



Numéro d'Ordre : 00-31

THESE

présentée à
l'Université de Valenciennes
et du Hainaut Cambrésis

pour l'obtention du
DOCTORAT

Spécialité
**AUTOMATIQUE
INDUSTRIELLE ET HUMAINE**

par

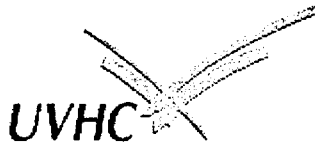
Raphaël FRERE
Ingénieur EIPC

**Contribution à l'intégration d'aspects humains dans
la modélisation des systèmes de fabrication :
vers une gestion conjointe des Ressources
Humaines et de la Production.**

Soutenue le 18 Décembre 2000 devant la commission d'examen :

Mme	Anne-Marie JOLLY-DESODT	Rapporteur
MM :	Abderrahman EL MHAMED I	Rapporteur
	Jean-Claude RABIER	Examineur
	Christian TAHON	Examineur
	Didier WILLAEYS	Président du jury
	Noël MALVACHE	Directeur de thèse





THESE

présentée à
l'Université de Valenciennes
et du Hainaut Cambrésis

pour l'obtention du
DOCTORAT

Spécialité
**AUTOMATIQUE
INDUSTRIELLE ET HUMAINE**

par

Raphaël FRERE
Ingénieur EIPC

**Contribution à l'intégration d'aspects humains dans
la modélisation des systèmes de fabrication :
vers une gestion conjointe des Ressources
Humaines et de la Production.**

Soutenue le 18 Décembre 2000 devant la commission d'examen :

Mme	Anne-Marie JOLLY-DESODT	Rapporteur
MM :	Abderrahman EL MHAMED I	Rapporteur
	Jean-Claude RABIER	Examineur
	Christian TAHON	Examineur
	Didier WILLAEYS	Président du jury
	Noël MALVACHE	Directeur de thèse



Il faut simplifier le plus possible...
mais surtout pas plus.
Albert EINSTEIN

Avant-Propos

Le travail présenté dans ce mémoire a été réalisé au Laboratoire d'Automatique et de Mécanique Industrielles et Humaines de l'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, sous la direction du Professeur Noël MALVACHE. Je tiens ici à lui témoigner toute ma reconnaissance pour le soutien et la confiance qu'il m'a accordés et le remercier pour m'avoir proposé ce sujet de thèse qui m'a ouvert des horizons que je ne connaissais pas ou trop peu.

Je remercie très vivement Madame Anne-Marie JOLLY-DESODT, Professeur à l'ENSAIT, et Monsieur Abderrahman EL MHAMEDI, Professeur à l'Université de Paris 8, pour avoir accepté d'être les rapporteurs de mon travail et pour avoir guidé mes pas, par leurs travaux, sur la voie de l'intégration des aspects humains.

Mes remerciements s'adressent également à Messieurs les Professeurs Jean-Claude RABIER, Christian TAHON et Didier WILLAEYS qui ont accepté d'examiner ce travail et apporteront les points de vue respectifs des Sciences Humaines et Sociales et des Sciences de l'Ingénieur à cette thèse axée sur la collaboration entre ces deux domaines.

Je tiens à remercier également Monsieur Jean-Luc OBJOIE pour m'avoir permis de participer temporairement à la vie de l'atelier qu'il dirige et pour l'accueil chaleureux qu'il m'a réservé, ainsi que les garnisseurs de la ligne de montage MI2N.

Enfin, je ne peux pas conclure cet avant-propos sans évoquer mes collègues de travail et amis qui m'ont soutenu et aidé, en n'en citant que quelques-uns et en m'excusant auprès de ceux qui ne figurent pas dans la liste : Sébastien CHUSSEAU, Fabien DUFOUR, Manuel LAMBERT, Frédéric VANDERHAEGEN, Frédéric LEFEBVRE, Marie-Claude ROSSILLOL, Isabelle OLIVEIRA, Pascal DENECKER, Philippe POLET, Yann MORERE, Stéphane CATHELAIN, Thierry-Marie GUERRA, François DELMOTTE, Christophe MARECHAL,... ; ainsi que Tante Adèle et la Famille pour tous les moments de joie qu'ils nous ont procurés.

Table des Matières

INTRODUCTION GENERALE	1
-----------------------	---

CHAPITRE 1 : IMPORTANCE DE L'HOMME ET DES MODELES POUR LA FONCTION PRODUCTION DE L'ENTREPRISE

1. LA FONCTION PRODUCTION	8
1.1. SOUS-FONCTIONS ET CONCEPTS GENERAUX DE PRODUCTION	8
1.2. LE SYSTEME PHYSIQUE DE FABRICATION	10
1.3. LE SYSTEME DE GESTION DE PRODUCTION	11
1.4. ORDONNANCEMENT DE LA PRODUCTION	11
1.5. PILOTAGE DES SYSTEMES DE PRODUCTION	12
1.5.1. NIVEAUX DE PILOTAGE	12
1.5.2. PILOTAGE ET EVALUATION DE PERFORMANCE	13
1.5.3. INTEGRATION D'ASPECTS HUMAINS	14
2. MODELISATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION	15
2.1. APPROCHES DE MODELISATION	15
2.1.1. APPROCHE TECHNOCENTREE	16
2.1.2. APPROCHE ANTHROPOCENTREE	16
2.1.3. APPROCHE SOCIO-TECHNIQUE	17
2.1.4. APPROCHE SYSTEMIQUE	18
2.1.5. APPROCHE RETENUE	19
2