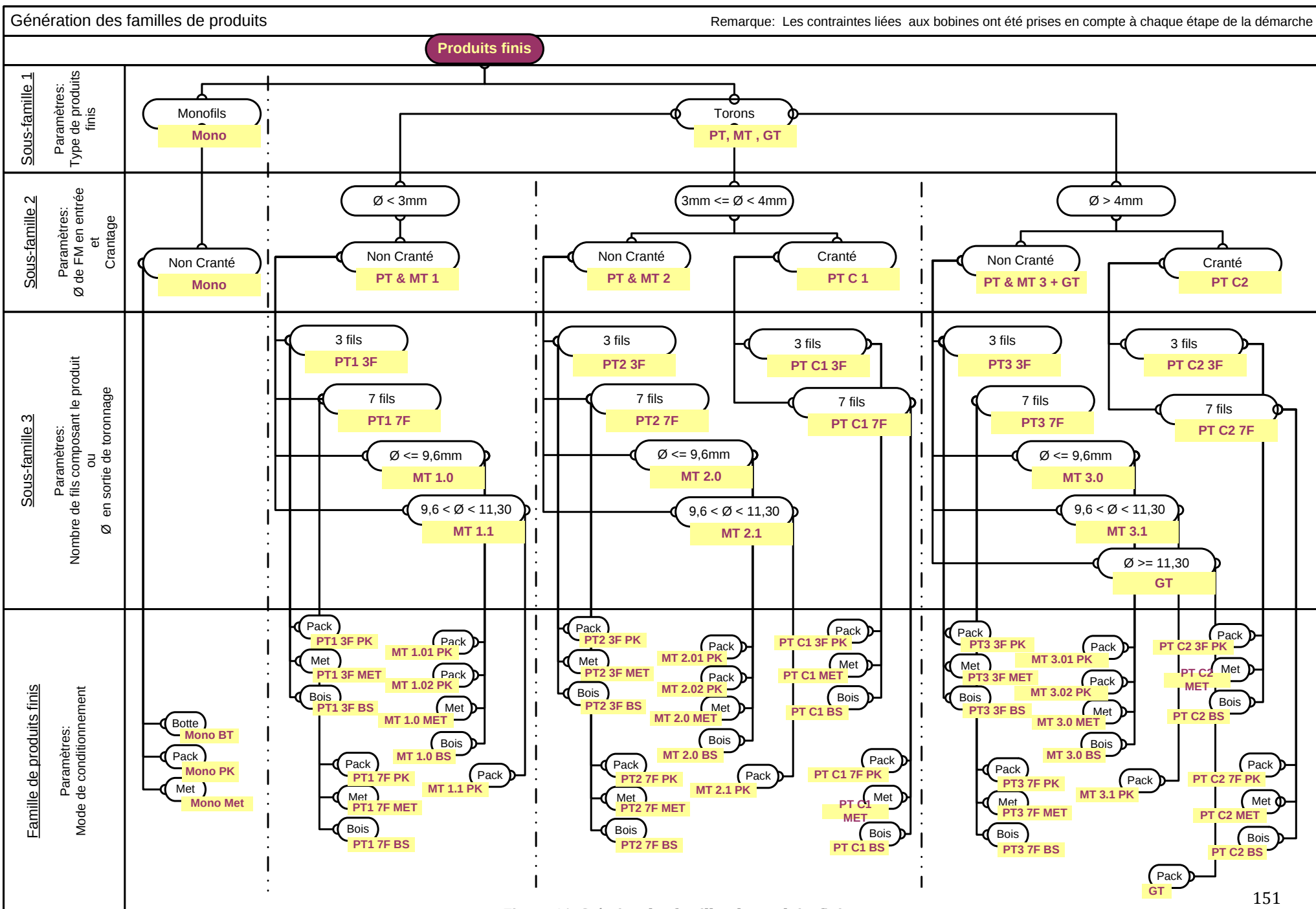


Figure 41: Création des familles de produits finis

3.1.3. LE MODÈLE DE CONNAISSANCE LOGIQUE

L'objectif de ce sous-système logique est de comprendre les possibilités d'organisation du système productif sans se restreindre aux habitudes de fonctionnement de l'entreprise. Afin de faire face à la complexité organisationnelle, il est, en effet, fréquent qu'une entreprise ne tire pas totalement profit de son potentiel de production. Le modèle de connaissance logique veille, par conséquent, à ce que ce potentiel soit répertorié et exploité lors de l'élaboration d'alternatives d'amélioration de manière à garantir que l'ensemble des possibilités ont été envisagées.

Après avoir analysé les différentes opérations du processus de production ArcelorMittal Fontaine, une représentation graphique des gammes opératoires des quatre catégories de produits identifiées (monofils, gros torons, petits torons, moyens torons) a été réalisée à partir notamment des zooms sur opérations établis lors de la modélisation de la connaissance physique.

Les gammes opératoires étendues des différentes familles se présentent sous la forme d'une succession d'actions à déclencher pour réaliser le produit concerné. Les relations de précédence imposent qu'une opération ne peut commencer avant la fin de toutes les opérations précédentes, identifiées dans la gamme opératoire de chaque produit. Les gammes ont été établies sur base des capacités des machines et non sur les habitudes d'utilisations de l'entreprise. Toutes les possibilités d'utilisation des machines sont donc envisagées dans le modèle de connaissance logique.

Prenons l'exemple du processus de production d'un toron composé de 7 fils : le gros toron GT. La fabrication de ce produit se déroule en trois phases :

- la première concerne la préparation du premier composant : le fil central GT_C ;
- la seconde, la préparation des 6 fils périphériques GT_P ;
- la troisième réalise l'assemblage des différents composants et la finition du produit GT.

La gamme opératoire étendue de ce produit est illustrée sur la Figure 42.

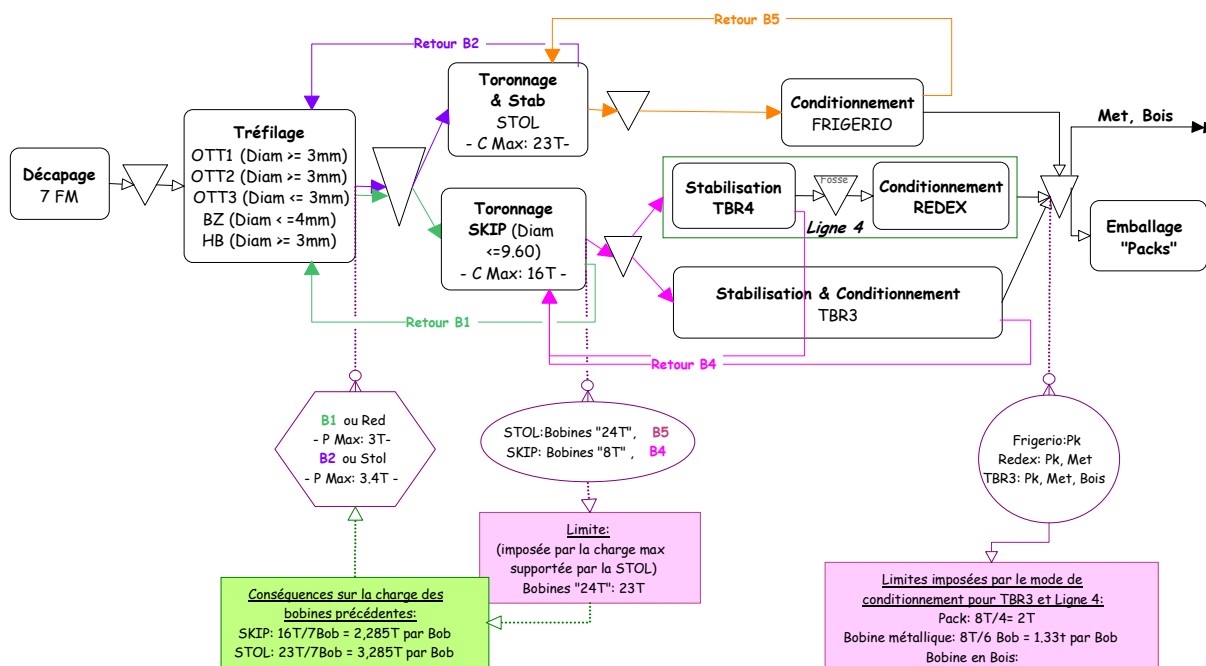


Figure 42: Gamme opératoire étendue des produits finis de type Moyens Torons incluant la circulation des ressources auxiliaires

Le processus de production des torons 3 fils est, quant à lui, organisé en 2 sections : le traitement des 3 fils composants et la réalisation du produit fini. Le monofil, constitué d'un seul fil, ne fait appel qu'à cette dernière étape.

Afin de bénéficier d'une vision correspondant à la réalité du terrain, la représentation traditionnelle d'une gamme opératoire a été complétée de trois informations supplémentaires. Le schéma illustre donc, pour la catégorie de produits concernée, les contraintes liées à l'utilisation des machines, à la circulation des bobines et à la charge tolérée par celles-ci en entrée et en sortie des machines. Son examen met immédiatement en évidence la complexité du système.

3.1.4. LE MODÈLE DE CONNAISSANCE DÉCISIONNEL

Toutes les prises de position, les orientations que l'entreprise est amenée à prendre sont mémorisées dans ce modèle de connaissance, à l'exception des décisions concernant le pilotage de la performance qui intégreront le modèle de performance.

Au cours de la collecte d'informations, nous avons, par exemple, mis en évidence un ensemble de mesures prises par l'entreprise :

- L'entreprise a opté pour une organisation de sa production de type « sur commande ». Un stock minimal des références les plus vendues est, cependant, constitué.
- Afin de garantir une certaine fluidité de la production et d'éviter tout blocage, il a été décidé de décaper plus de bobines de fil machine que nécessaire. Le tonnage de botes à décaper est donc systématiquement multiplié par un coefficient de sécurité de 1,15 à 1,25.
- Une fois décapées, les botes de fil machine doivent être tréfilées dans un laps de temps assez court (entre deux à cinq jours). L'entreprise a pris le parti de les renvoyer à la décaperie pour un nouveau traitement passé un délai de quarante-huit heures.
- Bien que le poste de travail OTT2 soit capable de tréfiler tout type de produit, l'entreprise l'utilise prioritairement pour la fabrication du monofil, éventuellement pour le PT et MT et, en dernier recours, pour le GT.
- Théoriquement, le paramétrage de la Redaelli Skip autorise la confection de moyens torons de diamètre extérieur allant jusqu'à 12,5 mm mais n'est jamais utilisée au-delà d'un certain diamètre $\emptyset$. Utiliser cette machine pour la production de torons de diamètre supérieur à $\emptyset$ consiste à pousser la machine dans les limites de ces capacités et risque d'engendrer un plus grand nombre de ruptures de fils. L'entreprise ne souhaite pas prendre ce risque et a choisi de limiter la capacité de production du poste de travail Redaelli Skip.
- La Redaelli Skip est capable de produire du toron à 2, 3 ou 7 fils mais également après séparation de la machine en deux postes de travail, de réaliser simultanément la fabrication de deux torons de 2 ou 3 fils. Toutefois, par crainte de perdre du temps lors de la reconfiguration de la machine et parce que le responsable de production a choisi de figer des lignes de production dédiées aux trois grands types de produits (mono, PT/MT, GT), l'entreprise ne profite pas de ces possibilités et utilise exclusivement ce poste de travail pour la fabrication de toron à 7 fils.
- La ligne TBR4 est plus puissante que la ligne TBR3, elle est donc systématiquement réservée aux torons de diamètres plus importants.

L'utilisation combinée des trois modèles de connaissance évoqués jusqu'à présent résulte en une restriction progressive des possibilités d'exploitation du système productif. Prenons l'exemple des postes de travail et de leur potentiel de production.

De l'éventail des possibilités physiques des postes de travail relevées par le modèle physique, un ensemble d'alternatives irréalistes en raison des besoins organisationnels de la production est éliminé par l'intégration des informations issues du modèle logique. Des possibilités résultantes, l'entreprise en supprime encore un sous-ensemble par la prise en compte des règles de fonctionnement qu'elle s'est imposée via le modèle décisionnel. Il résulte donc une organisation arrêtée du système de production qui se modifie au fil des modifications subies par les trois modèles de connaissance.

A titre d'exemple, examinons la gamme opératoire des produits finis de type Gros Torons présentée dans le modèle de connaissance logique (cf. Figure 42). Compte tenu du choix de l'entreprise de limiter les diamètres de fil traité par la toronneuse Redaelli Skip, la gamme étendue se simplifie comme l'illustre la Figure 43.

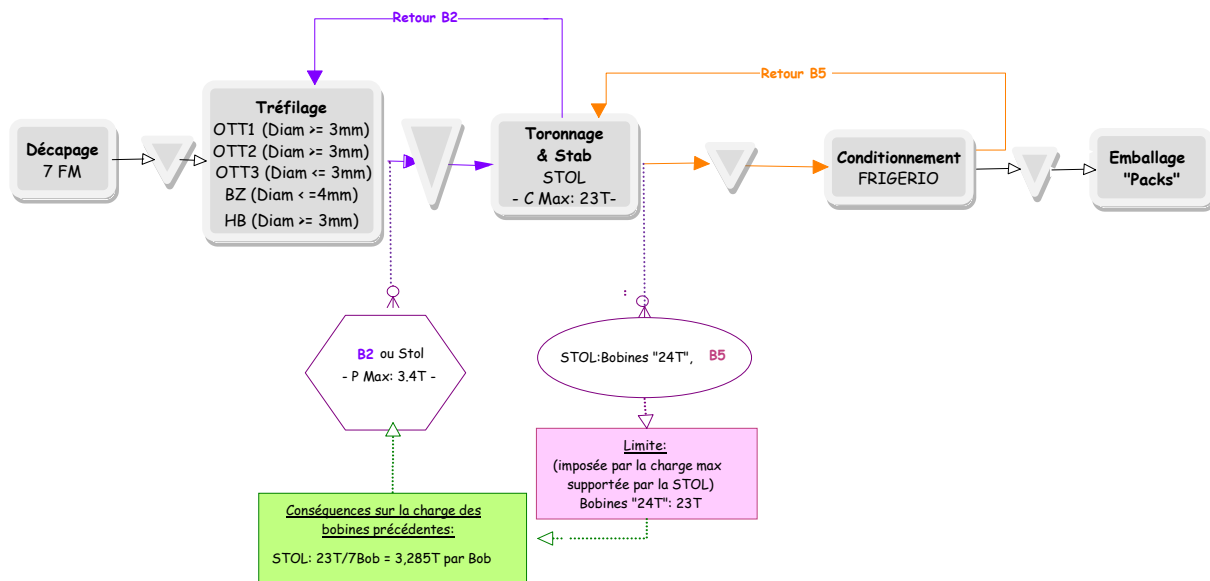


Figure 43: Gamme opératoire du produit fini de type Moyens Toron établie par l'entreprise ArcelorMittal Fontaine

Cet exemple met parfaitement en exergue la réduction du potentiel du système de production dictée par les décisions prises par le responsable de production en vue de réduire la complexité du système.

Afin de compléter le modèle de connaissance sur lequel est bâti le système de pilotage de la performance, il convient de mettre en place son élément clé : le sous-système dédié à la performance.

3.1.5. LE MODÈLE DE CONNAISSANCE DE LA PERFORMANCE

Le pilotage du système productif est conçu pour satisfaire les objectifs d'efficacité et d'efficience que lui assigne la direction [Giard *et al.*, 2000]. Chaque responsable de centre de décision est impliqué dans l'identification des objectifs.

La détermination des objectifs ne peut être établie que si les responsables des centres de décision ont une vision claire des processus concernés par le pilotage et de la capacité du système productif à répondre à la demande [Giard *et al.*, 2000] ce qui constitue l'objectif de cette section.

3.1.5.1 Déclinaison de l'objectif stratégique en objectifs élémentaires

En référence au périmètre de pilotage défini, l'objectif stratégique poursuivi consiste à minimiser les coûts de production et les délais de livraison en veillant à conserver le niveau de production et de qualité des produits offerts à la clientèle.

Pour ce faire, la démarche de déploiement d'un objectif stratégique en actions d'amélioration organisée en deux phases successives, décomposition structurelle et décomposition causale proposée dans le chapitre précédent, a été appliquée [Dhaevers *et al.*, 2007].

L'objectif stratégique de l'entreprise-cible est, en réalité, triple :

- Réduire les coûts ;
- Maintenir le niveau de productivité ;
- Maintenir le niveau de qualité des produits.

L'analyse du triplet souligne l'importance du premier élément. Celui-ci se distingue clairement des deux autres de par sa nature. Il se positionne en objectif de progrès face à des objectifs de conservation de résultats dans une fourchette établie.

Afin de réduire la complexité de la tâche à réaliser : décliner trois objectifs stratégiques en objectifs élémentaires, le déploiement organisationnel s'est opéré en accordant la prépondérance à l'objectif de réduction de coût. Ce dernier constitue donc la colonne vertébrale de l'arbre des objectifs. Les objectifs secondaires, quant à eux, influenceront, de façon marquée, le choix des objectifs opérationnels, des variables d'action et les actions de pilotage.

La décomposition structurelle a révélé deux objectifs de processus : la *réduction des coûts de production/transformation* et l'*amélioration du soutien à la production*.

Le processus de production ne comportant pas de sous-processus, aucun objectif de sous-processus n'est identifié pour celui-ci.

Le processus de soutien à la production comporte trois sous-processus : *pilotage de l'atelier*, *gestion de la maintenance* et *gestion de la qualité* et a donc été décomposé en trois objectifs visant l'amélioration du pilotage de l'atelier, de la maintenance et la qualité.

A ce stade de la décomposition, cinq centres de décision sont donc répertoriés dans le périmètre analysé de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine.

Le processus de production comprend trois types d'activités majeures : *les activités de production*, *les activités de transport interne* et *les activités de stockage* qui par l'application de la méthode donnent naissance respectivement aux objectifs de réduction de coût des activités de production, des activités de transport et de stockage.

Les sous-processus du processus de soutien à la production comportent deux activités distinctes : *une activité de prévision* et *une activité de réaction*. La première regroupe tous les actes de gestion prévisionnelle de la production posés par l'entreprise. La seconde est menée en vue de réagir, au moment où ils se présentent, aux aléas de production qu'il soit un dysfonctionnement ou une opportunité d'amélioration de la production (cf. Chapitre 2 Figure 11). A ces activités sont associées des objectifs d'amélioration. L'apparition de ces branches supplémentaires porte le nombre de centres de décision majeurs à dix.

L'aboutissement de cette démarche constitue la première phase de la déclinaison de l'objectif stratégique en objectifs élémentaires.

La seconde phase, la décomposition causale, concerne l'identification des objectifs de niveau de décision opérationnel, de leurs variables d'action et de leurs actions d'amélioration.

La procédure appliquée résulte de l'hybridation d'une démarche d'analyse cause à effets et de la méthode des « 5M ». A partir de la question centrale « Pourquoi le prix de revient des produits est-il élevé ? Quelles actions initier pour le minimiser ? », elle consiste, pour chaque items des « 5M » (*Matières, Main d'œuvre, Machines, Méthodes* et *Milieu*) à identifier les causes de premier et second niveaux responsables de cet état de fait et les actions susceptibles d'être déclenchées pour y remédier.

Sur base de cette réflexion, chaque objectif résultant de la première phase de décomposition, la décomposition structurelle, est décliné en un ou plusieurs objectifs à court terme.

L'analyse cause à effets complète d'ArcelorMittal Fontaine est présentée en Annexe 1. Le Tableau 14 en produit un extrait.

CAUSE DE 1IER NIVEAU	CAUSE DE 2EME NIVEAU	ACTION POTENTIELLE EN VUE DE LA REDUCTION DU COUT
Aspect « Machines »		
- Cadence de l'atelier : temps de passage sur poste trop long	- Vitesse de la machine inadaptée - Diamètre de fil inadapté - Qualité de fil médiocre	A définir dans le cadre du module « Analyse de l'existant » toutes les informations nécessaires à l'identification des actions n'étant pas disponibles
- Arrêts machines pour cause d'indisponibilité de main d'œuvre	- Personnel en formation - Personnel occupé ou déplacé - Personnel accidenté - Grève - Absentéisme	
- Arrêts machines pour maintenance	- Durée et nombre d'interventions du Service	
- Arrêts machines pour pénurie de ressources auxiliaires	- Ordonnancement de la production insatisfaisant (pas de bobines disponibles) - Personnel en nombre insuffisant (bobines non vidées)	
- Arrêt machines pour pannes	- Durée et fréquence de pannes trop élevées - Indisponibilité des pièces de rechange - Durée de réparation longue - Politique de maintenance inappropriée - Planification des interventions déficientes	
- Trop de ruptures de fil et de retouches	- Qualité de fil insuffisante - Vitesse machine inadaptée (cadence trop élevée) - Soudure défectueuse - Maintenance de poste insuffisante	
- Trop de ruptures et de retraitements	- Nombre de bottes de fils oxydées trop important	
-	- ...	

Tableau 14: Extrait de l'analyse cause à effets de l'entreprise

Cet extrait souligne qu'une des raisons explicatives d'un coût de production jugé trop élevé par l'entreprise (Ligne 1) est la durée du traitement des produits sur les différents postes de travail. Cette durée s'explique également par une cadence de production de la machine trop faible, un diamètre de fil trop important et donc consommateur de temps de production et/ou une qualité de fil médiocre qui ne peut supporter la cadence optimale de production.

Le croisement des objectifs nés de la décomposition structurelle et des causes inventoriées dans l'analyse causale a permis la construction de l'arbre des objectifs illustré par le Tableau 15.

Comme le montre ce tableau, la procédure choisie pour réaliser la déclinaison de l'objectif stratégique a permis de balayer l'ensemble des processus impliqués dans le système de pilotage et leurs différents aspects. En outre, les processus jugés non prioritaires ont également été repris dans l'arbre de façon à ne pas négliger les liens de dépendance qui les unissent aux processus prioritaires. Ceux-ci n'ont, cependant, fait l'objet que d'une analyse sommaire.

Décomposition Organisationnelle				Décomposition Causale				Commentaires
Objectif Stratégique	Objectifs Tactiques			Objectifs Opérationnels ou Élémentaires		Variables d'Action	Actions	
	Objectifs de Processus	Objectifs de Sous-Processus	Objectifs par Catégories d'Activités	Objectifs Génériques Objectifs Opérationnels	Objectifs « Cause-Effets » Objectifs Opérationnels			
Réduire Prix de Revient des Produits	Réduire Coût de Transformation / Production	Réduire Coût des Activités de Production	Réduire coût main d'œuvre	Réduire nombre d'intérimaires	Améliorer pilotage de l'atelier	Ordonnancement des emballeuses « goulot »		
					Améliorer sécurité	Réduire nombre d'accidents de travail		
					Réduire absentéisme	Possibilité d'aménagement du temps de travail		
						Afficher les objectifs atteints et à atteindre sur chaque poste de travail		
						Récompenser les ouvriers les plus performants		
						Améliorer la qualité de vie du personnel (cafeteria...)		
					Organisation plus efficace des formations	Prise en compte des plans élaborés lors de l'ordonnancement de la production		
					Améliorer l'ergonomie du poste de travail	Réflexion sur le rangement du petit matériel		
					Perfectionnement et polyvalence du personnel	Etablir un plan de formations adéquat	Dresser le relevé des compétences et des besoins	
							Planifier les formations	
					Réduire rebus, retouches et retraitements	Augmenter vitesse machine	Non significatif (NS)!!! Makespan & Coût	
						Augmenter qualité de MP et FM	NS !!! Coût	
				Réduire diamètre FM en entrée		NS !!! Qualité & ruptures		
				Réduire nombre de ruptures de fil		Augmenter nombre changements de filières	NS !!! Makespan & Coût	
				Augmenter qualité FM		Accroître qualité FM	NS !!! Coût	
				Réduire le nombre de bottes de fil oxydées		Réduire le temps d'attente des bottes avant traitement	NS ! non prioritaire	
				Augmenter la marge de sécurité du décapage		NS !!! Coût		
				Augmenter disponibilité personnel		Renforcer compétence & polyvalence du personnel (rapidité et efficacité)	Mettre en place un plan de formation	
						Améliorer sécurité	Réduire nombre d'accidents de travail	
						Réduire absentéisme	Possibilité d'aménagement du temps de travail	
				Afficher les objectifs atteints et à atteindre sur chaque poste de travail				
				Récompenser les ouvriers les plus performants				
				Améliorer la qualité de vie du personnel (cafeteria...)				
				Améliorer pilotage de l'atelier		Ordonnancement des tâches et du personnel		
				Revoir politique de maintenance	Gestion stock maintenance	Suite à étude menée par l'entreprise, la maintenance est sous-traitée & réalisée le week-end		
					Planification interventions de maintenance			
			Réduire durée & fréquence interventions maintenance					
			Couplage de types de maintenance					
			Augmenter nombre de tests qualité					
			Analyser fiabilité des FM par fournisseurs		Déjà maximal, réglementation stricte			
			Renforcer compétences ouvriers		Mettre en place un plan de formation			
			Réduire vitesse machine		NS !!! Makespan & Coût			
			Renforcer politique maintenance préventive		NS, étude, Maintenance sous-traitée			
			Améliorer gestion des stocks		Politique de gestion des stocks			
			Accroître disponibilité du personnel		Ordonnancement des tâches et du personnel			
			Optimiser gestion ressources auxiliaires		Ordonnancement intégrant la gestion des ressources auxiliaires			
			Améliorer pilotage de l'atelier	Ordonnancer afin de réduire arrêts machine par manque de matières				
			Réduire durée et nombre de setups	Renforcer compétences ouvriers	Mettre en place un plan de formation			
				Améliorer pilotage de l'atelier – optimiser séquences de production	Ordonnancer afin de favoriser la succession de produits similaires			
					Ordonnancer des plus petits diamètres au plus gros pour compenser l'usure des filières			
					Mettre en place un plan de formation			
			Réduire fréquence & durée de pénurie de ressources auxiliaires	Renforcer compétences ouvriers	Mettre en place un plan de formation			
			Améliorer pilotage de l'atelier	Ordonnancer afin de réduire arrêts machine par manque de ressources auxiliaires				
			Réduire coût & consommation matières	Réduire marge de sécurité du décapage				
				Qualité de MP et FM inadéquate	NS !!!! Makespan & ruptures			
				Réduire nombre de tests qualité	NS !!!! Réglementation stricte			
				Benchmark fournisseurs	NS !!!! imposé par la SCM			
				Renégociation contrats	NS !!!! imposé par la SCM			
			Réduire coût transport interne	Accroître quantité matériel de transport	NS ! Pas un problème majeur			
				Automatiser le transport interne	NS ! Pas un problème majeur			
				Modifier la taille des lots	NS ! imposé par les bobines			
				Améliorer l'agencement & l'encombrement de l'atelier	Intensifier nettoyage des postes de travail et de l'atelier	NS ! non prioritaire		
					Amélioration du délai de mise en stock	NS ! non prioritaire		
		Améliorer agencement de l'atelier	NS !!! impossible					
		Réduire coût de stockage	Réduire coût stockage MP	Réduire le nombre de références en stock	NS, coût faible			
				Définir le volume de matière à commander pour économie d'échelle	NS ! non prioritaire			
			Réduire le nombre d'en-cours	Améliorer pilotage de l'atelier	NS, coût faible			
			Réduire coût stockage PF	Production Just-in-time – Minimiser l'avance	NS ! Perte de réactivité, risque de perturbation des expéditions			
Augmenter la flexibilité des livraisons	NS !!! impossible							

AMÉLIORER LE SOUTIEN À LA PRODUCTION	AMÉLIORER LA MAINTENANCE		Gestion stock maintenance				Suite à étude menée par l'entreprise, la maintenance est sous-traitée & réalisée le week-end
			Planification interventions de maintenance				
			Réduire durée & fréquence maintenance				
			Couplage de types de maintenance				
	AMÉLIORER PILOTAGE DE L'ATELIER	AMÉLIORER LA QUALITÉ DE LA GESTION PRÉVISIONNELLE	Optimiser la planification - programmation	Augmenter la vision en production	Révision méthodologie planification	Développer méthodologie propre à l'entreprise améliorant la vision en production	
				Optimiser mix produits	Possibilité de réorganiser les périodes de production	Possibilité de réorganiser les périodes de production	
				Modifier taille lots	Revoir la procédure de groupement des commandes en planification	Revoir la procédure de groupement des commandes en planification	
				Gestion optimale des matières	Réduire le nombre de références en stock	Réduire le nombre de références en stock	NS! non prioritaire
					Politique de gestion des stocks	Politique de gestion des stocks	NS! non prioritaire
			Accroissement standardisation produits			NS!!! impossible	
			Optimiser l'ordonnancement	Révision méthodologie ordonnancement	Développer méthodologie propre à l'entreprise	Développer méthodologie propre à l'entreprise	
				Gestion optimale des ressources auxiliaires	Réduire le nombre et la durée de pénuries de bobines	Dimensionner le parc et acquérir de nouvelles bobines	
						Ordonnancer en intégrant la gestion des ressources auxiliaires	
				Gestion commandes urgentes	Octroyer des niveaux de priorité aux commandes	Ordonnancement intégrant la gestion des urgences	
		Ordonnancer en veillant à privilégier la flexibilité du système de production					
		Equilibrer les charges		Ordonnancement visant l'équilibrage des charges	Ordonnancement visant l'équilibrage des charges		
		Diminuer temps de setups		Renforcer compétences ouvriers	Mettre en place un plan de formation (rapidité)		
			Améliorer les séquences de production	Ordonnancer afin de favoriser la succession de produits similaires			
		AMÉLIORER LE DÉLAI DE RÉACTION FACE AUX ALÉAS DE PRODUCTION	Optimiser la conduite d'atelier	Améliorer la conduite corrective	Augmenter la visibilité de la production pour une meilleure réactivité	Augmenter le nombre d'éléments de collecte d'information Améliorer la qualité du système d'information	NS, informations indisponibles
				Améliorer la conduite préventive	Optimiser la gestion des marges libres et totales pour l'anticipation en production	Augmenter l'échange d'informations entre postes de travail Améliorer la qualité du système d'information	NS, informations indisponibles
		AMÉLIORER LA QUALITÉ		Accroître qualité MP			NS !!! Coût
				Augmenter nombre de tests qualité			NS!!!! Réglementation stricte déjà imposée
	RÉDUIRE COÛT D'ACHATS, D'APPROVISIONNEMENT DE CONSOMMATION DE MP		RÉDUIRE MARGE DE SÉCURITÉ DU DÉCAPAGE	Paramétrer le nouveau seuil de sécurité			
			QUALITÉ DE MP ET FM INADÉQUATE				NS!!!! Makespan & ruptures
			RÉDUIRE NOMBRE DE TESTS QUALITÉ				NS!!!! Réglementation stricte
			BENCHMARK FOURNISSEURS				NS!!!! imposé par la SCM
			RENÉGOCIATION CONTRATS				NS!!!! imposé par la SCM
	RÉDUIRE COÛT D'EXPÉDITION / LIVRAISON		OPTIMISER ORGANISATION DES CHARGEMENTS				NS! non prioritaire
			RESPECT DES DÉLAIS DE PRODUCTION	Optimiser le pilotage de l'atelier			
			BENCHMARK TRANSPORTEURS				NS!!!! imposé par la SCM
			RENÉGOCIATION CONTRATS				NS!!!! imposé par la SCM
	RÉDUIRE COÛTS ADMINISTRATIFS						NS
	RÉDUIRE COÛT DU BUREAU D'ÉTUDES						NS
	RÉDUIRE COÛTS LIÉS AUX VENTES						NS

Tableau 15 : Arbre des objectifs de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine

3.1.5.2 Mesures de performance associées aux objectifs identifiés

Les mesures de performance et leurs règles d'élaboration exploitées par l'entreprise jusqu'à aujourd'hui sont inventoriées dans le modèle de connaissance dédié à la performance. Quelques incontournables sont listés dans le Tableau 16.

MESURE DE PERFORMANCE		MESURES PHYSIQUES IMPLIQUEES	
N_T	Nombre de commandes en retard	N_T	Nombre de commandes en retard
$C_{\max} = \max C_k$	Durée de production totale ou <i>makespan</i>	C_k	Date de fin de production de la commande k
$T_k = \max(0, C_k - d_k)$	Durée du retard de la commande k	C_k	Date de fin de production de la commande k
		d_k	Date d'exigibilité de la commande k
$T = \frac{1}{n} \sum_k T_k$	Retard moyen	N	Nombre de commandes
		C_k	Date de fin de production de la commande k
		d_k	Date d'exigibilité de la commande k
$E_k = \max(0, d_k - C_k)$	Durée de l'avance de la commande k	d_k	Date d'exigibilité de la commande k
		C_k	Durée de production de la commande k
$E = \frac{1}{n} \sum_k E_k$	Avance moyenne	N	Nombre de commandes
		d_k	Date d'exigibilité de la commande k
		C_k	Date de fin de production de la commande k
$B = \sum_b B_b$	Durée de pénurie de bobines	B_b	Durée de pénurie des bobines de type b
$Cp_k = \sum_p CpHor_p \text{ } Durée_{kp}$	Coût de production de la commande k	$CpHor_p$	Coût horaire du poste P
		$Durée_{kp}$	Durée de production de la commande k sur le poste P
:	:	:	:

Tableau 16: Notations et descriptions de différents critères d'évaluation

De cette bibliothèque de mesures de performance, sont sélectionnées les mesures les plus représentatives du niveau d'atteinte de chaque objectif composant l'arbre. En fonction des évolutions du système de pilotage et de l'activation des boucles de rétroaction, les associations « Objectif – Mesures de performance » sont, bien entendu, susceptibles de se modifier.

OBJECTIF TACTIQUE	OBJECTIF OPERATIONNEL GÉNÉRIQUE	OBJECTIF OPERATIONNEL
		Diminuer temps de passage sur poste Durée opératoire moyenne par famille de produit
Réduire coût de production Coût de production de chaque famille de produit	Réduire coût de fonctionnement des machines Coût à la tonne produite par poste de travail	Éliminer rebuts, retouches & retraitements Nombre de rebuts par carnet de commande Nombre de retouches par carnet de commande Nombre de retraitements par carnet de commande
		Réduire nombre et durée d'arrêts de production Nombre d'arrêts de production Durée moyenne des arrêts de production

Figure 44: Associations « Objectif - Mesures de performance »

Au cours de cette validation, le recours aux mesures de performance déjà exploitées par l'entreprise a été privilégié afin d'induire le moins de perturbations possibles pour l'utilisateur de l'indicateur de performance et de préserver une compréhension aisée de la mesure de performance.

3.1.5.3 Relevé des variables d'actions d'amélioration potentielles

Le dernier composant du modèle de performance recense les variables d'actions potentielles associées aux objectifs précédemment relevés. Leur identification complète le duo « Objectif - Mesure de performance » et détermine, sous une forme tripartite, les indicateurs de performance disponibles au sein du système de pilotage.

L'identification des variables d'action résulte, conformément à la décomposition causale, d'une analyse cause à effets couplée à la méthode de « 5M ». Ces variables seront ultérieurement scindées en actions de

pilotage, beaucoup plus précises pour le déploiement d'un acte de pilotage. La réalisation de cette étape solutionne le problème de la désagrégation.

Dans le cas d'ArcelorMittal Fontaine, le système de pilotage développé vise une intervention au niveau de décision opérationnel. Seule l'identification des variables d'actions associées aux objectifs élémentaires a donc été réalisée. L'arbre des objectifs complété des variables d'action est illustré par le Tableau 15.

OBJECTIF OPERATIONNEL GENERIQUE	OBJECTIF OPERATIONNEL	VARIABLE D'ACTION
Réduire coût de fonctionnement des machines	Diminuer temps de passage sur poste	Réduire la vitesse machine
		Augmenter qualité de MP & FM
	Réduire rebuts, retouches & retraitements	Réduire diamètre FM en entrée
		Réduire nombre de ruptures de fil
		Augmenter qualité de FM
		Réduire le nombre de bottes de fil oxydées
	Réduire nombre et durée d'arrêts de production	Augmenter disponibilité personnel
		Revoir politique de maintenance
		Réduire nombre de ruptures de fil
		Réduire indisponibilité de matière
		Réduire durée et nombre de setups
		Réduire fréquence & durée de pénurie de ressources auxiliaires

Tableau 17: Extrait de l'arbre des objectifs d'ArcelorMittal Fontaine : l'arbre de l'objectif, « Réduire le coût de fonctionnement des machines »

Un extrait de celui-ci est repris dans le Tableau 17. Dans cet extrait, l'arbre a pour sommet l'objectif reflétant la facette « Machine » de la méthode des « 5M ». Il s'agit de l'objectif *Réduire le coût de fonctionnement des machines*. Celui-ci est issu de l'objectif tactique de réduction du coût des activités de production. Ce premier objectif est, à son tour, décliné en trois objectifs opérationnels : *Diminuer le temps de passage sur poste*, *Eliminer les rebuts, retouches et retraitements* et *Réduire le nombre et la durée des arrêts de production*. Les variables d'actions de ces objectifs sont enfin énumérées.

L'objectif visant la minimisation des arrêts de production a donné naissance à six variables d'action : *Augmenter la disponibilité du personnel*, *Revoir la politique de maintenance*, *Réduire le nombre de ruptures de fil*, *Réduire l'indisponibilité de matière*, *Réduire la durée et le nombre de setups*, *Réduire la fréquence et la durée de pénurie de ressources auxiliaires*.

Par cet exemple, les liens de dépendance existant entre différents objectifs et variables d'action composant l'arbre sont mis en exergue. Les objectifs opérationnels *Diminuer le temps de passage sur poste* et *Eliminer les rebuts, retouches et retraitements* engendrent tous deux une variable d'action modifiant le diamètre du fil machine en entrée des tréfileuses. De même, les objectifs *Eliminer rebuts, retouches et retraitements* et *Réduire le nombre et la durée d'arrêts de production* donnent naissance à une variable d'action destinée à diminuer le nombre de ruptures de fil. Il apparaît donc évident que l'activation de l'une de ces deux variables aura un impact positif sur deux facettes de l'objectif stratégique. Il s'agit d'un exemple évident de l'effet de levier que les variables d'action sont susceptibles de déclencher. A l'inverse, si elle est correctement menée, la méthodologie suivie pour décliner l'objectif stratégique en objectifs élémentaires et en variables d'action doit préserver l'entreprise de l'activation de variables d'action génératrices d'effet pervers.

Cette méthodologie s'est révélée être un outil précieux du système de pilotage mis au point. Les résultats obtenus, comme nous le montrons dans le chapitre suivant, sont significatifs. Toutefois, la méthode ne garantit nullement l'exhaustivité de l'arbre des objectifs établi. Il est une première réflexion sur le devenir de l'entreprise. Au fil des utilisations et des améliorations mises en œuvre, il fera donc l'objet d'extensions, de précisions et/ou d'élagages.

A l'instar de notre démarche de déclinaison des objectifs, le système de pilotage souple de la performance est, dans son ensemble, itératif. Il procède par enrichissements et affinages successifs. En outre, les résultats obtenus sont constamment comparés aux résultats réels et ajustés en vue de réduire les dérives potentielles, de rectifier la trajectoire suivie et d'éviter qu'ils ne s'éloignent progressivement de la réalité.

Lors de la constitution de l'arbre, il est essentiel de veiller à utiliser un vocabulaire unique (ontologie) de manière à ce que l'ensemble des membres de l'entreprise octroie à chaque mot une seule et même signification et qu'aucune place ne soit laissée à l'interprétation des objectifs. Toute interprétation risque, en effet, d'engendrer des actions de pilotage contradictoires.

La méthodologie de déclinaison d'objectifs appliquée dans ce cas de validation est générique et peut être directement exploitée dans d'autres entreprises de production visées par cette recherche.

De même, les items proposés au regard de l'objectif stratégique poursuivi le sont également. Cependant, toute modification de l'objectif stratégique entraîne un bouleversement de l'arbre. L'influence de l'objectif stratégique s'exerce notamment sur le choix des processus impliqués dans le périmètre de pilotage et des branches de l'arbre à déployer intensément et prioritairement.

3.2. ACTIVITE DE PILOTAGE « ANALYSE DE L'EXISTANT »

Cette activité joue un rôle majeur dans l'élaboration du système de pilotage. C'est au fil de sa construction que se développe la philosophie du pilotage et son instrumentalisation. Les éléments essentiels à sa réalisation y sont donc définis.

3.2.1. *DIAGNOSTIC DU SYSTÈME DE PRODUCTION ARCELORMITTAL FONTAINE*

La réalisation de l'état des lieux nécessite le recensement des contraintes et difficultés auxquelles l'entreprise est confrontée afin d'évaluer les degrés de liberté dont elle dispose.

La production de l'entreprise cible est de type « fabrication sur commande » et subit de fortes variations des commandes d'un mois à l'autre tant dans les quantités que dans les produits commandés. Cet état de fait laisse une place prépondérante à l'imprévisible et complexifie considérablement l'organisation de la production. Compte tenu de l'éventail de produits proposés à la clientèle, la constitution d'un stock de sécurité, même minimal, de toutes les références est inimaginable. Seules les références les plus vendues ont ce privilège.

Pour le processus industriel considéré, l'hétérogénéité des postes de travail implique qu'ils n'ont pas la capacité de réaliser tous les produits et/ou tous les types de conditionnement proposés par l'entreprise. Elle implique donc que le temps opératoire dépend à la fois du produit et de la machine utilisée pour réaliser chaque opération.

Les relations de précédence imposent qu'une opération ne peut commencer avant la fin de toutes les opérations précédentes, identifiées dans la gamme opératoire de chaque produit. La préemption n'est pas autorisée.

Dans ce processus, différents types de *setups* sont pris en considération : les setups dépendants et les setups indépendants de la séquence de réalisation des produits sur les postes de travail et les setups proportionnels au tonnage réalisé.

Les contraintes liées aux ressources incluent des limitations au niveau des entrées/sorties des postes de travail et des temps de préparation de ceux-ci.

De nombreuses contraintes additionnelles rendent ce problème très difficile à appréhender en termes de modélisation, d'optimisation et de simulation. Parmi celles-ci, figurent l'utilisation de ressources auxiliaires en nombre limité, les contraintes sur les diamètres maximum/minimum et les charges maximales en entrée/sortie des postes de travail.

L'entreprise limite délibérément l'utilisation des postes de travail par la création de lignes de production dédiées aux trois grandes catégories de produits (les monofils, les petits et moyens torons et les gros torons).

Lorsque la flexibilité des lignes de production est mise en exergue, l'ordonnancement de la production doit garder des bobines vides en réserve afin d'autoriser l'insertion de commandes imprévues ou urgentes.

Mentionnons également qu'un sous-ensemble de commandes ne peut accuser de retard en raison notamment des moyens d'expédition utilisés tels les transports par bateaux ne tolérant aucun retard et des impératifs imposés par la chaîne logistique à laquelle elle appartient. Deux principales contraintes émanent des exigences issues de la chaîne logistique. Il est demandé à ArcelorMittal Fontaine de s'approvisionner en matières premières auprès des entreprises partenaires de la chaîne et de satisfaire, en plus de la demande de la clientèle, les demandes urgentes émanant d'autres entreprises du groupe.

Les problèmes liés au stockage et au transport des produits au sein de l'entreprise ne sont pas pris en compte dans notre étude car ils ne constituent pas des facteurs bloquant et n'ont que peu impact sur le processus de fabrication étudié.

Le système de production doit également faire face à des dysfonctionnements tels que des ruptures de fils, des pannes de machines, des problèmes de formation du personnel ou d'absentéisme...

Le relevé des principales contraintes auxquelles l'entreprise est soumise fait partie intégrante de notre réflexion. Son analyse distingue les contraintes inflexibles des contraintes que l'entreprise s'est elle-même imposée. Ces dernières sont, toutefois, révocables. Elles concernent, par exemple, la création de lignes de production dédiées à chaque catégorie de produit établie par l'entreprise par facilité organisationnelle.

Une évaluation précise des véritables limites d'action de l'entreprise a permis de définir ses véritables degrés de liberté. Succède ensuite la mise en balance des objectifs de progrès, des limites et potentiels d'action de l'entreprise. Celle-ci se concrétise par l'identification des objectifs à poursuivre prioritairement par l'entreprise.

3.2.2. SÉLECTION ET QUANTIFICATION DES OBJECTIFS PRIORITAIRES

Si l'arbre des objectifs est vecteur de cohésion et à l'origine d'une démarche canalisée de performance, il présente, cependant, un inconvénient majeur : le nombre important d'objectifs identifiés. Une sélection des branches les plus porteuses devra donc s'opérer.

Sur base des degrés de liberté répertoriés, l'arbre des objectifs établi lors de la modélisation de la connaissance dédiée à la performance est donc élagué. Les branches sur lesquelles l'entreprise ne possède qu'un faible pouvoir d'influence sont éliminées. La suppression s'effectue par étapes successives au départ des variables d'action ou des objectifs de niveau décisionnel le plus bas. Le Tableau 18 en montre la résultante.

L'incidence négative sur la durée de production, la qualité des produits ou le coût sont autant de motifs d'élimination d'une variable d'action. Les branches concernant la maintenance ou l'accroissement de qualité des produits ont été délibérément écartées par l'entreprise en raison, respectivement, des résultats d'une étude récente destinée à définir l'organisation optimale de la maintenance ou des réglementations strictes visant la qualité et la traçabilité des produits auxquelles elle est soumise.

Décomposition Organisationnelle				Décomposition Causale			
Objectif Stratégique	Objectifs Tactiques			Objectifs Opérationnels ou Élémentaires		Variables d'Action	Variables d'Action / Actions
	Objectifs de Processus	Objectifs de Sous-Processus	Objectifs par Catégories d'Activités	Objectifs « 5M »	Objectifs « Cause-Effets »		
Réduire Prix de Revient des Produits	Réduire Coût de Transformation / Production		Réduire Coût des Activités de Production	Réduire coût main d'œuvre	Réduire nombre d'intérimaires	Améliorer pilotage de l'atelier	Ordonnancement des emballeuses « goulot »
						Améliorer sécurité	Réduire nombre d'accidents de travail
						Réduire absentéisme	Possibilité d'aménagement du temps de travail
							Afficher les objectifs atteints et à atteindre sur chaque poste de travail
							Récompenser les ouvriers les plus performants
							Améliorer la qualité de vie du personnel (cafeteria...)
					Perfectionnement et polyvalence du personnel	Organisation plus efficace des formations	Prise en compte des plans élaborés lors de l'ordonnancement de la production
						Améliorer l'ergonomie du poste de travail	Réflexion sur le rangement du petit matériel
				Réduire coût de fonctionnement des machines	Réduire nombre et durée d'arrêts de production	Etablir un plan de formations adéquat	Dresser le relevé des compétences et des besoins
						Augmenter disponibilité personnel	Planifier les formations
							Renforcer compétence & polyvalence du personnel (rapidité et efficacité)
							Améliorer sécurité
							Réduire absentéisme
						Réduire indisponibilité de matière	Améliorer pilotage de l'atelier
							Renforcer compétences ouvriers
							Améliorer gestion des stocks
							Accroître disponibilité du personnel
							Optimiser gestion ressources auxiliaires
					Réduire durée et nombre de setups	Réduire fréquence & durée de pénurie de ressources auxiliaires	Améliorer pilotage de l'atelier
							Renforcer compétences ouvriers
							Améliorer pilotage de l'atelier – optimiser séquences de production
							Renforcer compétences ouvriers
							Améliorer pilotage de l'atelier
	Améliorer le Soutien à la Production	Améliorer Pilotage de l'Atelier	Améliorer la Qualité de la Gestion Prévisionnelle	Optimiser la planification - programmation	Révision méthodologie planification	Augmenter la vision de production	Développer méthodologie propre à l'entreprise – vision de production
					Optimiser mix produits	Possibilité de réorganiser les périodes de production	Possibilité de réorganiser les périodes de production
					Modifier taille lots	Revoir la procédure de groupement des commandes en planification	Revoir la procédure de groupement des commandes en planification
				Optimiser l'ordonnancement	Révision méthodologie ordonnancement	Développer méthodologie propre à l'entreprise	Développer méthodologie propre à l'entreprise
					Gestion optimale des ressources auxiliaires	Réduire le nombre et la durée de pénuries de bobines	Dimensionner le parc et acquérir de nouvelles bobines
					Gestion commandes urgentes	Octroyer des niveaux de priorité aux commandes	Ordonnancer en intégrant la gestion des ressources auxiliaires
						Augmenter la flexibilité de la production	Ordonnancement intégrant la gestion des urgences
					Equilibrer les charges	Ordonnancement visant l'équilibrage des charges	Ordonnancement visant l'équilibrage des charges
					Diminuer temps de setups	Renforcer compétences ouvriers	Mettre en place un plan de formation (rapidité)
						Améliorer les séquences de production	Ordonnancer afin de favoriser la succession de produits similaires

Tableau 18: Arbre des objectifs simplifié

L'examen des variables d'actions liées aux objectifs opérationnels du pilotage de l'atelier, *Optimiser la planification – programmation*, *Optimiser l'ordonnancement* et *Optimiser la conduite de l'atelier* (cf. Chapitre 2 Figure 11), désigne l'ordonnancement de la production comme une source de progrès indéniable et incontournable.

La variable *Optimiser la conduite de l'atelier* est directement écartée, sur base de l'expertise du décideur, en raison de sa faible incidence sur l'objectif stratégique poursuivi et du difficile accès au système de collecte de données en temps réel de l'entreprise.

La variable *Optimiser l'ordonnancement* pourrait, en toute logique, succéder à une révision de la planification - programmation, la dernière variable d'action liée au pilotage de l'atelier. Toutefois, cet enchaînement ne serait pas conforme à la volonté de l'entreprise. Celle-ci souhaite, en effet, obtenir des résultats probants dans un laps de temps court et l'a formalisé par les priorités d'intervention octroyées aux objectifs opérationnels. En outre, l'entreprise dispose déjà d'un outil de planification dont elle semble satisfaite. Toute amélioration dans ce domaine risque de n'avoir qu'un faible impact sur l'objectif stratégique. Néanmoins, l'existence de liens forts unissant la planification – programmation et l'ordonnancement couplés au fait que le responsable de l'ordonnancement manipule les informations issues du logiciel de planification préalablement à leur exploitation nous ont poussés à ne pas évincer la planification de notre réflexion et, plus particulièrement, de l'arbre des objectifs simplifié.

VARIABLE D'ACTION	OBJECTIF OPERATIONNEL		ORDRE	QUANTI- FICATION
	OBJECTIF « CAUSE-EFFETS »	OBJECTIF GENERIQUE		
PROCESSUS DE TRANSFORMATION / PRODUCTION				
Améliorer le pilotage de l'atelier	Améliorer le pilotage de l'atelier	Réduire coût de main d'œuvre	3	NC*
Augmenter la disponibilité du personnel	Réduire nombre et durée d'arrêts de production	Réduire coût de fonctionnement des machines	1	NC
Réduire indisponibilité de matière	Réduire nombre et durée d'arrêts de production	Réduire coût de fonctionnement des machines	2	NC
Réduire durée et nombre de setups	Réduire nombre et durée d'arrêts de production	Réduire coût de fonctionnement des machines	1	NC
Réduire fréquence & durée de pénurie de ressources auxiliaires	Réduire nombre et durée d'arrêts de production	Réduire coût de fonctionnement des machines	1	NC
PROCESSUS DE SOUTIEN A LA PRODUCTION				
Augmenter la vision de production	Révision méthodologie planification	Optimiser la planification – programmation	2	NC
Possibilité de réorganiser les périodes de production	Optimiser mix produits	Optimiser la planification – programmation	2	NC
Revoir la procédure de groupement des commandes en planification	Modifier taille lots	Optimiser la planification – programmation	2	NC
Développer méthodologie d'ordonnancement propre à l'entreprise	Révision méthodologie ordonnancement	Optimiser l'ordonnancement	1	NC
Réduire le nombre et la durée de pénuries de bobines	Gestion optimale des ressources auxiliaires	Optimiser l'ordonnancement	1	NC
Octroyer des niveaux de priorité aux commandes	Gestion commandes urgentes	Optimiser l'ordonnancement	1	NC
Augmenter la flexibilité de la production				
Ordonnancement visant l'équilibrage des charges entre les lignes	Equilibrer les charges entre les lignes	Optimiser l'ordonnancement	1	NC
Renforcer compétences ouvriers				
Améliorer les séquences de production	Diminuer temps de setups	Optimiser l'ordonnancement	1	NC

*NC : Information non communiquée par souci de confidentialité

Tableau 19: Ordre d'exécution et quantification des objectifs opérationnels

En collaboration avec la direction de l'entreprise, l'arbre résultant de la simplification a fait l'objet d'un examen approfondi dont il ressort, pour chaque processus, un ordre d'exécution des objectifs le composant. Celui-ci est présenté dans le Tableau 19, colonne « Ordre ».

La lecture de l'arbre simplifié des objectifs et du Tableau 19 met en évidence, pour chaque processus étudié, un objectif opérationnel incontournable :

- Réduire le nombre et la durée d'arrêts de production pour le processus de transformation/production ;
- Optimiser l'ordonnancement pour le processus de soutien à la production.

L'examen des variables d'action associées à ces objectifs montre que ceux-ci sont intimement liés et exercent une influence sur le respect des délais de production. Toute amélioration du niveau de satisfaction de l'un de ces objectifs engendre une modification du niveau de satisfaction de l'autre.

Quatre variables d'action sont associées au premier objectif. Trois d'entre-elles ont été jugées primordiales par l'entreprise pour atteindre l'objectif. Elles concernent la disponibilité du personnel, l'importance des durées de setups et des pénuries des ressources auxiliaires.

Le second objectif est composé d'un sous-ensemble d'objectifs reflétant l'importance de développer une méthodologie d'ordonnancement efficace ou soulignant différents points à prendre en considération pour y parvenir.

Opter pour l'objectif d'*Amélioration du pilotage* consiste à engager une action globale sur l'organisation de la production alors que s'intéresser en priorité aux arrêts de production est une action locale qui, en fin de compte, ne couvre qu'une facette organisationnelle de la production.

L'objectif à satisfaire prioritairement est donc l'amélioration de la qualité du soutien à la production et plus précisément, de son ordonnancement. Il retient donc toute notre attention et est au centre de l'exploitation du système de pilotage. L'intérêt pour cet objectif se résume en trois points :

- L'impact fort pressenti de l'atteinte de cet objectif sur la satisfaction de l'objectif stratégique ;
- Le rôle qu'il a à jouer sur la performance des autres centres de décision impliqués dans ce processus ;
- Son incidence sur la satisfaction des objectifs associés aux autres processus tels que les processus de transformation/production et de d'expédition/livraison et sur la performance de divers centres de décision impliqués dans ces processus.

La quantification de cet objectif et de ses objectifs subalternes a nécessité une grande implication de la direction de l'entreprise. Le niveau de performance souhaité pour chacun d'eux n'est pas communiqué par souci de confidentialité.

Le choix de l'entreprise est de ne pas disperser ses efforts dans différents processus mais de les intensifier dans un seul. Son intention est donc de mener une campagne d'actions orientées vers l'atteinte ou l'amélioration flagrante d'un objectif tactique unique avant d'envisager d'autres voies d'amélioration. Le déploiement d'actions visant l'optimisation de la planification-programmation succédera logiquement à celles dédiées à l'ordonnancement. Elles seront donc identifiées.

Compte tenu des liens de dépendance forts existant entre les deux processus prioritaires et leurs objectifs, nous avons décidé de poursuivre la démarche pour le processus de transformation/production. L'identification des actions de pilotage sera donc également menée pour ce processus afin de veiller à les incorporer, autant que possible, aux actions de pilotage de l'objectif visant l'optimisation de l'ordonnancement.

3.2.3. ASSOCIER À CHAQUE OBJECTIF PRIORITAIRE SA MESURE DE PERFORMANCE, LE MÉCANISME D'AGRÉGATION À UTILISER ET LE SEUIL DÉCLENCHÉUR DE L'ACTION

Pour chaque objectif retenu, une mesure est choisie parmi les mesures susceptibles de lui être associée [Dhaevers *et al.*, 2004] [Roux *et al.*, 2006]. Ce choix repose principalement sur sa capacité explicative, la disponibilité de ses composants et son aisance d'utilisation.

IDENTIFIANT	MESURE	AGREGATION	INTERVENTION	VALEUR PIVOT
N_T	Nombre de commandes en retard	Somme	Minimiser	3 retards
T	Retard moyen	Moyenne arithmétique	Minimiser	4 heures
$C_{\max}$	<i>Makespan</i>	Maximum	Minimiser	4 heures
E	Avance moyenne	Moyenne arithmétique	Maximiser	4 heures
B	Durée de pénurie de bobines	Somme	Minimiser	4 heures
C_p	Coût de production	Somme	Minimiser	1.200€

Tableau 20: Mesures associées à l'objectif prioritaire *Optimiser l'ordonnancement*, mécanismes d'agrégation et seuils d'action

L'objectif *Optimiser l'ordonnancement* est incontestablement l'objectif à satisfaire prioritairement. Différentes facettes de cette optimisation ont clairement été identifiées et doivent composer son évaluation. Ce n'est donc pas une mesure unique qui a été choisie mais un vecteur de mesures cohérent représentant les différentes facettes de l'objectif (cf. Tableau 20).

L'évaluation globale du niveau d'atteinte de l'objectif n'est pas directement calculée. Lors de la comparaison des alternatives d'amélioration de cet objectif, la méthode d'aide à la décision multicritère fournira, pour chacune d'elle, une valeur scalaire, la valeur de *phi* et permettra leur comparaison. Aucune agrégation des mesures de performance n'est nécessaire et *a fortiori*, aucune transposition de ces mesures en expressions commensurables.

La minimisation du nombre de commandes en retard N_T , du retard moyen T et de la durée totale de production $C_{\max}$ sont des critères classiques d'évaluation de la qualité d'un ordonnancement de la production. La mesure destinée à apprécier l'avance E emmagasinée par rapport aux dates d'exigibilité des commandes composant le carnet est également intégrée au panel de mesures. Sa maximisation vise, en réalité, à évaluer la flexibilité de l'entreprise et sa capacité à intégrer les commandes urgentes sources de bénéfices pour l'entreprise et de fidélisation de la clientèle. Elle constitue également un moyen de garantir le respect du timing d'expédition.

Le système de production de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine est soumis à une contrainte opérationnelle forte : la gestion des ressources auxiliaires. Leur pénurie entraîne des blocages de production qui en perturbent fortement l'organisation et les délais de réalisation. La durée de pénurie des bobines B est donc le cumul des durées des arrêts de production occasionnés par le manque de bobines quelles qu'en soient le type. Une évaluation similaire doit, toutefois, être disponible pour chaque catégorie de bobines. L'observation de la durée de pénurie des différents types et la réduction de celle-ci permet, en effet, de mieux appréhender les arrêts intempestifs de production et d'économiser ces précieuses ressources en vue d'accroître la flexibilité de la production.

Bien qu'ils n'affichent pas un impact direct sur l'évaluation de la qualité d'un ordonnancement, nous pensons que calculer le coût de production C_p des différentes stratégies d'ordonnancement et de le considérer comme un critère de sélection n'est pas dénué d'intérêt. L'intégration de ce critère dans l'évaluation de la performance établit un lien avec les niveaux décisionnels supérieurs d'où il émane et s'inscrit pleinement dans un objectif de maximisation de la performance globale.

Les valeurs pivot fixées par le décideur dans le Tableau 20 concernent des évaluations relatives à l'ordonnancement de la fabrication d'un carnet de commandes d'un mois de production. Ces valeurs sont des valeurs limites à partir desquelles une intervention est jugée nécessaire. Si trois retards de production sont admissibles, une valeur supérieure n'est pas tolérée. Le temps de retard admis et le taux de pénurie de bobines toléré ne peuvent excéder quatre heures. Les valeurs pivot concernant le *Makespan*, l'Avance moyenne et le Coût de production s'exprime généralement en termes de variation consentie par rapport aux évaluations de la période précédente. Cependant, dans l'entreprise-pilote, l'instabilité du carnet de commandes est telle qu'il est exclu de procéder de la sorte. Les seuils d'alerte sont donc établis comme suit :

- toute variation du *Makespan* de plus de quatre heures par rapport au nombre maximal d'heures productibles du mois considéré engendre une intervention du décideur ;
- la valeur pivot liée à l'avance moyenne est fixée à zéro, lorsque l'entreprise produit en juste-à-temps. Quatre heure de tolérance est consentie pour tout autre mode de production, soit une demi-pause ;

- tout dépassement de 1.200€ du coût de production établi à partir du coût théorique des produits composant le carnet de commandes suscite l'intérêt du décideur.

IDENTIFIANT	MESURE	AGREGATION	INTERVENTION	VALEUR PIVOT
N_T	Nombre de commandes en retard	Somme	Minimiser	3 retards
T	Retard moyen	Moyenne arithmétique	Minimiser	8 heures
C_{max}	<i>Makespan</i>	Maximum	Minimiser	8 heures
E	Avance moyenne	Moyenne arithmétique	Maximiser	8 heures
$Cadence_e$	Cadence de production par étage	Rapport	Maximiser	Seuil théorique

Tableau 21: Mesures associées à l'objectif prioritaire *Optimiser la planification-programmation*, mécanismes d'agrégation et seuils d'action

De façon évidente, l'évaluation de l'atteinte de l'objectif *Optimiser la planification-programmation* passe par l'activation d'un sous-ensemble des mesures énumérées dans le Tableau 20 : le nombre de retards N_T , le retard moyen T , le *Makespan* et l'avance moyenne E . Une nouvelle mesure, souhaitée par le décideur, est également ajoutée à ce panel, la *Cadence de production*. Celle-ci correspondant au tonnage traité par unité de temps à chaque étage de production. Pour cette dernière mesure, tout dépassement de la capacité de production théorique d'un étage de production déclenche l'action de correction. Les valeurs pivot associées aux premières mesures correspondent respectivement pour N_T à 3 retards et pour les autres, à 8 heures ce qui équivaut à une pause de travail (cf. Tableau 21). Celles-ci sont établies selon la même base de calcul que dans le cas de l'optimisation de l'ordonnancement.

Une tâche reste à accomplir pour finaliser le modèle d'analyse du système de pilotage : déterminer quelles démarches l'entreprise doit entamer pour améliorer sa performance et atteindre ses objectifs prioritaires.

3.2.4. SÉLECTION DE LA OU DES VARIABLE(S) D'ACTION RETENUE(S) & DÉSAGRÉGATION DE CHACUNE D'ELLES EN ACTIONS

Les actions d'amélioration ont été définies, isolément, variable d'action par variable d'action de manière à envisager toutes les alternatives qu'elle offre et à ne pas influencer ou limiter leur identification.

L'analyse des actions de pilotage identifiées pour les deux processus prioritaires (cf. Tableau 22) montre de façon évidente qu'il existe un fil conducteur entre la majorité de ces actions. Celles-ci soulignent l'importance pour l'entreprise de revoir sa méthode d'ordonnancement. Idéalement, celle-ci devrait organiser la production en gérant le flux de matière afin d'honorer le carnet de commande, en veillant à optimiser les séquences de production, à équilibrer les charges, en évitant les goulots d'étranglement, en prenant en compte l'approvisionnement en matière des postes de travail, les ressources humaines et auxiliaires... Bref, un programme plus que chargé !

L'élaboration d'un plan de formation des opérateurs est une autre action envisagée. L'objectif majeur de celle-ci est de développer et de perfectionner les compétences du personnel dans la réalisation de leur tâche de production et plus particulièrement, du réglage de leur poste de travail. Si cette action n'a pas d'incidence directe sur le choix de la méthodologie d'ordonnancement à élaborer, la méthodologie choisie, de par sa flexibilité et sa facilité d'utilisation, en facilitera la mise en œuvre.

Les actions de pilotage sélectionnées en vue de l'amélioration de la performance du système de production de l'entreprise sont mises en évidence dans le Tableau 22. L'ensemble de ces actions vont pouvoir être menées simultanément grâce au système de pilotage de la performance proposé dans cette recherche. Le recours à la simulation, incontournable pour cette entreprise compte tenu de la complexité de son système de production, en est un élément explicatif. Il permet, en effet, via un ensemble d'optimisations locales contenues dans le modèle de simulation, de traiter plusieurs aspects exigés de l'ordonnancement de la production.

OBJECTIF OPERATIONNEL	VARIABLE D'ACTION	ACTION
PROCESSUS DE TRANSFORMATION / PRODUCTION		
Réduire nombre d'intérimaires	Améliorer le pilotage de l'atelier	Améliorer pilotage de l'atelier ; Ordonnancement des emballeuses « goulot »
Réduire nombre et durée d'arrêts de production	Augmenter la disponibilité du personnel	Améliorer pilotage de l'atelier ; Ordonnancement des tâches et du personnel
Réduire nombre et durée d'arrêts de production	Réduire indisponibilité de matière	Améliorer pilotage de l'atelier ; Ordonnancer afin de réduire arrêts machine par manque de matières
Réduire nombre et durée d'arrêts de production	Réduire durée et nombre de setups	Améliorer pilotage de l'atelier ; Ordonnancer afin de favoriser la succession de produits similaires
Réduire nombre et durée d'arrêts de production	Réduire fréquence & durée de pénurie de ressources auxiliaires	Améliorer pilotage de l'atelier ; Ordonnancer afin de réduire arrêts machine par manque de ressources auxiliaires
PROCESSUS DE SOUTIEN A LA PRODUCTION		
Révision méthodologie planification	Augmenter la vision de production	Développer méthodologie propre à l'entreprise - vision de production
Optimiser mix produits	Possibilité de réorganiser les périodes de production	Possibilité de réorganiser les périodes de production
Modifier la taille des lots	Revoir la procédure de groupement des commandes en planification	Revoir la procédure de groupement des commandes en planification
Révision méthodologie ordonnancement	Développer méthodologie propre à l'entreprise	Développer méthodologie propre à l'entreprise
Gestion optimale des ressources auxiliaires	Réduire le nombre et la durée de pénuries de bobines	Dimensionner le parc et acquérir de nouvelles bobines Ordonnancer en intégrant la gestion des ressources auxiliaires
Gestion commandes urgentes	Octroyer des niveaux de priorité aux commandes	Ordonnancement intégrant la gestion des urgences
	Augmenter la flexibilité de la production	Ordonnancer en veillant à privilégier la flexibilité du système de production
Equilibrer les charges	Ordonnancement visant l'équilibrage des charges	Ordonnancement visant l'équilibrage des charges (lignes et ressources)
Diminuer temps de setups	Renforcer compétences ouvriers	Mettre en place un plan de formation (rapidité)
	Améliorer les séquences de production	Ordonnancer afin de favoriser la succession de produits similaires

Tableau 22: Actions d'amélioration associées aux variables d'action

Décider de déployer sur le système de production une action plutôt qu'une autre constitue l'élément déclencheur du pilotage de la performance. C'est, en effet, à partir de ce choix que le mécanisme s'amorce et prépare son exploitation par la traduction de l'action en modèles d'action. Cette décision est donc déterminante pour la suite du processus et la qualité des réponses apportées aux problèmes de l'entreprise !

3.3. ACTIVITES DE PILOTAGE « TRADUCTION DES ACTIONS DE PILOTAGE EN MODELES D'ACTION »

Afin de remplir pleinement son rôle, le mécanisme de pilotage souple nécessite la mise au point des différents modèles d'action impliqués par les besoins du pilotage. Au fil des utilisations du système, de nombreux modèles de toutes formes (mathématiques, hybrides...) seront plus que probablement développés et compléteront la bibliothèque des modèles d'action.

Dans le cas de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine, le modèle d'action majeur est un modèle générique de simulation destiné à refléter, après instanciation, les moindres détails du fonctionnement du système

piloté. Celui-ci est, en effet, essentiel au mécanisme de pilotage souple. Compte tenu de la complexité du système de production et du caractère technique du pilotage que nous développons (cf. Chapitre 2 section 2), il sera impliqué dans la mise en œuvre de la majorité des actions de pilotage caractérisant l'arbre des objectifs. Le modèle de simulation est brièvement décrit ci-après.

Bien que parties intégrantes de ce troisième composant du système de pilotage souple, les modèles d'action spécifiques aux actions de pilotage à éprouver sont présentés dans le chapitre suivant. En procédant de la sorte, le lecteur dispose, pour chaque action de pilotage à tester, d'une perception intégrale de la méthodologie proposée pour sa mise en œuvre et des résultats de l'exploitation du modèle d'action qui la représente. La comparaison de l'ensemble des résultats obtenus lui facilite ensuite l'identification de l'action à sélectionner en vue d'une application sur le système réel. Les modèles traduisant les actions visant l'ordonnancement et la planification-programmation y donc sont présentés.

3.3.1. UN MODÈLE DE SIMULATION DESTINÉ À L'ÉVALUATION D'ACTIONS DE PILOTAGE

L'objectif du modèle *générique* de simulation développé est de reproduire, au fil du temps, la circulation des flux d'informations et des flux de matières s'écoulant dans tout système de production de biens. Au cours de son développement, nous nous sommes constamment souciés du caractère générique que nous souhaitons lui conférer de façon à ce qu'il s'applique aux structures organisationnelles visées dans cette recherche.

Le modèle de simulation mis au point se concentre sur la reproduction d'un processus opératoire comportant des activités de transformation et/ou d'assemblage. Bien qu'ils soient en relation directe avec la production, les mécanismes d'approvisionnement de matières premières et autres composants et les mécanismes de livraison de produits finis aux clients finaux, ne sont pas présentés dans ce travail étant donné que, comme nous l'avons montré précédemment, ils ne sont pas prioritaires pour l'entreprise partenaire.

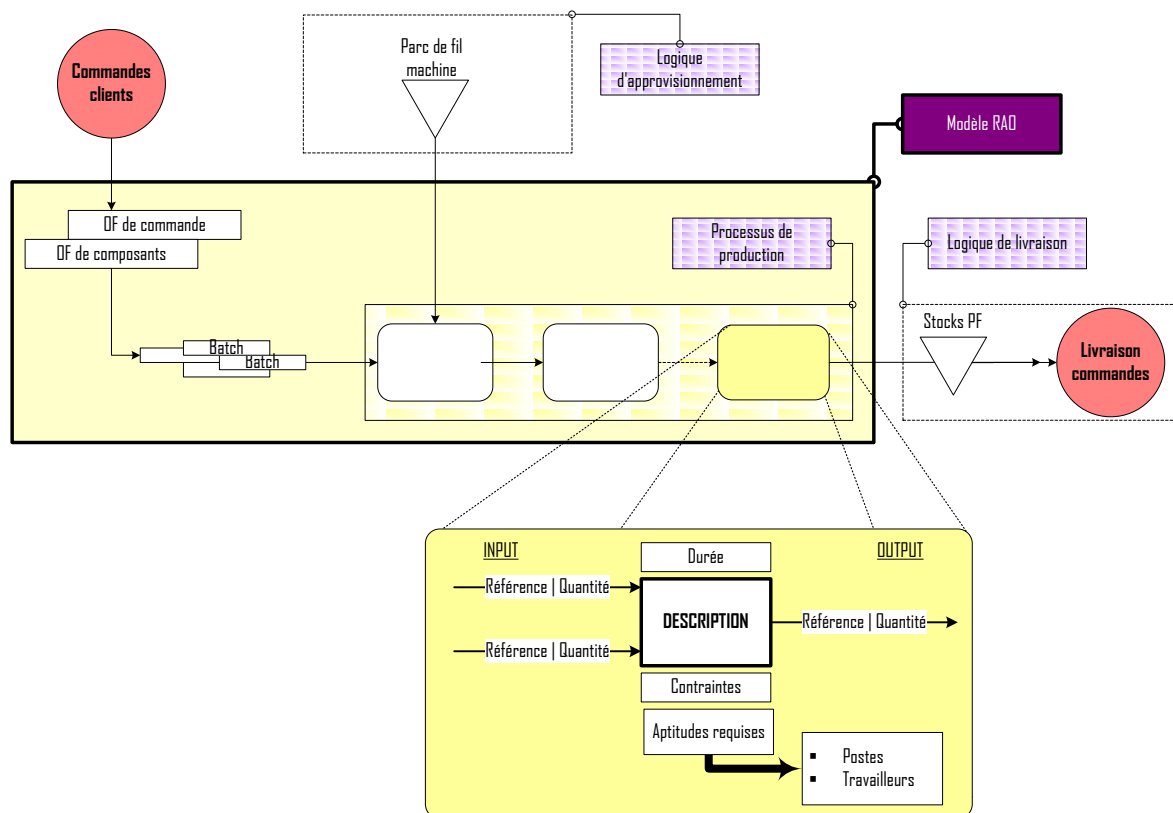


Figure 45: Zone d'action du modèle de simulation

Sur la Figure 45, est soulignée la zone d'action visée par le modèle de simulation, étiquetée « Modèle RAO ». Celle-ci intègre notamment les entités suivantes: les commandes, les ordres de fabrication (OF), les

batches de fabrication, les ouvriers, les postes de travail et les contraintes liées à ceux-ci. Le schéma représente les différents liens existant entre les entités du modèle.

Le modèle de simulation *générique*, tel que nous l'avons conçu, est capable de reproduire le fonctionnement général de tout système de production de type *job-shop* [Carlier & Chrétienne, 1988] [Pinedo & chao, 1999]. Ce modèle s'adresse plus particulièrement à des productions discrètes ou semi-continues à haut degré de complexité. Dans un souci de généricité et d'adaptabilité du modèle de simulation, nous y avons également intégré des éléments rencontrés à plusieurs reprises lors d'études menées en milieu industriel mais rarement inclus dans un modèle de simulation générique. Il s'agit notamment de la gestion de ressources auxiliaires souvent sources de blocage de production ou encore de la prise en compte de setups liés à l'enchaînement des produits ou au tonnage réalisé sur un poste de travail. Ces particularités sont présentées dans les sous-sections à venir.

Le pilotage souple de la performance est conçu de manière à guider le décideur dans la sélection d'améliorations pertinentes pour son entreprise et obtenues suffisamment rapidement que pour faire face à un environnement en constante mutation. En effet, il ne s'agit pas de déployer dans l'entreprise une action déjà obsolète en raison d'une démarche de sélection et d'un délai de mise en œuvre trop long. L'atout du mécanisme proposé est de recourir à la simulation pour éprouver les actions de pilotage potentielles et mettre en évidence leurs effets positifs et négatifs sur la performance globale du système de production. Toutefois, la condition essentielle à une utilisation efficace et efficiente du mécanisme de pilotage proposé repose sur la qualité de développement et la rapidité d'exécution de notre modèle de simulation. Une grande attention a donc été portée sur ces points lors de l'élaboration de celui-ci. Différents artifices de programmation ont d'ailleurs été utilisés afin d'accélérer la vitesse d'exécution du modèle de simulation.

Son intégration dans un mécanisme de pilotage de la performance nécessite que le modèle de simulation soit capable de fournir de nombreuses informations sur l'état du système en cours de fonctionnement. De cette manière, le pilote dispose de la grande majorité des mesures physiques qu'il pourrait inclure dans son système d'évaluation de la performance. L'abondance des mesures disponibles ne signifie, toutefois, pas que le pilote doit se noyer d'informations diverses pour analyser la performance réalisée par l'entreprise. Au contraire, ces mesures doivent impérativement faire l'objet d'une sélection pointue et d'agréations éventuelles.

L'originalité de notre étude réside principalement dans l'introduction de la simulation, éventuellement suivie d'une optimisation, dans le pilotage de la performance des systèmes de production. Nous proposons donc de détailler, dans cette section, le modèle de simulation.

3.3.2. DESCRIPTION DU MODÈLE DE SIMULATION

Simuler le fonctionnement d'un processus opératoire nécessite de prendre en compte l'ensemble de ses composants qu'ils soient structurels ou temporaires, principaux ou auxiliaires. Ceux-ci, appelés ressources dans le modèle de simulation, sont modélisés et caractérisés par différents paramètres afin qu'ils se comportent lors de la simulation de manière similaire à leur fonctionnement dans le système de production réel.

Pour ce faire, un modèle générique de simulation doit être construit en sélectionnant dans une bibliothèque les ressources utilisées par l'entreprise et ensuite instancié pour qu'il se calque sur le modèle réel.

3.3.2.1 Génération du modèle de simulation

Le modèle générique de simulation est obtenu par un assemblage de *constructs*². Celui-ci peut, par exemple, décrire un stock élémentaire, une ligne de fabrication ou un ensemble de règles de génération d'ordres de fabrication. Dès leur conception, ces *constructs* intègrent des notions de performance et de pilotage tant au niveau de leurs *inputs* (paramétrage, seuils) que de leurs *outputs* (mesures de performance à collecter).

² Un *construct* est un élément générique de modélisation.

Dès que les différents éléments composant le modèle générique de simulation ont été sélectionnés, le modèle conçu fait l'objet d'une instanciation en un modèle de simulation adapté à l'entreprise cible [Dhaevers *et al.*, 2004] [Duvivier *et al.*, 2005 ; 2007]. Cette instanciation consiste à fixer les paramètres caractéristiques de cette entreprise. La structure de l'atelier, le nombre de postes de travail composant le système de production, les opérations que chaque poste est capable de réaliser, les horaires de travail des opérateurs, le niveau de compétence qu'ils possèdent pour la réalisation de chaque activité de production sont des exemples.

Les paramètres non fixés constituent les degrés de liberté du modèle de simulation sur lesquels des actions de pilotage pourront être menées. Un ou plusieurs modèles d'action notamment des modèles d'optimisation ou hybrides dédiés à l'ordonnancement ou à la maintenance pourront éventuellement agir sur ces degrés de liberté.

En phase d'exploitation d'un système de production, les degrés de liberté des solutions envisageables sont en nombre réduit de par l'existence même du système de production. Les moyens disponibles pour atteindre la performance sont, par conséquent, également limités. O. Sénéchal [Sénéchal *et al.*, 2003] souligne que les principaux leviers d'action sur la performance en phase d'exploitation résident dans l'organisation et le pilotage du système de production, et que les effets de ces leviers doivent prioritairement et directement porter sur des produits et/ou services en cours de production. Ainsi, les délais de livraison et la variété des produits seront influencés directement par l'organisation du système de production qui lui confèrera plus ou moins de réactivité et de flexibilité. La qualité et les coûts de production seront, quant à eux, optimisés par une parfaite synergie entre les fameux « 5M » (méthodes, main-d'œuvre, milieu, matières et machines) que seul un pilotage dans sa vision actuelle peut générer.

Les degrés de liberté diffèrent selon le niveau de granularité spacio-temporelle auquel le système de pilotage s'intéresse. Ceux-ci correspondent aux fonctions génériques de l'exploitation des systèmes de production positionnées sur les différents niveaux décisionnels: Planification, programmation, ordonnancement, conduite et commande.

Cette structure en fonctions hiérarchiques qui stratifient les décisions en restreignant à chaque niveau les degrés de liberté, pose les problèmes respectifs de robustesse des décisions vis-à-vis des niveaux inférieurs et de cohérence vis-à-vis des niveaux supérieurs [Erschler *et al.*, 1997]. L'évaluation, retournée par les indicateurs de performance mis en place, porte ainsi à chaque niveau sur la capacité à proposer une décision robuste vis-à-vis du niveau inférieur et cohérente vis-à-vis du niveau supérieur. [Sénéchal *et al.*, 2003].

3.3.2.2 Fonctionnement général du modèle de simulation

Le modèle de simulation mis au point dans le cadre de cette étude est développé dans le langage du simulateur à événements discrets *RAO - Ressources – Actions – Opérations* [Artiba *et al.*, 1998].

Le modèle permet de simuler le fonctionnement d'une entreprise travaillant tant sur stocks que sur commandes. Dans le premier cas, le lancement de la production est provoqué par la nécessité de réalimenter un stock en fonction de son seuil de réapprovisionnement. Dans le second cas, l'arrivée d'une commande constitue l'élément déclencheur. Ces deux modes de fonctionnement présentent de multiples similitudes. Dans ce travail, le mode de fabrication sur commandes est sollicité.

Notre modèle de simulation se base sur une représentation du processus de production sous forme de règles de production modifiées [Artiba *et al.*, 1998]. Celles-ci présentent une structure « *Si - Condition - Alors - Début d'action - Attente - Fin d'action* ». Parmi ces règles, figurent la génération des commandes, des ordres de fabrication et des lots ainsi que les assemblages. Contrairement à beaucoup d'autres simulateurs présents sur le marché, le simulateur *RAO* n'impose pas à l'utilisateur une démarche de modélisation orientée flux de matières ou d'informations par exemple. Grâce à son langage textuel complet, ce simulateur présente une grande souplesse d'utilisation et s'adapte aisément aux besoins de l'entreprise. De plus, le simulateur *RAO* intègre un compilateur de modèles qui permet de réduire fortement la durée de simulation. Cette caractéristique est très précieuse dans un mécanisme de pilotage de la performance où la rapidité d'obtention des informations pertinentes est une des conditions incontournables à son utilisation et un vecteur d'agilité pour l'entreprise.

La génération des commandes de produits finis se réalise selon deux modes de fonctionnement. Soit le système génère périodiquement une commande dont le produit et la quantité sont obtenus sur base d'un histogramme de référence, reflétant la ventilation réelle de la demande et du volume commandé. Soit un extrait du carnet de commandes de l'entreprise est directement introduit dans le modèle afin d'alimenter la simulation à partir de commandes réelles. L'activation de l'un de ces modes dépend du niveau organisationnel des actions de pilotage à tester.

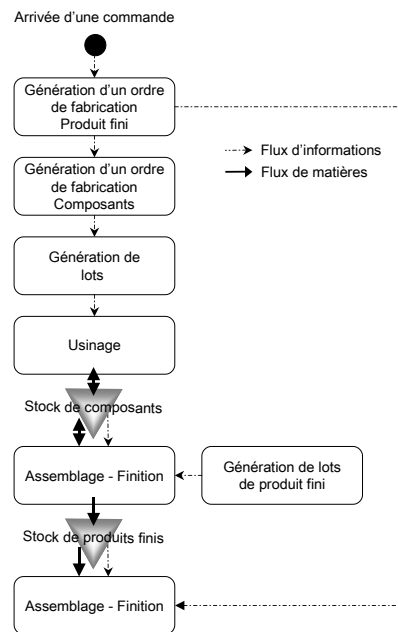


Figure 46: Logique de fonctionnement sur commande du modèle de simulation

Comme illustré sur la Figure 46, dès qu'une commande est enregistrée, un ordre de fabrication de produit fini est émis. Si le produit à fabriquer est constitué de plusieurs composants, des ordres de fabrication de composants sont également lancés. Des ordres de fabrication, en provenance, par exemple, d'un logiciel externe (à l'instar de la fabrication d'un nouveau produit en vue de tests en laboratoire...), peuvent également être directement insérés dans le modèle. Ceux-ci sont notamment destinés à modéliser la charge initiale de l'atelier ou à gérer des événements non pris en compte par défaut dans le modèle de simulation.

La génération de *lots* succède au lancement de tout ordre de fabrication. Un lot est une unité physique de production. Il s'agit, par exemple, d'un assemblage d'éléments en cours de montage, d'un conteneur de pièces intermédiaires, d'une palette, d'une bobine, d'un rouleau de produit, d'une botte... Lorsqu'un lot est prêt pour l'usinage, la première opération de la gamme opératoire du produit qui lui est associé, est lancée moyennant la disponibilité d'un poste de travail et d'un opérateur compétent pour effectuer la tâche.

Préalablement à toute opération d'assemblage, les composants nécessaires à la réalisation du produit fini sont réservés. Lorsque toutes les pièces sont disponibles, l'assemblage peut s'effectuer.

Dans le simulateur RAO, un système discret complexe est considéré comme un ensemble de ressources (machines, ouvriers, commandes...). Ces ressources sont décrites par des paramètres dont les changements de valeur sont à l'origine du déclenchement des actions du modèle. Il suffit, en effet, que la valeur d'un seul paramètre soit modifiée pour que les conditions d'activation d'une action soient remplies et que celle-ci s'exécute. Ces actions sont appelées *patterns*. Un certain nombre d'entre-eux réalisent des opérations de production. Les autres simulent des changements d'état relatifs, par exemple, à la gestion des commandes. Les différents états pris par une ressource de type « commande » sont : arrivée, en traitement, traitée, assemblée ou supprimée.

Le modèle de simulation mis au point est composé de *patterns* génériques décrivant le fonctionnement de ressources standards. Il peut, toutefois, si nécessaire, être complété de *patterns* dédiés au problème étudié.

Le modèle développé travaille avec des familles de produits finis. Une famille de produits rassemble l'ensemble des produits qui suivent un même processus de fabrication. La définition d'une famille entraîne, par conséquent, la définition de sa gamme opératoire. Une nouvelle famille est créée chaque fois qu'un produit ne s'inscrit dans aucune famille existante. Le nombre de composants des produits peut varier selon la famille d'appartenance.

La méthode de simulation RAO est capable de fournir un très large éventail de mesures de performance représentant l'état du système en cours de fonctionnement. L'utilisateur y puisera les mesures de performance nécessaires pour composer le tableau de bord virtuel préalablement défini et porter un jugement sur la qualité de l'action de pilotage testée via la simulation.

Le modèle de simulation propose donc par défaut aux utilisateurs des mesures de performance traditionnellement suivies telles que la durée de production totale, le nombre de commandes en retard, le *makespan*... Différentes mesures beaucoup plus originales telles que la durée de blocage de production par pénurie de ressources auxiliaires et le calcul dynamique des coûts de production sont également disponibles. Lorsque cela s'avère nécessaire, d'autres indicateurs, spécifiques aux besoins de l'entreprise analysée, pourront être facilement intégrés au modèle de simulation.

3.3.2.3 Particularités de notre modèle de simulation

A chaque commande est associée une priorité d'exécution qui est déterminée en fonction de l'ordonnancement défini par l'utilisateur. Les priorités les plus élevées sont octroyées par le décideur aux commandes urgentes ou émanant de clients importants. Les priorités de niveaux inférieurs sont calculées dynamiquement par l'interface utilisateur que nous avons développée.

L'identification des matières premières qui composent un produit est primordiale dans de nombreuses entreprises. Le numéro de coulée, le numéro de lot... sont des notions très importantes. Le modèle de simulation a, par conséquent, été conçu de façon à assurer la traçabilité des produits fabriqués. Les matières premières sont donc attribuées à chaque commande dès le début du processus opératoire et non puisées au hasard dans le stock.

Les ressources intervenant dans un système de production et donc dans un modèle de simulation peuvent être classées en deux groupes : les ressources principales et les ressources auxiliaires [Habchi, 2001].

Les ressources principales sont, par exemple, des machines, des robots, des moyens de transfert, des stocks... Celles-ci sont *actives* et sont caractérisées par une certaine autonomie. Elles peuvent évoluer dans certaines limites, indépendamment du reste du système. Les opérations de transformation réalisées par les ressources principales sont de deux types : des opérations avec valeur ajoutée telles que l'enlèvement de matière, l'assemblage, l'emballage... et des opérations sans valeur ajoutée telles que le stockage, le contrôle, un transfert...

Les ressources auxiliaires sont, par exemple, des outils, des palettes, des bobines, des conteneurs servant au stockage des produits semi-finis... Elles sont *passives* et permettent à des ressources principales d'accomplir une opération. Ce type de ressource est caractérisé par son exclusivité ou sa partageabilité.

Dans certains cas, un opérateur humain peut être considéré comme une ressource principale lorsqu'il est chargé d'effectuer des opérations de contrôle, de pesage ou d'emballage par exemple et dans d'autres cas, comme une ressource auxiliaire lorsqu'il réalise, par exemple, le réglage d'une machine.

Une difficulté majeure rencontrée par de nombreuses entreprises concerne la gestion de leurs ressources auxiliaires présentes en nombre limité dans l'entreprise. Une attention particulière a donc été accordée à l'intégration et la gestion des ressources auxiliaires dans le modèle de simulation mis au point. Chacune d'elles possède ses propres caractéristiques telles que la charge qu'elle peut supporter et les postes de travail sur lesquels elle est tolérée... En ce qui concerne les ressources auxiliaires qui quittent l'entreprise (des supports consignés par exemple), un mécanisme de restitution de ces ressources a également été intégré.

Au sein de notre modèle, nous avons la possibilité de considérer que toutes les machines ne sont pas capables de réaliser toutes les opérations, tous les produits et qu'elles n'acceptent pas en entrée et/ou en sortie de poste tous les types de ressources auxiliaires. Cette hétérogénéité des postes de travail induit une dépendance entre le temps opératoire, le produit fabriqué, la machine utilisée et les ressources auxiliaires nécessaires pour réaliser l'opération. Cette relation est prise en compte par notre simulateur.

Trois possibilités d'intervention humaine sur les machines sont définies :

- un opérateur est indispensable pendant toute la durée opératoire du poste de travail ;
- celui-ci n'intervient que pendant une partie du temps de fonctionnement ;
- aucun opérateur n'est nécessaire.

Notre modèle générique n'autorise pas l'intervention de plusieurs opérateurs sur un même poste de travail. Toutefois, pour combler ce manque, une extension du modèle générique est tout à fait envisageable. Pour être affecté à un poste de travail, un opérateur doit évidemment être disponible et posséder le niveau de compétence requis.

Dans le modèle *RAO*, la notion d'aptitude est utilisée pour décrire quelle opération peut être effectuée par quel poste de travail et par quel opérateur. Ces compétences sont notées dans deux matrices, l'une concernant les postes de travail, l'autre les opérateurs. Ce système offre au décideur la possibilité de décrire de façon très flexible la polyvalence du personnel et du parc de machines. Cette possibilité s'avère primordiale, spécialement au sein de petites structures.

Un extrait d'une matrice utilisée pour décrire les aptitudes de postes de travail est présenté en Tableau 1. Chaque cellule de cette matrice correspond à une machine donnée et à une aptitude ou à un groupe d'aptitudes. Toutes les cellules contiennent un nombre entier. Si ce nombre est nul, cela signifie que le poste ne peut pas être utilisé pour cette aptitude. Plus ce nombre est élevé, plus la priorité d'utilisation de ce poste pour la réalisation d'une tâche est importante. Ainsi, pour effectuer une opération, avec une aptitude donnée, nous sélectionnons la machine disponible possédant la valeur la plus élevée dans la matrice.

APTITUDES OU TACHES																	
...	Déca	Tréfilage						Toronnage				Stab & Cond			Cond	...	Emballage
...	Dec	Ott1 Ott2	Ott2 Bz Hb	Ott2 Hb	Ott3 Bz	Ott1 Ott2 Bz Hb	Ott1 Ott2 Hb	Stol	Red Skip	Skip	Skip Stol	Tbr1 Tbr2 Tbr3	Tbr1 Tbr3	Tbr1	Frig	...	Emb Botte Emb Pack
Ott1	0	9	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0
Ott2	0	5	5	9	0	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0
Ott3	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0
Bz	0	0	9	0	5	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0
Hb	0	0	5	5	0	5	9	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Tableau 23 : Extrait de la matrice des compétences par poste du modèle de simulation ArcelorMittal Fontaine

L'extrait de la matrice des compétences de l'entreprise partenaire présentée ci-dessus montre que la machine Ott1 ne peut être sélectionnée que pour la fabrication des produits nécessitant l'aptitude « Ott1, Ott2 » ou « Ott1, Ott2, Bz, Hb » ou « Ott1, Ott2, Hb ». Le groupe de compétences « Ott1, Ott2 » signifie que les bancs de tréfilage Ott1 ou Ott2 peuvent être utilisés pour réaliser l'opération. Toutefois, le poste de travail Ott1, coté 9 par rapport à 5 pour Ott2, sera utilisé, en priorité, pour le tréfilage de produits faisant appel à ce groupe de compétences.

Le même principe est utilisé pour la sélection des ouvriers. A chaque intersection du tableau croisé ouvriers/opérations une note comprise entre 0 et 9 indique le niveau de compétence de l'ouvrier pour

effectuer la tâche. La note en soi n'est pas importante, au contraire du rang qu'occupe chaque ouvrier, pour une tâche définie, par rapport à ses collègues. La cotation sera donc réalisée de façon relative pour chaque ouvrier, en fonction du niveau de compétence des autres. Cette grille des compétences est établie en collaboration avec le responsable de la production.

Une autre particularité de notre modèle de simulation est de prévoir, afin de refléter la réalité, trois types de *setups* ou de temps de mise en marche :

- des setups « fixe » par unité de lot pour le chargement et déchargement de la machine, par exemple ;
- des setups « fixe » qui n'est ajouté que lors d'un changement de famille de produits. Il s'agit d'adapter le poste travail à la production d'une autre gamme de produits ;
- des setups proportionnels au volume produit.

Notre modèle se distingue également de ceux généralement présentés dans la littérature par l'intégration d'un système de calcul dynamique de la taille des lots et de leur durée de traitement en fonction de la taille des lignes de commande. La taille des lots est calculée de manière à répartir la charge en fonction du nombre de composants lorsque ceux-ci sont identiques. Toutefois, afin de coller à la réalité industrielle, nous avons rendu variable les tailles d'unités de commande de manière à prendre en compte les tolérances existantes au niveau des lots de matières premières et d'obtenir des unités de commande en parfaite adéquation avec un carnet de commandes réel.

Pour l'entreprise ArcelorMittal Fontaine, l'unité de commande correspond, par exemple, à la charge maximale supportée par les bobines utilisées pour fabriquer le produit relatif à une ligne de commande. Le tonnage réalisable par ligne de commande est limité à la taille de la bobine de plus grande capacité utilisée pour réaliser le produit. Cette taille est appelée unité de commande. Il est, par conséquent, possible que, pour une ligne de commande transmise par la planification, deux commandes soient générées dans le modèle RAO : une commande dont le tonnage à fabriquer est multiple de l'unité de commande et une commande portant sur un tonnage quelconque inférieur à l'unité de commande.

Les événements irréguliers tels que des dysfonctionnements en cours de transformation et la survenance de pannes peuvent également être simulés si le décideur le souhaite.

La simulation d'un système de production sur une période de temps définie est confrontée au problème de la charge initiale de l'atelier. En effet, le début de la simulation ne coïncide jamais ou seulement dans des cas extrêmes à un atelier de production totalement vide. La synchronisation entre la date de début de la période à simuler et l'état d'occupation de l'atelier à ce moment précis peut être réalisée par la collecte des informations fournies par les capteurs placés sur les différents postes de travail. Toutefois, pour diverses raisons, nous ne pouvons réaliser cette synchronisation. Nous avons donc contourné ce problème en précédant systématiquement la période à simuler de quinze jours supplémentaires. De ce fait, l'atelier est chargé de manière similaire à ce qui se passe dans la réalité à la date de début de la période à simuler et les résultats obtenus en fin simulation sont tout à fait fiables.

Bien que ce modèle de simulation rencontre les particularités de nombreux systèmes de production, il subsiste un certain nombre d'améliorations à y apporter. Nous pourrions notamment intégrer les moyens de transport utilisés en interne pour l'approvisionnement des postes de travail en matières premières, le transfert des unités produites entre les postes et la mise en stock des produits finis dans les magasins.

Le champ défini pour l'application de notre étude rend l'exploitation d'un modèle de simulation incontournable et en fait donc l'élément central de la boucle de pilotage de notre système. Il constitue la première catégorie de modèle de notre bibliothèque de modèles d'action. Le second type de modèles mis à disposition du décideur concerne deux tâches incontournables de la gestion opérationnelle d'un système de production : l'ordonnancement et la planification-programmation. Ces modèles sont présentés dans le chapitre suivant.

4. CONCLUSIONS DU CHAPITRE 4

L'exploitation du système de pilotage souple de la performance débute indubitablement par la mise en place des composants préparatoires à son utilisation : *Modèles de connaissance*, *Module d'analyse* et *Modèles d'action*.

Les rencontres avec les différents responsables de l'entreprise et l'analyse des documents transmis par leur soin nous ont permis de collecter et d'organiser toute l'information utile à la compréhension du système piloté et au fonctionnement du système de pilotage. La collecte, l'analyse et la synthèse des informations obtenues et centralisées dans les *Modèles de connaissance*, ont été systématiquement validés et éventuellement corrigés afin d'éliminer tout décalage entre la modélisation de l'entreprise et sa réalité.

L'objectif stratégique de réduction des coûts de production tout en conservant le niveau de productivité et une qualité de produits finis identiques est un objectif fort de l'entreprise et du groupe auquel elle appartient. La décomposition de cet objectif stratégique en objectifs de niveaux inférieurs a mis en évidence la nécessité, pour l'entreprise étudiée, de réduire, en priorité, de diverses manières, les délais de production. Pour chaque objectif, différentes variables d'action ont été dégagées. En accord avec le responsable de production de l'entreprise, l'objectif *Optimiser l'ordonnancement* a été jugé prioritaire, les actions agissant directement sur le produit étant déjà bien maîtrisées ou à exclure. Citons, par exemple, la réduction de la qualité de la matière première ou la révision de la vitesse de fonctionnement des machines. Les variables d'action *Développer une méthodologie d'ordonnancement propre à l'entreprise*, *Gestion optimale des ressources auxiliaires* et *Gestion des commandes urgentes* ont notamment été sélectionnées.

Ces variables d'action couplées aux objectifs quantifiés et à leurs mesures de performance ont donné naissance aux indicateurs de performance sous une forme tripartite {O,M,VA}.

A partir des variables d'actions identifiées par l'entreprise et des dysfonctionnements organisationnels détectés, un ensemble d'actions de pilotage a été imaginé. La principale action concerne la mise au point d'un outil de pilotage en totale adéquation avec les besoins et contraintes de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine. Le déploiement des actions de pilotage passe assurément par une traduction en modèles d'action préalable à leur instanciation et exploitation au sein de la boucle de pilotage virtuel.

La complexité du système de production de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine a nécessité de recourir à la technique de simulation pour reproduire le fonctionnement de son système de production. Le mécanisme de pilotage mis en place a donc été organisé autour de son exploitation et de son couplage à divers modèles d'optimisation.

La procédure et le modèle de simulation établis ont été créés afin que de nombreux éléments mis en évidence lors de la déclinaison des objectifs et de la désagrégation des variables d'action soient directement gérés.

Les composants de la phase préparatoire à l'utilisation du système pilotage souple contiennent également l'ensemble des informations relatives à l'objectif opérationnel de niveau de priorité 2. Leur mise en œuvre sera l'objet d'une seconde exploitation de la boucle de pilotage virtuel.

Au sein du module d'analyse, le mécanisme d'identification des mesures de performance et de décomposition des variables d'action en actions de pilotage a donc été activé. Les actions choisies ont ensuite été traduites en modèles mathématiques s'articulant autour du mécanisme d'ordonnancement élaboré.

CHAPITRE 5
PILOTAGE SOUPLE
CHEZ ARCELORMITTAL FONTAINE

CHAPITRE 5

PILOTAGE SOUPLE

CHEZ ARCELORMITTAL FONTAINE

« La complexité de la conduite du système productif résultant tant de la nature de la demande, que des possibilités productives, peut être réduite à travers la recherche de solutions efficaces en adéquation avec différents profils de charge et respectant les objectifs d'efficacité. La définition des organisations-types et des règles de pilotage procède de cette logique d'identification de solutions efficaces et efficaces adaptées à différents types de demande, à niveau d'anticipation donné, ce qui permet au pilote de prendre des décisions rationnelles (au sens de la rationalité limitée de Simon [Simon, 1977]). Les principes d'établissement de telles solutions supposent tout d'abord la création de «scénarios» de demande, sur la base d'historiques ou de toute autre information prévisionnelle (négociation commerciale avec de grands comptes...). Pour un scénario, la recherche d'une organisation efficace suppose l'exploration de plusieurs organisations alternatives. Il est évident que seule la simulation permet de tester le comportement du système utilisant une certaine organisation de la production en réponse à un type de demande et donc de déterminer son degré d'efficacité en régime de croisière, son niveau d'efficacité se déduisant des ressources mobilisées. Il est également intéressant d'examiner les performances de l'organisation étudiée lorsqu'elle doit faire face à d'autres types de demande. La comparaison de ces alternatives implique une prise en compte simultanée des performances en termes d'efficacité, efficacité et robustesse » [Giard *et al*, 2000].

Cette analyse de V. Giard est en parfaite adéquation avec notre vision du pilotage souple de la performance des systèmes de production. Ce mécanisme, reposant sur une représentation du système de production, garantit avec un certain niveau de confiance l'efficacité des actions de pilotage engagées. L'élément central de ce mécanisme est la boucle de pilotage virtuel. Celle-ci peut être exploitée dans diverses perspectives : sélection d'une alternative de pilotage, étude de l'incidence d'une action sur le système piloté, affinage d'un paramétrage, intégration d'une action complémentaire dans un plan d'actions existant, sensibilisation du personnel à l'intérêt de l'amélioration envisagée, anticipation de l'incidence de dysfonctionnements probables ou avérés et mise au point des mesures à prendre pour les contrecarrer...

Ces différents cas d'applications de la boucle de pilotage virtuel montrent que le mécanisme de pilotage souple est une source inouïe d'agilité pour l'entreprise. Le simple fait d'utiliser la boucle de pilotage virtuel et de comparer plusieurs alternatives de pilotage est, en effet, susceptible d'accroître la flexibilité et la réactivité du système de production.

Le système de pilotage souple a été validé sur le système de production de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine. La phase préparatoire à son exploitation a été présentée dans le chapitre 4. Les différentes étapes de l'analyse de l'existant menées lors la préparation du système ont conduit à la définition de l'angle d'attaque le plus pertinent pour l'amélioration de l'objectif stratégique visé par l'entreprise.

Armés des objectifs tactiques et opérationnels prioritaires, des mesures de performance les plus explicites et des actions potentielles d'amélioration de la performance globale, il est temps d'éprouver le mécanisme de pilotage souple par l'utilisation de sa boucle de pilotage virtuel. Celle-ci repose sur l'instanciation d'un modèle de comportement suffisamment précis pour répliquer le système de production et alimenter les modèles de résultats par les mesures définies. L'exploitation à proprement parler du système de pilotage souple et les résultats de celle-ci sont détaillés dans ce chapitre 5.

Le module d'analyse du système de pilotage a orienté prioritairement les démarches de progrès vers l'objectif *Optimiser l'ordonnancement*. L'utilisation de la boucle de pilotage et de ses modèles de résultats pour la résolution de ce problème est commentée dans la section 1 de ce chapitre.

Les résultats engendrés ont souligné l'intérêt de déployer, grâce à une activité de reconfiguration du système de pilotage, une seconde action d'amélioration. L'atteinte de l'objectif opérationnel *Optimiser la planification-programmation* fait l'objet de la seconde itération du système de pilotage présentée dans la section 2 de ce chapitre.

Ces deux cas d'application de la boucle de pilotage virtuel et du mécanisme de pilotage souple ne sont pas dénués d'intérêt. Toutefois, l'efficacité du mécanisme n'est optimale que si un ensemble de pré-requis sont réunis. L'implication du personnel, la définition d'une stratégie adaptée et l'existence d'un système d'information de qualité en sont trois exemples. Ces éléments incontournables sont évoqués en section 3. Nous tirons ensuite les conclusions qui s'imposent pour clôturer ce chapitre.

1. DEPLOIEMENT DES ACTIONS DE PILOTAGE VISANT L'OPTIMISATION DE L'ORDONNANCEMENT

Le centre de décision concerné par l'objectif opérationnel à satisfaire en priorité, *Optimiser l'ordonnancement*, est géré par le responsable de production. Il lui incombe donc de repenser la méthodologie d'ordonnancement, première facette de l'objectif poursuivi (cf. Tableau 24), mais également de satisfaire aux quatre autres facettes impliquées dans la réalisation de l'objectif.

Dans ce cas particulier, les objectifs opérationnels détaillés, leurs variables d'action et leurs actions sont intimement liés. Une réflexion globale doit donc être instaurée et une méthodologie d'ordonnancement intégrant l'ensemble des critères doit être développée afin de répondre positivement aux objectifs fixés.

Définir une politique d'ordonnancement unique et optimale est illusoire dans une entreprise où le carnet de commandes est fortement variable tant en volume qu'en nombre ou type de références à produire. La proposition formulée en collaboration avec le responsable de production consiste à exploiter l'outil de pilotage de la performance pour optimiser l'ordonnancement de la production. Ce n'est donc pas une stratégie d'ordonnancement que nous proposons à l'utilisateur mais un ensemble de stratégies qu'il pourra éprouver, optimiser et comparer afin de déterminer la stratégie la plus proche de ses attentes.

OBJECTIF OPERATIONNEL		VARIABLES D'ACTION		ACTIONS	
AMÉLIORER LA QUALITE DE LA GESTION PREVISIONNELLE	Optimiser l'ordonnancement	-Réviser la méthodologie d'ordonnancement	-Développer une méthodologie propre à l'entreprise	-Développer une méthodologie propre à l'entreprise en modifiant la priorité et les séquences/groupes de production	Priorité 1
		-Gestion optimale des ressources auxiliaires	-Réduire le nombre et la durée de pénuries de bobines	-Dimensionner le parc et acquérir de nouvelles bobines -Ordonnancer en intégrant la gestion des ressources auxiliaires -Augmenter la cadence de déchargement de la mitraille	
		-Gestion des commandes urgentes	-Octroyer des niveaux de priorité aux commandes -Augmenter la flexibilité de la production	-Ordonnancement intégrant la gestion des urgences -Ordonnancer en veillant à privilégier la flexibilité du système de production	
		-Equilibrer les charges	-Ordonnancement visant l'équilibrage des charges	-Ordonnancement visant l'équilibrage des charges	
		-Diminuer les temps de setups	-Renforcer les compétences des ouvriers -Améliorer les séquences de production	-Mettre en place un plan de formation (rapidité) -Ordonnancer afin de favoriser la succession de produits similaires	

Tableau 24: Zone de pilotage de priorité 1

L'organisation du pilotage souple et le choix des outils qui le composent ont rendu non seulement possible la mise en place de cette nouvelle méthodologie d'ordonnancement mais ont également facilité l'intégration de l'ensemble des objectifs opérationnels prioritaires de l'entreprise. Les variables d'actions associées à chacun d'eux ont, en effet, toutes été activées à l'exception de la variable visant le renforcement des compétences des opérateurs qui n'entre pas directement en compte dans la conception d'une nouvelle méthodologie d'ordonnancement.

Le déploiement de la variable d'action *Réduire le nombre et la durée de pénurie des bobines* a pour résultats attendus une meilleure gestion de la production. En éliminant ou réduisant fortement le nombre d'arrêts de production en raison d'une carence de ressources auxiliaires, elle entraîne une diminution notable des temps de cycle et influence positivement de nombreux objectifs constituant l'arbre des objectifs de l'entreprise. Une gestion optimale des ressources auxiliaires se révèle donc être une étape incontournable à la mise en œuvre de la variable d'action liée à la révision de l'ordonnancement. Les ressources auxiliaires sont donc gérées par le modèle générique de simulation instancié pour l'entreprise partenaire de notre recherche. Leur consommation n'y est cependant pas optimisée directement mais un mécanisme de réserve des bobines a été développé afin de permettre à l'entreprise de se prémunir des carences, de se garantir une marge de sécurité et de se constituer un potentiel de flexibilité. Il est cependant possible d'en optimiser indirectement la consommation en octroyant à l'indicateur de performance « durée de pénurie de bobines » le statut de critère de décision lors de la sélection des stratégies à mettre en œuvre. De ce fait, les stratégies peu consommatrices de ressources auxiliaires seront par ce biais favorisées.

Afin d'exploiter au mieux le mécanisme de gestion des ressources auxiliaires, une étape préalable semble s'imposer : dresser l'état des lieux du parc à disposition et en identifier les déficiences. *Dimensionner le parc de bobines* et, éventuellement, envisager l'acquisition de nouveaux spécimens constitue d'ailleurs une des actions d'amélioration potentielles identifiées par le décideur. Bien que nous n'en détaillions pas la mise en œuvre, cette analyse a été menée et a conduit à l'acquisition de trente unités de type B1 réduisant, de cette manière, le risque de pénurie.

La régularisation du problème de *Déchargement de la mitraille* des bobines nécessite que les opérateurs disposent de suffisamment de temps pour effectuer cette tâche dans les délais prescrits, tout retard induisant une diminution du stock de bobines disponibles ou pire, occasionnant une pénurie de bobines. Sans toutefois minimiser l'importance de ce problème, aucune action d'amélioration spécifique n'a été déployée dans ce cas d'application. La libération du temps nécessaire au déchargement de la mitraille repose sur l'effet de levier engendré par les différentes actions de pilotage déployées par l'entreprise. De manière générale, l'amélioration de l'organisation de la production et de l'utilisation du temps de travail concourent à une gestion plus efficace de ce problème.

La *gestion des commandes urgentes* est un autre objectif opérationnel pris en considération. Sa mise en œuvre nécessite qu'un niveau de priorité soit octroyé à chaque commande et que le mécanisme d'ordonnancement favorise la flexibilité de l'organisation de la production. Le vecteur de priorités, solution initiale du modèle de simulation, constitue la réponse que nous proposons à la première variable d'action. Il laisse l'opportunité au responsable de production d'insérer dans le carnet de commandes des commandes jugées hautement prioritaires. Sur la Figure 54, est schématisé un vecteur de priorités.

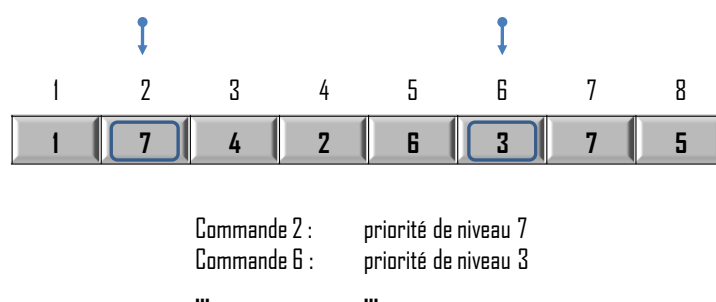


Figure 47: Un vecteur de priorités

Un critère d'évaluation de la flexibilité doté d'un certain poids dans la sélection des alternatives de pilotage, l'avance moyenne a été intégré dans notre système d'évaluation de la performance afin de contrôler le progrès réalisé en la matière. Plusieurs mécanismes ont été paramétrés dans le modèle de simulation de manière à favoriser la flexibilité de la production. La réservation des bobines et la possibilité de recourir à des gammes opératoires secondaires par l'établissement d'une matrice des compétences des postes de travail en sont quelques exemples. La flexibilité de la production est également mise en exergue par le choix de la stratégie d'ordonnancement qu'applique le décideur. Si ce système n'est pas optimal, il sensibilise néanmoins le décideur à l'amélioration de cette variable d'action et lui offre la possibilité de doser le niveau d'amélioration.

De même, l'*Equilibrage des charges* varie en fonction de la stratégie d'ordonnancement activée. Le modèle de simulation œuvre également à l'atteinte de cet objectif en choisissant au hasard une ressource de production parmi un ensemble de ressources disponibles présentant les mêmes capacités. Sans ce mécanisme, l'ordre de sélection des machines est guidé par l'ordre dans lequel les machines sont enregistrées dans le modèle de simulation et un déséquilibre entre les taux d'occupation des postes de travail est rapidement constaté. Un mécanisme de « rotation » entre les ressources disponibles peut également être mis en œuvre si le décideur le souhaite pour s'assurer par exemple d'une utilisation quasi-uniforme du parc machines dans le cadre d'une politique de maintenance.

Dans l'entreprise analysée, trois types de setups sont susceptibles de se cumuler : les setups fixes par unité de batch produit, les setups proportionnels au tonnage réalisé et les setups dépendants de la séquence de fabrication des produits. Si une intervention sur les deux premiers types de setups semble moins appropriée, la troisième catégorie est totalement en lien avec la problématique de l'ordonnancement. Travailler les séquences de production en vue de favoriser la succession de produits identiques ou similaires est donc un des actes exigés du modèle d'ordonnancement composé au minimum du modèle de simulation et d'une méthode sérielle. Lors de la simulation, par poste de travail, l'ordre de traitement des commandes de niveau de priorité égal est donc établi afin de *Réduire le nombre et la durée des setups* à effectuer.

En amont de l'ordonnancement de la production, une manipulation du carnet de commandes est également possible afin d'atteindre cet objectif. Le responsable de production dispose de la possibilité de « grouper » les commandes du carnet. Le groupement s'effectue par référence de produit et dates d'exigibilité.

L'utilisation de la boucle de pilotage virtuel nécessite le développement de modèles d'action spécifiques et le recours aux derniers éléments constitutifs du système de pilotage souple : les modèles de résultats. Ceux-ci sont au nombre de trois. Le premier est un système de tableaux de bord, le second est une aide à la décision multicritère et le troisième est dédié à l'analyse statistique des données.

Préalablement à la présentation de l'exploitation de la boucle de pilotage virtuel et des résultats obtenus, examinons le modèle d'action dédié à l'ordonnancement et les modèles de résultats associés.

1.1. LE MODELE D'ACTION DEDIE A L'ORDONNANCEMENT

Le modèle d'ordonnancement a été conçu de manière à fournir à tout responsable de production une réponse appropriée en termes de qualité d'ordonnancement et de temps d'obtention de celui-ci. A la lumière des systèmes de production visés, il nous est, en effet, apparu essentiel de laisser l'opportunité au décideur d'actionner le dispositif qui lui semble le plus adapté au contexte de la prise de décision. Pour ce faire, un module d'ordonnancement de base a été systématiquement associé à un modèle de simulation et en fonction des exigences de la situation à une méthode d'optimisation plus ou moins perfectionnée.

Afin d'offrir à l'entreprise un panel d'alternatives d'ordonnancement correspondant à ses besoins, trois modèles hybrides ont été mis au point : l'hybride sériel ou Hybride 1, l'hybride lexicographique ou Hybride 2 et l'hybride multicritère ou Hybride 3.

Dans le cas de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine, seul les hybrides sériel et multicritère sont exploités en raison de leur aptitude à faire face aux caractéristiques du système de production. Ces deux modèles hybrides sont présentés dans les sections suivantes.

Soulignons toutefois que, si nécessaire, le modèle hybride multicritère est susceptible d'être paramétré afin de se comporter de façon analogue à l'Hybride 2 pour lequel les critères de décision doivent impérativement, comme l'exige le tri lexicographique, être ordonnés strictement et ne présenter aucune zone d'incertitude. Cependant, une imitation parfaite n'est pas systématiquement obtenue compte tenu du phénomène « inné » de compensation des gains et pertes entre critères inhérent à la méthode d'aide à la décision multicritère.

Afin de clarifier nos propos, trois termes doivent être préalablement précisés :

- un *modèle* est une représentation simplifiée sous une forme quelconque, relativement abstraite, d'un objet, d'un processus ou d'un système, en vue de le décrire, de l'expliquer ou de le prévoir. La précision et l'exhaustivité de la représentation sont liées aux besoins de l'étude menée. Concrètement, un modèle de simulation est l'utilisation de la technique de simulation pour représenter le système réel et un modèle d'optimisation est l'utilisation d'un algorithme d'optimisation, basé éventuellement sur un modèle issu de la nature (par exemple le recuit simulé, les algorithmes génétiques, les colonies de fourmis...) pour représenter les actions à entreprendre pour améliorer une solution courante/actuelle.
- La définition précise d'une *méthode* est complexe dans le cadre de ce travail. Le terme apparaît, en effet, à plusieurs reprises en différents contextes. Une méthode de simulation, plusieurs méthodes d'optimisation, une méthode multicritère... sont utilisées. Nous proposons donc la définition informelle suivante : une *méthode* est un outil qui propose un ou plusieurs langage(s) pour traduire un modèle en code exécutable.

Ainsi une méthode de simulation s'appuie sur un langage de simulation (par exemple le langage RAO) pour transcrire un modèle en un modèle de simulation puis en code exécutable sur un ordinateur.

De même, une méthode d'optimisation s'appuie sur un ensemble d'équations et d'inéquations décrites dans le langage lié à un solveur pour traduire un modèle en un modèle mathématique puis en code exécutable sur ordinateur.

Une méthode multicritère s'appuie sur un ensemble de paramètres définissant un langage élémentaire pour traduire une modélisation des désidérata des décideurs en un code exécutable capable de comparer plusieurs solutions au problème posé.

Une méthode hybride utilise conjointement plusieurs méthodes.

- un *module* est un synonyme pour « composant logiciel » intégré au sein de notre plate-forme de pilotage souple de la performance.

1.1.1. L'HYBRIDE SÉRIEL

Le module d'ordonnancement de base comporte un ensemble de méthodes sérielles classiques telles que *Shortest Processing Time - SPT*, *Largest Processing Time - LPT* et de versions « étendues » de ces méthodes dont la construction est décrite dans [Duvivier *et al.*, 2005]. Elles sont, avec le recours à la simulation, l'élément commun aux trois modèles hybrides [Dhaevers *et al.*, 2004 ; 2007].

Ces méthodes élémentaires présentent de nombreux avantages. Non seulement, elles sont faciles et rapides à implémenter, à contrôler et à exécuter mais également extrêmement simples à expliquer aux décideurs comme aux opérateurs. Du point de vue de la « généricité » du système de pilotage souple, un autre avantage à ne pas négliger est l'étendue du spectre d'application de ces méthodes sérielles. Toutefois, elles présentent un inconvénient majeur lié à leur faible robustesse. En effet, ces règles ne sont pas toujours très performantes lors de la variation de certains paramètres [Carlier & Chrétienne, 1988] [Hansmann & Hoek, 1997] [Smith & Seidmann, 1983] [Waikar *et al.*, 1995]. Afin de pallier cette faiblesse, les ordonnancements fournis par ce module peuvent être optimisés par la méthode d'optimisation intégrée à l'hybride lexicographique ou l'hybride multicritère.

Le premier modèle hybride, l'hybride sériel, résulte de la combinaison des méthodes sérielles et du modèle de simulation développé. Son fonctionnement est illustré par la Figure 48.

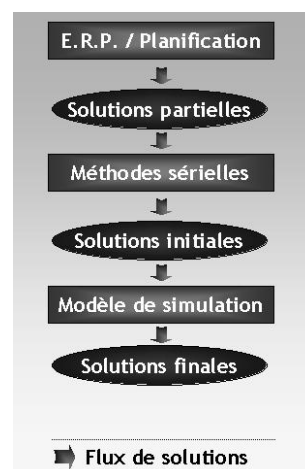


Figure 48: Fonctionnement de l'hybride sériel

Sur base des informations utiles à la réalisation de l'ordonnancement de la production, chaque méthode sérielle du modèle d'ordonnancement fournit au modèle de simulation une solution initiale sous la forme d'un vecteur de priorités, associant une priorité à chaque commande ou ordre de fabrication. En retour, le modèle de simulation calcule l'ordonnancement et quantifie les mesures de performance sélectionnées par le décideur. Ces résultats constituent la solution finale du modèle hybride sériel. Notons que l'utilisation d'un vecteur de priorités autorise également l'introduction, par le décideur, de commandes urgentes dont l'exécution ne peut en aucun cas être retardée par la réalisation d'autres commandes.

L'hybride sériel est suffisamment performant pour faire face aux périodes de production peu chargées. Cependant, lorsqu'il est confronté à une charge de l'atelier importante ou une distribution particulière

des commandes sur la période considérée, cet hybride montre ses limites et l'obtention de résultats de qualité nécessite le recours à un modèle hybride plus complexe.

1.1.2. L'HYBRIDE MULTICRITÈRE

L'hybride multicritère améliore les solutions données par l'hybride sériel grâce à l'intégration d'une méthode d'optimisation. Sa logique de fonctionnement est similaire à celle de l'hybride lexicographique ou Hybride 2 à la différence que l'hybride multicritère intègre une méthode d'aide à la décision pour la comparaison des solutions tandis que l'hybride lexicographique repose, comme son nom l'indique, sur un tri lexicographique [Duvivier *et al.*, 2007] [Roux *et al.*, 2006 ; 2008 a].

La logique de fonctionnement de l'hybride multicritère ou Hybride 3 est présentée en Figure 49.

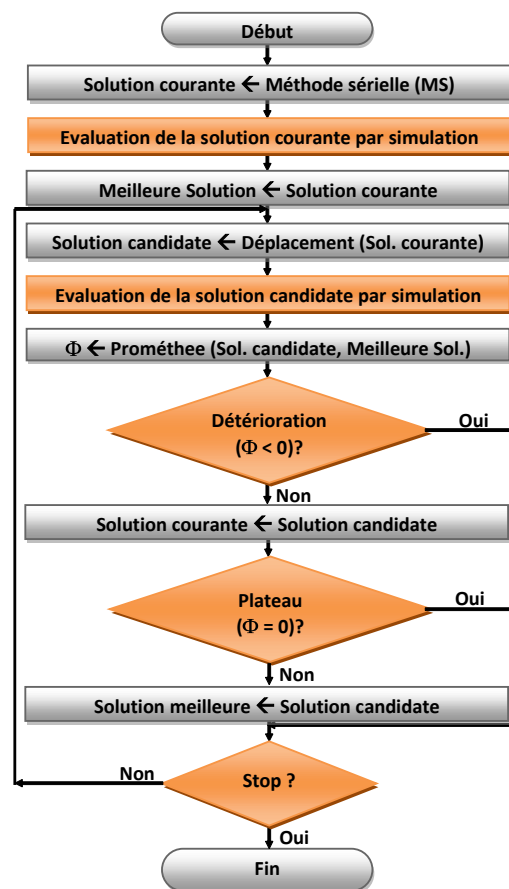


Figure 49: Fonctionnement détaillé du modèle hybride multicritère

Le vecteur de priorités des commandes et les informations relatives à la performance de l'ordonnancement définis lors de l'application de l'hybride sériel constituent la solution initiale de l'hybride multicritère. Cette solution initiale alimente la méthode de recherche locale chargée de l'optimisation des résultats. Le principe de fonctionnement de la métaheuristique repose sur une méthode itérative d'amélioration d'une solution unique (*Iterative Improvement, with first improvement selection* [Siarry *et al.*, 2003] [Hoos & Stützle, 2005]). Dans la suite de ce chapitre, nous désignons cette méthode sous le terme *Hill-Climber* (ou HC) afin d'en simplifier la désignation.

A partir de la solution initiale, une solution candidate est engendrée via un *opérateur de déplacement*. Si la solution candidate offre une meilleure évaluation que la solution initiale, alors la solution candidate devient la solution courante. L'opérateur est ensuite appliqué à la solution courante afin de donner naissance à une nouvelle solution candidate. Ce cycle, appelé itération, est répété jusqu'à la satisfaction de la condition d'arrêt prédéfinie (par exemple, un nombre d'itérations maximum). Il est à noter qu'une

évaluation de la solution candidate est effectuée lors de chaque itération, si bien que le nombre d'itérations correspond au nombre d'évaluations.

Différents opérateurs de déplacement ont été testés dans ce modèle hybride [Roux *et al.*, 2008 b]. Ces opérateurs modifient de manière plus ou moins importante le vecteur de priorités associé à la solution courante pour engendrer un nouveau vecteur de priorités relatif à la solution candidate. L'opérateur *swap*, utilisé dans le cadre des résultats présentés, consiste à échanger deux éléments, sélectionnés aléatoirement, du vecteur courant pour obtenir un nouveau vecteur. L'avantage principal de cet opérateur est qu'il ne nécessite aucune information sur le processus en cours d'optimisation. De ce fait, cet opérateur « générique » est applicable à une très large gamme de problèmes d'ordonnancement ce qui facilite l'évaluation des performances des modules « génériques » assemblés au sein de notre plate-forme. Il est cependant possible d'améliorer les performances de cet opérateur en tenant compte des spécificités du processus ordonnancé.

La comparaison des solutions au fil des itérations se base, au sein de l'hybride 3, sur la méthode d'aide à la décision multicritère *Prométhée II* [Brans *et al.*, 1986], [Brans & Mareschal, 1994 ; 2002], [Pomerol & Barba-Romero, 2000]. Ce mode de comparaison a été choisi pour sa capacité à refléter de façon beaucoup plus fidèle la réalité du système de production en prenant en compte non seulement les préférences du décideur mais également en atténuant toutes les imperfections dues à sa réplication en langage informatique basé sur un modèle de simulation. Ces caractéristiques évitent les changements intempestifs de stratégie d'ordonnancement et conduisent, au niveau de l'atelier, à une stabilité accrue de l'ordonnancement [Roux *et al.*, 2006 a ; 2008 a] [Duvivier *et al.*, 2007].

Cette méthode d'aide à la décision multicritère est intégrée aux modèles d'analyse des résultats du système de pilotage souple pour guider le décideur dans la sélection de l'action de pilotage à mettre en œuvre ou de son paramétrage. Ces modèles et leur utilisation au sein de la boucle de pilotage virtuel sont décrits dans les sections suivantes.

Que ce soit pour les modèles hybrides, lexicographique ou multicritère, l'évaluation des solutions courantes s'effectue sur la base des critères de décision sélectionnés par le décideur qui, dans cette validation, sont les indicateurs de performance. Ces critères servent également à la comparaison des solutions finales des stratégies d'ordonnancement pour les trois modèles hybrides.

Ces trois modèles hybrides offrent au décideur une solution d'ordonnancement ou un panel de solutions aussi rapidement qu'il le souhaite, la qualité des solutions évoluant en fonction du temps dont il dispose pour prendre sa décision [Duvivier *et al.*, 2005 ; 2006 ; 2007], [Artiba *et al.*, 2011]. D'autres modèles hybrides peuvent tout-à-fait compléter cette bibliothèque de modèles dédiés à l'ordonnancement et offrir des réponses de qualité supérieure à ce problème.

Afin d'évaluer la performance des ordonnancements fournis par les différents modèles hybrides, les trois modèles de résultats, inclus dans la boucle de pilotage virtuel, sont sollicités. Examinons le fonctionnement de la boucle et les résultats qu'elle fournit par l'intermédiaire de ces modèles lors de l'organisation d'un mois de production.

1.2. EXPLOITATION DE LA BOUCLE DE PILOTAGE VIRTUEL ET MODELES DE RESULTATS ASSOCIES

Afin d'illustrer les résultats obtenus lors de l'exploitation du pilotage souple, un extrait du carnet de commandes de l'entreprise a été utilisé. Par abus de langage, dans ce chapitre, nous appellerons cet extrait « carnet de commandes ». Il représente un mois de production et se compose de 134 commandes ce qui correspond à environ 2.500 tonnes de câbles d'acier répartis en 10 familles de produits. Le nombre de commandes et le tonnage à fabriquer indique qu'il s'agit d'un carnet dont le niveau de production est relativement élevé. Depuis quelques années, ce niveau de production est fréquemment exigé de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine et n'est donc pas une exception.

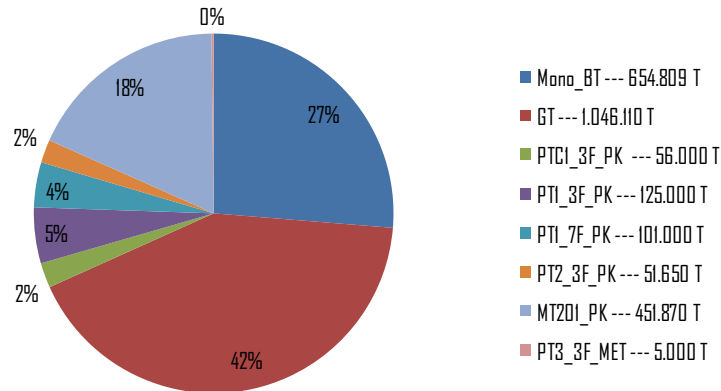


Figure 50: Répartition en familles de produits du carnet de commandes

Deux cas de figure illustrent l'utilisation de la boucle de pilotage virtuel. Le premier concerne une entreprise en mode de fonctionnement normal. Le second illustre l'attitude du décideur confronté à un environnement économique peu favorable induisant une modification de sa perception des indicateurs de performance et de leur importance relative, le mode « dégradé ».

Préalablement à l'interprétation des résultats de ces deux expérimentations, le tableau de bord reflétant les variables d'action activées commun aux deux modes de fonctionnement et le paramétrage du modèle d'analyse multicritère dédié à chaque mode sont décrits. Une interprétation statistique des résultats est enfin menée afin de déterminer le niveau de confiance associé à la décision la plus pertinente aux yeux du décideur.

1.2.1. TABLEAUX DE BORD DU SYSTÈME PILOTÉ

Le responsable de production dispose de deux tableaux de bord : un tableau alimenté par les mesures collectées sur le système physique réel et un tableau de bord virtuel alimenté par les mesures fournies par le modèle de simulation. Lors de l'utilisation de la boucle de pilotage virtuel, c'est ce second tableau de bord qui est sollicité, le tableau réel n'intervenant que lors de l'application de l'action de pilotage au système réel. La comparaison de ces deux tableaux de bord vérifie la cohérence entre la réplication et le système de production réel dont elle est issue. Si une correction s'avère nécessaire, la modélisation de la connaissance et le modèle de simulation seront modifiés par l'activation d'une boucle de rétroaction.

Le tableau de bord virtuel, présenté dans cette section, se compose des indicateurs de performance mis en exergue lors de la sélection des objectifs à satisfaire (cf. Chapitre 4 Section 3.5.2). Le système de pilotage n'est toutefois pas limité à ces indicateurs de performance.

Les indicateurs de performance composant le tableau de bord virtuel sont :

- Nombre de commandes en retard N_T à minimiser ;
- Retard moyen T à minimiser ;
- *Makespan* $C_{\max}$ à minimiser ;
- Avance moyenne E à maximiser ;
- Durée de pénurie de bobines B à minimiser ;
- Coût de production du carnet de commandes C_p à minimiser.

Si la minimisation des trois premiers critères est couramment utilisée lors de la résolution d'un problème d'ordonnancement, la maximisation de l'avance est moins fréquente. Dans ce cas d'application, l'objectif est double. Premièrement, il s'agit de se prémunir des dysfonctionnements apparaissant en cours de production afin de garantir, autant que possible, le respect des délais de livraison. Deuxièmement, capitaliser de l'avance en production offre à l'entreprise la possibilité de se constituer un potentiel de flexibilité indispensable pour l'insertion de commandes urgentes dans le planning de production, pour

programmer des périodes de maintenance ou simplement pour s'assurer d'honorer les dates d'expédition.

Surveiller et surtout éviter toutes carences en ressources auxiliaires contribuent également à garantir la réalisation de la production dans les délais impartis et à augmenter la visibilité en production. Les durées de pénurie de bobines sont donc collectées. Cet indicateur de performance a également joué un rôle essentiel lors du dimensionnement du parc de ressources auxiliaires.

Le coût de production des différentes stratégies d'ordonnancement est également évalué. Ce critère présente non seulement un intérêt immédiat dans le cadre de l'objectif poursuivi mais également en vue d'une remontée d'informations vers les niveaux décisionnels supérieurs.

Le coût présenté dans ce document est en réalité le coût de transformation des matières premières en l'ensemble des produits figurant sur le carnet de commandes. Les coûts des activités de production depuis l'entrée dans l'usine jusqu'au dépôt des produits finis dans les zones de stockage sont comptabilisés. Les activités concernées sont donc de façon systématique le tréfilage, la stabilisation et le conditionnement et selon le type de produit traité, le décapage, le toronnage, le gainage et l'emballage.

Deux facteurs majeurs influencent l'importance du coût de production : les séquences de production définies par le modèle d'ordonnancement et l'orientation des produits sur les différents postes de travail.

Le premier facteur dicte le nombre de setups dépendants de la composition de la séquence de production que les opérateurs devront réaliser. Plus la succession de produits d'une même famille est longue plus le nombre de setups par batch et le nombre de setups dépendants de la séquence des produits fabriqués sont faibles ce qui aura pour conséquence la réduction de la durée globale des temps de préparation. La mise en place d'un mécanisme de groupement de commandes de produits identiques constitue donc un moyen simple de réduire les coûts de production de l'entreprise. Son rôle consiste à rassembler les batches d'un même produit afin qu'ils soient fabriqués de manière consécutive. Cependant, ce mécanisme s'accompagne d'effets positifs ou négatifs sur l'organisation de la production, à ne pas négliger.

Un premier effet de bord lié à ce groupement des produits similaires est une meilleure utilisation des ressources auxiliaires. En effet, la maximisation du nombre de bobines utilisées au maximum de leur capacité limite le nombre de bobines partiellement remplies en raison du fractionnement des commandes de produits différents en cours de fabrication et de ce fait, engendre une minimisation de la quantité de bobines nécessaire pour réaliser la production.

Un second effet de bord, négatif cette fois, est que ce réaménagement des commandes induisant un éventuel délai entre la date de disponibilité des matières premières et la date de lancement des commandes risque d'introduire des retards dans les commandes de faible tonnage.

Le second facteur influençant le coût de production est lié aux postes de travail. Ceux-ci n'affichent pas les mêmes coûts de fonctionnement et ne requièrent pas les mêmes durées opératoires ni la même présence d'opérateurs. Ces éléments ne laissent planer aucun doute quant à l'incidence de l'ordonnancement de la production sur le coût de production du carnet de commandes. L'orientation des produits en cours de fabrication sur l'une ou l'autre des machines d'un étage de production peut donc entraîner des variations substantielles du coût associé à cette opération. Sont-elles suffisantes pour influencer le choix de la stratégie d'ordonnancement ?

Le calcul des coûts se fait *a posteriori* sur base des informations nécessaires à l'établissement du diagramme de Gantt : les dates de lancement et de fin de chaque opération pour chaque produit commandé. Les temps de préparation des postes sont déjà inclus dans la durée opératoire qui en résulte. Sur base des informations recensées dans le modèle de connaissance physique, le coût de production d'une tonne de produit a été estimé pour chaque poste de travail. Les informations relatives à l'occupation des opérateurs ont également été intégrées dans la base de calcul.

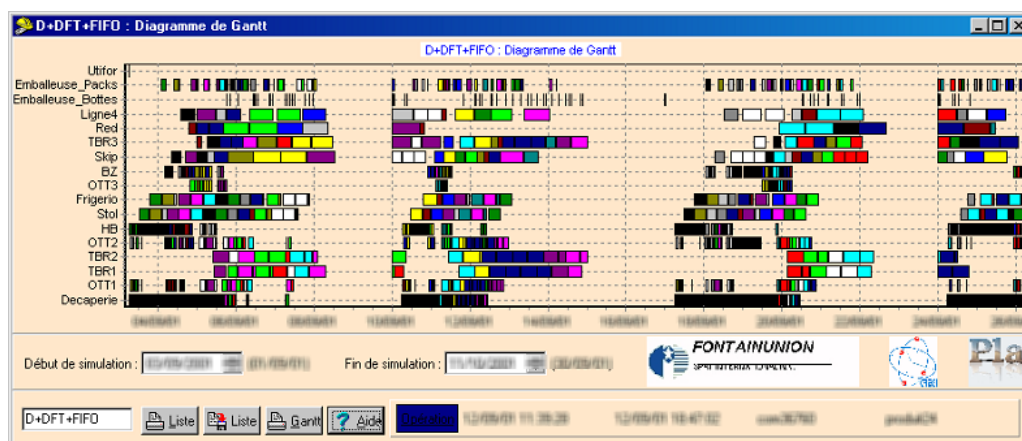


Figure 51: Diagramme de Gantt

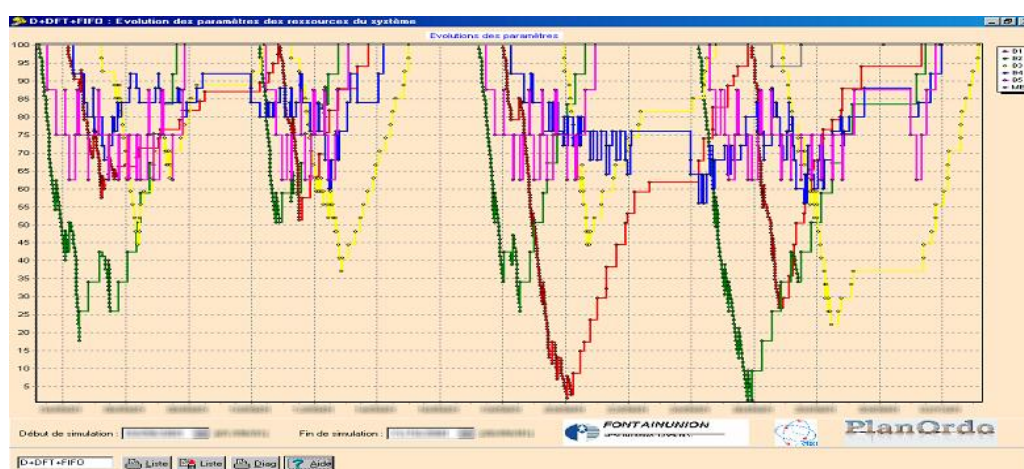


Figure 52: Courbes d'évolution des ressources auxiliaires

En plus de l'alimentation de tableaux de bord, les données collectées lors de la simulation sont exploitées pour la réalisation de divers diagrammes représentant l'évolution du système et facilitant l'interprétation de certains indicateurs de performance. Citons notamment les diagrammes de Gantt utilisés pour illustrer l'ordonnancement de la production (cf. Figure 51) et les courbes d'évolution de l'utilisation des différents types de ressources auxiliaires (cf. Figure 52) accroissant la visibilité en production.

Cette dernière figure souligne également la possibilité offerte au décideur de recourir à une vision détaillée d'un indicateur de performance. Grâce au système de collecte des données développé, le décideur est en mesure d'accéder, à des informations additionnelles à celles contenues dans son tableau de bord principal. Il lui est, en effet, loisible d'effectuer un zoom sur un indicateur ou l'une des mesures le composant. Le complément d'informations concerne, par exemple, le degré de pénurie chaque types de bobines (moins de 5%, 10%... de bobines en circulation) ou pour chaque poste de travail, le tonnage réalisé, la durée d'utilisation, son coût utilisation... Bien entendu, ces données sont à utiliser avec parcimonie et uniquement lorsque le besoin s'en fait sentir !

Les indicateurs de performance composant le tableau de bord sont les critères sur base desquels la sélection de la stratégie d'ordonnancement la plus pertinente s'opérera quel que soit le mode de fonctionnement, normal ou dégradé, auquel l'entreprise est confrontée. Afin de s'assurer de la qualité du choix qu'il opère dans une perspective de performance globale, le système de pilotage souple offre au décideur la possibilité de recourir à une méthode d'aide à la décision multicritère pour effectuer celui-ci. La méthode et ses particularités sont présentées dans la section suivante.

1.2.2. MODULE D'ANALYSE MULTICRITÈRE

La nécessité de fournir des solutions offrant de bons compromis entre les objectifs bien souvent antagonistes de l'entreprise nous a amenés à intégrer une méthode multicritère au sein de notre système de pilotage. L'utilisation de ce module multicritère présente deux avantages non négligeables. Non seulement, elle apporte des nuances dans le classement des actions d'amélioration mais absorbe également les incertitudes liées à l'acquisition, la synthèse des données ou encore aux aléas du processus de production (pannes, accidents, dysfonctionnements...) [Dhaevers *et al.*, 2005 a ; 2005 b ; 2006] [Roux *et al.*, 2005, 2008 a].

La méthode choisie est la méthode *Prométhée II*. La facilité d'utilisation de la méthode, ne nécessitant aucune transformation préalable des données à comparer, a guidé ce choix. En outre, le paramétrage de la méthode est simple. Il ne sollicite pas d'efforts conséquents pour sa compréhension et son application.

Dans l'entreprise ArcelorMittal Fontaine, les critères de décision sont les six indicateurs de performance du tableau de bord virtuel. En mode de fonctionnement normal, les impératifs de l'entreprise nous imposent de considérer les critères N_T , T , C_{max} et E comme des critères prioritaires et, éventuellement, dans un ordre décroissant d'importance. La notation $N_T \geq T \geq C_{max} \geq E$ synthétise cette contrainte. Le critère B doit, quant à lui présenter une importance inférieure ou égale au critère T , soit $T \geq B$.

Bien qu'il soit inhabituel pour le responsable de l'ordonnancement de suivre ce critère, mais compte tenu de son influence directe sur l'objectif stratégique poursuivi, le critère lié au coût de fabrication de la production C_p a également été classé dans la catégorie des critères prioritaires. Son suivi constitue, en effet, un moyen de garantir que toute l'entreprise travaille à la satisfaction de la stratégie arrêtée.

Comme expliqué précédemment, la méthode multicritère *Prométhée II* offre six types de critères associés à des seuils d'indifférence (q) et/ou de préférence (p). Dans cette recherche, deux configurations très différentes de *Prométhée* sont utilisées au sein du modèle hybride multicritère et lors du classement des solutions finales qu'elle propose.

Les configurations ont été établies afin de refléter deux cas de figure fortement différents auxquels le décideur est susceptible d'être confronté et/ou de souligner l'intérêt de recourir à une méthode multicritère.

1.2.2.1 Prométhée II : Configuration et pondération des critères de décision en mode de fonctionnement « normal »

La première configuration considère que l'ensemble des critères sont des pseudos critères de type 5 c'est-à-dire des critères à préférence linéaire et à zone d'indifférence. Un seuil d'indifférence correspondant à la valeur pivot définie dans le chapitre 4, section 3.2.3 et un seuil de préférence sont donc précisés pour chaque indicateur de performance appelé critère de décision dans la méthode multicritère. Les valeurs arrêtées pour ce paramétrage sont présentées dans le Tableau 25.

L'interprétation des valeurs contenues dans ce tableau pour le critère N_T induit que si le décideur juge que la fabrication d'une commande en retard sur l'ensemble des 134 commandes à produire n'est pas significative, il estime, par contre, que le dépassement du seuil de 2% de commandes produites en retard, soit trois commandes, est significatif.

Configuration I	N_T	T	C_{max}	E	B	C_p
Type	5	5	5	5	5	5
Indifférence q_i	1	0.5	0.5	0.5	0.5	150
Préférence p_j	3	4	4	4	4	1200
Min/ Max	Min	Min	Min	Max	Min	Min

Tableau 25: Configuration 1 des critères de décision sous *Prométhée II*

Les seuils d'indifférence et de préférence fixés pour le critère de décision C_p sont respectivement de 150€ et 1.200€. Le seuil supérieur correspond à la valeur d'achat moyenne d'une botte de fil de 4 tonnes et le seuil inférieur à la valeur d'une ½ tonne de fil d'acier. Soulignons toutefois que cette quantité est bien au-delà de la précision du modèle de simulation qui est de l'ordre de 5kg par commande.

Les autres paramétrages induisent que si deux solutions comportent au moins quatre heures de différence (p est fixé à 4 heures, soit $\frac{1}{2}$ pause de travail), cette dernière va entraîner la préférence d'une solution sur l'autre pour le critère pris en considération. Pour le critère *Makespan* ou $C_{\max}$, la différence représente concrètement quatre heures de travail pour une équipe de onze ouvriers. Par contre, si la différence est inférieure à $\frac{1}{2}$ heure ($q=0,5$), celle-ci est non significative. Elle représente les bruits intrinsèques au processus de production (et par conséquent, au modèle de simulation) qui sont, par exemple, les interventions des opérateurs en cours de production susceptibles d'entraîner un allongement du temps opératoire.

	N_T	T	$C_{\max}$	E	B	C_p
Poids configuration 1	20	20	20	10	10	20

Tableau 26: Les poids associés à la configuration 1 des critères

Afin de déterminer le poids à attribuer à chaque critère, deux classes de critères définies selon leur caractère prioritaire ou non ont été établies. Les critères ont été répartis comme suit : ($N_T=T=C_{\max}=C_p$) constitue le groupe des critères prioritaires et ($E=B$) le groupe des critères secondaires. Cette configuration et la pondération octroyée aux six critères (cf. Tableau 26) reflètent les règles de décision usitées par le responsable de production travaillant dans des conditions de fonctionnement habituelles. La somme des poids a été ramenée à 100 afin de faciliter la compréhension de chacun d'eux.

1.2.2.2 Prométhée II : Configuration et pondération des critères de décision en mode de fonctionnement « dégradé »

La seconde configuration, dévoilée dans le Tableau 27, est construite selon le même schéma que le premier paramétrage.

Configuration 2	N_T	T	$C_{\max}$	E	B	C_p
Type	5	5	5	5	5	5
Indifférence q_i	1	1,5	1,5	1,5	1,5	150
Préférence p_j	3	4	4	4	4	1200
Min/ Max	Min	Min	Min	Max	Min	Min

Tableau 27: Configuration 2 des critères sous Prométhée II

Cependant, dans cette configuration 2, la zone d'indifférence est élargie à 1h30 pour les critères T , $C_{\max}$, E et B . Cette extension de temps est tout à fait raisonnable compte tenu des zones d'indifférence et de préférence établie pour le premier critère et de la période de production couverte (un mois).

Les poids octroyés aux critères au sein de la configuration 2 sont également répartis en deux catégories comme l'illustre le Tableau 28. L'ensemble ($E=C_p$) compose la catégorie des critères prioritaires et l'ensemble ($N_T=T=C_{\max}=B$) la catégorie des critères secondaires.

	N_T	T	$C_{\max}$	E	B	C_p
Poids configuration 2	10	10	10	30	10	30

Tableau 28: Les poids associés à la configuration 2 des critères

Cette pondération est inhabituelle dans l'entreprise étudiée. Elle illustre le comportement décisionnel d'un responsable confronté à un contexte de production particulier. La pondération s'applique, par exemple, dans

- une situation économique de crise où toute économie sur les coûts de production n'est pas négligeable et où la maximisation de la capacité de l'entreprise à accepter des commandes non planifiées est un atout dans un contexte où les clients ne font plus de réserves de câbles d'acier et commandent au fur et à mesure des contrats qu'ils décrochent ;
- une situation de production difficile en raison d'un fil machine de faible qualité provoquant de nombreuses ruptures de fil et engendrant des pertes de production importantes ;
- une situation où les commandes sont en majorité destinées à l'exportation et donc véhiculées par bateau. Les retards ne sont donc pas autorisés pour ces commandes. Il conviendra, cependant, de veiller à ne pas gonfler inutilement les coûts de production en les évitant ;

- une situation où le carnet de commandes affiche une majorité des commandes prioritaires, éventuellement, accompagnées de pénalités de retard substantielles. Dans ce cas de figure, le vecteur de priorité destiné à gérer le niveau de priorité entre les commandes risque de montrer ces limites. Par prudence, son action doit donc être renforcée par un paramétrage du modèle d'ordonnancement favorisant la réalisation en avance de l'ensemble des commandes;
- une situation particulière caractérisée par un taux d'absentéisme élevé du personnel de production en raison d'une épidémie, d'une grève... Ces circonstances sont susceptibles de nécessiter l'intervention de personnel moins qualifié au risque d'engendrer des variations de temps opératoires plus important.

Un tel paramétrage visant la production en avance des commandes risque paradoxalement de conduire à quelques retards de production. Avant toute validation de l'ordonnancement proposé, il sera prudent de s'assurer que les pertes évitées sur certaines commandes compensent le niveau des pénalités effectivement dues et ne nuisent pas à la bonne relation de l'entreprise avec les clients dont les commandes sont livrées en retard.

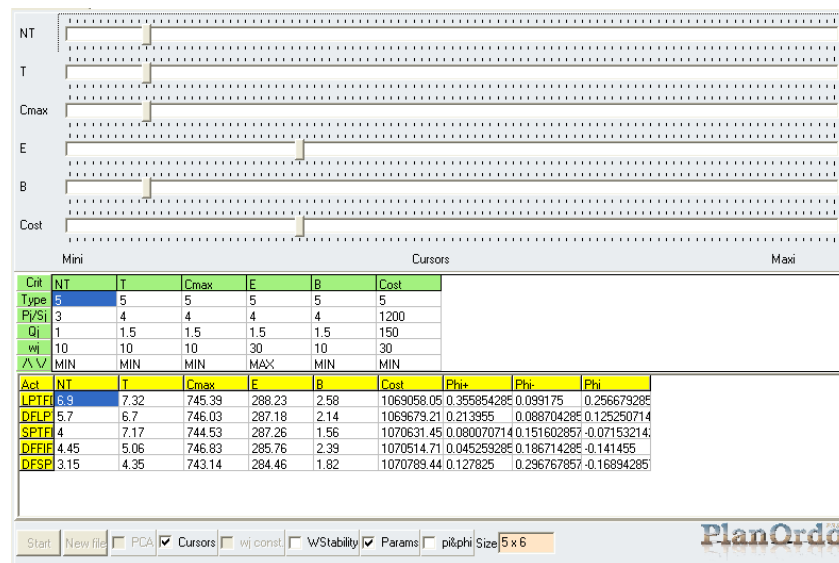


Figure 53: Paramétrage dynamique de la méthode *Prométhée II*

L'interface de la plate-forme de pilotage souple, comme l'illustre la Figure 53, facilite le paramétrage dynamique de *Prométhée II* et la définition, au moyen de curseurs, de l'importance accordée à chaque critère. La visualisation de l'impact de toute modification du paramétrage sur le classement des actions d'amélioration est immédiate.

Le plan *GAIA* (*Geometrical Analysis for Interactive Assistance*) [Brans & Mareschal, 2002] est une extension de la méthode *Prométhée II*. Il est destiné à décrire et interpréter les données par une visualisation géométrique interactive. L'approche *Prométhée-GAIA* permet d'étudier dans quelle mesure les modifications de certains paramètres (types des critères, paramètres associés, poids associés aux critères) ont une influence sur les résultats fournis par la méthode d'aide à la décision *Prométhée*. Celui-ci est un outil d'interprétation visuelle des résultats que nous avons tenu à intégrer dans la plate-forme (cf. Figure 54).

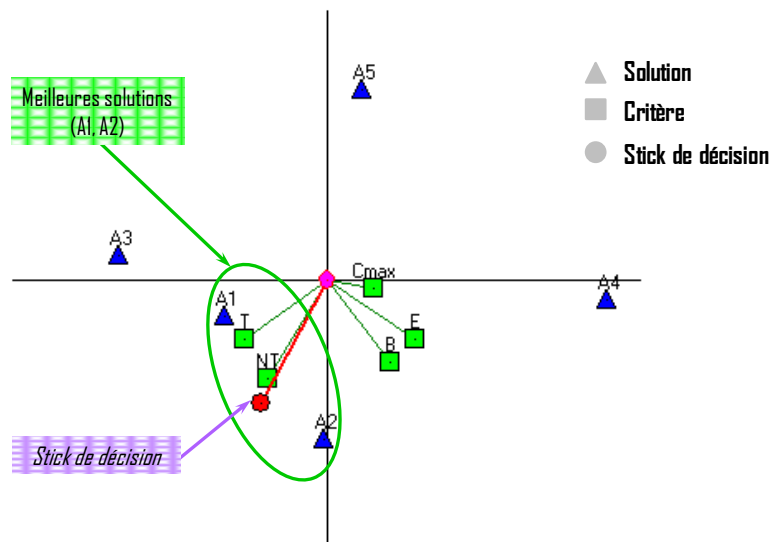


Figure 54: Plan GAIA - Inertie : 89,37%

Chaque plan GAIA est caractérisé par une mesure de son inertie [Brans & Mareschal, 2002]. Comme dans une Analyse en Composantes Principales [Dagnelie, 1998a], plus l'inertie est importante plus la représentation est fidèle.

Par l'intermédiaire de son *Graphe des corrélations* ou *Corrélographe* (cf. Figure 55), le modèle d'analyse multicritère du système de pilotage proposé offre également la possibilité de visualiser les corrélations linéaires significatives existant entre les critères de décision. Le Corrélographe complète l'outil d'aide à la décision *Prométhée II* par la mise en évidence des critères redondants. Par ce biais, le décideur dispose des informations nécessaires pour envisager une élimination de certains critères.

Le Corrélographe requiert le paramétrage de deux seuils. Le premier indique le seuil minimum de corrélation à partir duquel un arc est dessiné dans le graphe. Si la corrélation entre deux critères est égale ou supérieure à ce seuil alors un arc de couleur verte unit ces critères de manière à indiquer la corrélation positive. Si la corrélation est égale ou inférieure à la valeur négative de ce seuil alors un arc de couleur rouge schématise la corrélation négative entre les critères concernés. La largeur des arcs est, dans les deux cas, proportionnelle à la valeur absolue de la corrélation. Le second niveau de corrélation précise le seuil à partir duquel un arc de couleur noire est superposé au premier arc (vert ou rouge) pour signaler une corrélation très forte.

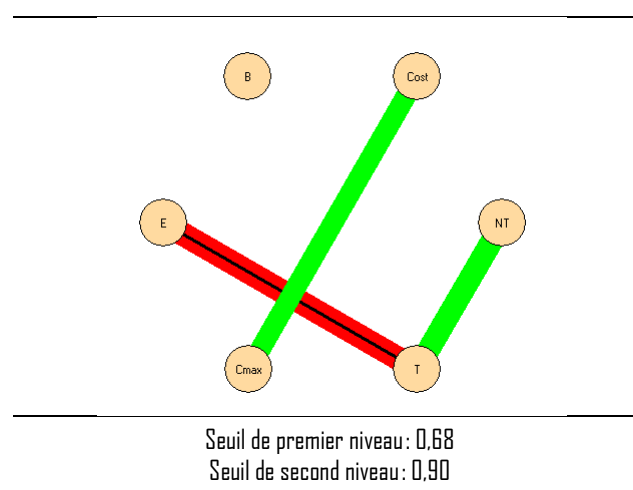


Figure 55: Graphe des corrélations ou Corrélographe

Le plan GAIA et le graphe des corrélations sont générés automatiquement et instantanément par la plateforme. La mise à jour du graphe est immédiate lorsque les seuils de corrélations définis par l'utilisateur sont modifiés.

Disposant de l'ensemble des informations utiles à son fonctionnement, la boucle de pilotage virtuel peut s'exécuter.

1.2.3. RÉSULTATS FOURNIS PAR LA BOUCLE DE PILOTAGE VIRTUEL

Afin d'illustrer le potentiel du système de pilotage souple et sa facilité d'utilisation, les résultats obtenus par deux modes de fonctionnement, normal ou dégradé, sont analysés et comparés. Les objectifs à satisfaire restant inchangés le passage de l'un mode à l'autre se limite à une modification du paramétrage de la méthode multicritère en réaction à l'évolution de l'environnement de l'entreprise. Indépendamment du cas de figure dans lequel se trouve l'entreprise, un plan d'expérimentation a été défini afin que le décideur bénéficie de résultats selon un juste équilibre entre la qualité des solutions obtenues et le temps d'obtention de celles-ci. Passons en revue ce processus d'obtention des solutions d'ordonnancement élaboré et l'évaluation de leur performance.

1.2.3.1 Plan d'expérimentation

Par l'utilisation des informations issues de la planification, chaque méthode sérielle MS_i , fournit un vecteur de priorités des commandes VP_i au modèle de simulation. L'ordonnancement de la production et la quantification des mesures de performance sélectionnées par le décideur sont ensuite établis grâce à la simulation. Pour chaque méthode sérielle, le vecteur de priorités et les informations relatives à la performance de l'ordonnancement défini constituent la solution finale du premier modèle hybride, appelé Hybride sériel ou Hybride 1 [Duvivier *et al*, 2005]. Cette solution constitue, si le décideur décide de poursuivre la démarche, le point de départ de l'application d'un plan d'expérimentation relatif à un processus d'optimisation. Ce plan concerne les deux modèles hybrides basés sur une méthode itérative de recherche locale d'amélioration d'une solution unique (*i.e. Hill-Climber*) [Hoos et Stützle, 2005] : les modèles Hybride lexicographique ou Hybride 2 et Hybride multicritère ou Hybride 3 [Duvivier *et al*, 2007]. Ce processus est illustré par la Figure 56.

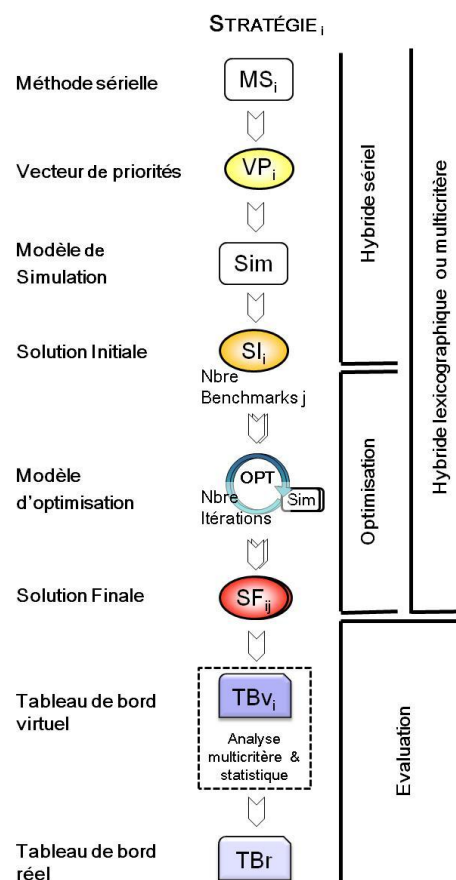


Figure 56: Stratégie d'ordonnancement i

Les méthodes sérielles, éventuellement suivies d'une optimisation, sont, par la suite, appelées stratégies d'ordonnancement compte tenu de l'utilisation qui en est faite au sein de la boucle de pilotage.

Le caractère stochastique de l'optimisation disponible parmi les modèles d'action du système de pilotage souple nécessite qu'un ensemble d'essais ou *benchmarks* soient réalisés par stratégie testée, chacun d'eux déterminant une solution finale SF_{ij} .

Des solutions initiales SI_i ou des solutions finales moyennes $moy_i(SF_{ij})$ lorsqu'une optimisation a été réalisée, sont extraites les différentes mesures de performance MP_i destinées à alimenter le tableau de bord virtuel TBv_i de la stratégie i . Lors du recours à une procédure d'optimisation, les mesures reportées dans le tableau pour la construction des indicateurs de performance IP_i , sont la moyenne des mesures de performance composant les solutions finales établies pour la stratégie i .

La comparaison des performances atteintes par les stratégies éprouvées est guidée par un tri lexicographique ou une analyse multicritère afin de classer les solutions et de déterminer l'alternative d'ordonnancement à appliquer sur le système réel. Une interprétation statistique des résultats est éventuellement menée afin de déterminer le niveau de confiance associé à la décision la plus pertinente aux yeux du décideur. La performance engendrée par la stratégie retenue est ensuite répertoriée, après application sur le système réel, dans le tableau de bord réel TBr .

Un décideur pressé optera pour le modèle d'ordonnancement le plus simple et le plus rapide : l'Hybride sériel. Le décideur assidu choisira, quant à lui un modèle plus pointu intégrant une optimisation des résultats fournis par l'Hybride sériel.

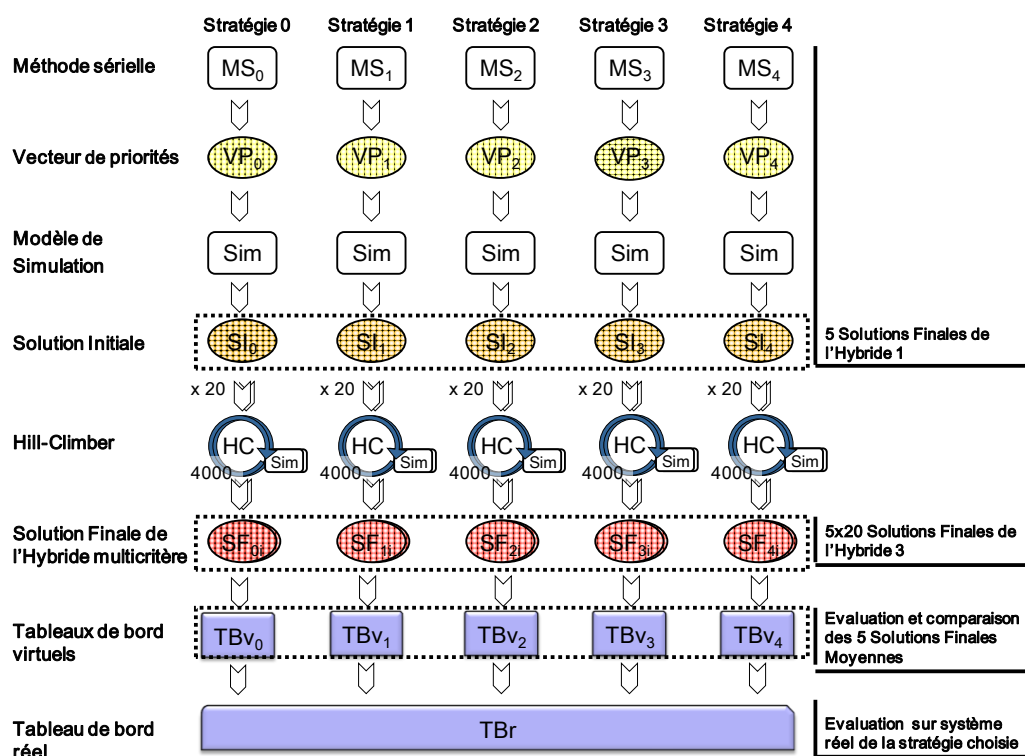


Figure 57 : Plan d'expérimentation et fonctionnement général des méthodes hybrides

La Figure 57 illustre le mécanisme d'évaluation des stratégies d'ordonnancement au sein de la boucle de pilotage virtuel tel qu'il a été appliqué dans l'entreprise ArcelorMittal Fontaine. Les résultats de cette expérimentation sont détaillés dans les sections suivantes [Dhaevers *et al.*, 2006] [Duvivier *et al.*, 2007].

Parmi les différentes méthodes sérielles MS_i implémentées dans le modèle d'action dédié à l'ordonnancement, cinq d'entre-elles (MS_i ; $i = 0, 1 \dots 4$) ont été sélectionnées afin de réduire le volume des résultats présentés. Cette sélection a été effectuée de manière à préserver une diversité des solutions

initiales qui soit représentative des solutions proposées par l'ensemble des méthodes sérielles testées. Les méthodes utilisées dans ce cas d'application sont des versions « étendues » de méthodes sérielles élémentaires. Leur construction est décrite dans [Duvivier *et al.*, 2005].

Parmi les modèles d'optimisation composant la bibliothèque actuelle des modèles d'action, l'exploitation du modèle hybride multicritère présente un grand intérêt pour ce cas d'étude en raison de la qualité des solutions fournies et de leur capacité à s'approcher de la réalité de l'entreprise.

Compte tenu du caractère stochastique de l'algorithme itératif de recherche locale contenu dans le modèle hybride multicritère, nous avons effectué, en partant d'une solution initiale SI_i fournie par chaque méthode sérielle MS_i , 20 essais ($j=1, 2 \dots 20$) de 4.000 itérations/évaluations, chaque itération nécessitant le lancement du modèle de simulation. Le nombre d'essais et d'itérations a été établi sur la base de tests préliminaires. Ce paramétrage vise à assurer un bon compromis entre temps de calcul et qualité des solutions finales.

A l'issue de chacun des 20 essais, 20 solutions finales SF_{ij} par stratégie i sont obtenues. Afin d'indiquer au décideur la stratégie d'ordonnancement à appliquer, les moyennes des solutions optimisées SF_{ij} obtenues pour chaque stratégie, sont ensuite classées à l'aide de la méthode d'aide à la décision. Il est évident qu'une configuration unique est définie tant pour le classement des alternatives d'ordonnancement que pour l'utilisation de la méthode au sein du modèle hybride.

Dans ce cas d'étude, le recours à la méthode de classement multicritère pour l'évaluation des solutions courantes et le classement des solutions finales se justifie pleinement. En effet, un tri lexicographique peut paraître suffisant tant qu'il est possible de classer strictement les critères à optimiser. Or, il est rarement facile de classer les critères dans le cadre d'un problème réel ; mais surtout, lors de la comparaison des solutions de deux stratégies d'ordonnancement, un décideur accepte bien souvent une stratégie moins intéressante du point de vue d'un critère si cette dernière offre des améliorations significatives sur d'autres critères. De ce fait, le classement des stratégies d'ordonnancement selon plusieurs critères de performance est loin d'être trivial, surtout en présence de critères antagonistes de même importance aux yeux du décideur. Ce choix se reflète également dans le modèle hybride que le décideur a décidé d'appliquer dans la perspective d'une optimisation : le modèle hybride multicritère. La capacité de ce modèle à proposer des solutions nuancées, plus proches de la réalité de l'entreprise, a fait, en effet, la différence.

Les premiers résultats présentés résultent de l'application du plan d'expérimentation dans le cadre d'un fonctionnement dit « normal » de l'entreprise. Examinons ceux-ci.

1.2.3.2 Mode de fonctionnement « normal », résultats obtenus

Dans un contexte de fonctionnement habituel de l'entreprise, le décideur paramètre la méthode d'aide à la décision *Prométhée II* selon la configuration 1 pour les raisons que nous avons évoquées précédemment (Section 1.2.2.1).

- Cas du décideur pressé ou satisfait des résultats obtenus

La démarche itérative de recherche d'un ordonnancement adéquat de la production débute par la sollicitation de l'Hybride sériel. Le décideur satisfait des résultats obtenus ou condamné à une prise de décision rapide procèdera, sur base de ces solutions, à l'évaluation et la comparaison des alternatives d'ordonnancement.

Le tableau de bord virtuel, Tableau 29, regroupe les solutions générées par l'Hybride sériel pour la période de production visée et les cinq stratégies d'ordonnancement sélectionnées. Ces solutions sont appelées dans le plan d'expérimentation « solutions initiales ».

Pour la période considérée, la durée d'exécution du modèle de simulation sur un Pentium IV 3GHz varie de une à trois secondes. Celle-ci est fonction du nombre de commandes et des statistiques calculées en cours de simulation. Les cinq solutions initiales sont obtenues en moins de quinze secondes.

Modèle Hybride I						
Stratégie	N_T	T	C_{max}	F	B	C_p
		(H)	(H)	(H)	(H)	(€)
I_0	0	0	767,79	268,64	3,17	1.070.010,00
I_1	0	0	751,71	277,40	1,11	1.068.858,27
I_2	0	0	760,17	256,84	3,14	1.067.364,26
I_3	2	17,65	749,77	287,42	0,52	1.071.401,55
I_4	6	10,55	756,68	266,57	3,33	1.064.602,46
Moyenne	1,60	5,64	757,22	271,37	2,25	1.068.447,31

Tableau 29. Hybride sériel, comparaison de cinq méthodesérielles

Dans ce tableau, chaque stratégie d'ordonnancement est référencée par un numéro d'identification précédé de la lettre I afin de signaler son statut de solution initiale dans le plan d'expérimentation établi. La dernière ligne donne la valeur moyenne de chaque mesure de performance, toutes stratégies confondues.

La comparaison des cinq stratégies d'ordonnancement effectuée au moyen de la méthode multicritère *Prométhée II* de paramétrage 1 fournit le classement $1 \succ 2 \succ 3 \succ 4 \succ 0$ et met donc en évidence la supériorité de la stratégie 1, « $a \succ b$ » indiquant que la stratégie a est classée nettement avant b .

Les stratégies 3 et 4 affichent respectivement deux et six commandes en retard. La durée cumulée des retards est largement plus conséquente pour la stratégie 3 que pour la stratégie 4. La stratégie 4 présente un intérêt pour le faible coût de fabrication qu'elle implique mais les valeurs prises par les autres critères de décision semblent éloignées des attentes du décideur.

La stratégie 3 offre, malgré ses deux commandes en retard, les meilleurs résultats en termes de *Makespan*, de flexibilité/avance de production et de temps de pénurie de bobines. Cette stratégie d'ordonnancement est, cependant, la plus coûteuse à mettre en œuvre. Sa position en milieu de classement montre que ses points forts sont incapables de contrebalancer ses faiblesses. L'analyse du Tableau 29 met donc en évidence le potentiel de la stratégie 3 qui pourrait devenir la stratégie la plus intéressante aux yeux du décideur si celui-ci acceptait de réduire ses exigences notamment en termes de coût de production, de nombre de retards autorisés et de leur durée.

Dans la grande majorité des cas, le modèle hybride sériel génère des résultats supérieurs ou identiques, en termes de délais et de *makespan*, aux résultats obtenus par la personne chargée de réaliser l'ordonnancement au sein de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine. Cependant, pour les périodes fortement chargées, en raison notamment du nombre de commandes à fabriquer, le modèle hybride sériel n'est pas suffisamment robuste pour produire systématiquement des solutions satisfaisantes. La période de référence utilisée dans ce chapitre illustre ce propos.

L'organisation en boucles de rétroaction du système de pilotage offre au décideur la possibilité de remettre en cause les résultats obtenus et de relancer la procédure d'obtention d'un nouvel ordonnancement par l'intermédiaire de diverses actions de pilotage telles que une action de reconfiguration ou de révision.

L'action de reconfiguration, activée dans ce cas d'application, autorise en vue d'une nouvelle exploitation du système de pilotage un changement des outils exploités pour l'obtention des résultats, une modification de leur paramétrage ou même une remise en question de l'analyse de l'existant préalable au choix des modèles d'action.

Cette activité de reconfiguration est généralement exploitée lorsque les résultats sont décevants mais également lorsque de par son expertise, le décideur pressent une possibilité d'amélioration et souhaite perfectionner le niveau de performance atteint par le système de production. Ce dernier cas est d'application dans cette validation sur le système de production de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine. La plate-forme proposant divers modèles d'action, le décideur a l'opportunité de recourir à un hybride plus performant. Le responsable de production d'ArcelorMittal Fontaine a opté pour l'Hybride multicritère. Examinons les résultats obtenus de son application.

- Cas du décideur patient ou insatisfait

L'incorporation d'un *Hill-Climber* et d'une méthode d'aide à la décision multicritère dans le mécanisme d'évaluation des solutions courantes et solutions finales caractérise l'Hybride multicritère [Duvivier *et al.*, 2007]. Ces particularités offrent la possibilité d'introduire du flou dans la comparaison, critère par critère, de ces solutions. Ces nuances se traduisent via les seuils d'indifférence (q) et de préférence (p) définis pour chaque critère au sein de la méthode de comparaison *Prométhée II*. Il est évident que le paramétrage établi est utilisé au sein du modèle hybride tant pour l'évaluation des solutions courantes que pour le classement des solutions finales.

Le Tableau 30 récapitule, pour le paramétrage testé, les résultats moyens obtenus après 4.000 itérations du modèle Hybride multicritère, nommé dans ce cas Hybride 3.1. Chaque stratégie est identifiée par la lettre F signifiant son statut de solution finale ou optimisée moyenne suivie du numéro de la solution initiale d'où elle émane. Ce tableau présente, pour chaque critère sélectionné, la moyenne et l'écart-type calculés sur chaque groupe de vingt exécutions. Pour chaque stratégie, le gain moyen entre la solution initiale et la moyenne des solutions finales obtenues après 4000 itérations est également indiqué. Une valeur positive indique qu'une amélioration est obtenue. Les deux dernières lignes de chaque partie du tableau donnent respectivement les moyennes et les écarts-types toutes stratégies confondues.

Modèle															
Hybride 3.1			Solutions finales moyennes						GAIN après 4.000 évaluations						
Stratégie		Φ_i (100 Sfi)	N_f	T (H)	C_{max} (H)	E (H)	B (H)	C_p (€)	N_f	T (H)	C_{max} (H)	E (H)	B (H)	C_p (€)	
F_0	Moyenne	-0.06	1.8	0.74	744.06	281.41	1.88	1.071.177.11	-1.80	-0.74	23.73	12.77	1.29	-1.167.11	
	Médiane	-0.07	2.00	0.62	743.94	281.87	1.24	1.070.977.21							
	Ecart-type	0.15	0.89	0.64	1.50	2.69	1.55	3.251.15							
F_1	Moyenne	0.18	1.45	0.88	741.36	282.44	1.26	1.068.931.84	-1.45	-0.88	10.35	5.04	-0.15	-73.57	
	Médiane	0.20	1.00	0.34	740.72	282.96	1.04	1.068.674.55							
	Ecart-type	0.16	0.69	1.26	2.26	2.51	0.67	2.063.40							
F_2	Moyenne	0.02	2.15	1.31	742.19	280.75	2.47	1.069.409.14	-2.15	-1.31	17.98	23.91	0.67	-2.044.88	
	Médiane	0.06	2.00	1.28	742.31	280.15	1.43	1.069.125.98							
	Ecart-type	0.16	1.23	1.36	2.75	3.35	2.42	2.749.80							
F_3	Moyenne	-0.13	3	5.37	743.19	287.08	1.13	1.069.794.94	-1.00	12.28	6.58	-0.34	-0.61	1.606.61	
	Médiane	-0.10	3.00	5.76	742.80	286.71	1.01	1.070.115.17							
	Ecart-type	0.14	0.56	1.41	2.30	2.05	0.88	1.449.63							
F_4	Moyenne	-0.02	2.45	1.61	743.08	279.65	1.67	1.068.846.15	3.55	8.94	13.60	13.08	1.66	-4.243.69	
	Médiane	-0.06	3.00	1.46	743.44	280.41	1.13	1.068.849.73							
	Ecart-type	0.20	1.61	1.35	2.24	3.94	1.18	2.085.63							
Moyenne			2.17	1.98	742.78	282.27	1.68	1.069.631.83	-0.57	3.66	14.45	10.89	0.57	-1.184.53	
Ecart-type			0.53	1.72	0.92	2.57	0.48	845.15							

Tableau 30: Résultats de l'hybride multicritère après 4.000 évaluations en mode de fonctionnement « normal »

Lors de l'exploitation de la méthode d'aide à la décision, une valeur de flux net ϕ_{ij} est associée à chacune des 100 solutions finales testées. La valeur moyenne $\text{moy}_i(\phi_{ij})$ déterminée pour chaque stratégie i à partir de ses 20 solutions finales SF_{ij} est reprise dans le Tableau 30. Le classement par ordre décroissant de ces cinq valeurs moyennes établit le classement $1 > 2 > 4 > 0 > 3$. Ce classement devra, bien entendu, être validé par les tests statistiques appropriés.

A l'instar de l'Hybride sériel, la préférence est accordée à la stratégie d'ordonnancement 1 et la seconde position du classement à la stratégie 2. Dans ce cas de figure, les stratégies 4 et 0 progressent d'une place et l'alternative 3 est rejetée à la dernière position.

L'analyse du gain réalisé par critère pour chaque stratégie d'ordonnancement met en évidence que le mécanisme d'optimisation du modèle hybride ne parvient pas à améliorer dans les mêmes proportions les solutions initiales issues des différentes méthodes sérielles testées. La meilleure progression concerne la stratégie 4 ce qui n'entraîne aucune répercussion sur le fait d'occuper ou non une position privilégiée dans le classement des stratégies d'ordonnancement. Ceci montre expérimentalement l'intérêt d'utiliser des méthodes sérielles variées en guise de solutions initiales, fournissant autant de points dispersés dans l'espace de recherche à partir desquels le *Hill-Climber* peut cheminer à la recherche d'un optimum local ou global.

Les tolérances admises par le décideur en cours d'élaboration des solutions se reflètent clairement dans les résultats proposés par l'Hybride 3.1. Pour cet hybride, toutes les stratégies étudiées présentent, par exemple, entre un et trois retards.

Les valeurs des critères E et $C_{\max}$ sont en réel progrès par rapport à celles fournies par l'Hybride sériel et affichent des niveaux tout à fait convainquant aux dires du décideur. Un écart positif sur le critère B pour trois des cinq stratégies d'ordonnancement est également constaté.

Pour la meilleure stratégie identifiée, nous parvenons en moyenne à réduire la durée totale de production d'au moins dix heures, ce qui conduit à « libérer » dix heures de travail pour une équipe de onze ouvriers sur le mois simulé, soit plus d'une pause de travail.

Pour les meilleures des solutions testées, le *Makespan* se voit réduit de plus de 23 heures. Ce résultat concerne l'amélioration moyenne affichée par la stratégie 0. Cette progression n'est pas accompagnée par une réduction du coût de fabrication mais, au contraire par un accroissement de celui-ci. Ce phénomène s'explique en grande partie par la méthode de calcul utilisée pour estimer le coût de fabrication du carnet de commandes. La méthode repose principalement sur les séquences de production et le choix des postes de travail à exploiter. Le recours plus fréquent à des postes présentant un coût de fonctionnement plus élevé et leur exploitation pendant des périodes de temps plus longues afin de rencontrer les priorités du décideur accroissent assurément le coût de fabrication du carnet de commandes.

A l'exception de la stratégie 3, le coût de fabrication de la production associé à chaque stratégie est d'ailleurs plus élevé lorsque la stratégie résulte de l'application de l'Hybride multicritère que de l'Hybride sériel (cf. Tableau 30, colonne « Gains après 4.000 évaluations, Coûts »). La perte affichée par le passage d'un modèle hybride à l'autre pour la stratégie 2 est cependant minime, environ 73€.

Des résultats de qualité similaires sont fréquemment obtenus lors de l'utilisation de la plate-forme, bien qu'il existe des périodes extrêmement chargées pour lesquelles il est difficile – à la fois pour le responsable de production et pour le modèle hybride – d'optimiser les différents critères considérés. Cependant, le temps d'exécution du modèle hybride multicritère constitue un inconvénient non négligeable. En effet, chaque exécution nécessite, selon le nombre de commandes à ordonnancer dans la période choisie, une à trois heures de calcul sur un PC muni d'un Pentium IV 3GHz.

Toutefois, ces temps d'exécution semblent beaucoup moins conséquents lorsqu'ils sont mis en parallèle avec le temps nécessaire actuellement au responsable de production pour réaliser manuellement l'ordonnancement. De plus, la méthode d'optimisation utilisée dans ce cas d'étude est une méta-heuristique de type itératif qui génère une nouvelle solution toutes les unes à trois secondes. Celle-ci peut être stoppée avant la fin programmée de son exécution par le décideur désireux d'effectuer un choix plus rapidement.

Afin de visualiser le progrès accompli par les solutions finales au regard des solutions initiales à partir desquelles elles ont été construites, l'ensemble de ces solutions sont mises en scène dans un plan GAIA. La ligne rouge ou *stick de décision* indique la direction dans laquelle se situe la situation idéale compte tenu de la configuration et de la pondération des critères de décision déterminées par le décideur. Plus une stratégie est proche de ce guide, plus elle est intéressante aux yeux du décideur.

Les solutions initiales, à l'exception de la solution I_3, se situent à la gauche du stick de décision, la majorité étant regroupée sous ou à proximité de l'axe horizontal. Les solutions finales sont, quant à elles, réparties de part et d'autre de l'axe horizontal à la gauche du stick de décision (cf. Figure 58).

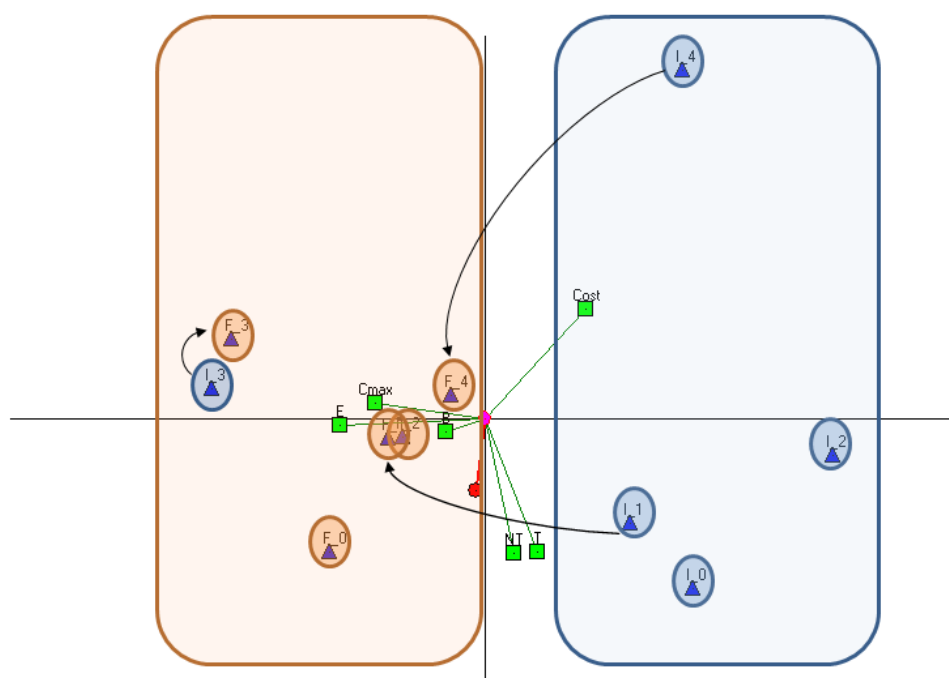


Figure 58: Comparaison sur le plan GAIA des solutions initiales et des solutions finales moyennes, mode "normal" - Inertie : 77,52%

La stratégie 1, élue meilleure stratégie tant au niveau des solutions initiales I que les solutions finales F , illustre parfaitement le chemin parcouru, grâce à l'optimisation, par les solutions initiales de chaque stratégie.

L'optimisation de la solution I_3 , située dans la zone occupée par les solutions finales, se révèle d'une faible ampleur comme le confirme son recul dans le classement des solutions finales et son immobilisme dans le schéma. A l'inverse, l'amélioration d'un grand nombre des indicateurs de performance de la stratégie 4 est clairement visible sur la Figure 58.

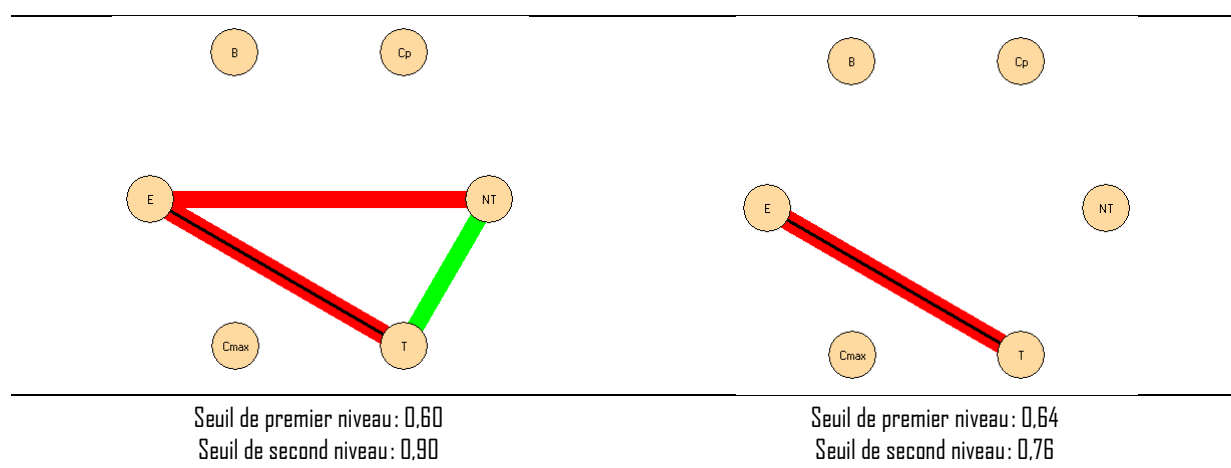


Figure 59 : Graphes des corrélations de l'Hybride 3.2

Par l'intermédiaire du *Graphe des corrélations* (cf. Figure 55), il est aisé de constater l'existence de liens significatifs entre les critères N_T , T et E . Ces corrélations ont été établies à partir des flux nets unicritères déterminés par la méthode d'aide à la décision *Prométhée II* de paramétrage 1 pour chaque stratégie d'ordonnancement. De manière générale, si ces résultats semblent tout-à-fait naturels et justifiés, le sens de la relation unissant E et T est plus surprenant ! Examinons chacun des liens mis en évidence par le Corrélographe.

- Minimiser le nombre de commandes fabriquées en retard Obj (N_T) contribue à Minimiser de la durée du retard moyen Obj (T). Les deux indicateurs de performance traitant des retards de production exercent donc logiquement une influence positive l'un sur l'autre.
- Maximiser l'avance en production, Obj (E), détériore les objectifs Minimiser le nombre de commandes fabriquées en retard Obj (N_T) et Minimiser de la durée du retard moyen Obj (T). Le décideur doit donc être conscient que promouvoir la flexibilité de son système de production risque d'entraîner un allongement des durées de retard de certaines commandes. Il est toutefois nécessaire de relativiser ce constat.

Maximiser les avances tend, en effet, à obtenir près de 130 commandes en avance, avec pour certaines une avance confortable, si l'on accepte de retarder au delà de leur deadlines quelques commandes qui – dans le cas de ce carnet de commandes – mobilisent une bonne partie des ressources de l'atelier. Libérer ces ressources améliore donc l'avance moyenne mais repousse certaines commandes au delà de leur deadline.

Les corrélographes mettent immédiatement en évidence ce type de situation et permettent aux décideurs, grâce à la dynamique de notre approche, de prendre les décisions qui s'imposent en fonction de l'importance économique, stratégique ou commerciale des commandes retardées. Elle permet aussi, le cas échéant, de négocier un nouveau délai pour éviter les pénalités de retard.

L'existence de ces fortes corrélations linéaires suggère l'élimination des critères de décision les moins significatifs. Les critères N_T et T présentant la plus faible dispersion du groupe [N_T , T et E] ont été ôtés de l'analyse en deux temps : individuellement et simultanément. En conséquence, le paramétrage de la méthode multicritère a été recalculé de manière à ce que les ordres de grandeur établis entre les critères subsistant soient conservés.

Critères de décision pris en compte pour le classement des solutions finales de l'hybride 3.1	Critères corrélés non pris en considération	Classement obtenu
6 critères – N_T , T , C_{max} , E , B , C_p	---	1 > 2 > 4 > 0 > 3
5 critères – T , C_{max} , E , B , C_p	N_T	1 > 2 > 4 > 0 > 3
5 critères – N_T , C_{max} , E , B , C_p	T	1 > 3 > 2 > 4 > 0
4 critères – C_{max} , E , B , C_p	N_T , T	3 > 1 > 4 > 2 > 0

Tableau 31: Classement des stratégies issues de l'hybride 3.1 fourni par différents panels de critères de décision

Comme le met en évidence le Tableau 31, l'omission du critère N_T n'a aucune incidence sur l'ordre de préférence des solutions finales. Le retrait du critère T du panel de critères décisionnels propulse, quant à lui, la stratégie 3 de la dernière position à la deuxième.

En occultant toute notion de retard de production, le classement des stratégies d'ordonnancement se modifie de manière conséquente : l'alternative 3 poursuit la progression entamée lors de la suppression du critère de décision T et atteint le sommet du classement. La minimisation de l'importance accordée à la notion de retard profite donc allègrement à cette stratégie d'ordonnancement.

Cependant, l'incidence de la perte d'informations engendrées par l'élimination de deux critères s'affiche clairement sur le classement des solutions et éloigne l'entreprise des ses intentions reflétées par le paramétrage initial fixé dans lequel les critères N_T et T constituent des critères prioritaires.

La perte d'information produite par l'élimination de l'un ou des deux critères de décision sera plus néfaste pour l'entreprise que le gain de lisibilité engendré par la réduction du nombre de critères de décision du tableau de bord. Les composants du tableau de bord ont, en effet, été minutieusement choisis pour leur qualité informative et leur capacité à répondre aux besoins identifiés du responsable de production. Cependant, lors du calibrage du système de pilotage ou dans certains cas d'application, choisir avec précision les indicateurs de performance à insérer dans le tableau de bord du système piloté ou en réduire le nombre constitue une réelle opportunité pour l'entreprise.

- Synthèse des résultats

L'analyse des résultats fournis par les modèles hybrides, permet d'établir deux constats principaux. Premièrement, la comparaison des résultats moyens des différents critères des modèles hybrides sériel et

multicritère montre que le modèle hybride multicritère surpasse clairement le modèle hybride sériel. L'atout de ce dernier réside uniquement dans sa rapidité d'exécution et son utilisation est préconisée lorsque des résultats rapides sont nécessaires. Deuxièmement, grâce à la méthode multicritère intégrée, le troisième modèle hybride est capable de nuancer le classement des solutions et de prendre en compte les préférences du décideur afin de lui offrir une solution de compromis qui l'agrée.

Divers éléments explicatifs ont concouru à l'obtention de tels résultats. Citons notamment :

- Le principe de fonctionnement du modèle d'action dédié à l'ordonnancement qui autorise l'évaluation et la comparaison de plusieurs alternatives d'ordonnancement grâce à l'exploitation de la boucle de pilotage virtuel combinée à l'usage de boucles de rétroaction ;
- Le recours à la technique de simulation qui fournit une évaluation *a priori* de chaque alternative d'ordonnancement testée ;
- L'adéquation du système d'ordonnancement proposé aux contraintes et exigences perçues et mises en évidence au cours de la phase préparatoire du système de pilotage souple ;
- La mise à jour des modèles de connaissances à la base du mécanisme de pilotage souple réalisée au moyen soit d'une action de pilotage de reconfiguration lors de la détection d'un écart entre système réel et système simulé soit d'une action de modélisation en cas de modification du système réel.

Au vu de ces résultats, le système de pilotage souple se révèle être un véritable outil d'aide à la décision dont la fréquence d'utilisation est étroitement liée à la nature de l'action d'amélioration déployée.

Afin d'illustrer le potentiel de réactivité offert par le système de pilotage souple, son exploitation en période de fonctionnement difficile pour l'entreprise est illustrée dans la section suivante.

1.2.3.3 Mode de fonctionnement « dégradé », résultats obtenus

La mutation constante de l'environnement oblige le décideur à ajuster constamment son comportement et ses décisions. Dans ces circonstances, la faculté du système de pilotage souple à être aisément adaptable aux nouvelles exigences du contexte constitue un véritable atout.

Tout bouleversement de l'environnement de l'entreprise implique une adaptation plus ou moins conséquente du mécanisme de pilotage souple. Celle-ci prend, le plus souvent, la forme d'une action de pilotage de reconfiguration ou de révision du système.

Dans le cas de notre entreprise partenaire, la baisse du niveau des commandes et un contexte économique tendu ont déclenché une révision de la priorité accordée aux différents critères de décision de la boucle de pilotage virtuel. Cette réaction constitue un premier geste d'ajustement ayant pour avantage de présenter un effet immédiat en ne requérant qu'un investissement extrêmement réduit. Une action de pilotage de reconfiguration devra, vraisemblablement, lui succéder afin de prendre toutes les mesures nécessaires et utiles à la gestion de la crise. Il est également plus que probable qu'un durcissement de celle-ci entraînera un remaniement plus profond du mode de fonctionnement de l'entreprise via une action de révision destinée à faire face mais également à tirer profit de cette situation difficile.

Les résultats présentés dans le cadre de ce travail résultent de la modification du paramétrage de la méthode d'analyse multicritère. Le paramétrage et la configuration 2 tels que définis en section 1.2.2.2 sont donc exploités.

- *Cas du décideur pressé ou satisfait des résultats obtenus*

Le décideur désireux d'obtenir une réponse rapide à son problème d'ordonnancement de la production optera pour l'usage exclusif de l'hybride sériel.

Dans ce cas de figure, les mesures liées à chaque stratégie contenues dans le tableau de bord virtuel, Tableau 29, restent inchangées, le paramétrage de la méthode d'aide à la décision multicritère n'influençant que le classement des stratégies d'ordonnancement.

Dans le cas d'application de la configuration 2, le classement prend la forme $1 \succ 4 \succ 3 \succ 2 \succ 0$. En référence au classement des résultats de l'Hybride 1 de paramétrage 1, la stratégie d'ordonnancement 1 reste la plus intéressante et l'alternative 0 la moins profitable.

La stratégie 3 dont les résultats étaient prometteurs se caractérise au final par son immobilisme dans le classement. Les tolérances consenties par le décideur sur les différents critères ne suffisent pas pour que la stratégie 3 atteigne le sommet du classement. Les pondérations établies par le décideur accordent, en effet, beaucoup d'importance à la notion de coût de production, trop pénalisante pour cette stratégie. L'accès à la première position ne sera possible que si la pondération mise en place est de type $C_{\max} > E = B > N_T = T > C_p$ ce qui nous éloigne radicalement du paramétrage adapté à la situation actuelle de l'entreprise.

Il est à noter le bond vers le haut du classement de la quatrième stratégie lorsque les critères de décision relatifs à la flexibilité et au coût de fabrication de la production sont prioritaires. Toujours en référence au classement des résultats de l'Hybride 1 de paramètre 1, l'ordre de préférence des stratégies 2 et 4 est inversé.

A ce stade du plan d'expérimentation, si le décideur le souhaite, la démarche d'optimisation des solutions initiales définies par l'Hybride sériel est déclenchée. Divers travaux [Duvivier *et al.*, 2006 ; 2007] ont montré la capacité des modèles hybrides disponibles au sein du composant « Modèles d'action » du système de pilotage souple et plus précisément du modèle hybride multicritère à améliorer les résultats de l'Hybride sériel. Examinons la performance affichée par les stratégies d'ordonnancement optimisées par l'Hybride multicritère de configuration 2 ou Hybride 3.2.

- Cas du décideur patient ou insatisfait

La modification apportée au paramétrage et à la configuration de la méthode *Prométhée II* reléguant au second plan les critères usuels en matière d'évaluation de la performance d'un ordonnancement, a une influence certaine sur les mesures de performance associées à chaque stratégie d'ordonnancement (cf. Tableau 32).

Modèle														
Hybride 3.2			Solutions finales moyennes						GAIN après 4.000 évaluations					
Stratégie		Phi (100 Sij)	N_T	T	$C_{\max}$	E	B	C_p	N_T	T	$C_{\max}$	E	B	C_p
			(H)	(H)	(H)	(H)	(H)	(€)	(H)	(H)	(H)	(H)	(H)	(€)
F_0	Moyenne	-0.06	4.45	5.06	746.83	285.76	2.39	1.070.514.71	-4.45	-5.06	20.96	17.12	0.78	-504.71
	Médiane	-0.02	4.50	4.87	746.47	285.72	2.34	1.069.878.30						
	Ecart-type	0.21	1.15	2.05	2.08	1.45	1.92	3.030.15						
F_1	Moyenne	-0.06	3.15	4.85	743.14	284.46	1.82	1.070.789.44	-3.15	-4.85	8.57	7.06	-0.71	-1.931.18
	Médiane	-0.10	3.00	5.35	742.91	284.32	1.10	1.070.283.12						
	Ecart-type	0.19	1.04	2.61	2.87	2.32	1.53	2.465.17						
F_2	Moyenne	0.02	5.7	6.50	746.03	287.18	2.14	1.069.679.21	-5.70	-6.50	14.14	30.34	1.00	-2.314.95
	Médiane	0.03	5.50	6.08	746.39	286.95	2.88	1.069.615.93						
	Ecart-type	0.18	1.45	2.78	2.76	2.21	1.22	2.500.44						
F_3	Moyenne	0.02	4.00	7.17	744.53	287.26	1.56	1.070.631.45	-2.00	10.48	5.24	-0.16	-1.04	770.10
	Médiane	0.05	4.00	7.51	744.85	287.60	1.30	1.070.325.30						
	Ecart-type	0.18	0.79	1.55	1.87	1.50	0.93	2.570.34						
F_4	Moyenne	0.07	6.9	7.32	745.39	288.23	2.58	1.069.058.05	-0.90	3.23	11.29	21.66	0.75	-4.455.59
	Médiane	0.06	7.00	7.13	745.51	288.56	1.94	1.069.071.62						
	Ecart-type	0.16	1.02	1.87	3.29	2.02	2.50	2.098.35						
Moyenne			4.84	6.18	745.18	286.58	2.10	1.070.134.57	-3.24	-0.54	12.04	15.20	0.16	-1.687.26
Ecart-type			1.32	1.19	1.27	1.32	0.37	661.29						

Tableau 32. Résultats de l'hybride multicritère après 4.000 évaluations en mode de fonctionnement « dégradé »

Le premier impact concerne le nombre de commandes produites en retard et la durée de ce retard. L'observation des résultats montre une dégradation nette de ces mesures qui dépassent toutes, sans exception, les seuils de préférence fixés par le décideur respectivement à trois commandes en retard et quatre heures de retard. Ce recul s'explique essentiellement par le passage de ces deux critères dans la classe des critères secondaires.

Les durées de production nécessaires à la réalisation des 134 commandes engendrées par l'Hybride 3.2 sont nettement inférieures aux durées affichées par les solutions initiales. Le gain réalisé est cependant, en moyenne, inférieur à celui dégagé par l'application du modèle Hybride 3.1 accordant plus d'importance à ce critère.

Une amélioration de l'avance en production est généralement constatée. Celle-ci, induite par la configuration $E = C_p > N_T = T = C_{\max} = B$ sous-tendant le modèle hybride utilisé, est en moyenne supérieure à celle engrangée par l'Hybride 3.1.

Le taux de pénurie des ressources auxiliaires se réduit sensiblement sous l'influence de la méthode d'aide à la décision telle que paramétrée. Cependant, les stratégies 1 et 3 présentent une augmentation minime de ce taux. Un comportement analogue est également observé pour les solutions optimisées obtenues en mode de fonctionnement « normal » de l'entreprise.

Le coût de production, second critère principal, se détériore, en général, par l'optimisation des solutions initiales. Toutefois, la solution initiale la plus onéreuse, l'alternative d'ordonnancement 3, échappe à cette règle en affichant une réduction du coût de fabrication d'environ 770 euros.

Le classement des 100 solutions finales établies par l'Hybride 3.2 (20 essais par stratégies testées), à confirmer par des tests statistiques appropriés, est $4 > 2 > 3 > 0 > 1$. Celui-ci bouleverse l'ordre défini préalablement sur base des solutions initiales : $1 > 4 > 3 > 2 > 0$. Il semble que la stratégie dominante issue de l'Hybride 1 ait été radicalement destituée de son titre par le passage à l'hybride multicritère. Ce phénomène peut s'expliquer par le fait que la solution initiale 1 est proche d'un optimum local, et que la méthode itérative est rapidement piégée. Cette analyse nécessite d'être approfondie sur d'autres jeux de données et d'autres méthodes de recherches locales (telles que la méthode Tabou [Glover & Laguna, 1997]) afin de valider ou infirmer cette conclusion.

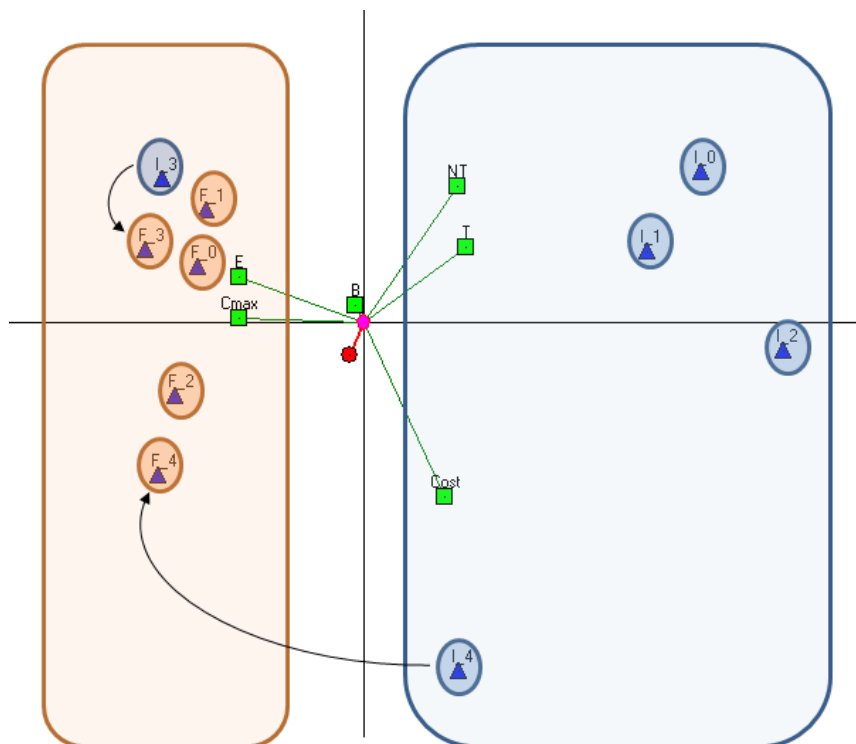


Figure 60: Comparaison des solutions initiales et des solutions finales, mode "dégradé" – Inertie : 85,44%

La Figure 60 illustre, par l'intermédiaire du Plan GAIA, le positionnement, pour les cinq stratégies d'ordonnancement testées, des 5 solutions résultant de l'application du modèle hybride sériel et des cinq solutions moyennes issues de l'optimisation. De l'observation du plan GAIA transparaissent deux groupes distincts de solutions: le groupe des solutions de tête (4 et 2) situées sous de l'axe horizontal et le groupe des solutions de queue (3, 0 et 1) situées au-dessus de celui-ci.

Le changement le plus surprenant concerne la position occupée par la stratégie 1 qui est détrônée et reléguée à la dernière position. La stratégie 2 affiche une belle progression qui la positionne en seconde place. Les stratégies 0 et 4 gravissent simplement un échelon dans le classement. L'alternative d'ordonnancement 3 conserve le même niveau de préférence.

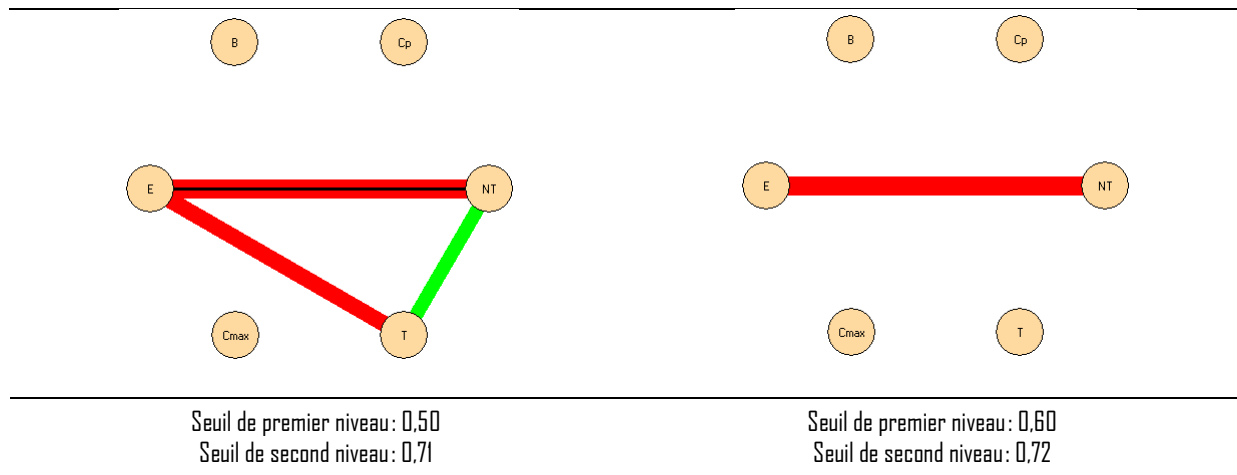


Figure 61: Graphes des corrélations de l'Hybride 3.3

L'examen de la Figure 61 met en évidence, comme lors d'un fonctionnement en mode normal, une relation de corrélation négative entre les indicateurs de performance E et T . Une relation identique mais d'une intensité plus importante unit également le critère reflétant la flexibilité de la production et le critère N_T . Ce dernier, le *Nombre de retards*, est lui-même connecté positivement au critère *Durée du retard moyen* T . En mode de fonctionnement dégradé, comme en mode de fonctionnement normal d'ailleurs, le gain de flexibilité s'effectue donc au détriment du nombre de commandes produites dans les délais prescrits.

Critères de décision pris en compte pour le classement des solutions finales de l'hybride 3.2	Critères corrélés non pris en considération	Classement obtenu
6 critères - N_T , T , C_{max} , E , B , C_p	---	4 > 2 > 3 > 0 > 1
5 critères - N_T , C_{max} , E , B , C_p	T	4 > 3 > 2 > 0 > 1
5 critères - T , C_{max} , E , B , C_p	N_T	4 > 2 > 3 > 0 > 1
4 critères - C_{max} , E , B , C_p	N_T , T	4 > 3 > 2 > 0 > 1

Tableau 33: Classement de stratégies issues de l'hybride 3.2 fourni par différents panels de critères de décision

Le retrait du critère de plus faible dispersion, le critère T , seul ou accompagné du retrait du critère N_T se marque par la permutation des alternatives 2 et 3 (cf. Tableau 33). Par contre, la suppression isolée du critère N_T conserve l'ordre établi initialement. Ces résultats sont obtenus sur base d'une pondération respectant les ordres de grandeur établis entre les critères subsistant.

Contrairement à l'analyse menée sur les résultats de l'hybride 3.1, les indicateurs traitant de la notion de retard n'appartiennent pas à la classe des critères prioritaires. Celle-ci est composée des critères E et C_p . Ce fait explique principalement le peu d'incidence qu'entraîne la réduction du nombre d'indicateurs impliqués dans le classement final des solutions. Dans ce cas de figure, supprimer le critère N_T , voire le couple $[N_T, T]$ est envisageable mais priverait l'entreprise d'une information essentielle pour le responsable de production mais également pour au moins un responsable de niveau supérieur, celui du centre de décision traitant des aspects commerciaux de l'entreprise.

H3.1 -> H3.2	N_T	T	C_{max}	E	B	C_p
Gains/pertes S1 -> S4	-5,45	-6,44	-4,03	5,78	-1,32	-126,21

Tableau 34: Gains et pertes engendrés par le passage de la stratégie 1 désignée par l'Hybride 3.1 à la stratégie 4 désignée par l'Hybride 3.2

La comparaison des « meilleures » solutions des modèles 3.1 et 3.2 met en évidence les différences induites par les deux paramétrages de cet hybride : 5 retards supplémentaires d'une durée cumulée de 6 heures 26 minutes, une dépréciation du *Makespan* de 4 heures, soit une demi pause, une aggravation du temps de pénurie de bobines de 1 heure 19 minutes et un dépense supplémentaire de 126 euros sont le prix à payer pour afficher un gain de 5 heures 47 minutes en termes d'avance en production et répondre au changement de pondération des critères. Bien que cette pondération mette avant les facettes *avance en production* et *coût de production*, la stratégie émergente affiche, par rapport à la stratégie 1, un léger recul sur les aspects financiers de l'ordonnancement qui est, cependant, compensé par une nette avancée en termes de flexibilité de production.

	B1 0%	B2 0%	B3 0%	B4 0%	B5 0%	MET 0%	B1 5%	B2 5%	B3 5%	B4 5%	B5 5%	MET 5%
ImDrI_040809131256813_4000_0	1.01	0	0	0	0	0	38.2	2.08	0	0	0	0
ImDrI_040809164743404_4000_1	0.65	0	0	0	0	0	36.77	0	0	0	0	0
ImDrI_040809202850563_4000_2	1.11	0	0	0	0	0	33.04	0.83	0	0	0	0
ImDrI_050809000432729_4000_7	1.04	0	0	0	0	0	36.11	0	0	0	0	0
ImDrI_050809034735443_4000_8	0.67	0	0	0	0	0	41.23	0	0	0	0	0

Tableau 35: Extrait de la vue Maître-détails relative au niveau de pénurie de bobines

Bien que l'un des principes du pilotage de la performance soit de ne pas noyer le décideur de mesures et d'indicateurs de performance, il nous est apparu opportun de doter le système de pilotage souple de vues maître-détails afin qu'en cas d'indécision, le décideur ait l'opportunité de compléter son analyse au moyen d'informations additionnelles connues ou non du décideur. Ces dernières sont, par exemple, le détail de mesures dont les valeurs moyennes ou totales sont présentées dans le tableau de bord virtuel des stratégies d'ordonnancement mises en balance, des mesures non affichées dans les tableaux de bord (durée d'utilisation de chaque poste de travail, les temps de setups...), des mesures résultant du renforcement de certaines contraintes... Cette dernière catégorie concerne notamment l'indicateur de performance « durée de pénurie de bobines » pour lequel la durée affichée par défaut est la période pendant laquelle plus aucune bobine, quel qu'en soit le type, n'est disponible. Afin de déterminer les catégories de bobines concernées par une pénurie ou d'affiner la mesure en s'intéressant aux stratégies d'ordonnancement veillant, par exemple, à conserver une marge de sécurité de 5% de bobines non utilisées, le décideur actionne une vue maître-détails destinée à l'aider à prendre sa décision (cf. Tableau 35).

- Synthèse des résultats

La comparaison des résultats fournis par les deux modèles hybrides exploités en mode dégradé confirme le constat établi dans le cas du fonctionnement en mode normal. Le système de pilotage souple constitue un outil d'aide à la décision qui offre au décideur un panel de solutions reflétant ses exigences et le guide dans sa prise de décision sur base d'un niveau de performance estimé.

1.2.3.4 Boucle de pilotage virtuel : mode d'emploi

La boucle de pilotage virtuel a été exploitée dans la perspective de mettre en œuvre l'objectif opérationnel *Optimiser l'ordonnancement* d'un problème industriel réel. Les différentes variables d'action associées à cet objectif, déclinées en actions de pilotage ont été déployées au travers d'un système global de gestion de l'ordonnancement dont le fonctionnement est calqué sur le fonctionnement de la boucle de pilotage virtuel elle-même. Une approche multicritère hybride d'optimisation et simulation a été développée afin d'élaborer un panel de stratégies d'ordonnancement variées et de veiller à ce que le décideur soit capable de trouver, quelle que soit la configuration de son carnet de commandes, un ordonnancement satisfaisant.

En fonction de la réactivité requise pour la prise de décision, le décideur optera pour un modèle hybride rapide mais peu robuste ou au contraire, pour un des autres modèles hybrides offrant des solutions de meilleure qualité mais plus consommatrices de temps. Dans cette optique, trois modèles hybrides ont été développés.

Le modèle hybride sériel est suffisamment performant pour faire face aux périodes faiblement chargées. Il est cependant peu robuste face aux variations de certains paramètres, tels que la charge de l'atelier ou la distribution des commandes sur la période considérée.

Le modèle hybride lexicographique améliore les solutions données par le modèle sériel en une à trois heures. Il a l'avantage de nécessiter peu de paramètres à configurer. Toutefois, la prise en compte des préférences du décideur se limite au classement des critères à optimiser.

Le modèle hybride multicritère est aussi efficace que modèle hybride lexicographique mais exige un paramétrage supplémentaire requis par la méthode multicritère incorporée. Cependant, celle-ci apporte des nuances dans le classement des stratégies d'ordonnancement et absorbe les incertitudes liées à l'acquisition, la synthèse des données ou encore aux aléas du processus de production. Cette caractéristique évite les changements intempestifs de stratégie d'ordonnancement en intégrant les seuils de préférence définis par le décideur et conduit, au niveau de l'atelier, à une stabilité accrue de l'ordonnancement.

Le contexte particulier de la prise de décision en temps limité implique de borner le temps d'exécution des méthodes hybrides appliquées en limitant le nombre d'évaluations. De ce fait, il n'est pas possible d'utiliser un mécanisme de diversification élaboré au sein d'une métaheuristique plus efficace. Celui-ci n'aurait effectivement pas suffisamment de temps pour converger vers de bonnes solutions. C'est pour cette raison qu'aucun mécanisme de diversification n'a été intégré dans la métaheuristique utilisée.

Pour pallier cette absence de diversification, nos modèles hybrides sont basés sur un ensemble de méthodesérielles, offrant un panel de solutions initiales dispersées dans l'espace de recherche. Le modèle hybride sériel couple la simulation et les méthodesérielles. Les deux autres modèles hybrides complètent cette hybridation par l'utilisation d'un *Hill-Climber* comme intensificateur de la recherche qui exploite intensément le voisinage de la solution initiale.

D'autres métaheurstiques plus efficaces que le *Hill-Climber*, telles que la recherche Tabou ou le recuit simulé sont susceptibles d'être incorporées au modèle d'ordonnancement afin d'en augmenter son efficacité. Des premiers tests d'intégration d'une méthode Tabou ont été réalisés. Leurs résultats sont consultables dans [Roux *et al.*, 2008 b].

L'utilisation de métaheurstiques basées sur une population de solutions telles que les algorithmes génétiques et les colonies de fourmis ne peuvent être envisagées que si une réduction significative de la durée de simulation est opérée. Le recours à ces méthodes permettrait, en effet, d'améliorer considérablement les capacités d'exploration de l'espace de recherche en vue de maintenir un compromis acceptable entre intensification et diversification (exploitation vs. exploration du voisinage), gage de performance de toute méthode de recherche.

Les résultats obtenus dans le cadre de la validation du système de pilotage au sein de l'entreprise Acelor Mittal Fontaine démontrent expérimentalement l'efficacité et la polyvalence des modèles hybrides développés. Il est à noter que l'approche proposée n'est pas limitée au problème de notre entreprise partenaire mais se veut générique et facilement adaptable à d'autres systèmes de production présentant un ensemble de caractéristiques définies dans le chapitre 3.

Afin que le décideur s'assure de la représentativité de l'action retenue lors de l'utilisation des modèles lexicographique et multicritère, la boucle de pilotage virtuel propose un troisième modèle de résultats dédié à l'analyse statistique. Son utilisation donnera au décideur l'opportunité de valider son choix.

Le module d'analyse statistique succède en toute logique, au sein de la boucle de pilotage virtuel, au modèle d'analyse multicritère.

1.2.4. MODÈLE D'ANALYSE STATISTIQUE

La démarche de validation statistique consiste essentiellement à établir ou réfuter l'existence de différences significatives entre des stratégies évaluées sur plusieurs critères lorsque celles-ci résultent d'une optimisation à caractère stochastique mono- ou multicritère. Il est, en effet, nécessaire de rester vigilant face aux comparaisons, sans tenir compte de la variabilité, des critères de performance relatifs aux différentes stratégies comparées. Seules les distributions suffisamment disjointes permettront au décideur d'adopter une position ferme quant à la supériorité d'une stratégie sur l'autre.

Une fois la différenciation établie, le décideur est donc capable de déterminer, avec un certain niveau de confiance, la stratégie qu'il convient d'appliquer.

La démarche de validation de classement des stratégies d'ordonnancement utilise le modèle d'action de la boucle de pilotage virtuel consacré à l'analyse statistique des données [Dhaevers *et al.*, 2005 a ; 2005 b] [Duvivier *et al.*, 2006] [Roux *et al.*, 2007]. Ce modèle est actuellement composé de divers tests statistiques, paramétriques et non paramétriques basés sur les rangs. Citons notamment les tests de Kruskal-Wallis, Mann-Whitney, Friedman et Wilcoxon [Dagnelie, 1998 a, 1998 b].

Généralement, plusieurs scénarios sont susceptibles d'être envisagés et testés en cas de performance insatisfaisante aux yeux du décideur. Ce nombre est parfois conséquent et ne permet donc pas au décideur de mener des tests statistiques sur toutes les alternatives. Certains tests sont, en effet, effectués par paire de scénarii et impliquent que, pour N scénarii, $N*(N-1)/2$ tests soient effectués.

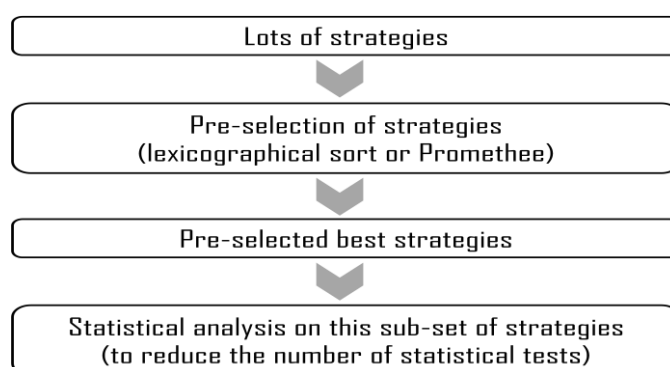


Figure 62: Réduction du nombre de tests statistiques par l'usage d'une méthode multicritère

Toutefois, le recours préalable à la méthode multicritère *Prométhée II* permet de discerner des « paquets » de solutions similaires établis en fonction de la valeur du flux net *phi* obtenue sur base des seuils fixés par le décideur et de réduire considérablement le nombre de tests statistiques à réaliser. La démarche proposée pour réduire le nombre de tests statistiques à mener est illustrée par la

Figure 62. Une fois les paquets établis, leur représentant est identifié (meilleure solution, solution moyenne) et seules ces solutions sont prises en considération lors de l'évaluation des différentes solutions.

Grâce à l'utilisation consécutive des modèles de résultats consacrés aux analyses multicritère et statistique, proposés par la boucle de pilotage virtuel, le décideur détient toutes les informations nécessaires pour déterminer l'alternative qui représente, pour lui, le meilleur compromis. Lorsque celui-ci est convaincu de la pertinence et de la supériorité d'une action d'amélioration, il l'applique sur le système réel via la boucle de décision du mécanisme de pilotage souple.

1.2.5. UTILISATION DE LA BOUCLE DE PILOTAGE VIRTUEL EN VUE DE LA VALIDATION STATISTIQUE DES RÉSULTATS

Le modèle d'ordonnancement intégré au système de pilotage de la performance offre au décideur l'opportunité de choisir la méthodologie d'ordonnancement à utiliser et la stratégie à déployer sur le système de production au grès de ses disponibilités et de ses attentes. La comparaison des résultats fournis par les différentes méthodologies et stratégies testées s'effectue généralement, lorsqu'ils résultent d'une optimisation à caractère stochastique, sur base de résultats moyens.

Le recours à un modèle d'analyse statistique est pertinent dans le cas d'application ArcelorMittal Fontaine. Il est, en effet, essentiel de s'assurer, au moyen de tests statistiques que les différences constatées entre les stratégies d'ordonnancement sont significatives. Une fois la différenciation établie, il est possible de déterminer, sur base du classement de ces stratégies, celle qu'il convient d'appliquer avec un certain niveau de confiance dans l'entreprise.

Le module d'analyse autorise également, selon la composition de l'échantillon étudié, la mise en évidence d'une tendance générale ou d'une tendance apparaissant après la stabilisation du classement des différentes stratégies d'ordonnancement. La composition des divers échantillons et les résultats de leur exploitation au sein du module statistique sont consultables dans [Dhaevers *et al.*, 2005 c] [Duvivier *et al.*, 2006] [Roux *et al.*, 2007].

Il est utile de rappeler que les classements présentés, relatifs à la période sélectionnée comprenant 134 commandes, ne sont pas directement généralisables à d'autres périodes, en raison de l'influence de divers paramètres sur les performances des méthodes sérielles. Cependant, les résultats obtenus lors d'étude des hybrides lexicographique et multicritère sur différentes périodes demeurent cohérents par rapport aux résultats obtenus par la personne chargée de l'ordonnancement de la production.

1.2.5.1 Méthodologie Générale

Afin de valider le classement établi, différents tests statistiques, paramétriques et non paramétriques, basés sur les rangs, sont utilisés. Pour chaque stratégie d'ordonnancement étudiée, la moyenne $\text{moy}_i(\text{SF}_{ij})$ et la médiane $\text{med}_i(\text{SF}_{ij})$ des solutions fournies par les 20 benchmarks réalisés sont calculées toutes les 10 évaluations (échantillon 1). Les médianes sont utilisées en remplacement des moyennes en raison de leur plus grande robustesse en présence d'observations aberrantes. Notre démarche de validation statistique consiste à tester l'existence ou le rejet d'une égalité entre ces valeurs moyennes et/ou médianes. Il est également possible d'effectuer des tests statistiques directement entre les observations en considérant l'ensemble des solutions des stratégies comparées et non leurs moyennes ou médianes.

Les tests paramétriques s'appliquent lorsque les variables étudiées suivent une distribution susceptible d'être décrite mathématiquement à partir de paramètres. En général, nous supposons une distribution normale lors de l'application des tests paramétriques. Cette hypothèse pourra bien entendue être également vérifiée par des tests appropriés. « Dans les comparaisons de variables qualitatives discontinues ou discrètes, lorsque les effectifs sont faibles, l'hypothèse que la distribution soit normale n'est pas vérifiée. Dans ce cas, les deux paramètres que sont la moyenne et l'écart type ne suffisent pas à décrire la population. Ces variables suivent d'autres distributions, par exemple la loi binomiale pour des variables discrètes. Pour cette raison, il est nécessaire d'utiliser dans les comparaisons des tests non paramétriques [UPMC, 2010] ».

Opter pour un test paramétrique ou non paramétrique est induit par le type de mesure (quantitative ou qualitative), la forme de la distribution de fréquences et le nombre d'échantillons à disposition. Le caractère apparié ou non indépendant des échantillons influencent également le recours à un test paramétrique ou non.

Au sein de la boucle de pilotage virtuel, le classement des stratégies est réalisable, d'une part, au moyen d'un tri lexicographique et d'autre part, à l'aide de la méthode multicritère *Prométhée II*. La méthode appliquée par le décideur influence le choix des tests statistiques à déployer.

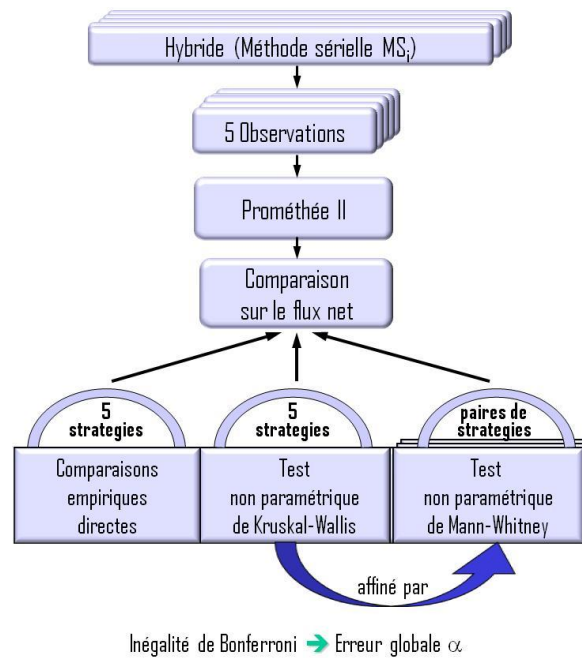


Figure 63: Méthodologie statistique appliquée à l'échantillon 1

Comme l'illustre la Figure 63, lors du traitement de l'échantillon de type 1, les tests non paramétriques de Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney [Gibbons & Chakraborti, 1992] [Lebart *et al.*, 1982] [Dagnelie, 1998 a, 1998 b] sont appliqués.

L'inégalité de Bonferroni [Seber, 1984] démontre que l'erreur α globale associée à un ensemble de tests est inférieure à la somme des erreurs α de chaque test.

1.2.5.2 Synthèse et conclusions de l'analyse statistique menée sur les résultats de l'hybride multicritère

Le déroulement d'une analyse statistique menée sur les classements fournis par l'hybride multicritère étant décrite dans [Dhaevers *et al.*, 2005 c] [Duvivier *et al.*, 2006] [Roux *et al.*, 2007], nous nous contenterons d'affirmer que dans le cas de l'hybride 3.1 – échantillon de type 1 de ce cas d'étude, les tests statistiques permettent d'affirmer la supériorité de la stratégie d'ordonnancement 1 par rapport autres stratégies. A l'inverse, dans le cas de l'hybride 3.2 – échantillon de type 1, l'analyse statistique montre que lorsque les zones d'indifférence sont d'une certaine ampleur et que des compensations entre critères de même poids sont autorisées, les stratégies d'ordonnancement ne sont plus statistiquement discernables. Elles offrent, en effet, des solutions de compromis quasi-équivalentes aux yeux du décideur ! Dans ce cas de figure, optimiser la stratégie donnant initialement les meilleurs résultats par l'application de l'Hybride sériel constitue le meilleur choix.

L'analyse des résultats fournis par l'hybride multicritère montre donc qu'il subsiste quelques cas où les tests statistiques ne permettent pas de trancher clairement entre l'égalité et la dominance d'une stratégie sur l'autre. Ce constat est particulièrement vrai lorsque l'hybride multicritère est paramétré pour un travail en mode dégradé, les zones d'indifférence étant, en effet, plus larges. Cela ne nuit, toutefois, pas à une utilisation efficace de l'outil d'aide à la décision développé mais confirme donc qu'il est nécessaire de rester vigilant face aux comparaisons, sans tenir compte de leur variabilité, des moyennes des valeurs des critères des différentes solutions. Le recours à aux tests statistiques offre donc au décideur la possibilité de classer de manière beaucoup plus fiable les groupes de solutions fournis par une méthode stochastique (*Hill-climber*).

De ce fait, lors de l'utilisation du système de pilotage sur différentes périodes, il est fréquent de présenter au décideur plusieurs stratégies de qualité similaire. Celui-ci peut indifféremment les appliquer à la production ou ajouter des critères supplémentaires afin de les discerner. Citons par exemple le taux d'occupation des opérateurs ou des postes de travail, le nombre d'opérations critiques des différents ordonnancements...

Bien que les résultats n'aient pas été présentés dans ce travail, des tests statistiques ont été effectués sur base de 401 observations par stratégie, à raison d'une observation toutes les 10 itérations de la méthode de recherche itérative (l'échantillon de type 2). Cependant, les mêmes résultats ont été obtenus en effectuant les tests cités en ne réalisant plus qu'une observation toutes les 20 itérations. Ceci met en évidence la stabilité de la méthode.

Différents tests réalisés indiquent que des performances similaires sont susceptibles d'être obtenues pour chaque stratégie avec des essais comportant moins de 4.000 itérations, accélérant de ce fait la méthode. Ce constat traduit la difficulté croissante d'améliorer la solution courante au fil des itérations du *Hill-Climber*.

Néanmoins, il en résulte qu'il est possible d'effectuer dans un même laps temps un plus grand nombre d'essais. En outre, étant donné le caractère indépendant entre les essais, ceux-ci peuvent être effectués en parallèle sur plusieurs ordinateurs ou processeurs.

Il est à noter qu'à l'exception de certaines parties du modèle de simulation, la démarche élaborée et la plate-forme résultante sont applicables à un large éventail de problèmes industriels. La démarche peut être mise en œuvre quelle que soit la méthode d'optimisation stochastique mono- ou multi-critères utilisée. Elle n'est donc pas restreinte à l'utilisation d'un *Hill-Climber* pour l'optimisation d'un ordonnancement.

L'exploitation successive des modèles de résultats, éventuellement enrichie par une reconfiguration du module d'analyse, illustre le fonctionnement de la boucle de pilotage virtuel sur un cas industriel réel.

Cette utilisation, impossible sans la réalisation de la phase préparatoire du pilotage de la performance, a permis la mise en œuvre d'un ensemble d'actions de pilotage identifiées comme prioritaires par le décideur. Ces actions ne sont pas des actions d'amélioration radicales, en totale rupture avec l'organisation de la production de l'entreprise.

Néanmoins, leur mise en œuvre modifie largement la manière de travailler du responsable de production. Sa tâche principale n'est plus de déterminer l'ordre de passage des commandes sur chaque poste de travail mais de déterminer la méthode d'ordonnancement à appliquer en fonction du temps dont il dispose pour prendre sa décision, de fixer le poids accordé à chaque critère de décision afin que celle-ci reflète la stratégie de l'entreprise et de valider l'ordonnancement établi.

Le mécanisme de pilotage souple de la performance a été, dans le cas de la satisfaction de l'objectif tactique d'amélioration de la gestion prévisionnelle, utilisé non seulement ponctuellement pour mettre en place les actions de pilotage liées à l'objectif mais également en continu pour déterminer la stratégie d'ordonnancement à appliquer.

Cette exploitation du système de pilotage souple constitue une première approche de la satisfaction de l'objectif visé. Elle a contribué à la mise en place la colonne vertébrale du système de pilotage. En cohérence avec le principe d'amélioration continue, les différents composants du système feront l'objet d'affinages successifs et d'améliorations ponctuelles.

A la demande du décideur, satisfait des résultats d'ordonnancement obtenus, un second objectif opérationnel a fait l'objet d'une optimisation au sein de la boucle de pilotage virtuel. *Optimiser la planification-programmation* est l'objet de cette seconde exploitation de la boucle de pilotage virtuel.

2. DEPLOIEMENT DES ACTIONS DE PILOTAGE VISANT L'OPTIMISATION DE LA PLANIFICATION-PROGRAMMATION

Au sein du processus de soutien à la production, deux objectifs opérationnels génériques influençant la gestion prévisionnelle ont été répertoriés comme prioritaires. Le premier, l'*Optimisation de l'ordonnancement* a été le centre d'intérêt de la première itération de la boucle de pilotage virtuel. Le second, l'*Optimisation de la planification-programmation* est l'objet de la seconde itération et de cette section.

OBJECTIF OPERATIONNEL		VARIABLES D'ACTION	ACTIONS	Priorité 2
AMELIORER LA QUALITE DE LA GESTION PREVISIONNELLE	Optimiser la planification - programmation	-Réviser la méthodologie de planification	-Augmenter la vision de production	
		-Optimiser le mix produits	-Possibilité de réorganiser les périodes de production	
		-Modifier la taille des lots	-Revoir la procédure de groupement des commandes en planification	
			-Développer une méthodologie propre à l'entreprise - vision de production	
			-Possibilité de réorganiser les périodes de production	
			-Revoir la procédure de groupement des commandes en planification	

Tableau 36: Zone de pilotage de priorité 2

L'objectif visé se situe à la limite entre les objectifs tactiques et opérationnels de l'entreprise. Nous l'avons inclus dans cette dernière catégorie compte tenu de l'implication du responsable de production de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine dans sa gestion. En effet, ce responsable remanie les informations de planification émanant de l'ERP afin que celles-ci soient facilement utilisables pour la réalisation de l'ordonnancement. Fournir des données de qualité au responsable de production constitue une avancée supplémentaire dans l'obtention d'un ordonnancement rapide et de qualité de la production.

Notre intervention consiste donc à répondre aux besoins identifiés dans l'arbre des objectifs de l'entreprise par l'activation d'une, deux ou trois des variables d'action reprises dans le Tableau 36. Les actions de pilotage associées à ces variables sont *Développer une méthodologie de planification-programmation propre à l'entreprise ou sa vision en production*, *Possibilité de réorganiser les périodes de production* et *Revoir la procédure de groupement des commandes en planification*. Nous avons choisi de les déployer simultanément.

Pour leur mise en œuvre, une démarche similaire à la procédure suivie pour l'amélioration de l'ordonnancement a été développée. Celle-ci se base sur une succession de deux boucles de rétroaction. La première vérifie que l'atelier dispose d'une capacité suffisante pour faire face à la charge à produire dans le délai imparti. La seconde élabore le programme de production à partir duquel l'ordonnancement de la production est établi. Le modèle d'ordonnancement élaboré et validé précédemment est ensuite activé afin de déterminer avec précision la répartition et l'ordre de fabrication des commandes sur les différents postes de travail de l'atelier. Nous avons donc veillé à une parfaite cohésion entre ces deux démarches.

L'organisation multi-modèle du système proposé à l'entreprise est suffisamment flexible pour autoriser l'utilisateur insatisfait des résultats de l'étape en cours à relancer sans attendre l'étape de niveau supérieur en y apportant les modifications nécessaires. Ce principe de boucle de rétroaction évite à l'utilisateur d'attendre l'obtention de la solution finale pour s'apercevoir que les résultats sont médiocres et qu'il est contraint de réitérer toute la procédure.

L'objectif de cette section consacrée à la seconde itération de la boucle de pilotage virtuel consiste, en premier lieu, à décrire le tableau de bord et les critères de décision qui guident le décideur dans l'évaluation de sa performance en termes de planification-programmation. Ensuite, l'organisation de la

démarche dans sa globalité c'est-à-dire soucieuse de l'intégration de la planification et de l'ordonnancement, est décrite. Quelques résultats clôturent cette section.

2.1. TABLEAU DE BORD ET CRITERES DE DECISION

Chaque variable d'action impliquée dans la réalisation de l'objectif visé induit la mise en place d'un ou de plusieurs indicateurs de performance illustrant son champ d'application.

La première variable d'action vise l'amélioration de la vision en production. Pour l'entreprise ArcelorMittal Fontaine, celle-ci s'exprime principalement par l'examen des en-cours de production par pas de temps qui autorise la déduction de la cadence de production, (*i.e.* le tonnage en sortie de ligne par unité de temps). L'entreprise est, en effet, extrêmement soucieuse du tonnage réalisé par période de production d'un mois et collecte toutes les informations utiles à son évaluation.

La seconde variable exige que le système de planification-programmation offre la possibilité de modifier les périodes de production afin de veiller à un meilleur équilibrage des charges et à un taux d'utilisation des postes de travail plus équitable. En agissant de la sorte, les périodes de production mono-produit peuvent être évitées et substituées par une alternance de séquences de production d'un produit unique de plus courte durée.

La dernière variable vise la révision de la procédure de groupement des commandes en planification. Mieux organiser les séquences de production peut, en effet, être extrêmement profitable en termes de minimisation de durée de setups, d'amélioration de la cadence de production et de maximisation du taux d'utilisation des postes de travail.

Le déploiement simultané des actions de pilotage destinées à satisfaire ces trois variables consiste à compléter l'outil de planification existant afin qu'il soit totalement en phase avec les besoins de l'entreprise. Le niveau de qualité exigé des résultats vise à épauler le responsable de l'ordonnancement dans la réalisation de sa tâche.

Un des moyens de réduire la complexité de l'ordonnancement à établir est de fournir au responsable de production des informations de planification plus précises se situant à mi-chemin entre la planification et l'ordonnancement. La programmation de la production, inexistante dans l'entreprise, est donc naturellement venue compléter l'outil de planification. Celle-ci s'exprime par l'utilisation successive de deux modèles mathématiques. L'un confirme que le système de production est apte à réaliser le planning de production fourni par l'ERP et l'autre établit le programme de production en se focalisant sur la machine goulet. Ce dernier modèle, pour être efficace, doit indéniablement intégrer la gestion des ressources auxiliaires ce qui fait défaut au planning de production de l'ERP.

Travaillant sur commandes et non sur stock, l'entreprise s'impose de produire l'ensemble des produits figurant sur la liste des commandes planifiées et n'autorise de retarder le lancement en production de commandes que dans le cas extrême où la capacité du système de production est dépassée. Sa marge de manœuvre pour améliorer la cadence de production est unique et consiste à réduire la durée de production. Le *Makespan* constitue donc un critère de planification-programmation à suivre.

Par conséquent, comme nous l'avons souligné lors de la première itération de pilotage, le respect des dates d'exigibilité des commandes est une ligne de conduite à laquelle l'entreprise ne veut et ne peut déroger. Il est d'ailleurs un des éléments constitutifs des fonctions objectifs des deux modèles mathématiques de planification-programmation via la prise en compte des notions de retard et d'avance.

La minimisation du temps de cycle ou *leadtime* et la maximisation du taux d'utilisation des postes de travail sont étroitement liés à la maximisation de la cadence de production. Cette dernière peut donc être considérée comme une approximation des deux. C'est dans ce sens que nous l'utiliserons dans le premier modèle, le modèle mathématique d'évaluation de la capacité de l'atelier à faire face à la charge à produire.

Les indicateurs de performance impliqués dans la satisfaction de l'objectif opérationnel *Optimiser la planification-programmation* sont donc :

- Cadence de production ou *Throughput* exprimé en tonnes par heure ;
- *Makespan* ou durée de production de toute la liste des commandes planifiées ;
- Nombre et durée des retards ;
- Durée de l'avance ;
- Durée de pénurie de bobines ;
- Coût de production.

A l'exception du premier indicateur, ceux-ci sont identiques aux indicateurs utilisés pour évaluer l'ordonnancement de la production. Ces indicateurs de performance relatifs à la planification-programmation ne sont toutefois qu'une approximation de la réalité. Ils sont d'une qualité inférieure aux valeurs fournies par le modèle d'ordonnancement, étant donné qu'ils émanent d'un système travaillant avec un niveau de précision de huit heures alors que l'ordonnancement relève d'une granularité temporelle d'une demi-heure.

Les indicateurs associés aux bobines et aux coûts de production ont été introduits pour les mêmes raisons que celles évoquées lors de la première itération de la boucle de pilotage virtuel destinée à améliorer la qualité de l'ordonnancement de la production.

Les actions de pilotage de la seconde itération et leurs critères de décision ayant été arrêtés, les moyens de les mettre en œuvre doivent être développés afin d'alimenter la boucle de pilotage virtuel et de vérifier les incidences des actions de pilotage sur la performance globale du système de production. Leur développement doit aboutir à la conception d'un mécanisme de planification-programmation nécessairement associable à celui de l'ordonnancement. Tous deux étant guidés par un même objectif tactique, ces mécanismes doivent, en effet, être conçus en vue de garantir le développement d'un système cohérent de planification-ordonnancement.

2.2. MODELE DE PLANIFICATION-ORDONNANCEMENT ETABLI

Le modèle de planification-ordonnancement conçu est illustré sur la Figure 64. Celui-ci est organisé en deux phases successives. L'une permet la réalisation de la planification-programmation de la production et l'autre son ordonnancement [Artiba *et al.*, 2011].

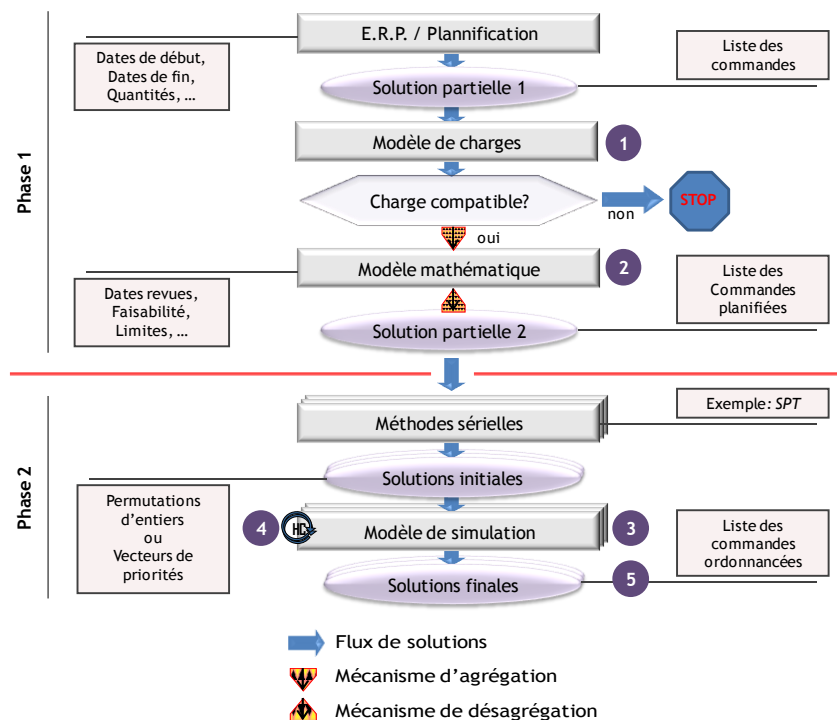


Figure 64: Fonctionnement du modèle de planification-ordonnancement

La *Phase 1* ou phase de planification-programmation de par son caractère déterministe ne nécessite qu'une application unique. La *Phase 2* ou phase d'ordonnancement est, quand à elle, réitérée conformément au plan d'expérimentation établi pour l'entreprise ArcelorMittal Fontaine présenté en la section 1.2.3.1.

2.2.1. PHASE 1 : ACTIVATION DU MODÈLE DE PLANIFICATION-PROGRAMMATION

La première phase se caractérise par la volonté de doter l'outil standard de planification de l'entreprise de deux couches additionnelles dédiées à l'entreprise et à ses particularités. Pour ce faire, cette phase dispose de trois modèles mathématiques dédiés à l'optimisation de la planification-programmation activés en fonction des besoins de l'entreprise. Ces modèles sont destinés à faciliter la réalisation de l'ordonnancement de la production. Ils ont été mis au point lors d'une précédente recherche intitulée *PlanOrdo* [Artiba & Duvivier, 2000], [Duvivier *et al.*, 2005] [Duvivier *et al.*, 2007]. Une présentation détaillée de cette démarche de planification-programmation est disponible dans [Artiba *et al.*, 2011]. Les modèles mathématiques ne sont donc que brièvement évoqués dans ce mémoire, l'intérêt résidant dans une exploitation intégrée des modèles de planification et d'ordonnancement.

Le premier modèle, appelé *Loading Model*, est un modèle de planification à capacité finie, exprimé sous la forme d'un modèle mathématique de type programmation linéaire, reposant sur une mesure de performance unique : la cadence de production. Son objectif est de vérifier la faisabilité du plan de production fourni par l'outil de planification de l'entreprise. Il s'agit de veiller à ce que la liste des ordres de fabrication à réaliser sur l'horizon de planification visé soit compatible avec la capacité maximale du système de production. Dans l'affirmative, la démarche de planification-programmation est poursuivie. Dans la négative, le plan de production issu de l'ERP, nommé *solution partielle 1* sur la Figure 64, est remis en cause.

Préalablement à l'utilisation du *Loading Model*, les commandes à programmer en production sont groupées en familles de produits telles que décrites dans le chapitre 4 Section 3.1.2.2. Les mesures de performance fournies par le *Loading Model* sont la charge estimée de chaque étage de production et sa répartition entre les différentes familles de production. Son exploitation permet donc au responsable de production de localiser aisément l'étage goulet qui rythmera le flux de production pour cet horizon de planification.

Si la charge approximée par le *Loading Model* est compatible avec la capacité réelle de l'atelier, cette estimation est affinée, par l'utilisation de l'un des deux modèles de planification-programmation approfondie, sur le goulot d'étranglement détecté.

Selon le goulot identifié par le *Loading Model*, le modèle prend une forme différente et se concentre sur l'étage de production incriminé. Le *Stranding Model* est activé lorsque le goulot d'étranglement se situe au niveau de l'activité de toronnage et le *Stretching Model* est sollicité lorsque l'activité incriminée est le tréfilage. Ces deux modèles sont résolus à l'aide d'une méthode exacte de type *Programmation Linéaire en Nombres Entiers – PLNE*.

Cette étape de planification-programmation nécessite un retraitement des commandes plus précis que le groupement mis en place dans le *Loading Model*. Elle fait appel à un mécanisme d'agrégation destiné à créer des paquets commandes d'un même produit dont les dates de lancement en production et d'exigibilité se trouvent dans un intervalle de tolérance spécifié par le décideur. Une fourchette de quarante-huit heures a été définie dans l'exemple d'utilisation du modèle de planification-programmation. La précision du modèle de planification-programmation a, quant à elle, été fixée à huit heures, soit la durée d'une pause de travail.

A l'issue de la planification, le modèle mathématique, qu'il soit *Stranding Model* ou *Stretching Model*, propose de retarder ou d'avancer les dates de lancement des commandes agrégées. Evidemment, lors de la phase de désagrégation des commandes agrégées, les commandes correspondantes vont voir leur date de lancement et d'exigibilité ajustées si nécessaire. Le résultat de cette étape est l'identification de la *solution partielle 2*. Son obtention marque la fin de la démarche dédiée à la planification-programmation.

Divers paramètres sont susceptibles d'instancier les mécanismes d'agrégation et de désagrégation situés respectivement en entrée et en sortie du modèle de planification-programmation approfondie. Il est

incontestable qu'un paramétrage inadéquat de ces mécanismes risque d'induire des résultats désastreux en termes de retards de production ou de surcharge de l'atelier conduisant à l'impossibilité de fabriquer l'ensemble des produits planifiés. Le paramétrage évolue, notamment, en fonction de la charge de l'atelier du mois considéré. L'intervalle de tolérance s'ajustera, par exemple, selon le nombre et l'étalement des commandes. Cet intervalle sera d'autant plus faible que le nombre de commandes à planifier sur la période est réduit. A l'inverse, afin d'éviter que la durée d'exécution du modèle mathématique ne devienne exagérément importante, le niveau de tolérance sera élevé si le nombre de commandes est conséquent.

De même, sans entrer dans les détails d'implémentation, selon le niveau de charge de l'atelier et/ou l'importance accordée au respect des délais, les dates de lancement (D) et d'exigibilité (F) de chaque groupe de commandes sont calculées en fonction de différents paramètres définis par le décideur et reflétant une politique inspirée d'une production « au plus tôt », « au plus tard » ou « juste à temps ».

Accroître la qualité de la programmation et fournir une planification plus réaliste sollicite donc l'expertise du décideur en vue d'ajuster le paramétrage du modèle de planification-programmation.

Afin d'obtenir des informations beaucoup plus fiables pour la réalisation de l'ordonnancement des commandes, les ressources auxiliaires impliquées dans l'étagage-goulot de la production sont gérées, sous forme de contraintes, par le modèle de planification-programmation approfondie. Par défaut, les pénuries de bobines ne constituent donc pas un des critères constitutifs de la fonction objectif. Le modèle mathématique s'assure donc de ne jamais générer de solutions comportant de pénuries de bobines. Par contre, si le décideur le souhaite, il est possible de contraindre le modèle mathématique à constituer des réserves de bobines afin d'éviter une utilisation maximale des bobines en intégrant ce critère dans la fonction objectif.

Le respect des différents niveaux de priorité des commandes est également considéré par le modèle de planification-programmation approfondie comme une contrainte relative au système de production. Les week-ends, les jours fériés et les jours de fermeture de l'usine sont également pris en compte par ce modèle.

La fonction objectif utilisée dans l'exemple présenté vise la satisfaction de trois critères considérés respectivement selon un tri lexicographique : minimiser le retard moyen, minimiser le *Makespan* et maximiser la durée de l'avance. En concertation avec le responsable de production, cette fonction a été paramétrée de manière à mettre en exergue l'agilité de l'entreprise en favorisant sa réactivité et sa flexibilité en production et à la prémunir d'éventuels dysfonctionnements et ruptures de fil. Si l'entreprise désire organiser sa production en juste-à-temps, il lui suffira de pénaliser de manière similaire les avances et les retards.

Les résultats de la première phase d'exploitation du modèle de planification-ordonnancement sont les dates ajustées de lancement des commandes et les valeurs estimées des différentes mesures de performance suivies.

En outre, au-delà d'une prévision de performance, les valeurs des critères à optimiser peuvent constituer des bornes de déclenchement ou d'arrêt de l'optimisation des stratégies d'ordonnancement. Dans le premier cas, les mesures sont donc exploitées en tant que seuil d'activation des modèles d'ordonnancement incluant un mécanisme d'optimisation. En effet, si à l'issue du modèle sériel les résultats obtenus sont situés à moins de 1%, par exemple, de la borne inférieure obtenue par le modèle de planification-programmation, il n'est pas évident que l'hybride lexicographique ou multicritère parvienne à améliorer ce résultat. Le second cas d'utilisation exploite les valeurs obtenues par le modèle de planification-programmation comme critère d'arrêt du modèle hybride. En effet, si après 500 itérations de l'hybride, les résultats obtenus sont situés à moins de 1% de la borne inférieure obtenue par le modèle de planification-programmation, il n'est pas évident que la solution obtenue puisse encore être améliorée itérativement. Le modèle hybride peut, dans ces circonstances, être stoppé et une solution proposée immédiatement au décideur.

Lorsque les ordonnancements proposés par l'hybride sériel se situent au-dessus du seuil, le responsable de production est informé que le modèle mathématique a déterminé une solution, bien que moins précise, de meilleure qualité. L'utilisation d'une métaheuristique en vue d'améliorer la qualité de l'ordonnancement est donc vivement conseillée compte tenu du potentiel d'amélioration détecté.

2.2.2. PHASE 2 : ACTIVATION DU MODÈLE D'ORDONNANCEMENT

La seconde partie de la démarche repose sur l'utilisation des modèles d'ordonnancement, les hybrides sériel, lexicographique ou multicritère présentés précédemment.

Au sein de ces hybrides, les méthodes sérielles fournissent les *solutions initiales* au modèle de simulation. Pour chacune de ces solutions, le modèle de simulation, éventuellement couplé à une méthode d'optimisation, détermine une *solution finale* composée d'une liste d'ordres de fabrication ordonnancés et les mesures de performance relatives à cette solution. L'hybride sériel ou hybride 1 est exploité lorsque l'utilisateur est contraint à une prise de décision rapide. L'hybride lexicographique ou hybride 2 est choisi lorsqu'un classement strict des critères s'avère suffisant. L'hybride multicritère ou hybride 3 est préféré pour sa facilité d'intégration de critères supplémentaires ou sa capacité à ne pas limiter l'importance relative des critères de décision.

Les stratégies d'ordonnancement obtenues sont enfin classées au moyen d'un tri lexicographique ou de la méthode d'aide à la décision multicritère *Prométhée II*. Une éventuelle visualisation graphique au moyen du plan GAIA peut également être obtenue en cas de recours à la méthode *Prométhée II*.

2.2.3. CONCLUSIONS

L'intégration des modèles de planification et d'ordonnancement souligne la position difficile du responsable de production qui doit allier deux visions distinctes de l'organisation prévisionnelle de la production.

La première, la planification, a pour principal souci de satisfaire la clientèle en lui fournissant les produits commandés aux prix convenus, en temps et en heure. Elle établit le programme de fabrication de ces commandes.

La seconde, l'ordonnancement, doit veiller à mener à bien ce programme dans le respect des contraintes de production. La conception multi-étage des modèles de planification et d'ordonnancement et leur utilisation dans le cadre du système de pilotage de la performance facilite la conciliation de ces deux vues.

Quelques résultats issus de l'application de la démarche de planification-programmation et son intégration à la démarche d'ordonnancement sont disponibles dans la section suivante.

2.3. UTILISATION DE LA BOUCLE DE PILOTAGE VIRTUEL EN VUE DE L'OPTIMISATION DE LA PLANIFICATION-PROGRAMMATION – PHASE 1

L'observation des flux de matières du système de production de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine a montré que, de manière générale, son principal goulot d'étranglement est l'activité de toronnage. Cependant, dans certain cas, selon la configuration du carnet de commandes, l'étape de tréfilage peut également s'avérer être source de blocages de production.

L'application du *Loading Model* sur le mois de production étudié révèle que l'activité de toronnage est le facteur bloquant du processus de production. Le modèle de planification-programmation approfondie se concentre donc sur cette étape de production et le modèle mathématique activé est le *Stranding Model*. En conséquence, la charge et l'ordonnancement des autres postes de travail seront dictés par la cadence imposée par le toronnage.

La durée d'optimisation nécessitée par le *Stranding Model* est, dans le cas du mois étudié, d'un peu moins d'une heure et trente minutes. Le pas de temps défini pour ce modèle est de huit heures.

GenMat V1.6 : PLANIFICATION-PROGRAMMATION DE L'ETAPE DE TORONNAGE															
FONTAINUNION		Générateur de matrices										PlanOrdo			
		UnLock													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
5	job	C	ea	ta	St		Objective function =	13289343							
6	N1	7	32	0	1		Tardy jobs (NT) =	0							
7	N2	35	17	0	34		Average tardiness (T) =	0							
8	N3	27	35	0	22		Makespan (Cmax) =	99	792						
9	N4	28	44	0	28		Average earliness (E) =	269,333333							
10	N5	30	44	0	30										
11	N6	57	24	0	51										
12	N7	15	32	0	15										
13	N8	47	43	0	45										
14	N9	77	24	0	71										
15	N10	99	2	0	93										
16	N11	91	23	0	91										
17	N12	44	10	0	36										
18	N13	15	36	0	9										
19	N14	24	44	0	21										
20	N15	27	41	0	25										
21	N16	26	44	0	24										
22	N17	57	23	0	49										
23	N18	45	43	0	42										
24	N19	49	39	0	46										
25	N20	43	48	0	42										
26	N21	46	46	0	45										
27	N22	93	3	0	75										
28	N23	77	31	0	74										
29	N24	89	25	0	78										
30	N25	2	45	0	1										
31	N26	66	45	0	63										
32	N27	73	36	0	70										
33	N28	74	39	0	73										
34	N29	10	35	0	4										
35	N30	3	43	0	1										
36	N31	8	38	0	5										
37	N32	4	46	0	3										
38	N33	23	31	0	11										

Tableau 37: Estimation des principaux indicateurs de performance pour les produits toronnés

A la lecture du tableau, il appert qu'il existe au moins une solution pour laquelle aucune commande agrégée de torons est produite en retard.

Sur base des informations récoltées et plus précisément des bornes estimées, le décideur doit être en mesure de déterminer s'il souhaite adjoindre à cette démarche de planification une démarche d'optimisation de l'ordonnancement. Les informations susceptibles d'être aisément comparées aux données de planification sont les résultats de l'Hybride sériel dont les délais d'obtention sont extrêmement courts, c'est-à-dire de l'ordre de quelques secondes. Examinons ces comparaisons sans toutefois perdre de vue que la planification concerne uniquement les commandes de torons alors que l'ordonnancement prend également en compte les commandes de monofils, ces dernières représentant 26% des produits du carnet analysé.

Le modèle mathématique a été paramétré de manière à déterminer une borne supérieure pour le *Makespan* que le décideur souhaite minimiser. La borne obtenue pour ce carnet de commandes est de 792 heures or le pire résultat est la stratégie I_0 de 769,79 heures. Un écart de l'ordre de trois pour cent est donc constaté entre ces deux valeurs et met en évidence l'intérêt de déclencher un processus d'optimisation en suite de la planification.

Une borne inférieure pour l'avance moyenne, critère à maximiser, est également fournie par le *Stranding Model*. Celle-ci est de 269,33 heures. Comparativement au meilleur résultat fourni par l'Hybride sériel, 287,42 heures pour la stratégie I_3, un écart d'approximativement six pour cent sépare ces résultats. L'hybride sériel offre donc une meilleure avance mais génère deux retards d'une durée moyenne de plus de deux pauses de travail.

Outre les valeurs des indicateurs de performance, il résulte de l'application de la phase 1 une liste de commandes de torons dont les dates de début de production ont été ajustées, tantôt avancées, tantôt retardées. Ces ajustements seront ensuite exploités par le modèle de simulation lors de l'activation de la phase 2.

2.4. UTILISATION DE LA BOUCLE DE PILOTAGE VIRTUEL EN VUE DE L'OPTIMISATION DE LA PLANIFICATION-ORDONNANCEMENT – PHASE 1 & PHASE 2

Les résultats issus de l'application du modèle de planification-ordonnancement dans sa globalité sont présentés dans cette section. Succédant à la phase 1 telle que présentée précédemment, la phase 2 est paramétrée de manière à optimiser l'ordonnancement fourni via l'activation du modèle hybride multicritère 3.1.

Les stratégies obtenues, identifiées par la lettre P, sont dévoilées dans le Tableau 38. Elles y sont comparées aux stratégies résultant de l'application des hybrides sériel et multicritère 3.1 sans planification approfondie préalable. Ces stratégies sont respectivement précédées des lettres I et F.

Le classement des trois groupes de solutions a été établi à l'aide de la méthode de classement multicritère Prométhée II de configuration et de paramétrage 1.

Stratégie	N_r	T (H)	C_{max} (H)	E (H)	B (H)	C_p (€)
I_0	0	0	767,79	268,64	3,17	1.070.010,00
I_1	0	0	751,71	277,40	1,11	1.068.858,27
I_2	0	0	760,17	256,84	3,14	1.067.364,26
I_3	2	17,65	749,77	287,42	0,52	1.071.401,55
I_4	6	10,55	756,68	266,57	3,33	1.064.602,46
F_0	1,8	0,74	744,06	281,41	1,88	1.071.177,11
F_1	1,45	0,88	741,36	282,44	1,26	1.068.931,84
F_2	2,15	1,31	742,19	280,75	2,47	1.069.409,14
F_3	3	5,37	743,19	287,08	1,13	1.069.794,94
F_4	2,45	1,61	743,08	279,65	1,67	1.068.846,15
P_0	1	0,40	746,28	293,95	0	1.078.265,03
P_1	1	0,45	746,36	294,41	0,01	1.077.068,69
P_2	1	0,39	746,38	294,36	0,01	1.076.295,19
P_3	1	0,47	746,30	294,71	0,03	1.077.040,14
P_4	1	0,47	746,36	294,11	0	1.075.683,30
Moyenne	1,59	2,68	748,78	282,65	1,32	1.071.649,87

Tableau 38: Comparaison des stratégies I, F et P

Le plan GAIA met en évidence les trois familles de solutions. Les solutions I issues des méthodes sérielles affichent indiscutablement les plus mauvais résultats. Les solutions de type F et de type P sont situées de part et d'autre du stick de décision et semblent presque équidistance de celui-ci. Leur positionnement dans le plan GAIA reflète les critères de décision mis en exergue par chacun d'eux.

L'application de la démarche de planification-ordonnancement fournit des solutions extrêmement proches les unes des autres comme l'illustre la Figure 66. Quelle que soit la stratégie de type de P, un seul retard de moins d'une demi-heure est observé, la durée totale de production avoisine les 746 heures, l'avance engrangée s'élève à environ 294 heures, les pénuries de bobines sont quasiment inexistantes et leur coût de production avoisine les 1.076.870 euros.

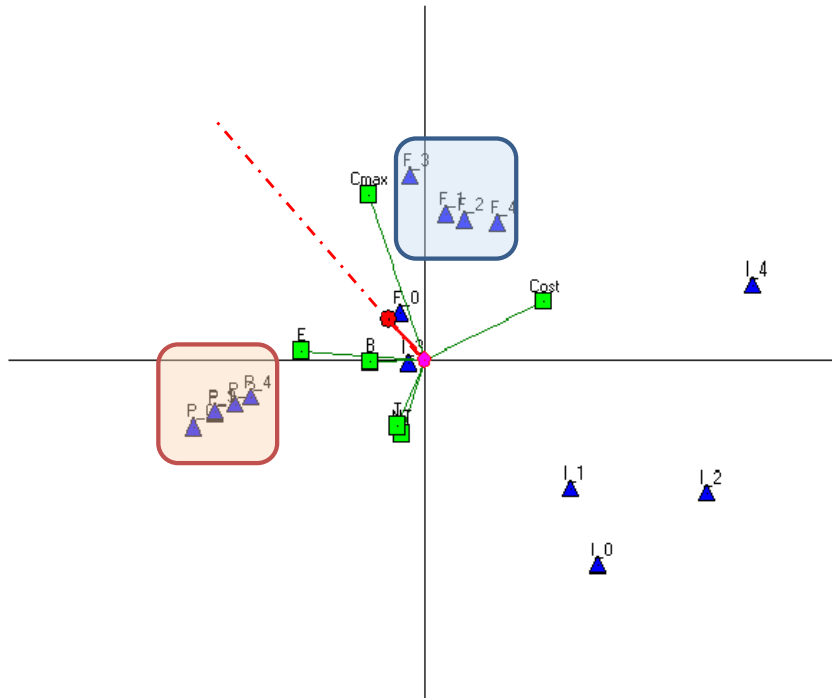


Figure 66: Comparaison des solutions P, F & I sur le plan GAIA – Inertie : 79,96%

La comparaison des stratégies issues des différents modèles souligne la prouesse réalisée par les stratégies de type P qui arrivent en tête du classement en termes de nombre et durée des retards, d'avance moyenne et de taux de pénurie des bobines. La Figure 66 illustre ce constat.

Si la durée du *Makespan* de ces stratégies se situe également sous la moyenne générale, les valeurs affichées sont, dans ce cas, de moins bonne qualité que les valeurs des solutions fournies par l'Hybride multicritère.

Toutefois, lorsque la minimisation des dépenses de production est prise en compte, celles-ci se révèlent être, à l'évidence, les moins intéressantes du panel proposé. Il semble donc que produire en avance induit a priori une implication financière plus importante. Cependant, ce constat doit être tempéré par le fait qu'une telle attitude de production évite indéniablement les pénalités de retard mais induit des coûts de stockage de produits finis qui ne sont pas pris en compte dans le calcul du coût de fabrication affiché. Leur introduction dans l'indicateur de performance C_p pourrait néanmoins être facilement gérée si nous disposions de ces informations.

Le classement général des stratégies résultant des trois modèles hybrides est $F_1 \succ F_2 \succ F_4 \succ P_4 \succ P_2 \succ F_0 \succ P_3 \succ P_1 \succ I_1 \succ P_0 \succ I_2 \succ F_3 \succ I_0 \succ I_3 \succ I_4$. Il identifie les stratégies F_1 , F_2 et F_4 comme reflétant le meilleur compromis aux yeux du décideur. Les stratégies P_4 et P_2 succèdent ensuite au trio de tête. Bien que celles-ci affichent de très bons résultats sur la majorité des indicateurs de performance classiques en ordonnancement, il s'avère que cela est insuffisant pour détrôner des solutions à la durée de production et au coût de fabrication inférieurs. Sans grande surprise, les résultats de l'hybride sériel occupent les dernières places du classement.

Afin de vérifier l'existence d'une réelle dominance de la stratégie plébiscitée sur les autres, il est conseillé au décideur de procéder à une analyse statistique des résultats. Il semble toutefois peu probable qu'il subsiste à ce stade d'optimisation de réelles différences entre les stratégies issues de type P et de type F.

Le classement obtenu s'explique notamment par la composition du carnet de commandes dont un tiers des commandes sont des commandes de monofils qui ne sont pas gérées par le modèle de planification approfondie.

2.5. SYNTHÈSE DES RESULTATS

Le modèle d'action du système de pilotage souple met à la disposition du décideur un ensemble de composants susceptibles d'être assemblés pour construire des méthodes hybrides en vue notamment d'établir l'ordonnancement de la production éventuellement précédé de sa planification-programmation.

METHODES HYBRIDES		LOADING	STRANDING/ STRETCHING	MS	SIMULATEUR	META	TRI LEXICO	MULTI
Ordo	Hybride 1			x	x			
	Hybride 2			x	x	x	x	
	Hybride 3			x	x	x		x
Planification- Ordonnancement	L+Hybride 1	x		x	x			
	L+Hybride 2	x		x	x	x	x	
	L+Hybride 3	x		x	x	x		x
	L+ S+Hybride 1	x	x	x	x			
	L+ S+Hybride 2	x	x	x	x	x	x	
	L+ S+Hybride 3	x	x	x	x	x		x

Tableau 39: Récapitulatif des procédures et hybrides utilisés dans le cadre de la planification-programmation et de l'ordonnancement

Les différentes combinaisons de composants sont recensées dans le Tableau 39. Les combinaisons de composants reprises dans la colonne *Méthodes hybrides* sont identifiées par l'association de trois éléments : le terme *Hybride*, la lettre *L* et la lettre *S*.

Le terme *Hybride* est accompagné du chiffre 1,2 ou 3 afin d'indiquer le mode de fonctionnement du modèle d'ordonnancement tel que décrit dans la section 1.1 de ce chapitre.

La lettre *L* indique que le modèle activé débute par une évaluation de la capacité de l'atelier à supporter la charge prévue pour la période examinée, le *Loading Model*.

La lettre *S* symbolise, quant à elle, l'utilisation d'un des deux modèles de planification-programmation disponibles dans la bibliothèque des modèles d'action du système de pilotage souple : le modèle relatif à l'étape de toronnage, *Stranding Model* et le modèle relatif à l'étape de tréfilage, *Stretching Model*.

Bien que les résultats n'aient pas été présentés dans ce travail, une application successive de ces deux modèles est également envisageable.

Quelle que soit la combinaison de composants établie par le décideur, les méthodes sérielles (*MS*) et le simulateur (*Simulateur*) sont systématiquement sollicités. Les autres outils ou modèles sont activés selon l'envergure de l'action de pilotage menée par le responsable de production et le temps dont il dispose pour la mener à bien.

Le composant *Meta* est sollicité lorsque le décideur souhaite engager une procédure d'optimisation des résultats d'ordonnancement. Les deux méthodes de classement susceptibles d'être exploitées au sein de l'un des trois modèles hybrides d'ordonnancement sont, quant à elles, identifiées par les termes *Tri Lexico* pour le tri lexicographique et *Multi* pour la méthode multicritère *Prométhée II*.

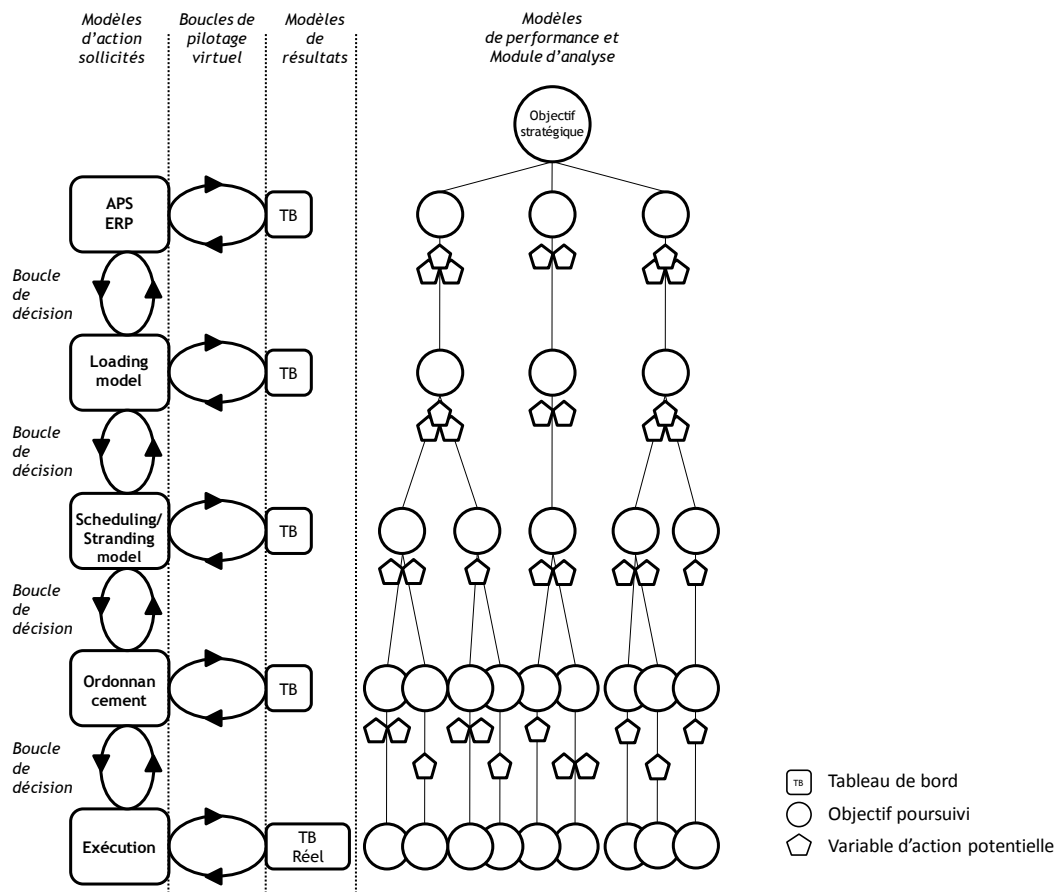


Figure 67: Principe de mise en œuvre des actions de pilotage d'optimisation de la planification et de l'ordonnancement

Lorsque le décideur opte pour une combinaison associant les étapes de planification et d'ordonnancement, sa mise en œuvre, illustrée par la Figure 67, est calquée sur le système de pilotage souple de la performance.

La procédure de planification-ordonnancement se compose d'une succession d'étapes reliées entre-elles par une boucle de décision laissant au décideur la latitude de réitérer l'étape en cours. De nombreuses autres boucles sont présentes dans le système mais, par souci de lisibilité, ne sont pas représentées sur le schéma. Chaque étape de construction de la solution finale est évaluée au moyen d'un tableau de bord reflétant les objectifs poursuivis.

Le délai dont dispose l'utilisateur pour déterminer la stratégie de planification-ordonnancement à mettre en œuvre influence le choix de la combinaison qu'il souhaite éprouver, l'ampleur du panel de stratégies à tester et le nombre d'optimisations à réaliser.

Plus le décideur dispose de temps pour agir, plus le modèle qu'il choisira sera élaboré, le nombre d'évaluations élevé et les solutions proposées de qualité. Si le temps de décision est, au contraire, extrêmement réduit, le décideur sautera les étapes *Loading Model* et *Scheduling/Stranding Model* destinées à peaufiner la planification de la production et à en établir la programmation et optera pour un modèle sans optimisation c'est-à-dire le modèle sériel.

Les exemples d'utilisation de la boucle de pilotage virtuel présentés dans ce chapitre concernent l'organisation d'un mois de production. Néanmoins, le système de pilotage est exploitable pour des périodes de temps plus courtes ou beaucoup plus longues, allant de 15 jours à 1 an, voire plus. Cependant, la lecture du Figure 68 montre qu'une planification détaillée optimisée ne peut pas être lancée pour n'importe quelle durée de simulation. La durée d'obtention de résultats deviendrait rédhibitoire.

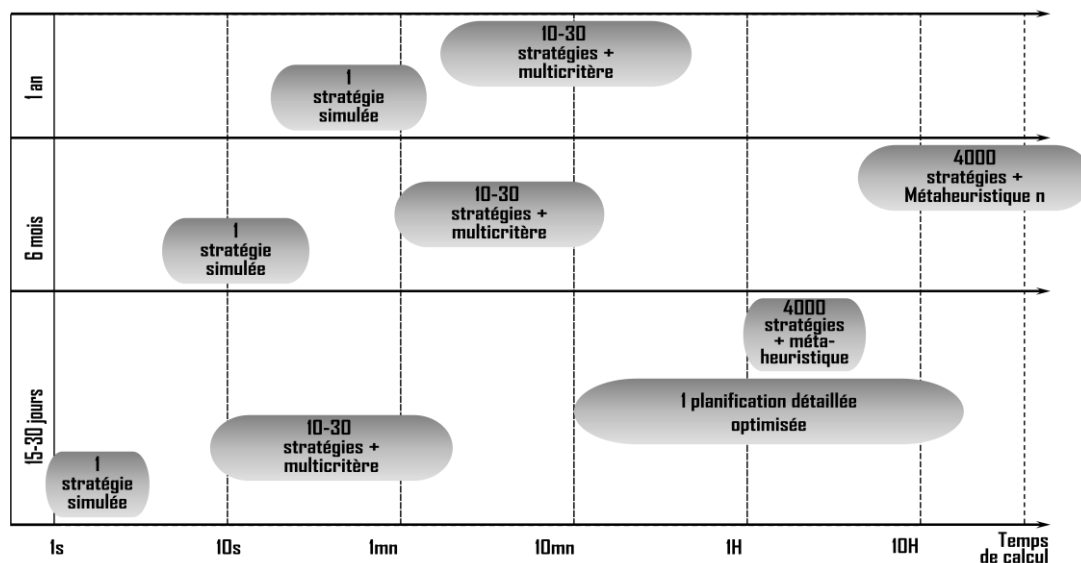


Figure 68: Délai d'obtention des résultats selon l'ampleur des tests réalisés

En outre, le potentiel du système de pilotage proposé est très vaste. Il ne se limite pas à la planification ou l'ordonnancement de la production. C'est l'arbre des objectifs établis et la priorité accordée par l'entreprise à chaque objectif qui ont dicté l'exploitation faite dans ce travail du système de pilotage souple. Son champ d'application est en vérité beaucoup plus étendu.

Bien que les résultats n'aient pas été présentés, d'autres actions de pilotage ont été éprouvées et ont permis d'améliorer l'outil de production de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine. Citons, par exemple, l'étude du niveau de coefficient de sécurité défini par l'entreprise pour l'opération de décapage ou le dimensionnement du parc de ressources auxiliaires et leur incidence sur la performance du système de production

Dans le système de pilotage souple, toutes les précautions ont été prises afin de veiller à ce que l'ensemble des décideurs œuvre à l'atteinte de l'objectif stratégique de l'entreprise et de ses déclinaisons. Cependant, toute action de pilotage est susceptible d'avoir une répercussion sur les autres processus que celui ou ceux visés par l'action. Grâce au principe de la déclinaison des objectifs, ces répercussions sont relativement limitées. La section suivante aborde cette question.

2.6. INCIDENCE DE LA MISE EN ŒUVRE DES ACTIONS DE PILOTAGE SUR L'ENSEMBLE DU SYSTEME DE PRODUCTION

Mener des actions de pilotage de large spectre plutôt que de privilégier des actions locales pointues est la tactique de pilotage choisie par l'entreprise. Bien que leur mise en place soit plus longue à réaliser, ce cas de figure s'est révélé très efficace comme l'ont montré les résultats présentés. L'influence des actions déployées sur le système de production est incontestable tant dans l'amélioration de la performance globale de l'entreprise que dans l'économie du temps de réalisation de l'ordonnancement de la production.

Si l'influence des actions de pilotage déployées n'est pas toujours directement palpable sur l'ensemble des objectifs opérationnels, y compris les objectifs non déployés des processus de la zone de pilotage, un ensemble d'interactions est susceptible d'être mis en évidence.

L'incidence sur diverses variables d'action telles que, pour le processus de transformation-production, la réduction de la durée et du nombre de setups, l'augmentation de la disponibilité du personnel et évidemment l'amélioration du pilotage de l'atelier est plus qu'évidente. Le problème de l'indisponibilité de matière est également en partie résolu par le travail mené pour l'atteinte des objectifs de gestion prévisionnelle via une meilleure gestion des ressources auxiliaires.

Bien que le développement durable n'ait pas été l'élément directeur du système de pilotage mis en place, les actions de pilotage menées ont indirectement eu une incidence sur son amélioration. En facilitant et en accélérant la réalisation de la tâche du responsable de production, le système de pilotage souple lui permet de libérer une partie de son temps de travail et de le consacrer à la tenue de cercles de qualité guidés par un objectif de développement durable insufflé par le groupe ArcelorMittal. Leurs réflexions sont essentiellement destinées à :

- accroître le niveau de sécurité de l'environnement de travail des opérateurs ;
- réduire l'impact des nuisances de la production sur l'environnement par la définition, par exemple, d'un coefficient de sécurité de décapage de niveau plus faible ;
- améliorer la rentabilité des postes de travail par l'accroissement de leur production sur une période donnée, réduisant, de ce fait, le coût des opérateurs, du chauffage, de l'électricité... ramené à la tonne de produit ;
- optimiser les expéditions de produits compte tenu des moyens de transport incontournables des produits.

En ces temps de crise financière, l'objectif stratégique de réduction des coûts de production n'a pas perdu de sa suprématie. Celle-ci s'est, au contraire, encore renforcée. L'entreprise ArcelorMittal Fontaine a été frappée par un ralentissement flagrant de la demande. C'est une des raisons pour lesquelles le paramétrage 3 de la méthode d'aide à la décision *Prométhée* a été établi. Dans ces circonstances, le système de pilotage souple de la performance prend évidemment tout son essor. Outre l'intérêt, engendré par les actions de pilotage activées, de la minimisation du coût de production, de la réduction du délai total de production et de l'intégration dans le planning de production des commandes imprévues, il facilite l'organisation de la production de manière à réduire le nombre de pauses nécessaires à sa réalisation et libère les opérateurs d'une partie de leur charge de travail. Il convient d'utiliser, à bon escient, ce temps disponible. Celui-ci peut être mis à profit pour la mise en œuvre de nouvelles actions de pilotage complémentaires à celles en cours visant notamment à la mise en place de plans de formation difficiles à planifier dans des circonstances normales de fonctionnement. L'enrichissement et le perfectionnement des compétences des opérateurs auraient pour principal objectif de renforcer l'effet des actions de pilotage en cours par la fluidification de la production et l'enseignement des manipulations de maintenance de premiers niveaux afin de limiter le nombre d'arrêts intempestifs de la production.

De manière générale, le système de pilotage souple est capable de faciliter la mise en œuvre d'actions de pilotage indépendantes des actions en cours et en fin de compte, de rentabiliser ce temps d'inoccupation de l'outil de production. La mise au point de produits innovants ou l'organisation de cercles de qualité actifs sont deux autres moyens de faire face à la crise et d'influencer la reprise de la production.

3. LIMITES DU PILOTAGE SOUPLE

Le système de pilotage souple de la performance a dévoilé sa puissance et sa robustesse dans l'application réalisée au sein de l'entreprise-partenaire. Cependant, celui-ci ne peut révéler son véritable potentiel que si un ensemble de conditions sont réunies. Elles concernent les ressources humaines, le système d'information de l'entreprise et l'existence d'une stratégie de développement. Cette dernière est à la base du système de pilotage et indispensable à son fonctionnement. Néanmoins, les deux autres ne sont pas des pré-requis à son développement ou à son utilisation mais leur satisfaction garantit une facilité d'exploitation, un certain niveau de qualité de résultats et une rapidité d'obtention de ceux-ci.

3.1. LA NECESSAIRE IMPLICATION ET PRISE EN COMPTE DES RESSOURCES HUMAINES

L'aspect humain est primordial dans toutes démarches d'amélioration. Il peut être vu au travers de l'implication de la direction, d'une part, et de l'adhésion de tous, d'autre part. Sans la prise en compte du facteur humain, toute démarche d'amélioration est vouée à l'échec [Dupuy, 2005].

Le pilotage de la performance nécessite la mise en place continue de démarches de progrès. L'intégration du bien-fondé du pilotage et de ses apports tant pour l'entreprise que pour son personnel est donc essentielle à sa réussite. Comme nous l'avons montré dans les chapitres précédents, le pilotage est le seul système capable de gérer la performance telle qu'actuellement définie et de garantir la pérennité et la compétitivité de l'entreprise.

3.1.1. IMPLICATION DE LA DIRECTION, PREMIÈRE CONDITION DE SUCCÈS

S'il est évident que la réussite de la mise en place et de l'exploitation d'un système de pilotage de la performance repose sur le pouvoir de conviction de la direction de l'entreprise, il est nécessaire que celle-ci indique le chemin à suivre et ne se contente pas de prêcher la bonne parole à ses employés. Elle doit montrer l'exemple en pilotant les processus directement sous sa responsabilité d'une manière similaire. La norme ISO 9000 version 2000 consacre d'ailleurs un chapitre complet à la responsabilité de la direction [Dupuy, 2005].

De multiples sondages et enquêtes confirment que l'implication ou l'absence d'implication de la direction joue un rôle prédominant sur le succès ou l'échec de la mise en œuvre d'une démarche d'amélioration [Pillet & Maire, 2004].

Les actions de pilotage répondent à un réel besoin d'évolution de l'entreprise et doivent amener des changements progressifs et profonds. Le pilotage de la performance doit donc perdurer dans le temps et pour y parvenir, l'engagement de la direction également.

Le rôle de la direction consiste en grande partie à faire partager son enthousiasme pour le développement et l'exploitation d'un système de pilotage à l'ensemble des ressources humaines de l'entreprise et à les convaincre d'y prendre une part active, seul gage de réussite de ce projet.

3.1.2. ADHÉSION ET PARTICIPATION ACTIVE DU PERSONNEL, SECONDE CONDITION DE SUCCÈS

De manière générale, toute action de pilotage nécessite une adhésion et une implication forte de l'ensemble des ressources humaines sans lesquelles le succès de la démarche de progrès est compromis. Quelle que soit l'importance du changement mis en œuvre, chaque personne impliquée doit y participer sans économie d'efforts. Les habitudes de travail sont modifiées et les avantages pour le personnel pas toujours immédiats. Il est évident que changer ses habitudes et ne pas craindre les implications futures ne sont pas des comportements humains naturels. Pour dépasser ces résistances aux changements, il est primordial que les efforts déployés par chacun et les résultats obtenus soient reconnus.

La conception du système de pilotage mis en place contribue largement à l'adhésion du personnel. Il restreint les pistes d'amélioration par le partage et la définition des objectifs à poursuivre et facilite l'identification des actions de pilotage les plus porteuses pour l'entreprise. En minimisant les risques d'efforts consentis sans résultats à la clé et en garantissant un choix judicieux, le système de pilotage assure un certain niveau de succès lors de la mise en œuvre des actions de pilotage ce qui est générateur de motivation pour le personnel.

Toutefois, la recherche de la performance globale pousse dans certain cas, le responsable d'un centre de décision à réduire sa performance, temporairement ou non, pour améliorer celle du système piloté dans son ensemble. Cette vision globale de la performance est difficile à appréhender et à accepter par les acteurs ; elle peut également constituer un frein à l'adhésion totale du personnel au système de pilotage de la performance. Un réel effort de communication doit donc être mené par la direction pour atténuer ou mieux éliminer ce problème. Le plan d'actions de pilotage établi doit, quant à lui, veiller à minimiser les inconvénients inhérents à son application. Afin d'illustrer nos propos, prenons l'exemple de la mise en œuvre d'une maintenance autonome comme première phase d'implantation d'une démarche de *Totale Productive Maintenance* – TPM [Kodali & Chandra, 2001], [McKone *et al.*, 2001].

La mise en place d'une TPM débute par la formation des opérateurs de production à la réalisation des tâches basiques de maintenance. Celle-ci, pour être efficace, est dispensée par l'équipe de maintenance.

L'effet positif produit par la maintenance autonome sur la disponibilité du personnel de maintenance ne sera, par conséquent, pas immédiat [Thun, 2006]. De plus, la formation est réalisée pendant les heures de travail des opérateurs de production ce qui a un impact non négligeable sur leur charge de travail et l'efficacité globale du système de production. J-H. Thun [Thun, 2006] a confirmé ce phénomène. Son étude montre que les premières périodes de temps qui suivent la mise en œuvre de la maintenance autonome sont caractérisées par un effondrement du taux de rendement synthétique de l'entreprise suivie d'une phase d'amélioration de ce taux. Il s'agit de l'effet « *worse before better effect* ». Afin de gérer au mieux l'indisponibilité des opérateurs et en limiter au maximum l'incidence négative sur la performance du système de production, le plan d'actions élaboré consiste à établir un plan de formation et à le prendre en compte dans la conception de l'ordonnancement des tâches de production. Par cet exemple, nous soulignons également que le rôle du système de pilotage est d'autant plus important lorsque les actions de pilotage concernent la gestion de ressources communes à plusieurs processus.

Il est également utile de souligner l'importance du rôle joué par les acteurs du pilotage dans l'évaluation et l'appréciation de la performance réalisée par les centres de décision qu'ils dirigent. Leur niveau d'implication et de compréhension du système de pilotage de la performance influence la qualité de la décision prise par chacun d'eux. La construction du système de pilotage, tel que nous le proposons, contribue, toutefois, à canaliser les objectifs et les voies de progrès suivies par les acteurs afin d'éviter toute dispersion des efforts ou que chacun travaille pour sa réussite personnelle.

L'effet positif des premiers actes de pilotage posés, visibles par l'amélioration de la performance globale de l'entreprise, combiné à un soutien franc de la direction constituent des incitants majeurs à l'implication des acteurs. Les changements culturels induits par la direction renforcent l'esprit d'équipe et le sentiment d'appartenance à l'entreprise. Le personnel devient plus autonome et responsable. Des équipes de travail peuvent se constituer afin de gérer de façon autonome un processus ou une partie de celui-ci. Le groupe est responsable de l'organisation du processus, des opérations qui s'y déroulent, des résultats obtenus et des relations avec les autres processus. Le niveau d'initiative des employés et la flexibilité de l'organisation se voient grandement accrus par ce mode de fonctionnement [Dupuy, 2005].

Une fois conscients du bénéfice que l'entreprise et eux-mêmes peuvent tirer de leurs efforts, les acteurs se lancent dans la métamorphose de l'entreprise.

Toutefois, pour y parvenir, les décideurs doivent disposer d'informations fiables et pertinentes afin de déterminer sur quoi agir, comment agir, quand agir et à qui revient la responsabilité de l'action. L'appui d'un système d'information adapté à leurs besoins est devenu indispensable. Utilisé jusqu'il y a peu principalement à des fins opérationnelles, le système d'information joue un rôle fondamental dans la conquête de nouvelles opportunités pour l'entreprise, l'accroissement de sa compétitivité, de sa réactivité et de son agilité.

3.2. L'IMPORTANCE DU SYSTEME D'INFORMATION

Piloter un système de production consiste évaluer une situation et décider de son amélioration. Tout pilote doit donc disposer, au moment opportun, de l'information, fiable, pertinente et essentielle à la bonne gestion de son centre de décision et à l'amélioration continue de ses performances. Or, les informations utiles à la valorisation des outils de pilotage que sont les indicateurs de performance sont généralement dispersées dans diverses applications de gestion de l'entreprise. Les données y sont rarement structurées ou codifiées de la même manière. Les indicateurs fournis par les différentes applications n'y ont pas toujours la même signification ou ne sont pas toujours établis selon les mêmes règles. Leur utilisation est, par conséquent, souvent complexe voire impossible pour l'entreprise.

Bénéficier du soutien d'un système d'information centré sur les préoccupations du décideur et assurant la collecte, le stockage et la restitution des informations opérationnelles et décisionnelles dans la forme et au moment souhaités est donc un atout précieux. Le système d'information a, en effet, pour missions de gérer les gammes et nomenclatures, le degré de connaissance de l'état du système à chaque instant et le degré d'anticipation du travail à venir [Giard *et al.*, 2000]. S'il est de qualité moindre, les informations affichées par les tableaux de bord réels et virtuels du système de pilotage de la performance le sont également. Comment garantir une prise de décision optimale et l'amélioration de la performance globale dans ces circonstances ?

L'implication du système d'information dans la prise de décision et la communication au sein de l'entreprise a, d'ailleurs, été mise en exergue dans diverses de ses définitions [Alter *et al.*, 1985 cité dans [Rowe & Marciniak, 1997]] [Peaucelle 1997]. Les changements survenus dans l'utilisation des technologies de l'information et de la communication justifient en grande partie la place privilégiée occupée par le système d'information dans le management des organisations [Reix, 2002]. Le passage de la recherche de l'efficacité par l'automatisation de processus répétitifs à une recherche d'efficacité et d'efficacités au niveau stratégique explique ce phénomène [Marsal & Travaillé, 2006]. Le système d'information n'est plus une simple composante technique de l'entreprise mais fait partie intégrante de sa stratégie dans une perspective d'alignement.

L'évolution de l'environnement en termes de concurrence régnant sur les marchés et d'exigences de la clientèle s'est vue renforcée et même accélérée par le développement rapide des technologies de l'information et de la communication qui permettent une relation directe entre les entreprises, entre les entreprises et leurs clients et entre les entreprises et leurs fournisseurs [Saharidis, 2006]. Si, grâce à ces technologies, l'entreprise communique plus aisément avec le monde extérieur, elle communique également plus facilement et plus rapidement en son sein. Toutefois, si la vitesse d'obtention et d'échange des informations s'est accrue, les volumes à traiter, interpréter et diffuser ont également augmenté et *a contrario*, la durée de vie et l'utilité des informations se sont abrégées.

Déjà en 1967, alors qu'Internet n'était qu'à son stade embryonnaire, R. Ackoff [Ackoff, 1967] soulignait que, pour le décideur, la difficulté consistait à ne pas se noyer dans une information surabondante plutôt que de faire face à une pénurie. Si le décideur souhaite remplir son rôle avec efficacité, il doit donc impérativement sélectionner les données à recueillir, les filtrer, les organiser et les synthétiser en bases de données à partir desquelles il lui sera possible de dégager les informations utiles à la prise de décision [Guerra, 2007].

Ces observations renforcent l'idée que la gestion du système piloté et de son système de pilotage de la performance nécessite le développement d'un système d'information de pointe qui exécute l'ensemble de ces activités. Celles-ci sont partagées entre deux rôles. Le système d'information est à la fois *capteur* et *fournisseur* d'informations.

En tant que *capteur d'informations*, il vise à répertorier toutes les informations utiles à la prise de décision. La pertinence d'une information est jugée par le preneur de décision sur sa capacité à accroître les chances qu'il prenne une bonne décision et à limiter les risques qu'il ne se trompe. En effet, cet élément de connaissance qu'est l'information doit permettre, dans une situation donnée ou dans l'évolution d'une situation, de mieux cerner les risques, de mieux les mesurer, les appréhender ou les réduire [Guerra, 2007]. Deux difficultés inhérentes à cette fonction du système d'information sont de fiabiliser le captage d'informations et de déterminer le niveau d'exhaustivité à rechercher.

Dans le cadre de sa seconde fonction de *fournisseur d'informations*, le système d'information alimente en informations pertinentes les différents processus de l'entreprise, les éventuels systèmes d'informations externes, le système de tableaux de bord impliqués dans le pilotage de l'entreprise... L'information doit être présentée de manière compréhensible et facilement interprétable pour l'utilisateur. Des outils performants d'accès aux données et de visualisation facilitent et accélèrent l'obtention des informations désirées.

Les sources d'informations variées, la diversité et la complexité des structures de données, les accès concurrentiels aux bases de données, le nombre croissant d'utilisateurs ou encore le besoin d'interopérabilité sont un échantillon de difficultés couramment rencontrées au sein d'une entreprise. La mise en place d'un système d'information décisionnel est capable d'apporter une réponse à ces éléments. Celui-ci, également appelé *Decision Support System* ou *Business Intelligence* [Marakas, 1999] [Turban *et al.*, 2010], vise à faciliter toute prise de décision au sein de l'entreprise par une exploitation appropriée de ses données. Elle facilite la compréhension du fonctionnement actuel de l'entreprise et soutient l'élaboration des actions d'amélioration pour un pilotage éclairé de l'entreprise.

Dans le cadre d'un système de pilotage de la performance, le système d'information joue un rôle prépondérant dans trois domaines [Mollard, 2006] :

- L'aide à la définition des objectifs, à leur mémorisation, leur évolution et leur utilisation à des fins de comparaisons, en tant que référent lors de l'évaluation de la performance par exemple ;

- La collecte et la mise à jour des informations pertinentes, précises et facilement mobilisables telles que les mesures physiques réelles et virtuelles impliquées dans la composition des indicateurs ;
- Le suivi des actions et l'évaluation de leur efficacité et de leur efficacité réalisées par l'alimentation des tableaux de bord du système de pilotage.

Ces trois axes délimitent le périmètre fonctionnel du système d'information et génèrent plusieurs circuits d'informations décisionnelles. Ceux-ci intègrent différentes boucles de rétroaction qui autorisent notamment l'ajustement des objectifs induit par un retour d'information sur le résultat des actions, l'adaptation des objectifs suite à l'ajout ou la modification d'informations contribuant à la clarification des objectifs, l'intégration dans le système d'information de nouvelles données pertinentes obtenues lors de la réalisation d'actions de pilotage...

Le recours à un système d'information décisionnel présente plusieurs avantages. Citons notamment l'implémentation d'outils efficaces et faciles à utiliser, la réduction tangible des coûts d'exploitation, la qualité et la pertinence de l'information ou l'accroissement de la réactivité de l'entreprise.

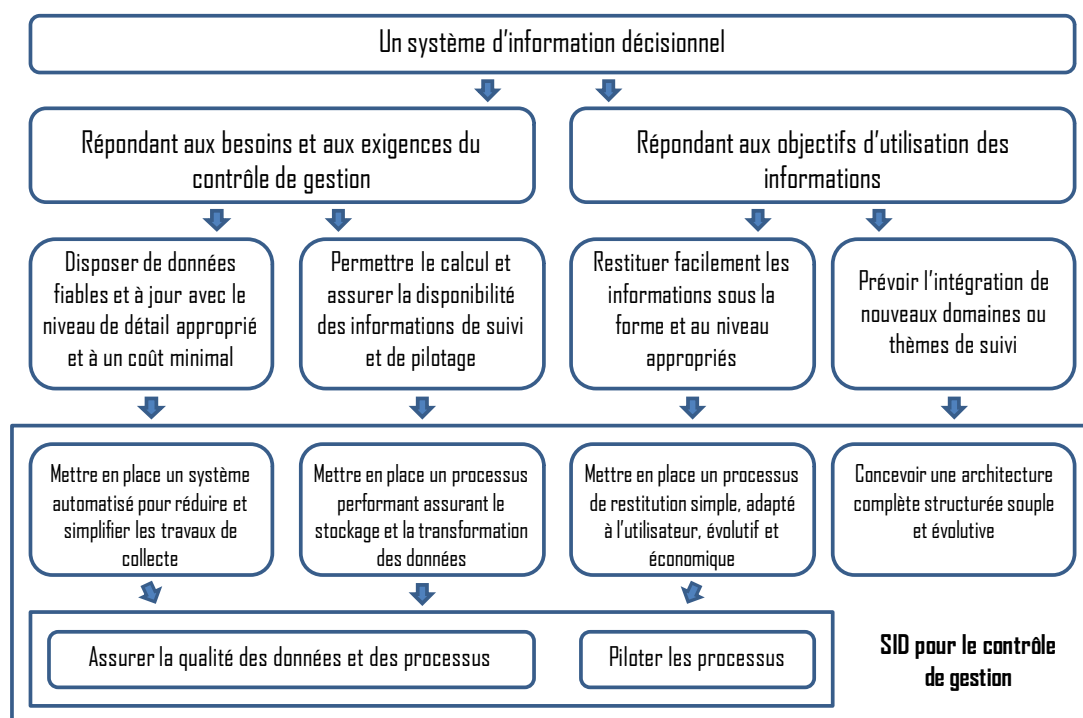


Figure 69: Caractéristiques d'un système d'information décisionnel pour le contrôle de gestion [Mollard, 2006]

Les caractéristiques d'un système d'information décisionnel dédié au contrôle de gestion et au pilotage de la performance sont reprises dans la Figure 69 et décrites par D. Mollard [Mollard, 2006]. Elles se déclinent des besoins fonctionnels les plus généraux aux actions plus détaillées attendues des processus à mettre en place. La conception du système nécessite de prendre en compte les besoins et exigences du système de pilotage et objectifs d'utilisation des informations.

Les aspects fondamentaux de ce type de système résident dans la fiabilité et l'efficacité de la collecte des données, la performance et la disponibilité de leur stockage, les modalités de leur restitution et l'évolutivité du système.

La réponse apportée par la démarche est la définition de processus formalisés. Les processus fondamentaux de la démarche sont la collecte des données, le stockage et le calcul des indicateurs et la restitution des indicateurs. Deux processus transverses complètent le système : la gestion des évolutions et la gestion de la qualité. A chaque processus correspondra un sous-système du système d'information décisionnel qui sera implémenté avec les solutions techniques choisies.

L'utilisation d'un système d'information et plus précisément d'un système d'information décisionnel dédié au pilotage de la performance assurent la restitution d'informations fiables, précises et pertinentes au moyen d'indicateurs structurés en tableaux de bord [Mollard, 2006]. Il contribue donc à une prise de décision rapide et aisée en vue de progresser vers les objectifs d'efficacité et d'efficience de l'entreprise.

Toutefois, pour que le mécanisme de pilotage se déroule sans anicroche, il est évident que la stratégie de l'entreprise doit avoir été préalablement définie et déclarée.

3.3. L'INCONTOURNABLE STRATEGIE

La logique de pilotage souple établie dans le cadre de cette recherche doctorale suppose l'existence d'une stratégie d'évolution au sein de l'entreprise.

S'il semble évidemment que toute entreprise doit, pour s'assurer un fonctionnement efficace et une croissance digne de ce nom, définir les objectifs stratégiques qu'elle poursuit, l'expérience montre que ceux-ci ne sont pas toujours clairement arrêtés et partagés par l'ensemble des décideurs de l'entreprise. En dépit de ce constat, la définition de la stratégie ou plus précisément, la manière de procéder ne fait pas partie de ce travail de recherche. Quelques concepts en lien direct avec la notion de stratégie sont, néanmoins, abordés dans cette section.

La conception dominante de la notion de stratégie concerne l'acquisition et la maîtrise de ressources et de compétences. Celles-ci sont destinées à faciliter la différenciation de l'entreprise vis-à-vis de ses concurrents [Garibaldi, 2001], le déploiement de ses activités, l'innovation ou l'accroissement de sa flexibilité afin de s'adapter aux évolutions de l'environnement ou aux stratégies de ses concurrents.

Selon [Lorino & Tarondeau, 2006], la stratégie, mise en œuvre par des processus stratégiques, traduit en actions des intentions finalisées. Les processus stratégiques sont, d'une part, des processus critiques qui ont un impact significatif sur une performance stratégiquement sensible et peuvent contribuer à saisir une opportunité environnementale ou à parer une menace environnementale. D'autre part, ils sont également créateurs de valeur grâce au déploiement organisé et planifié de combinaisons de ressources, d'ajustements dans le temps, c'est-à-dire de compétences d'assemblage, de coordination, de synchronisation, de mise en œuvre, d'adaptation.

Comme évoqué dans le chapitre 3 de ce travail, la définition du périmètre de pilotage nécessite la sélection des processus les plus fortement impliqués dans la réalisation de l'objectif stratégique prioritaire auquel se consacre le système de pilotage souple de la performance. De par son mode de fonctionnement, le pilotage souple agit en tant que soutien à la création de valeur au sein de ces processus et en facilite l'amplification.

L'application de la démarche de pilotage souple au sein de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine en constitue un parfait exemple. Les actions de pilotage déployées ont contribué à une meilleure utilisation des différentes ressources du système de production mais surtout à renforcer la connaissance du système de production et le savoir-faire du responsable de production en lui procurant les outils adéquats pour faciliter la prise de décision, la remise en cause de celle-ci et son adaptation aux évolutions de l'environnement.

La stratégie de l'entreprise est l'élément de départ de la réflexion sous-jacente à la mise en place et à l'exploitation du système de pilotage souple de la performance. Sans sa maîtrise, le mécanisme de déclinaison d'objectif stratégique en objectifs opérationnels et en variables d'action ne peut s'exécuter et l'amélioration continue déclenchée.

4. CONCLUSIONS DU CHAPITRE 5

Le système de pilotage souple de la performance a facilité le déploiement des objectifs stratégiques de l'entreprise ArcelorMittal Fontaine en actions d'amélioration appropriées. Dictée par les caractéristiques de l'entreprise et de son carnet de commandes, la philosophie adoptée lors de la mise en œuvre de ces actions a conduit à l'élaboration d'un mécanisme de gestion prévisionnelle de la production. Le système élaboré en gère donc les deux facettes principales, la planification-programmation et l'ordonnancement, avec un certain niveau de flexibilité tenant compte du contexte dans lequel la prise de décision doit être menée.

Afin que la décision s'effectue dans le laps de temps dicté par le contexte, une approche d'aide à la décision multi-modèle dédiée à la planification précède et alimente une approche d'aide à la décision multi-modèle dédiée à l'ordonnancement. La première est composée d'une succession de deux modèles mathématiques et la seconde d'une combinaison de méthodes sérielles, d'un modèle de comportement et de modèles d'optimisation.

Ce modèle de planification-ordonnancement calque son fonctionnement sur celui du système de pilotage. Plusieurs boucles de rétroaction se succèdent donc afin de stopper le mécanisme dès l'apparition d'un résultat insatisfaisant ou de le poursuivre afin de parfaire, selon le temps disponible de l'utilisateur, la qualité des résultats obtenus.

La première partie de ce modèle permet d'affiner les informations émanant de l'outil de planification de l'entreprise par la définition d'un programme de production intégrant les postes-goulots et la gestion de leurs ressources auxiliaires. Le programme établi est, par conséquent beaucoup plus précis que le planning de production et facilite l'exploitation des informations qu'il contient.

Afin de faire face à un carnet de commandes fortement lié aux variations de son environnement socio-économique, le module d'ordonnancement a été conçu sous la forme d'un panel de stratégies d'ordonnancement. Le responsable de production peut, de cette manière, simuler l'application de plusieurs méthodes d'ordonnancement et choisir celle qui, en fonction de l'importance qu'il accorde aux différents indicateurs de performance de son tableau de bord, représente le meilleur compromis.

Les stratégies d'ordonnancement, sélectionnées et testées par le décideur, sont évaluées sur base de critères classiques en ordonnancement tels que le *Makespan*, le nombre de commandes en retard, la durée moyenne du retard, l'avance moyenne des commandes...

Grâce à l'intégration de leur gestion dans le modèle de simulation, toute pénurie de ressources auxiliaires est prise en compte lors de l'évaluation des stratégies d'ordonnancement. Des indicateurs liés à l'utilisation des ressources auxiliaires sont intégrés dans le tableau de bord.

En dehors des indicateurs de performance opérationnels, le système de pilotage mis au point propose également à l'entreprise un calcul dynamique des coûts de production. L'examen de ceux-ci montre qu'ils sont influencés par la stratégie d'ordonnancement éprouvée. Ces coûts dépendent notamment des postes de travail impliqués dans la fabrication des commandes, de l'ordre dans lequel celles-ci ont été réalisées et des sanctions entraînées par le manque de ressources auxiliaires. Par l'introduction de ce critère au sein son tableau de bord, le responsable de production dispose donc de toutes les informations de nature opérationnelle mais également financière, nécessaires à une prise de décision globale et multicritère.

Les trois modèles hybrides d'ordonnancement affichent des caractéristiques très distinctes. Le premier, l'Hybride sériel, est très rapide mais peu robuste et performant face à des périodes fortement chargées en termes de nombre de commandes à réaliser, de tonnage à produire et d'hétérogénéité des produits. Le second modèle, l'Hybride lexicographique nécessite un temps plus important pour fournir des résultats de meilleure qualité, et ne s'applique que pour des problèmes où il est possible de classer strictement les critères à optimiser suivant leur importance relative. Il est également très sensible, voire trop sensible, aux infimes variations des critères et provoque des changements intempestifs de stratégies. Le dernier, l'Hybride multicritère, est aussi efficace que le second mais offre au décideur la possibilité de donner une égale importance à plusieurs critères. En outre, ce modèle permet l'introduction de gradations et d'incertitudes dans les critères grâce à la méthode d'aide à la décision multicritère utilisée en son sein.

Cependant, les modèles incluant une optimisation, les Hybrides lexicographique et multicritère, nécessitent idéalement, compte tenu de leur caractère stochastique, plusieurs utilisations afin de dégager des résultats moyens et de déterminer la stratégie à appliquer. Il est, néanmoins, nécessaire de rester vigilant face aux comparaisons de valeurs moyennes sans tenir compte de leur variabilité. Afin de confirmer les résultats obtenus au cours de l'expérimentation menée, un modèle d'analyse statistique est donc proposé à l'utilisateur. Il regroupe un ensemble de tests statistiques paramétriques et non paramétriques activés en fonction des besoins de l'analyse. Ils sont destinés à confirmer ou infirmer l'existence de différences significatives entre les stratégies d'ordonnancement en termes de performance.

Les résultats obtenus lors de l'exploitation de la méthodologie de planification-ordonnancement sont encourageants et ont fait l'objet de plusieurs publications parmi lesquelles [Dhaevers, 2005 ; 2006 a ; 2006 b], [Duvivier *et al.*, 2007], [Roux *et al.*, 2006], [Roux *et al.*, 2008 a ; 2008 b] et [Artiba *et al.*, 2011]. Cependant, la qualité des résultats obtenus et leur vitesse d'obtention dépend notamment du niveau de réalisation de trois éléments : l'implication du personnel, un système d'information efficace et une stratégie d'entreprise clairement définie.

Pour assurer le succès du système de pilotage souple, il est indispensable que la direction soit convaincue de l'intérêt de mettre en place un système de pilotage de la performance et qu'elle soit capable de partager son enthousiasme avec l'ensemble de son personnel. Dans tout processus de décision, le personnage clé est l'acteur-décideur qui a la lourde tâche d'interpréter la performance réalisée par l'entreprise et de choisir l'action de progrès à déclencher en cas de performance insuffisante ou de possibilité d'amélioration.

Le système d'information doit également être à la hauteur du projet pour contribuer à sa réussite. La disponibilité et l'actualisation des informations pertinentes à la prise de décision sont, bien évidemment, indispensables mais ne font cependant pas l'objet de cette recherche.

De même, la mise en œuvre d'un système de pilotage, quelles qu'en soient la structure et l'organisation, ne peut être efficace que si une stratégie appropriée ait été préalablement définie. Dans notre recherche, nous présumons de son existence.

La réunion de ces trois pré-requis et condition multiplie indéniablement l'efficacité et l'efficience du système de pilotage souple de la performance.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES & PERSPECTIVES

CONCLUSIONS GÉNÉRALES & PERSPECTIVES

De nos jours, une concurrence effrénée oblige les entreprises à optimiser leurs flux internes et externes, à interfacer et intégrer leurs systèmes d'information et à synchroniser leurs flux de produits, d'informations et de décisions. Celles qui réussissent sont-elles pour autant considérées comme performantes ? Autrement dit, suffit-il d'avoir une maîtrise de son système de production pour faire face à la volatilité croissante de la demande, à l'instabilité des marchés et à la versatilité de l'environnement socio-économique ? La réponse à de cette question n'est pas si évidente et constitue la motivation première de notre recherche centrée sur le pilotage de la performance des systèmes de production.

Si la maîtrise de son système de production constitue une des clés du problème de la performance d'une entreprise, la pérennisation de cette maîtrise nécessite qu'un cadre structurel soit défini afin de faciliter l'évaluation du niveau de maîtrise ou de performance atteint, de s'assurer du maintien de ce niveau et de tenter de l'améliorer continuellement. Mais maîtriser son système de production et surtout le rendre de plus en plus performant va obliger l'entreprise à poser des diagnostics et à identifier la meilleure source de progrès, ce qui n'est pas chose aisée sans un minimum d'organisation !

D'une part, la mesure et l'appréciation de la performance accomplie s'est fortement compliquée au fur et à mesure de l'évolution des exigences de la clientèle, des actionnaires ou encore des autorités publiques auxquelles l'entreprise est soumise. Aujourd'hui, l'évaluation de la performance doit impérativement reposer sur une vision plurielle de celle-ci. Progressivement, la performance monocritère du système taylorien a, en effet, laissé la place à une performance globale, multicritère et pérenne dont l'évaluation doit gérer la multiplicité de ses facettes : multicritère, multi-acteur, multi-entreprise, multi-horizon et multi-niveau. La mise en place, l'exploitation et la mise à jour d'un système d'évaluation destiné à mesurer la performance réalisée et à la situer eu égard aux objectifs fixés se révèle donc indispensable mais complexe.

D'autre part, pour s'améliorer continuellement, l'entreprise est contrainte d'identifier ses dysfonctionnements et ses faiblesses, d'en analyser les causes et d'élaborer des solutions. Ces dernières consistent en général à appliquer des actions de correction lorsque les objectifs préalablement définis ne sont pas atteints ou des actions d'amélioration lorsqu'une source de progrès potentiel a été détectée. Les circonstances actuelles obligent, en effet, toute entreprise à exiger le meilleur d'elle-même pour rester compétitive et rentable.

Afin d'assumer avec brio ces rôles complémentaires d'évaluation et d'amélioration de la performance, l'entreprise a, sans aucun doute, besoin de recourir à un outil de pilotage de la performance adapté à ses

besoins. De manière générale, un tel mécanisme consiste donc à contrôler des écarts entre la performance réalisée et les objectifs fixés, à réduire ou éliminer les écarts constatés par la mise en œuvre d'actions de pilotage et à déterminer la ou les actions pertinentes à appliquer prioritairement.

Un système de pilotage doit donc faciliter toute prise de décision. Par son utilisation, le décideur est en mesure de prendre toutes les décisions utiles au bon fonctionnement du système qu'il pilote afin que ce dernier atteigne les objectifs qui lui sont attribués. En outre, de par sa conception, le système de pilotage doit veiller à garantir la cohérence des efforts consentis par les différentes entités de l'entreprise pour atteindre les objectifs stratégiques.

Si la littérature recense divers systèmes de pilotage de la performance présentant un ensemble de qualités essentielles à leur efficacité, ceux-ci ne garantissent pas au décideur que ses prises de décision répondent adéquatement aux besoins de l'entreprise. Nous estimons, en effet, que le décideur doit disposer impérativement d'un cadre méthodologique qui lui permette de structurer sa prise de décision dans une démarche globale d'amélioration continue et surtout, d'évaluer avant implémentation, les impacts positifs ou négatifs du déploiement des actions envisagées sur la performance globale de son système. C'est ce que nous proposons sous l'intitulé de pilotage souple.

Le système de pilotage souple de la performance a été conçu en tant qu'outil d'aide à la décision destiné à guider l'entreprise vers l'atteinte de ses objectifs stratégiques. Il vise une amélioration continue de la performance globale de l'entreprise par la conception et la réalisation de plan d'actions de pilotage. Il est composé de deux boucles de pilotage complémentaires. La première, appelée boucle de décision, travaille directement avec le système réel de production. Elle est une réplique de la vision classique d'un système de pilotage. La seconde boucle, appelée boucle de pilotage virtuel, utilise une représentation du système réel. Son rôle consiste à éprouver les alternatives de pilotage de manière à déterminer le potentiel de progrès qu'elles sont susceptibles d'apporter et d'identifier l'action la plus pertinente pour le système réel. La boucle de pilotage virtuel constitue l'une des originalités de notre approche du pilotage de la performance.

Le champ d'application du système de pilotage proposé concerne des organisations de taille raisonnable, d'âge moyen, affichant un niveau de complexité certain et arborant un service technique peu développé. Les degrés de liberté subsistant dans ces systèmes de production offrent l'opportunité au pilotage souple de révéler toute son efficacité. De même, la confrontation à un environnement dynamique est un facteur supplémentaire d'intérêt pour la mise en place de ce système garant d'une réaction rapide et adaptée aux mutations de l'environnement.

Le système de pilotage de la performance tel que nous l'avons conçu vise un pilotage technique, *a priori* ou *réactif par anticipation* ou *a posteriori*, applicable essentiellement en phases d'exploitation et plus précisément en matière de gestion prévisionnelle.

La mise en place d'un tel système nécessite que les différentes parties prenantes réussissent à traduire correctement la stratégie en objectifs applicables à chaque niveau décisionnel. Cette déclinaison de la stratégie en objectifs élémentaires constitue le fondement même du système de pilotage souple. C'est, en effet, à partir de la double décomposition, structurelle et causale, que les mesures de performance sont choisies, que l'évaluation de la performance est réalisée et que les alternatives de pilotage sont identifiées. Il revient, ensuite, au décideur concerné de déterminer parmi les possibilités d'action celle qui représente la meilleure alternative d'amélioration de la performance globale en les testant préalablement au sein de la boucle de pilotage virtuel. Enfin, il convient de tirer profit de l'amélioration dégagée par l'action appliquée au système piloté en l'intégrant dans le système de pilotage ce qui, éventuellement, déclenchera une révision de celui-ci.

Le système de pilotage souple requiert, pour sa mise en œuvre et son exploitation, la réalisation de cinq activités de pilotage. Lorsque qu'une remise en question du système de pilotage s'impose, deux activités sont prévues à cet effet.

La première étape de mise en place d'un système de pilotage de la performance recourt à l'utilisation d'un outil de modélisation de la connaissance pour comprendre le système à piloter et rassembler au sein du *modèle de connaissances* l'ensemble des informations utiles au pilotage. Dans le Pilotage souple, le modèle de connaissances se décline selon quatre points de vue : les points de vue physique, logique, décisionnel et évaluation de la performance. Il présente la particularité de regrouper toutes les informations de

performance dans un sous-système particulier afin de s'assurer que celles-ci constituent l'élément central du système de pilotage souple et qu'elles sont organisées de manière cohérente.

Trois activités sont essentielles pour construire et structurer le module dédié à la performance. La première utilise un outil d'analyse causale pour décliner de manière cadrée la stratégie de l'entreprise en objectifs adaptés à chaque processus et niveau décisionnels. La seconde action définit les mesures de performance potentielles à utiliser pour refléter le degré de réalisation de chaque objectif. Les mesures physiques associées à chaque mesure de performance et le mécanisme d'agrégation utilisé sont également précisés. La dernière étape met en évidence, pour chaque objectif identifié, les variables d'action susceptibles d'améliorer le niveau de performance atteint.

Au cours de la seconde étape de la construction de l'architecture de pilotage, les informations de modélisation précédemment récoltées sont analysées afin d'identifier les dysfonctionnements de l'entreprise et de déterminer comment les résoudre. En vue de définir le plan d'actions à mettre en œuvre, sont établis sous leur forme tripartite (*objectif, mesure, variable(s)*), les indicateurs de performance qui composeront les tableaux de bord du système analysé et est arrêtée la priorité accordée aux actions de pilotage susceptibles de répondre aux besoins d'amélioration détectés.

La troisième activité de pilotage consiste à traduire en *modèles d'action* les actions de pilotage retenues. Après instanciation, les modèles choisis dans une bibliothèque via l'interface utilisateur de la plate-forme ou élaborés en fonction des besoins prendront place au sein de la boucle de pilotage virtuel. Les modèles de comportement qu'ils soient des modèles mathématiques ou issus de la technique de la simulation sont des composants incontournables. Outre l'opérationnalisation des variables d'action, ils ont pour objet de fournir au décideur une représentation dynamique et fidèle de son système réel. C'est à partir de cette représentation qu'il sera en mesure d'évaluer et de comparer différents scénarios de pilotage avant toute application sur le système réel. Les modèles de comportement jouent un rôle fondamental dans le système de pilotage souple de la performance. La réalisation de cette troisième activité de pilotage clôture la phase préparatoire du pilotage souple et enclenche sa phase d'exploitation.

L'exploitation de la boucle de pilotage virtuel et l'évaluation des actions de pilotage proposées sont réalisées dans le cadre de la quatrième activité de pilotage. La *boucle de pilotage virtuel*, élément incontournable du pilotage souple, utilise la représentation du système réel mise au point couplée à un ou plusieurs modèles d'action paramétrés. Elle alimente les modèles de résultats et plus précisément les mesures de performance contenues dans le tableau de bord associé à chaque action de pilotage testée.

La boucle de pilotage virtuel remplit quatre rôles complémentaires. Elle est, à la fois, un outil d'étude d'incidence de la mise en œuvre d'actions de pilotage, un outil de paramétrage des actions, un outil de sélection de l'action la plus prometteuse du panel testé et un outil didactique destiné à convaincre le personnel de la pertinence de l'action choisie.

Lorsque la boucle de pilotage virtuel est utilisée en tant qu'outil de sélection, elle classe, au moyen d'une méthode d'analyse multicritère, les résultats obtenus par les différentes alternatives testées afin d'identifier l'action à appliquer prioritairement sur le système réel. De par les caractéristiques de son paramétrage, la méthode multicritère apporte des nuances dans le classement des actions d'amélioration et absorbe également les incertitudes liées à l'acquisition, la synthèse des données ou encore aux aléas du processus de production. En outre, elle présente l'avantage de fournir des solutions offrant de bons compromis entre les objectifs bien souvent antagonistes de l'entreprise.

Le modèle de résultats propose également au décideur une démarche de validation statistique destinée à établir ou réfuter l'existence de différences significatives entre des solutions évaluées sur plusieurs critères ou indicateurs de performance lorsque celles-ci résultent d'une optimisation à caractère stochastique (mono- ou multicritère). Une fois la différenciation établie, le décideur trie les actions de pilotage et détermine, avec un certain niveau de confiance, celle qu'il convient d'appliquer. Une fois son choix arrêté, il déploie l'alternative choisie sur le *système réel*.

Une sixième activité de pilotage est susceptible d'être engagée par le décideur lorsqu'il juge décevants les résultats des actions testées au sein de la boucle de pilotage virtuel. La *reconfiguration* du système de pilotage a pour objectif de solliciter, à nouveau, le module d'analyse et de relancer la réflexion sur la sélection des objectifs à poursuivre et des variables d'actions à tester.

Lorsque les variables d'action testées n'améliorent pas de façon probante les résultats initiaux et que les tentatives de reconfiguration du système de pilotage ont avorté, une activité de pilotage de *révision* peut être initiée. La révision du système concerne les modèles de connaissance qui malgré toutes les précautions prises, peuvent contenir des informations de qualité insuffisante, souffrir d'une absence d'informations ou d'un écart entre réalité et simulation. De plus, au fil des évolutions du système piloté ou de son environnement, celui-ci ne risque de plus être en phase avec la reproduction du système réel de l'entreprise. L'activation de cette septième activité de pilotage relance donc la dynamique de pilotage du système de pilotage dans sa globalité.

Dans un souci de d'amélioration continue, notre démarche de pilotage capitalise au fil du temps les enseignements issus des actions menées pour faire face aux dérives des indicateurs. Cette capitalisation se fait actuellement, via l'activité de révision, par l'enrichissement progressif des diagrammes de type causes-effets proposés aux décideurs pour la déclinaison des objectifs et la définition des variables d'actions.

Le système de pilotage souple de la performance n'a évidemment pas la prétention de résoudre tous les problèmes de l'entreprise mais lui offre l'opportunité :

- d'améliorer la connaissance de son système de production ;
- de capitaliser la connaissance de son système de production et d'améliorer continuellement son niveau de connaissance ;
- d'approfondir sa réflexion sur les objectifs qu'elle souhaite poursuivre et sur le niveau de priorité octroyé à chacun d'eux ;
- d'appréhender l'incidence de toute action sur le système de production et de l'amélioration de la performance globale qu'elle induit ;
- de déterminer le moyen le plus adéquat d'atteindre chaque objectif ;
- de s'assurer que l'ensemble des décideurs a une vision commune de l'évolution de l'entreprise et travaille à son atteinte ;
- de bénéficier d'une vision globale et partagée par l'ensemble des décideurs de l'entreprise et de ses critères de performance.

Cependant, le fonctionnement du pilotage souple ne sera optimal que si un ensemble de conditions sont réunies lors de son utilisation. La condition principale est que la stratégie définie par l'entreprise, élément fondateur du système de pilotage, soit en parfaite adéquation avec ses besoins réels.

Une gestion sûre des informations contenues dans les modèles de connaissance et de résultats constitue également un gage de réussite du pilotage souple.

Prendre une part active dans un processus d'amélioration continue implique que chaque décideur et son personnel soient convaincus de l'intérêt des actions entreprises et dans certains cas, armés de patience avant de voir poindre les effets positifs de leur application.

De manière générale, les différents composants et outils proposés par le système de pilotage souple ont été choisis pour la facilité de compréhension de leur fonctionnement, leur paramétrage aisé et leur utilisation facile. Le contexte socio-économique étant en constante mutation, il est, en effet, très peu probable qu'aucune modification du système de production ne survienne au fil du temps. De plus, au fil des utilisations, des révisions du modèle de connaissances en vue de l'affiner ou de le compléter seront incontournables.

En outre, chaque fois qu'une opportunité s'est présentée, le développement d'outils a été réalisé dans une volonté de genericité de manière à enrichir la bibliothèque du modèle d'action et à garantir une implantation aisée du système de pilotage souple quel que soit le système de production à piloter. Le modèle de simulation en est un exemple.

Bien qu'il soit déjà plus que complet, le pilotage souple n'est pas un système fermé ! A l'image de la philosophie qu'il véhicule, il est destiné à se perfectionner et évoluer en fonction des besoins détectés en cours d'exploitation.

La méthodologie de pilotage souple de la performance a fait l'objet d'une application dans une entreprise de production de torons et de fils d'acier. L'architecture de pilotage souple a été intégralement implantée dans l'entreprise.

L'analyse du système de production couplée à l'expertise des décideurs de l'entreprise ont désigné l'objectif d'amélioration de la qualité de la gestion prévisionnelle comme l'axe prioritaire de progrès du système de production. Son atteinte passe, après simplification de l'arbre des objectifs, par la réalisation de deux sous-objectifs classés dans l'ordre des priorités accordées par le décideur : l'optimisation de l'ordonnancement et l'optimisation de la planification-programmation.

Les actions de pilotage prioritaires associées aux variables d'action du premier objectif *Optimiser l'ordonnancement* ont toutes été activées. Le plan d'actions consistait à revisiter l'outil d'ordonnancement utilisé par l'entreprise. Un modèle d'action dédié à l'ordonnancement prenant en compte les spécificités de l'entreprise et de son carnet de commandes a été mis au point. Afin de faire preuve de la flexibilité attendue, celui-ci est composé de différents modèles hybrides couplant méthodes sérielles, simulation et éventuellement, optimisation. Par l'intermédiaire de la plate-forme de Pilotage souple, le décideur sélectionne l'un des modèles hybrides proposés en fonction de la qualité de la solution désirée et du temps dont il dispose pour la prise de décision.

Le principe de fonctionnement du modèle d'ordonnancement est calqué sur l'organisation même du système de pilotage souple. Une solution unique n'est donc pas proposée mais un panel d'alternatives d'ordonnancement à tester. Ce choix se justifie essentiellement par la grande variabilité du carnet de commandes et l'impossibilité de proposer une solution d'ordonnancement optimale en toute circonstance. Une fois évaluées par la boucle de pilotage virtuel, les résultats des différentes alternatives sont classés par la méthode d'aide à la décision multicritère afin de déterminer la solution qui représente le meilleur compromis aux yeux du décideur.

Les résultats engendrés ont souligné l'intérêt de s'intéresser, grâce à une activité de reconfiguration du système de pilotage, à un second objectif opérationnel. La seconde itération du système de pilotage s'est donc intéressée à l'objectif *Optimiser la planification-programmation*. Améliorer l'outil de planification de l'entreprise constitue le plan d'actions à mener. La proposition faite à l'entreprise est composée d'une succession de deux modèles mathématiques. L'un évalue la capacité du système de production à satisfaire la demande et l'autre affine, pour l'étagé goulot détecté, les dates de lancement du traitement des commandes.

Les plans d'actions relatifs aux deux itérations de la boucle de pilotage ont, bien évidemment, été établis de manière intégrée et cohérente. Dans le mécanisme proposé, une approche d'aide à la décision multi-modèle dédiée à la planification précède et alimente une approche d'aide à la décision multi-modèle dédiée à l'ordonnancement.

Afin de parfaire le système proposé, quelques mécanismes supplémentaires pourraient facilement y prendre place. Outre le recours à un mécanisme d'apprentissage pour l'enrichissement du modèle de connaissances, la mise en place d'un mécanisme de probabilités d'activation des actions de pilotage ou des variables d'action afin d'établir l'ordre dans lequel elles doivent être déclenchées pourrait être envisagé.

L'implantation d'un système de traitement des données faciliterait l'organisation des données, leur analyse par thème et la mise en évidence des résultats pertinents pour le décideur.

Une extension du calcul du coût de production afin d'estimer le coût de mise en vente de chaque commande constitue une autre piste de développement. Ce second coût compléterait idéalement l'information relative au coût de transformation des matières premières en l'ensemble des produits figurant sur le carnet de commandes par la prise en compte notamment du coût de stockage des matières premières, des pénalités de retard de production et du coût de stockage résultant de la production en avance des commandes.

Le système de pilotage souple a été éprouvé avec succès sur un système de production de câbles de torons et fils d'acier. Toutefois, le mécanisme est tout-à-fait transposable vers d'autres systèmes de production présentant des caractéristiques similaires. Le choix des modèles d'actions s'adaptera en conséquence. Une première application a d'ailleurs débuté en milieu hospitalier [Cordier *et al.*, 2008 a] [Cordier *et al.*, 2008 b].

Soulignons, également, que le système de pilotage souple de la performance n'a pas la prétention d'être un modèle universel de pilotage de la performance porteur de l'efficacité industrielle. Conscients de

l'existence d'une pluralité de configurations des systèmes de production, de modes organisationnels, de buts poursuivis et de moyens d'action à disposition, notre objectif a donc été de proposer un concept organisationnel du pilotage de la performance basé sur une présélection d'outils judicieusement choisis pour leur efficacité et leur facilité d'utilisation ou développés dans ce sens.

Le pilotage souple définit donc la ligne de conduite à suivre pour l'atteinte d'une performance globale, multicritère, multi-horizon et pérenne. Par définition, le mécanisme proposé est évolutif et nécessite, pour garantir une amélioration continue de la performance, que de nouveaux composants viennent enrichir, selon les besoins des actions de pilotage à développer, le système de pilotage et plus particulièrement, son modèle d'action.

L'objectif du système de pilotage souple n'est absolument pas de se substituer au décideur mais au contraire, de le seconder dans ses prises de décision. Il est une aide à la décision en termes de pilotage de la performance des systèmes de production. Le souci de la performance globale, la correction des dysfonctionnements, l'anticipation des améliorations et le fait d'éprouver toutes actions de pilotage préalablement à sa mise en œuvre constituent les principaux points forts du système proposé.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [AFGI, 1992] Association Française de Gestion Industrielle, Evaluer pour évoluer, les indicateurs de performance au service du pilotage, ouvrage collectif AFGI, 1992.
- [Aguillar *et al.*, 1999] M. Aguillar, T. Rautert et A.J.G. Pater, « Business Process Simulation : a fundamental step supporting process centered management », The 1999 Winter Simulation Conference, 1999.
- [Aléonard *et al.*, 1994] C. Aléonard, E. Dindeleux et R. Soënen, « Conduite des systèmes de production », Techniques de l'Ingénieur, A 8 260-R 7 598, 1994.
- [Allen *et al.*, 1989] L. Allen, R. Blake et S. Mouton, Culture d'équipe, team building, Les Editions d'Organisation, 1989.
- [André & roux, 2008] V. André et O. Roux, « Transformation automatique d'un modèle ARIS en modèle de simulation : le cas du flux pharmaceutiques du CHU Brugmann », Conférence Francophone de Modélisation et de Simulation Mosim'08, Paris, avril 2008.
- [Arcelor, 2005] Arcelor, S.A. "Rapport de développement durable", Rapport annuel Arcelor ; 2005.
- [AcelorMittal, 2007] AcelorMittal, Bold Future, Rapport d'activités, 2007.
- [Ackoff, 1967] R. L. Ackoff, « Management Misinformation System », Management Science, Vol. 14, N°4, 1967.
- [Anthony, 1965] R. N. Anthony, Planning and Control Systems: a framework for analysis, Harvard University Press, 1965.
- [Archimède, 1991] B. Archimède, « Conception d'une architecture réactive distribuée et hiérarchisée pour le pilotage des systèmes de production », Thèse de doctorat, Université de bordeaux I, 1991.

- [Arnold, 1992] J.D. Arnold, *The Complete Problem Solver: A Total System for Competitive Decision Making*, Wiley, New York, 1992.
- [Artiba *et al.*, 1998] A. Artiba, V. Emelyanov, et S. Iassinovski, *Introduction to Intelligent Simulation: The RAO Language*, Kluwer Academic Publishers, 1998. ISBN 0792381769.
- [Artiba & Duvivier, 2000] A. Artiba et D. Duvivier, *Projet « Prise de Décision en Industrie Semi-Continue », Rapport d'activités N°1 – Convention 991/4274 RW/Fucam, Subvention First-Europe Objectif 1, Cregi-Fucam, juillet 2000.*
- [Artiba *et al.*, 2011] A. Artiba, V. Dhaevers, D. Duvivier et S. E. Elmaghraby, « A multi-model approach for production planning and scheduling in an industrial environment », chapitre d'un volume de *Kluwer International Series in Operations Research and Management Science* édité par le professeur F. Hillier de l'université de Stanford et publié par *Kluwer Academic Publishers*. Le volume s'intitule *Handbook of Production Planning* et fait partie de la sous-série *Advancing-the-State-of-the-Art*, volume 152, 2011.
- [Atkinson *et al.*, 1997] A.A. Atkinson, J. Waterhouse, et R.B. Wells, *A stakeholder approach to strategic performance measurement*, Sloan Management Review, Spring, 1997.
- [Avenier, 1984] M.J. Avenier, « Pilotage de l'entreprise et environnement complexe, une aide à la conception d'un pilotage plus effectif », Thèse d'État en Sciences Économiques, Université de Droit, d'Économies des Sciences d'Aix-Marseille, 1984.
- [Avenier *et al.*, 1996] M.J. Avenier, F. Lacroux et L. Nourry, *Stratégie et complexité*, Dossier MCX XII, Aix-en-Provence, GRASCE, 1996.
- [Avenier, 1997] M.-J. Avenier, « Le management stratégique dans la complexité : un cadre de réflexion », 6^{ième} Conférence de l'Association International De Management Stratégique – AIMS, Montréal, 1997.
- [Bana e Costa & Vansnick, 1997] C.A. Bana e Costa et J.C. Vansnick, « Applications of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model », *Journal of MultiCriteria Decision Analysis*, Vol. 6, N°2, 1997.
- [Berchet, 2000] C. Berchet, « Modélisation pour la simulation d'un système d'aide au pilotage industriel », Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Grenoble, décembre 2000.
- [Berliner & Brimson, 1986] C. Berliner et J.A. Brimson, *Cost management for today's advanced manufacturing, the CAM-I conceptual design*, HBS Press, Boston, 1986.
- [Berrah & Haurat, 1997] L. Berrah et A. Haurat, « Classification des indicateurs de performance pour le pilotage des processus de production », 2^{ème} Congrès International Franco-Québécois de Génie Industriel, Albi, 1997.
- [Berrah & Haurat, 1999] L. Berrah, A. Haurat, « Quelles expressions de la performance pour le pilotage des processus industriels ? », 3^{ème} Congrès International de Génie Industriel, Montréal, mai 1999.
- [Berrah *et al.*, 1995] L. Berrah, G. Mauris, A. Haurat, L. Foulloy, « Modélisation de la performance : une approche par la logique floue des indicateurs de performance », Congrès International de Génie Industriel de Montréal, Montréal, octobre 1995.
- [Berrah *et al.*, 2001] L. Berrah et G. Mauris, « Une expression floue de la performance pour une prise en compte unifiée des grandeurs quantitatives et qualitatives » dans

- C. Bonnefous et A. Courtois, Indicateurs de performance, IC2 Productique, Hermès Sciences Publication, 2001. ISBN 2-7462-0245-X.
- [Berrah, 2002] L. Berrah, L'indicateur de performance : Concepts & Applications, Cépadues-Editions, 2002. ISBN 2-85428-567-0.
- [Bescos *et al.*, 1995] PL. Bescos, P. Dobler, C. Mendoza et G. Naulleau, Contrôle de gestion et management, Ed. Montchrestien, Collection Entreprendre, Guide des techniques et de la décision, Paris, 1995.
- [Besombes & Mnemoui, 2000] B. Besombes & G. Mnemoui, « Indicateurs de performance et Groupement d'entreprises PME PMI, une approche basée sur le concept ECOGRAI », MCPI2000, Grenoble, 2000.
- [Besombes *et al.*, 2003] B. Besombes O. Sénéchal et P. Burlat, « Evaluation de performance et proximité », dans C. Tahon, Evaluation des performances des systèmes de production, Hermès Science Publication, Lavoisier, 2003. ISBN 2-7462-0634-X.
- [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, 1990.
- [Boiral, 2005] O. Boiral, « Concilier environnement et compétitivité, ou la quête de l'eco-efficience » Revue française de gestion, 2005/5, Vol. 158, 2005.
- [Bonnefous, 2001] C. Bonnefous, « Systèmes d'indicateurs pertinents et efficaces », dans l'ouvrage *Indicateurs de performance* coordonné par C. Bonnefous et A. Courtois, Hermès, Paris, 2001.
- [Bonvoisin *et al.*, 2008] F. Bonvoisin, B. Valli, S. Chaabane et C. Tahon, « Développement d'un outil d'aide à la sélection d'indicateurs de performance pour un hôpital : le cas du CHU Brugmann », Ghiseh 2008, Lausanne, 2008.
- [Boucher, 2007] X. Boucher, Vers un pilotage agile de l'évolution des systèmes de production, Habilitation à diriger des recherches, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne et Université Jean Monnet, 2007.
- [Bounekkar & Lamure, 2005] A. Bounekkar, M. Lamure, Méthodologie d'évaluation de la performance des plateaux médico-techniques. Rapport de recherche sur le projet HRP², 274-83, 2005.
- [Brans *et al.*, 1986] J.P. Brans, P. Vincke et B. Mareschal, « How to select and how to rank projects : The PROMETHEE method », European journal of Operational. Research, Vol. 24, 1986.
- [Brans & Mareschal, 1994] J.P. Brans et B. Mareschal, « PROMCALC & GAIA: A new decision support system for multicriteria decision aid », Decision Support Systems, Vol. 12, 1994.
- [Brans & Mareschal, 2002] J.P. Brans et B. Mareschal, PROMÉTHÉE-GAIA: Une méthodologie d'aide à la décision en présence de critères multiples, Éditions Ellipses, 2002. ISBN 2729812539.
- [Breuil, 1984] A. D. Breuil, « Outils de conception et de décision dans les organisations de gestion de production », Thèse d'État en Sciences, Université de Bordeaux, 1984.
- [Bronet, 2006] V. Bronet, Amélioration de la performance industrielle à partir d'un processus référent – Déploiement inter entreprises de bonnes pratiques, Thèse de doctorat, Université de Savoie, 2006.

- [Browne *et al.*, 1999] J. Browne, J. Devlin, A. Rolstadas et B. Andersen, « Performance Measurement The ENAPS Approach », disponible à l'adresse URL: <http://www.prestasjonsledelse.net/publikasjoner/Performance%20Measurement%20The%20ENAPS%20Approach.pdf>, 1999.
- [Bughin, 2002] C. Bughin, « Information non financière : comportement des entreprises belges de production et approche de l'influence sur la performance financière », Thèse de doctorat, Université de Mons Hainaut, 2002.
- [Burbidge, 1984 a] J.L. Burbidge, A Production System Variable Connectance Model, Cranfield Institute of Technology, England, 1984.
- [Burbidge, 1984 b] J.L. Burbidge, A classification of production system variables, In H. Hubner (Ed.), IFIP production management systems: Strategies and tools for design. New York: Elsevier/North-Holland, 3–16, 1984.
- [Burlat *et al.*, 2003] P. Burlat, E. Marcon, O. Sénéchal, R. Dupas et L. Berrah, « Démarches d'évaluation et de pilotage de la performance », dans C. Tahon, Evaluation des performances des systèmes de production, Hermès Science Publication, Lavoisier, 2003. ISBN 2-7462-0634-X.
- [Burlat & Pellegrin, 2001] P. Burlat et C. Pellegrin, « Pilotage de la performance industrielle : mise en œuvre d'indicateurs pour la maîtrise des flux », dans P. Burlat et C. Pellegrin, Performance industrielle et gestion des flux, Hermès Science Publication, Lavoisier, 2001. ISBN 2-7462-0297-2.
- [Camman-Ledi & Livolsi, 2000] C. Camman-Ledi et L. Livolsi, « Pilotage stratégique du processus logistique et gestion des ressources humaines: Constats et propositions », 3^{ème} Rencontres Internationales de la Recherche en Logistique, Trois-Rivières, Canada, 2000.
- [Campagne *et al.*, 1995] J.P. Campagne, J.H. Jacot, Y. Frein et G. Vitry, « A framework to specify a reactive and proactive management system », ETFA'95 Symposium on Emerging Technologies and Factory Automotion, INRIA/IEEE, Institut national de Recherche en Informatique et en Automatique/Industrial Electronics Society, Paris, octobre 1995.
- [Carlier & Chrétienne, 1988] J. Carlier et P. Chrétienne, Problèmes d'ordonnancement, modélisation, complexité, algorithmes. Masson, 1988. ISBN 2225812756.
- [Castagna *et al.*, 2001] P. Castagna, N. Mebarki et R. Gauduel, « Apport de la simulation comme outil d'aide au pilotage des systèmes de production – Exemples d'application », Conférence Francophone de Modélisation et de Simulation MOSIM'01, Troyes, France, avril 2001.
- [Cattan *et al.*, 2003] M. Cattan, N. Idrissi, et P. Knockaert, Maîtriser les processus de l'entreprise, Editions d'Organisation, Paris, 2003.
- [Cauvin, 2005] A. Cauvin, Analyse, modélisation et amélioration de la réactivité des systèmes de décision dans les organisations industrielles: vers une aide à la conduite des processus d'entreprise dans un contexte perturbé, Habilitation à diriger les recherches, Université Paul Cézanne, Aix-Marseille III, 2005.
- [CJD, 2004] Centre des Jeunes Dirigeants d'Entreprise, Le Guide de la Performance Globale, Editions d'Organisation, Paris, 2004.
- [Cha & Jung, 2003] Y. Cha et M. Jung, « Satisfaction assessment of multi-objective schedules using neural fuzzy methodology », International Journal of Production Research, Vol. 4, N°8, 2003.

- [Champagne et al., 2005] F. Champagne, A.P.Contandriopoulos, J. Picot-Touché, F. Béland et H. Nguyen, « Un cadre d'évaluation de la performance des systèmes de services de santé : le modèle EGIPSS (Evaluation Globale et Intégrée de la Performance des Systèmes de Santé) », Groupe de Recherche Interdisciplinaire en Santé (GRIS), 31 p., Montréal, 2005.
- [Chankong & Haimes, 1983] V. Chankong et Y.Y. Haimes, Multiobjective decision making: Theory and Methodology, North Holland, 1983.
- [Chaudet, 2002] C. Chaudet, « π -Space : langage et outils pour la description d'architectures évolutives à composants dynamiques. Formalisation d'architectures logicielles et industrielles », Thèse de doctorat, Université de Savoie, décembre 2002.
- [Clivillé, 2001] V. Clivillé, L. Berrah et A. Haurat, « La problématique de la décomposition des objectifs dans le cadre d'une démarche d'Amélioration Industrielle », 5^{ième} Congrès de Génie Industriel, Aix-Marseille, juin 2001.
- [Clivillé, 2004] V. Clivillé, « Approche systémique et méthode multicritère pour la définition d'un système d'indicateurs de performance », Thèse de doctorat, Université de Savoie, septembre 2004.
- [Clivillé *et al.*, 2007] V. Clivillé, L. Berrah et G. Mauris, « Quantitative expression and aggregation of performance measurement based on the MACBETH multi-criteria method », International Journal of Production Economics, Vol. 105, 2007.
- [Communautés Européennes, 2001] Commission des Communautés Européennes, Livre vert : Promouvoir un cadre européen pour la responsabilité sociale des entreprises, 2001.
- [Colette & Siarry, 2002] Y. Colette et P. Siarry, Optimisation multiobjectif, Eyrolles, 2002. ISBN: 2-212-11168-1.
- [Cooper & Kaplan, 1991] R. Cooper et R.S. Kaplan, The design of Cost Management Systems, Robert KAPLAN Consulting Editor, Edition Prentice Hall, 1991.
- [Cordier *et al.*, 2008 a] J-P. Cordier, V. Dhaevers et F. Riane, « L'art du pilotage de la performance, vers une démarche instrumentalisée pour le milieu hospitalier », Giseh'08, Lausanne, septembre 2008.
- [Cordier *et al.*, 2008 b] J-P. Cordier, F. Riane et V. Dhaevers, « Modélisation mathématique du parcours patient dans un Centre Hospitalier Universitaire », SIL 08, Marrakech, décembre 2008.
- [Couix, 1997] N. Couix, « Evaluation chemin faisant et mise en acte d'une stratégie tâtonnante », chapitre 6 dans Avenier M.J. (coord.), La stratégie « chemin faisant », Economica, Paris, 1997.
- [Cross & Lynch, 1988-1989] K.F. Cross et R.L. Lynch, « The SMART way to define and sustain success », National Productivity Review, Vol. 8, N°1, 1988-1989.
- [Dagnelie, 1998a] P. Dagnelie, Statistique théorique et appliquée. Tome 1. Statistique descriptive et bases de l'inférence statistique, De Boeck et Larcier, 1998. ISBN 2804127702.
- [Dagnelie, 1998b] P. Dagnelie, Statistique théorique et appliquée. Tome 2. Inférence statistique à une et à deux dimensions, De Boeck et Larcier, 1998. ISBN 2804128024.

- [Dauty & Larré, 2001] F. Dauty et F. Larré, « La réactivité industrielle : caractéristiques et outils », Notes du LIHRE - Unité mixte de recherche CNRS/UT1 - Université des sciences sociales Toulouse, 2001.
- [Davenport, 1993] T.H. Davenport, *Process Innovation: Reengineering Work through Information Technology*, Harvard Business School Press, Boston-Massachusetts, 1993.
- [Deming, 1982] E. W. Deming, *Quality, productivity, and competitive position*, Cambridge : The MIT Press, 1982.
- [Dhaevers *et al.*, 2004] V. Dhaevers, D. Duvivier, O. Roux et A. Artiba, « Intégration de l'Optimisation et de la Simulation en Industrie Semi-Continue », *Conférence de Modélisation et de Simulation*, Vol. 2, Nantes, 2004.
- [Dhaevers *et al.*, 2005 a] V. Dhaevers, D. Duvivier, O. Roux et N. Meskens, « Classement multicritère de stratégies d'ordonnancement : cas d'une industrie semi-continue », *MHOSI'05 - Méthodologies et Heuristiques pour l'Optimisation des Systèmes Industriels*, Tunisie, avril 2005.
- [Dhaevers *et al.*, 2005 b] V. Dhaevers, D. Duvivier, O. Roux et N. Meskens, « Optimisation et simulation multicritère en industrie semi-continue », *Congrès de la Société Française de recherche opérationnelle et d'Aide à la Décision Roadef'05*, Tours, février 2005.
- [Dhaevers *et al.*, 2005 c] V. Dhaevers, O. Roux, A. Lasraq, D. Duvivier, N. Meskens et A. Artiba, « Analyse statistique et classement de stratégies d'ordonnancement: cas d'une industrie semi-continue », *Revue électronique E-STA « Sciences et Technologies de l'Automatique »*, Vol. 2, N°4, quatrième trimestre 2005. <http://see.asso.fr/esta>.
- [Dhaevers *et al.*, 2006 a] V. Dhaevers, D. Duvivier, N. Meskens et F. Riane, « Apport de la simulation au pilotage de la performance », *Conférence Internationale Francophone d'Automatique CIFA 2006*, juin 2006.
- [Dhaevers *et al.*, 2006 b] V. Dhaevers, D. Duvivier, N. Meskens et F. Riane, « Aide multicritère au pilotage des systèmes productifs », *Congrès de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision Roadef'06*, février 2006.
- [Dhaevers *et al.*, 2007] V. Dhaevers, F. Riane, D. Duvivier et N. Meskens, « Vers un pilotage de la performance des systèmes de production », *7^{ème} Congrès International de Génie Industriel*, Canada, juin 2007.
- [Dilts, 1991] D. M. Dilts, N. P. Boyd et H. H. Whorms, « The evolution of control architectures for automated manufacturing systems », *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 10, N°1, 1991.
- [de Bruyne, 1981] de Bruyne, *Modèles de décisions – Les rationalités de l'action*, Centre d'études praxéologiques, Louvain-la-Neuve, 1981.
- [Dindeleux, 1992] E. Dindeleux, « Proposition d'un modèle et d'un système interactif d'aide à la décision pour la conduite d'atelier », *Thèse de doctorat*, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambresis, 1992.
- [Dindeleux *et al.*, 1998] R.Dindeleux, L.Barrah et A.Haurat, « A formal modelling of control process », *European Journal of Operational Research*, N°109, 1998.
- [Diridollou & Vincent, 2001] B. Diridollou et C. Vincent, *Le client au cœur de l'organisation*, Editions d'Organisation, Paris, 2001.

- [Dixon *et al.*, 1990] J.R. Dixon, A.J. Nanni et T.E. Volmann, *The New Performance Challenge : Measuring Operations for World Class Competition*, Dow Jones-Irwin, Homewood IL, 1990.
- [Dohou & Berland, 2007] A. Dohou et N. Berland, « Mesure de la performance globale des entreprises », Congrès de l'Association Francophone de Comptabilité « Comptabilité et Environnement », Poitiers, mai 2008.
- [Doumeingts 1984] G. Doumeingts, « Méthode GRAI : méthode de conception des systèmes en productive », Thèse d'état de l'université de Bordeaux I, 1984.
- [Doumeingts & Ducq, 1998] G. Doumeingts et Y. Ducq, « Production Management : Which future », IFIP Transaction, Chapman & Hall, 1998. ISBN 0-412-82350-0.
- [Doumeingts *et al.*, 1998] G. Doumeingts, B. Vallespir et D. Chen, « GRAI grid, decisionnal modelling », dans P. Bernus, K. Mertins et G. Schmith, *Handbook on Architecture of Information System*, International Handbook on Information Systems, Berlin, printemps 1998.
- [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, février 1999.
- [Ducq *et al.*, 2001] Y. Ducq, B. Vallespir et G. Doumeingts, « Coherence analysis methods for production systems by performance aggregation », *International Journal of Production Economics*, Vol. 69, N°1, 2001.
- [Ducq *et al.*, 2003] Y. Ducq, M-H. Gentil, C. Merle et G. Doumeingts, « Conception et implantation de systèmes d'indicateurs de performance », dans C. Tahon, *Evaluation des performances des systèmes de production*, Hermès Science Publication, Lavoisier, 2003. ISBN 2-7462-0634-X.
- [Ducq, 2007] Y. Ducq, « Evaluation de la performance d'entreprise par les modèles », Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Bordeaux I, 2007.
- [Dupuy, 2005] M. Dupuy, « Contributions à l'analyse des systèmes industriels et aux problèmes d'ordonnancement à machines parallèles flexibles : application aux laboratoires de contrôle qualité en industrie pharmaceutiques », Thèse de doctorat, Institut national Polytechnique de Toulouse, septembre 2005.
- [Duvivier *et al.*, 2005] D. Duvivier, V. Dhaevers et A. Artiba, « Simulation based performance measurement and analysis: An industrial application », *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 18, N°5, 2005.
- [Duvivier *et al.*, 2006] D. Duvivier, O. Roux, V. Dhaevers et A. Lazraq, « Comparison of scheduling strategies via a statistical analysis in an industrial context », *International Conference on Service Systems and Service Management IEEE ICSSSM'06*, Troyes, France, octobre 2006.
- [Duvivier *et al.*, 2007] D. Duvivier, O. Roux, V. Dhaevers, N. Meskens et A. Artiba, « Multicriteria Optimisation and Simulation: an Industrial Application », *Annals of Operations Research*, Vol. 156, N°1, 2007.
- [Erschler *et al.*, 1997] J. Erschler, M.J. Huguet et G. De Terssac, « Décision distribuée en gestion de production : exploitation et régulation de l'autonomie », dans J.C. Hennet, *Concepts et outils pour les systèmes de production*, Cépaduès, Toulouse, 1997.
- [Everaere, 1997] C. Everaere, « Management de la flexibilité », *Economica*, 1997.

- [Filipas *et al.*, 2001] I. Filipas, G. Draghici, A. El Moudni, N. Zerhouni et F. Clouard, « Démarche de pilotage pour améliorer la réactivité industrielle », 4^{ième} Congrès International de Génie Industriel, Aix-Marseille, juin 2001.
- [Fitzgerald *et al.*, 1991] L. Fitzgerald, R. Johnston, S. Brignall, R. Silvestro et C. Voss, Performance Measurement in Service Business, CIMA, London, 1991.
- [Forrester, 1980] J. W. Forrester, Principes des systèmes, Presse universitaire de Lyon, 1980.
- [Fortuin, 1988] L. Fortuin, « Performance indicators – why, where and how ? », European Journal of Operational Research, 1988.
- [Freeman, 1984] R.E. Freeman, Strategic Management : A stakeholders approach, Pitman, 1984.
- [Gallois, 1990] P.M. Gallois, « Evaluation et pilotage de la performance industrielle », dans Ecosip, Gestion industrielle et mesure économique, Economica, 1990.
- [Gallois, 1997] P.M. Gallois, De la pierre à la Cathédrale : les indicateurs de performance, Ministère de l'Industrie de la Poste et des Télécommunications, Editions Londez Conseil, 1997.
- [Ghalayini *et al.*, 1997] A.M. Ghalayini, J.S. Noble et T.J. Crowe, « An integrated dynamic performance measurement system for improving manufacturing competitiveness, International Journal of Operation & Production Management, Vol. 15, 80-116, 1997.
- [Garibaldi, 2001] G. Garibaldi, L'analyse stratégique, comment concevoir les choix stratégiques en situation concurrentielle, Les Editions d'Organisation, 2001.
- [Garvin, 1993] D. A. Garvin, « Manufacturing Strategic Planning », California Management Review, été 1993.
- [GMSIH, 2005] Groupement pour la Modernisation du Système d'Information Hospitalier, Pilotage des établissements de santé, 157 p., Paris, 2005.
- [Giard *et al.*, 1995] V. Giard, V. Boitout et P. Bonmarchand, « Apport de la simulation à la conception et l'interprétation de tableaux de bord de back office bancaire (CCP) et à la comptabilité de gestion », Comptabilité, Contrôle, Audit, Vol. 1, N° 2, 1995.
- [Giard *et al.*, 2000] V. Giard et P. Lagroue, « Quel contrôle pour les systèmes productifs travaillant à la commande et devant faire face à une demande fortement aléatoire », Papier de recherche du GREGOR, IAE de Paris, 2000.
- [Giard, 2003] V. Giard, Gestion de la production et des flux, Economica, 3^{ième} édition, Paris, 2003. ISBN 2-7178-4498-8.
- [Gibbons & Chakraborti, 1992] Gibbons J.D. et S. Chakraborti : Nonparametric statistical inference, 3^{ème} édition, Marcel Dekker, Inc., 1992.
- [Globerson, 1985] S. Globerson, "Issues in developing a performance criteria system for an organization", International Journal. of Production Research, Vol. 23, N°4, 1985.
- [Glover & Laguna, 1997] F. Glover et M. Laguna, Tabu Search, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1997.
- [Goldberg, 1994] D. Goldberg, Algorithmes Génétiques, exploration, optimisation et apprentissage automatique, Addison-Wesley, 1994. ISBN 2-87908-054-1.

- [Gomez *et al.*, 2001] T. Gomez, M. Gonzalez et M. Luque, « Multiple objectives decomposition-coordination methods for hierarchical organizations », *European Journal of Operational Research*, Vol. 133, 2001.
- [Gourgand & Kellert, 1991] M. Gourgand et P. Kellert, « Conception d'un environnement de modélisation des systèmes de production », 3^{ième} congrès international de Génie Industriel, Tours, 1991.
- [Gourgand *et al.*, 2003] M. Gourgand, N. Grangeon, S. Norre et N. Techernev, « Outil d'aide à la décision pour la planification d'un atelier de fabrication de tôles laminées », Conférence Francophone de Modélisation et de Simulation Mosim'03, Toulouse, 2003.
- [Grabot & Huguet, 1996] B. Grabot et P. Huguet, « Reference models and object-oriented method for reuse in production activity control system design », *Computer in Industry*, n°32, 1996.
- [Grabot & Huguet, 1997] B. Grabot et P. Huguet, « Modèles de référence et méthode orientée-objet pour la conception de systèmes de pilotage d'atelier », *JESA*, vol. 31, n°1, 1997.
- [Grabot, 1998] B. Grabot, « Objective satisfaction assessment using neural nets for balancing multiple objectives », *International Journal of Production Research*, Vol. 36, N°9, 1998.
- [GRECOPME II, 2003] Projet de recherche GRECOPME II, Rapport final, septembre 2003.
- [Gregor & Kosturiak, 1997] M. Gregor et J. Kosturiak, « Simulation : strategic technique for the Factory's future », *Revue Simulation*, Novembre 1997.
- [Gregory, 1993] M.J. Gregory, « Integrated performance measurement: a review of current practice and emerging trends », *International Journal of Production Economics*, Vol. 30/31, 1993.
- [Greif, 1989] M. Greif, *L'usine s'affiche*, Editions d'Organisation, Paris, 1989.
- [Guerra, 2007] F. Guerra, *Pilotage stratégique de l'entreprise- Le rôle du tableau de bord prospectif*, De Boek Université, 2007. ISBN 978-2-8041-4399-2.
- [Habchi, 2001] G. Habchi, « Conceptualisation et modélisation pour simulation des systèmes de production », *Habilitation à Diriger des Recherches*, Université de Savoie, 2001.
- [Hammer & Champy, 1993] M. Hammer et J. Champy, *Le Reengineering : réinventer l'entreprise pour une amélioration spectaculaire de ses performances*, Dunod, Paris, 1993.
- [Hansford *et al.* 1992] L.C. Hansford, J.R. Grove et P.J. Sweeney, « Using simulation technology in organisational development », *Journal of Systems Management*, February 1992.
- [Hansmann & Hoek, 1997] K.W. Hansmann et M. Hoeck, « Production control of a flexible manufacturing system in a job shop environment », *International Transactions in Operational Research*, Vol. 4, N°5/6, 1997. ISSN 09696016.
- [Harel & Pnuelli, 1985] D. Harel et A. Pnuelli, *On the Development of Reactive Systems*, Weizmann Institute of Science, 1985.
- [Hoos & Stützle, 2005] H.H. Hoos et Th. Stützle, *Stochastic local search – Foundations and applications*. Morgan-Kaufmann publishers, 2005.

- [Huguet *et al.*, 1996] M. J. Huguet, J. Erschler, G. de Terssac et N. Lompré, « Negotiation based on constraints in cooperation », *Computer Supported Cooperative Work*, Vol. 5, 1996.
- [Industrie, 1996] Industrie, « Ces entreprises qui se regroupent », *Cahiers de l'industrie*, n°17, pp. 11-22, mai 1996.
- [Ishikawa, 1984] K. Ishikawa, *La gestion de la qualité : outils et applications pratiques*, Dunod, Paris, 1984.
- [ISO 9000,2000] Organisation Internationale de normalisation, Norme ISO 9000 :2000 – Systèmes de Management de la Qualité : Exigences, 2000. <http://www.iso.org/iso>.
- [ISO 9000, 2005] Organisation Internationale de normalisation, Norme ISO 9000 :2005 – Systèmes de Management de la Qualité : Principes essentiel et vocabulaire, 2005. <http://www.iso.org/iso>.
- [ISO 9126, 2003] Organisation Internationale de normalisation, Norme ISO/IEC 9126 - Software Engineering: Product quality, Technical report, 2003. <http://www.iso.org/iso>.
- [Jacot & Micaelli, 1996] J.H. Jacot et J.P. Micaelli, *La performance économique en entreprise*, Editions Hermès, 1996.
- [Jacquemin & Tulkens, 1996] A. Jacquemin et H. Tulkens, *Fondements d'économie politique*, De Boek, Bruxelles, 2^{ème} édition, 1996.
- [Jacquet-Lagrèze & Siskos, 1983] E. Jacquet-Lagrèze et J. Siskos, *Méthodes de décision multicritère*, Editions Hommes et Techniques, 1983.
- [Jain & Meeran, 1999] A. Jain et S. Meeran, « Deterministic job-shop scheduling: past, present and future », *European Journal of Operational Research*, Vol. 113, 1999.
- [Jordan *et al.*, 2004] H. Jordan, M. Fiol et E. Suelle, *Renforcer la cohérence d'une équipe*, Dunod, 2004.
- [Kaplan & Norton, 1992] R. Kaplan et D. Norton, « The balanced scorecard – measures that drive performance », *Harvard Business Review*, jan.- fév. 1992.
- [Kaplan & Norton, 1998] R. Kaplan et D. Norton, *Le tableau de bord prospectif. Pilotage stratégique : les 4 axes du succès*, Editions d'Organisation, Paris, 1998.
- [Kaplan & Norton, 2004] R. Kaplan et D. Norton, *Strategy Maps, Converting intangible assets into tangible outcomes*, Harvard Business School Press, 2004.
- [Kaplan & Norton, 2000] R. Kaplan et D. Norton, « Having Trouble with Your Strategy? Then Map It », *Harvard Business Review*, Vol. 78, N°5, 2000.
- [Kaplan & Norton, 2007] R. Kaplan et D. Norton, « Using the Balanced Scorecard as a Strategic Management System », *Harvard Business Review*, Vol. 85, N°7/8, 2007.
- [Keegan *et al.*, 1989] D.P. Keegan, R.G. Eiler et C.R. Jones, « Are you performance measures obsolete », *Management Accounting*, juin 1989.
- [Kodali & Chandra, 2001] R. Kodali et S. Chandra, « Analytical hierarchy process for justification of total productive maintenance », *Production planning and control*, Vol. 12, N°7, 2001.
- [Kueng & Krahn, 1999] P. Kueng et A.J. Krahn, « Building a Process Performance Measurement System: some Early Experiences », *Journal of Scientific & Industrial Research*, Vol. 58, 1999.

- [Kueng, 2000] P. Kueng, « Process Performance Measurement System: a tool to support process-based organisations », *Total Quality Management*, Vol. 11, N°1, 2000.
- [Kueng *et al.*, 2001] P. Kueng, A. Meier et T. Wettstein, « Performance Measurement Systems must be engineered », *Communication of the Association for Information Systems*, Vol. 7, N°3, 2001.
- [Labreuche & Grabish, 2003] C. Labreuche et M. Grabisch, « The Choquet integral for the aggregation of interval scales in multi-criteria decision making », *Fussy Sets and Systems*, Vol. 137 (1), 2003.
- [Lauras, 2004] M. Lauras, Méthodes de diagnostic et d'évaluation de la performance pour la gestion des chaînes logistiques – Application à la coopération maison-mère – filiales internationales dans un groupe pharmaceutique et cosmétique, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2004.
- [Lebart *et al.*, 1982] L. Lebart, A. Morineau et J.P. Fénélon, *Traitement des données statistiques, méthodes et programmes*, Dunod, 1982.
- [Leclainche, 2001] J.F. Le Clainche, « Balanced Scorecard et autres méthodes pour évaluer le score d'une entreprise », dans C. Bonnefous & A. Courtois, *Indicateurs de performance, IC2 Productique*, Hermès Sciences Publication, Paris, 2001. ISBN 2-7462-0245-X.
- [Le Moigne, 1974] J.L. Le Moigne, *Les systèmes de décision dans les organisations*, Presses Universitaires de France, 1974.
- [Le Moigne, 1977] J.L. Le Moigne, *La théorie du système général, Théorie de la modélisation*, Presses Universitaires de France, 1977.
- [Le Moigne, 1994] J.L. Le Moigne, *La théorie du système général, Théorie de la modélisation*, éd. Presses universitaires de France, 1^{ière} édition 1977, 4^{ième} édition 1994.
- [Lesca, 2007] N. Lesca, *Management, systèmes d'information et connaissances tacites*, Hermès Sciences Publication, Paris, 2007.
- [Letouzei, 2001] A. Letouzei, « Ordonnancement interactif basé sur les indicateurs : Applications à la gestion de commandes incertaines et à l'affectation des opérateurs », Thèse de doctorat, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes, 2001.
- [Loeb J.M., 2004] J.M. Loeb, « The current state of performance measurement in health care », *International Journal for Quality in Health Care*, Vol. 16, N°1, 2004.
- [Löning *et al.*, 2008] H. Löning, V. Malleret et J. Méric, *Le contrôle de gestion – Organisation, outils et pratiques*, 3^{ième} éd., Dunod, Paris, 2008.
- [Lorino, 1991] P. Lorino, *Le contrôle de gestion stratégique : la gestion par les activités*, Dunod, Paris, 1991.
- [Lorino, 1993] P. Lorino, *Le contrôle de gestion stratégique : la gestion par les activités*, Dunod, Paris, 1993.
- [Lorino, 1995] P. Lorino, *Comptes et récits de la performance – Essai sur le pilotage de l'entreprise*, Editions d'Organisation, Paris, 1995.
- [Lorino, 2001 a] P. Lorino, *Méthodes et pratiques de la performance - Le pilotage par les processus et les compétences*, Editions d'Organisation, Paris, 2001.

- [Lorino, 2001 b] P. Lorino, « La performance et ses indicateurs. Eléments de définition » dans C. Bonnefous et A. Courtois, Indicateurs de performance, IC2 Productique, Hermès Sciences Publication, Paris, 2001.ISBN 2-7462-0245-X.
- [Lorino & Tarondeau, 2006] P. Lorino et J-C. Tarondeau, « De la stratégie aux processus stratégiques », Revue Française de Gestion, 160, 2006/1.
- [Marakas, 1999] G. M. Marakas, Decision support systems in the twenty-first century, Upper Saddle River, N.J., Prentice Hall, 1999.
- [Marcon *et al.*, 2003] E. Marcon, O. Sénéchal et P. Burlat, « Concepts pour l'évaluation des performances des systèmes de production », dans C. Tahon, Evaluation des performances des systèmes de Production, IC2 Productique, Hermès Sciences Publication, Paris, 2003.
- [Marsal & Travaillé, 2006] C. Marsal et D. Travaillé, « Les systèmes d'information de pilotage, les tableaux de bord », Cahier du FARGO n°1060901, septembre 2006.
- [Mareschal, 1988] B. Mareschal, « Weight stability intervals in multicriteria decision aid », European Journal of Operational Research, Vol. 33, 1988.
- [Marichal, 1999] J.L. Marichal, « Agrégation de critères interactifs au moyen de l'Intégrale de Choquet discrète », LFA 99, Rencontres francophones sur la logique floue et ses applications, Valenciennes, 1999.
- [Maskell, 1991] B.H. Maskell, « Performance Measurement for World Class Manufacturing », Productivity Press, Cambridge, Massachusetts, 1991.
- [Mathé & Chagué, 1999] J-C. Mathé et V. Chagué, « L'intention stratégique et les divers types de performance de l'entreprise », Revue française de gestion, janv.-fév. 1999.
- [Maystre & Bollinger, 1999] L.Y. Maystre et D. Bollinger, Aide à la négociation multicritère, Collection gérer l'environnement, Presse polytechniques et universitaires romandes, 1999.
- [McKone *et al.*, 2001] K.E McKone, R.G Schroeder et K.O Cua, « The impact of total productive maintenance practices on manufacturing performance », Journal of Operations Management, Vol. 19, 2001.
- [Megartsi, 2001] R. Megartsi, Proposition d'un support de conduite des processus d'entreprise dans un contexte perturbé - Etude comparative des méthodes d'analyse des systèmes de production, Thèse de doctorat, Université d'Aix Marseille III, 2001.
- [Mélèse, 1972] J. Mélèse, « L'analyse Modulaire des Systèmes, AMS », Homme et techniques, 1972.
- [Melnik & Carter, 1987] S.A. Melnik et P.L. Carter, « Production Activity Control », The Business One Irwin /APICS Series in Production Management, Homewood, Illinois, 1987.
- [Merle, 1990] C. Merle, « L'évaluation des projets productiques : contribution conceptuelle et méthodologique », Thèse de doctorat, Université de Montpellier I, décembre 1990.
- [Mevellec, 1991] P. Mevellec, Outils de gestion, La pertinence retrouvée, Editions Comptables Malesherbes, Paris 1991.
- [Mintzberg *et al.*, 1976] H. Mintzberg, D. Raisinghani et A. Thort, « The structure of unstructured decision processes », Administrative Science Quarterly, Vol. 21, 1976.

- [Mintzberg, 1986] H. Mintzberg, Le pouvoir dans les organisations, Editions d'Organisation, 1986.
- [Mollard, 2006] D. Mollard, Systèmes décisionnels et pilotage de la performance Collection management et informatique, Lavoisier, 2006.
- [Monmaint & Penalva, 2003] J. Monmaint et J.M. Penalva, « Etat de l'art sur les théories de la décision et méthodologies de l'approche système », Choix publics stratégiques et systèmes sociaux, 2003.
- [Morgan, 1996] G. Morgan, Images of Organization, Sage Publications, London, 2^{ème} édition, 1996. ISBN 1-4129-3979-8.
- [MSG, 2001] Maintenance Program Development Document MSG-3, Maintenance Steering Group – 3 Task Force, Air Transport Association (ATA) of America, 2001.
- [Nagi, 1991] G. Nagi, Design and operation of hierarchical production manufacturing systems, Thèse de doctorat, University of Maryland, USA, 1991.
- [Neely *et al.*, 1995] A. Neely, M. Gregory et K. Platts, « Performance Measurement system design: A literature review and research agenda », International Journal of Operations & Production Management, Vol. 25, N°12, 1995.
- [Neubert, 1997] G. Neubert, « Contribution à la spécification d'un pilotage proactive et réactif pour la gestion des aléas », Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, décembre 1997.
- [Osman & Kelly, 1995] I.H. Osman et J.P. Kelly, « Meta-heuristics: An overview », Meta-Heuristics'95, MIC'95, Kluwer Academic Press, July 1995.
- [Osman & Laporte, 1996] I.H. Osman et G. Laporte, « Metaheuristics: A bibliography », Annals of Operational Research, Vol. 63, 1996.
- [Parida, 2006] A. Parida, « Development of a Multi-criteria Hierarchical Framework for Maintenance Performance Measurement Concepts, Issues and Challenges », Thèse de doctorat, Luleå University of Technology, 2006. ISSN: 1402-1544.
- [Peaucelle, 1997] J.L. Peaucelle, «Systèmes d'information », in *Encyclopédie de gestion*, Economica, 2^o édition, 1997.
- [Pellegrin, 2001] C. Pellegrin, « Pilotage de la performance industrielle : cadre conceptuel » dans P. Burlat et J-P. Campagne, Performance industrielle et gestion des flux, IC2 Productique, Hermès Sciences Publication, Paris, 2001. ISBN 2-7462-0297-2.
- [Petra, 2008] Petra, Petra, un guide méthodologique pour une démarche de réorganisation industrielle, <http://www.listic.univ-savoie.fr/projet/petra>, 2008.
- [Pillet & Maire, 2004] M. Pillet & J-L. Maire, « Pérennisation ou comment maintenir les bénéfices d'une démarche de progrès ? », Dossier Technologique des Pays de Savoie, JITEC, 2004.
- [Pinedo & Chao, 1999] M. Pinedo et X. Chao, Operations Scheduling with applications in manufacturing and services, Irwin/McGraw-Hill, 1999.
- [Pomerol & Barba-Romero, 2000] J-C. Pomerol & S. Barba-Romero, Multicriterion decision making in management: Principles and practice, Kluwer, New York, 2000.
- [Porter, 1986] M.Porter, L'avantage concurrentiel, inter Editions, Paris 1986.

- [Pujo & Kieffer, 2002] P. Pujo et J-P. Kieffer, « Concepts fondamentaux du pilotage des systèmes de production », dans P. Pujo et J-P. Kieffer « Fondements du pilotage des systèmes de production », IC2 Productique, Hermès Sciences Publication, Paris, 2002. ISBN 2-7462-0513-0.
- [Reeves, 1995] C.R. Reeves, Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems, Mc Graw-Hill - Advanced Topics in Computer Science, 1995. ISBN 0-07-709239-2.
- [Reix, 2002] M. Reix, Systèmes d'information et management des organisations, Editions d'organisations, Paris, 2002.
- [Roboam, 1993] M. Roboam, La méthode GRAI : Principes, outils et démarche et pratique, Teknea, 1993.
- [Rosnay, 1975] J. Rosnay, Le macroscope: vers une vision globale, Essais, 1975.
- [Roux *et al.*, 2006] Roux O., Dhaevers V., Duvivier D., Meskens N. et Artiba A, « Développement de modèles hybrides pour l'aide à la décision multicritère en vue d'ordonnancer des job-shops généralisés », Conférence Francophone de Modélisation et de Simulation Mosim'06, avril 2006, Rabat, 2006.
- [Roux *et al.*, 2007] O. Roux, V. Dhaevers, A. Hanset et A. Lazraq, « Statistical-Analysis-Based-Comparisons of scheduling strategies in an industrial context », International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM 2007), Beijing. A paraître dans Journal of Operations and Logistics, 2007.
- [Roux *et al.*, 2008 a] Roux O., Duvivier D., Dhaevers V., Meskens N. et Artiba A; « Multicriteria approach to rank scheduling strategies », International Journal of Production Economics, Vol. 112, N°1, 192-201, 2008.
- [Roux *et al.*, 2008 b] O. Roux, V. Dhaevers et D.Duvivier, « Comparaison de différents opérateurs de déplacement pour une méthode tabou : application à un problème industriel hautement contraint », Conférence Francophone de Modélisation et de Simulation Mosim'08, Paris, avril 2008.
- [Rowe & Marciniak, 1997] F. Rowe, R. Marciniak, Systèmes d'information, dynamique et organisation, Economica, P.I.Q. poche, 1997.
- [Roy, 1968] B. Roy, « Classement et choix en présence de points de vue multiples », RAIRO, Recherche opérationnelle/Operational Research, Vol.2, N°8, 1968.
- [Roy, 1985] B. Roy, Méthodologie multicritère d'aide à la décision, Economica, 1985.
- [Saaty, 1977] T.L. Saaty, A scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, Journal of Mathematical Psychology, Vol. 15, 234-281, 1977.
- [Saaty, 1980] T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process, New York : McGraw-Hill, 1980.
- [Sassine, 1998] C. Sassine, « Intégration des politiques de maintenance dans les systèmes de production manufacturiers », Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, Juillet 1998.
- [Savall & Zardet, 1989] H. Savall et V. Zardet, Maîtriser les coûts et les performances cachés, Eyrolle, 1989.
- [SCOR, 2008] Supply-Chain Council, « Supply-Chain Operations References – Model », SCOR Overview, 2008.

- [Seber, 1984] G. Seber, Multivariate Observations, John Wiley, New York, 1984. ISBN 0471691216.
- [Selmer, 1998] C. Selmer, Concevoir un tableau de bord, Editions Dunod, Paris, 1998.
- [Sénéchal & Tahon, 1998] O. Sénéchal & C. Tahon, « A methodology for integrating economic criteria in design and production management decisions », International Journal of Production Economics, 56-57, Elsevier, 1998.
- [Sénéchal *et al.*, 2003] O. Sénéchal, P. Girard, F. Tomala et D. Trentesaux, « Le cycle de vie du système de production », dans C. Tahon, Evaluation des performances des systèmes de production, Hermès Science Publication, Lavoisier, 2003. ISBN 2-7462-0634-X.
- [Sénéchal, 2004] O. Sénéchal, « Pilotage des systèmes de production vers la performance globale », Habilitation à diriger des recherches, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2004.
- [Siarry *et al.*, 2003] P. Siarry, J. Dréo, A. Pétrowski et E. Taillard, Métaheuristiques pour l'optimisation difficile, Eyrolles, 2003. ISBN 2212113684.
- [Siebenborn, 2005] T. Siebenborn, « Une approche de formalisation du processus de changement dans l'entreprise », Thèse de doctorat, Université de Savoie, 2005.
- [Simon, 1977] H. Simon, The new science of management decision, Prentice-Hall, 1977.
- [Smith & Seidmann, 1983] M.L. Smith et A. Seidmann, « Due date selection procedures for job-shop simulation », Computers and Industrial Engineering Journal, Vol. 7, N°3, 1983.
- [Sohier, 1996] C. Sohier, « Pilotage de cellules adaptatives de production : Apport des systèmes multi-agents », Thèse de Doctorat, Ecole Normale Supérieure de Cachan, 1996.
- [Suwignjo *et al.*, 1997] P. Suwignjo, U.S. Bititci. et A.S. Carrie, « Quantitative models for performance measurement system: an analytical hierarchy process approach », Matraging Enterprises - Stakeholders. Engineering, Logistics, and Achievement, Mechanical Engineering Publications, New York., 1997.
- [Suwignjo & Bititci, 2000] P. Suwignjo et U.S. Bititci, « Quantitative models for performance measurement system », International Journal of Production Economics, Vol.64, pp. 231-234, 2000.
- [Talbi, 2002] E.-G. Talbi, « A taxonomy of hybrid metaheuristics », Journal of Heuristics, Vol.8, N°2, 2002.
- [Talbi, 2009] E-G Talbi, Metaheuristics: From Design to Implementation, John Wiley and Sons Ltd, United Kingdom, 2009. ISBN 10 : 0470278587.
- [Tan & Platts, 2003] Tan K.H. et Platts K., « Linking objectives to actions: a decision support approach based on cause-effect linkages », Decision Sciences, Vol. 34, N° 3, 2003.
- [Tan & Platts, 2004] Tan K.H. et Platts K., « Operationalising strategy: mapping manufacturing variables », International Journal Production Economics, Vol. 89, 2004.
- [Teghem & Pirlot, 2002] J. Teghem et M. Pirlot, Optimisation approchée en recherche opérationnelle, Recherches locales, réseaux neuronaux et satisfaction de contraintes, Hermès, 2002.
- [Théroutte *et al.*, 2001a] F. Théroutte, C. Braesch et A. Haurat, « OLYMPIOS : un modèle pour le pilotage de processus », MOSIM01, Troyes, France, 2001.

- [Théroutde *et al.*, 2001b] F. Théroutde, C. Braesch et A. Haurat, « Proposition pour la modélisation du pilotage d'un processus industriel », 4^{ième} Congrès International de Génie Industriel, Aix- Marseille, Juin 2001.
- [Théroutde, 2002] F. Théroutde, « Formalisme et système pour la représentation et la mise en œuvre des processus de pilotage des relations entre donneurs d'ordres et fournisseurs », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 2002.
- [Thun, 2006] J-H. Thun, « Maintening preventive maintenance and maintenance prevention: analysing the dynamic implications of Total Productive Maintenance », System Dynamic Review, Vol. 22, N°2, 2006.
- [Thompson & Mac Ewen, 1969] J. Thompson et W. Mac Ewen, Organization Goals and Environment, Amitai Etzioni, 1969.
- [Trentesaux, 1996] D. Trentesaux, « Conception d'un système de pilotage distribué, supervisé et multicritère pour les systèmes automatisés de production », Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, 1996.
- [Trentesaux *et al.*, 2000] D. Trentesaux, J. P. Campagne et J. Erschler, « A generic design framework for decentralized control: the DMU model », 2nd IFAC/IFIP/IEEE Conference On Management and Control of Production and Logistics, MCPL 2000 (Grenoble, juillet 2000), Z. Binder (ed), Pergamon, 1^{ière} édition, Oxford, Elsevier Science Ltd., vol. 3, 2001. ISBN 0- 08- 0436218.
- [Trentesaux, 2002] D. Trentesaux, « Pilotage hétéarchique des systèmes de production », Habilitation à diriger des recherches, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, 2002.
- [Turban *et al.*, 2010] E. Turban, R. Sharda et D. Delen, Decision Support and Business Intelligence Systems 9th, Prentice Hall Press Upper Saddle River, NJ, USA, 2010. ISBN 9780136107293.
- [UEML, 2001] UEML, « UEML : Unified Enterprise Modelling Language – thematic Network, Annexe 1, Description of works, IST, 34229, 2008-02-01, 2001.
- [United Nations, 1987] United Nations, World Commission on Environment and Development, Brundtland Report – Our Common Future, 1987.
- [Vernadat, 1996] F. Vernadat, Enterprise and modeling integration, principles and applications, Chapman & Hall, 1996.
- [Vernadat, 2001] F. Vernadat, « UEML : Towards a unified enterprise modeling language », MOSIM01, Troyes, France, 2001.
- [Verrons, 2004] M.H. Verrons, « GeNCA : un modèle général de négociation de contrats entre agents, Université des Sciences et Technologies de Lille, 2004.
- [Waikar *et al.*, 1995] A.M. Waikar, B.R. Sarker et A.M, « Lal, A comparative study of some priority dispatching rules under different shop loads », Production Planning Control, Vol. 6, N°4, 1995. ISSN 09537287.
- [Wikipédia, 2009] Wikipédia l'encyclopédie libre, « Métaheuristique », <http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C3%A9taheuristique&oldid=37987888>, Page consultée le 12 avril 2009.
- [Wisner & Fawcett, 1991] J.D. Wisner et S.E. Fawcett, « Link firm strategy to operating decisions through performance measurement », Production an Inventory Management Journal, third quarter, pp; 5-11, 1991.

- [Youssef, 1998] A. Youssef, « Architecture distribuée multi-experts avec contrôle hiérarchique pour le pilotage des systèmes de production », Thèse de doctorat en Productique Automatisée, Université de Metz, 1998.
- [Zeleny, 1982] M. Zeleny, Multiple criteria decision making, McGrawHill, 1982.
- [Zülch *et al.*, 1994] G. Zülch, T. Grobel, U. Jonsson, « Indicators for the evaluation of organizational performance », IFIP WG 5.7, Workshop on Benchmarking - Theory and Practice, Trondheim, Juin, 1994.
- [Zwingelstein, 1996] G. Zwingelstein, La maintenance basée sur la fiabilité, guide pratique d'application de la RCM, Hermès Paris 1996.
- [Zwegers, 1998] A. Zwegers, « On system architecting : A study in shop floor control to determine architecting concept and principles », Ph. D. Thesis, 1998.

ANNEXES

ANNEXE 1 : ANALYSE CAUSES À EFFETS & « 5M »

Questions centrales : « Pourquoi le prix de revient des produits est-il élevé ? » ; Quelles actions mettre en place pour le minimiser ?

I. Matières/Produits

Cause de 1 ^{er} niveau	Cause de 2 ^{ème} niveau	Action potentielle en vue de la réduction du coût
- Prix d'achat FM	- Nombre de références en stock trop élevé	- Réduire le nombre de références en stock
	- Peu d'économies d'échelle réalisées lors de la commande de matière	- Définir le volume de matière à commander pour économie d'échelle
	- Contrats mal négociés	- Renégociation contrats
	- Choix du fournisseur	- Benchmarking des fournisseurs
	- Qualité de fil trop élevée	- Etude qualité de FM adéquate
- Prix d'achat consommables	- Contrats mal négociés	- Renégociation contrats
	- Choix du fournisseur	- Benchmarking des fournisseurs
	- Nombre de références en stock trop élevé	- Réduire le nombre de références en stock
	- Peu d'économies d'échelle réalisées lors de la commande de matière	- Définir le volume de matière à commander pour économie d'échelle
- Arrêt de production pour indisponibilité de matière	- Mauvaise gestion des stocks FM, consommables...	- Révision de la politique de stockage
	- Manque de ressources auxiliaires	- Achat de ressources auxiliaires supplémentaires - Amélioration de la gestion des ressources auxiliaires - Révision de l'ordonnancement de la production
	- Organisation de la production déficiente	- Révision de l'ordonnancement de la production
	- Réduction nombre tests qualité	- Réduction nombre tests qualité
	- Personnel occupé ou déplacé	- Révision de l'ordonnancement de la production
		- Former le personnel : perfectionnement et polyvalence

- Coûts de transport élevés	- Contrats mal négociés	- Renégociation contrats
	- Choix du transporteur	- Benchmarking des transporteurs
	- Délais de production non respectés	- Révision de l'ordonnancement de la production en vue de tenir les délais - Réduire le temps d'indisponibilité des machines - Réduire le temps d'indisponibilité de la main d'œuvre - Réduire absence de matières - Réduire temps de setups par le groupement de commandes - Etude de l'optimisation des chargements
- Pénalités pour retard de livraison	- Optimisation insuffisante des chargements	
	- Délais de production non respectés	- Révision de l'ordonnancement de la production - Réduire le temps d'indisponibilité des machines - Réduire le temps d'indisponibilité de la main d'œuvre - Réduire absence de matières - Réduire temps de setups par le groupement de commandes - S'assurer de la fiabilité des fournisseurs
- Coût d'obtention du niveau de qualité	- Déficience du transporteur	- Audit de la fiabilité du transporteur
	- Nombre de tests qualité réalisés	-
- Coût de stockage des PF	- Niveau de qualité de la MP et consommables	-
	- La date de fin de production de la commande ne correspond pas à sa date d'exigibilité	- Production Just-in-time – Minimiser l'avance
	- cadence d'expéditions faible	- Augmenter la flexibilité des livraisons

2. Main d'œuvre

Cause de 1 ^{er} niveau	Cause de 2 ^{ème} niveau	Action potentielle en vue de la réduction du coût
- Engagement de main d'œuvre intérimaire	- Remplacement personnel absent (absentéisme, accident, ...)	- Motiver le personnel - Aménagement du temps de travail - Sécuriser le lieu de travail - Afficher les objectifs atteints et à atteindre sur chaque poste de travail - Récompenser les ouvriers les plus performants - Améliorer la qualité de vie du personnel (cafeteria...)
	- Remplacement personnel en formation	- Révision ordonnancement de la production pour pallier l'absence
	- Goulot à l'emballage (atelier surchargé par beaucoup de petites commandes)	- Ordonnancement la production adapté à la fabrication de nombreuses commandes de petite quantité
	- Goulot à l'emballage (ordonnancement de la production insatisfaisant)	- Révision de l'ordonnancement de la production
- Indisponibilité de main d'œuvre	- Personnel en formation	- Révision de l'ordonnancement de la production
	- Personnel occupé ou déplacé	- Révision de l'ordonnancement de la production
	- Personnel accidenté	- Sécuriser le lieu de travail
	- Absentéisme	- Motiver le personnel - Aménagement du temps de travail
	- Grève	- Dialogue syndical
	- Pilotage atelier non maîtrisé	- Révision de l'ordonnancement de la production
- Compétences insuffisantes du personnel (lenteurs, blocages de production, accroissement du nombre de rebus & retouches...)	- Manque de formation - polyvalence & perfectionnement	- Former le personnel: polyvalence & perfectionnement

3. Machines

Cause de 1 ^{er} niveau	Cause de 2 ^{ème} niveau	Action potentielle en vue de la réduction du coût
- Arrêt machines pour cause indisponibilité de main d'œuvre	- Personnel en formation	- Révision de l'ordonnancement de la production
	- Personnel occupé & déplacé	- Révision de l'ordonnancement de la production
	- Personnel accidenté	- Sécuriser le lieu de travail
	- Absentéisme	- Aménagement du temps de travail - Afficher les objectifs atteints et à atteindre sur chaque poste de travail - Récompenser les ouvriers les plus performants - Améliorer la qualité de vie du personnel (cafeteria...)
- Arrêt machines pour maintenance	- Durée et nombre d'intervention de l'intervention	- Révision de la politique de maintenance - Petit entretien à réaliser régulièrement par l'opérateur
- Arrêt machines pour pénurie de ressources auxiliaires	- Ordonnancement de la production insatisfaisant (pas de bobines disponibles)	- Révision de l'ordonnancement de la production afin d'intégrer la gestion des ressources auxiliaires
	- Personnel en nombre insuffisant (bobines non vidées)	- Révision de l'ordonnancement de la production - Déplacement d'opérateur
- Arrêt machines pour pannes	- Durée et fréquence de pannes trop élevées	- Elaborer une véritable politique de maintenance
	- Indisponibilité des pièces de rechange	- Révision de la gestion stock de pièces de rechange
	- Durée de réparation longue	- Meilleure collaboration avec une entreprise spécialisée - Formation personnel maintenance : perfectionnement et polyvalence
	- Politique de maintenance inappropriée	- Revoir politique de maintenance
	- Planification des interventions déficientes	- Synchronisation ordonnancement production - maintenance

- Trop de ruptures de fil et de retouches	- Qualité de fil insuffisante	- S'assurer de la fiabilité des fournisseurs - Augmenter fréquence de tests de qualité des MP - Etude de la qualité de fil adéquate
	- Vitesse machine inadaptée (cadence trop élevée)	- Revoir le paramétrage des postes de travail
	- Soudure défectueuse	- Former le personnel : perfectionnement et polyvalence
	- Maintenance de poste insuffisante	- Revoir la fréquence et la politique de maintenance
- Trop de ruptures de retraitements	- Nombre de bobines de fils oxydées trop important	- Réduire le temps d'attente des bottes devant les tréfileuses - Augmenter la marge de sécurité du décapage
- Temps de passage sur poste trop long	- Vitesse de la machine inadaptée	- Revoir paramétrage machine
	- Diamètre de fil inadapté	- Etude qualité de FM adéquate
	- Qualité de fil médiocre	- Augmenter fréquence de tests de qualité des MP - S'assurer de la fiabilité des fournisseurs

4. Méthodes

Cause de 1 ^{er} niveau	Cause de 2 ^{ème} niveau	Action potentielle en vue de la réduction du coût
---------------------------------	----------------------------------	---

- Vision en production insuffisante (ex : intégration d'urgences)	- Planification des commandes peu satisfaisante	- Révision de la méthode de planification
- Ordonnancement des commandes insatisfaisant	- Méthodes et outils adaptés non disponibles	- Développer un système de pilotage de l'atelier
	- Temps d'attente trop long devant le poste de travail	- Développer un système de pilotage de l'atelier
	- Insertion de commandes urgentes	- Développer un système de pilotage de l'atelier incluant la gestion des urgences
- Préparation des postes de travail : • Durée de set-up trop longue • Nombre de set-up trop important	- Compétences insuffisantes du personnel	- Formation personnel : perfectionnement et polyvalence
	- Séquences de production pas assez étudiées	- Révision de l'ordonnancement de la production - Ordonnancer des plus petits diamètres au plus gros pour compenser l'usure des filières

	- Oxydation du fil exigeant un retraitement	- Réduire le temps d'attente devant le poste de travail
- Cadence de l'atelier: coefficient de sécurité du décapage trop élevé	- Nombreux retraitements de produits	- Réévaluer le coefficient de sécurité
	- Quantité de consommables « gaspillée » très élevée	- Réévaluer le coefficient de sécurité
- Réaction trop lente face aux dysfonctionnements de production	- Manque de visibilité de la production	- Augmenter le nombre d'éléments de collecte d'information - Améliorer la qualité du système d'information
- Réaction trop lente face aux opportunités offertes en cours de production	- Optimiser la gestion des marges libres et totales pour l'anticipation en production	- Augmenter l'échange d'informations entre postes de travail - Améliorer la qualité du système d'information

5. Milieu

Cause de 1 ^{er} niveau	Cause de 2 ^{ème} niveau	Action potentielle en vue de la réduction du coût
- Transport interne peu aisé	- Implantation des machines peu adaptée	- Reconfigurer l'atelier
	- Matériel de transport insuffisant	- Acquérir nouveau matériel de transport
	- Automatisation du transport interne insuffisante	- Automatisation du transport interne
- Encombrement de l'atelier (stock, déchets, ...)	- Taille des lots inadaptée	- Revoir ordonnancement de la production
	- Nettoyage trop peu fréquent de l'atelier et de chaque poste de travail	- Maintenance de premier niveau réalisée par chaque opérateur
	- Processus de mise en stock insuffisant	- Réorganisation du processus de mise en stock - Réduire le nombre de références
	- Agencement de l'atelier inadapté	- Réorganiser l'atelier

RÉSUMÉ

Le bouleversement de son contexte économique, la délocalisation des systèmes de production concurrents et le renforcement des exigences du gouvernement et de ses partenaires placent l'entreprise dans une situation extrêmement délicate à gérer afin de rester compétitive et rentable. A l'heure actuelle, une gestion efficace et efficiente de l'entreprise nécessite qu'elle s'appuie sur un système de pilotage de la performance présentant les caractéristiques suffisantes pour faire face à la modification de la notion de performance d'un système de production tant dans sa déclinaison, son appréhension que dans ses formes d'évaluation. La performance monocritère du système taylorien a, en effet, au fil du temps, laissé la place à une performance globale et multicritère qui se doit d'être pérenne. L'évaluation du système doit, quant à elle, gérer cette multiplicité de facettes.

L'analyse des besoins de l'entreprise a souligné qu'un système de pilotage de la performance doit offrir au décideur la possibilité de prendre toutes les décisions utiles au bon fonctionnement du système qu'il pilote afin que ce dernier atteigne les objectifs qui lui sont attribués. Mesurer la performance atteinte par le système piloté et veiller à son amélioration continue sont les deux missions reconnues d'un système de pilotage. Cependant, ces prérogatives ne suffisent plus à en assurer la pleine efficacité. Le climat tendu dans lequel évolue l'entreprise de nos jours ne laisse plus de place aux tâtonnements et aux erreurs sous peine de la voir disparaître ! Le système de pilotage doit donc également être un outil d'aide à la décision destiné à garantir à l'entreprise la pertinence et l'efficacité des actions prises en vue de la correction de ses dysfonctionnements et de l'amélioration de ses résultats. C'est ce que nous proposons sous l'intitulé de *pilotage souple de la performance*. Il s'agit d'une méthodologie structurée et organisée de mise en œuvre, d'exploitation et de révision d'un système de pilotage de la performance pour assurer à l'entreprise une gestion cohérente et proactive de sa performance globale.

Une organisation centrée autour de deux boucles de pilotage complémentaires caractérise le système de pilotage souple que nous proposons. La première, la boucle de décision, est une réplique de la vision classique d'un système de pilotage et travaille directement sur le système réel de production. La seconde, la *boucle de pilotage virtuel*, utilise une représentation du système réel. Son rôle consiste à éprouver les alternatives de pilotage de manière à déterminer le potentiel de progrès qu'elles sont susceptibles d'apporter et d'identifier l'action la plus pertinente à appliquer au système réel. La boucle de pilotage virtuel constitue le cœur du système de pilotage.

Outre son rôle d'outil de sélection d'actions de pilotage adaptées au contexte socio-économique de l'entreprise, le pilotage souple permet, de par sa conception, de multiples autres utilisations. Il est un outil d'études d'incidence de l'application de l'action choisie, de paramétrage de cette action et de gestion des résistances au changement du personnel concerné par l'action envisagée.

Afin de révéler pleinement son efficacité, il s'adresse principalement à des organisations de taille raisonnable présentant un niveau de complexité certain et des degrés de liberté suffisants pour ne pas entraver son activité. Lorsque ces organisations sont confrontées à un environnement en perpétuelle mutation, le pilotage souple se révèle bien plus appréciable encore.

Mots clés : Performance – Système de pilotage – Aide à décision multicritère - Simulation – Optimisation multicritère – Système de production



Pilotage Souple de la Performance des Systèmes de Production

Valérie DHAEVERS

Mesurer la performance atteinte par le système piloté et veiller à son amélioration continue sont les deux missions reconnues d'un système de pilotage. Cependant, ces prérogatives ne suffisent plus à assurer la pleine efficacité. Le climat tendu dans lequel évolue l'entreprise ne laisse plus de place aux tâtonnements et aux erreurs sous peine de la voir disparaître ! Le système de pilotage doit donc également être un outil d'aide à la décision destiné à garantir à l'entreprise la pertinence et l'efficacité des actions prises en vue de la correction de ses dysfonctionnements et de l'amélioration de ses résultats. C'est ce que nous proposons sous l'intitulé de pilotage souple de la performance. Il s'agit d'une méthodologie structurée et organisée de mise en œuvre, d'exploitation et de révision d'un système de pilotage de la performance pour assurer à l'entreprise une gestion cohérente et proactive de sa performance globale.

Une organisation centrée autour de deux boucles de pilotage complémentaires caractérise le système de pilotage souple. La première, la boucle de décision, est une réplique de la vision classique d'un système de pilotage et travaille directement sur le système réel de production. La seconde, la boucle de pilotage virtuel, utilise une représentation du système réel. Son rôle consiste à éprouver les alternatives de pilotage de manière à déterminer le potentiel de progrès qu'elles sont susceptibles d'apporter et d'identifier l'action la plus pertinente à appliquer au système réel. La boucle de pilotage virtuel constitue le cœur du système de pilotage.

Outre son rôle d'outil de sélection d'actions de pilotage adaptées au contexte socio-économique de l'entreprise, le pilotage souple permet, de par sa conception, de multiples autres utilisations. Il est un outil d'études d'incidence de l'application de l'action choisie, de paramétrage de cette action et de gestion des résistances au changement du personnel concerné par l'action envisagée.

Valérie Dhaevers est née à Mons (Belgique). Elle a obtenu une Licence en Sciences et Economiques Appliquées en 1996 et un diplôme d'Etudes Spécialisées en Gestion Industrielle en 2002. Après avoir occupé un poste de Responsable de Projets au sein de l'Intercommunale de développement économique IDEA, elle entre ensuite aux FUCAM en tant que chercheur. Elle entame finalement une thèse sur le pilotage de la performance des systèmes de production.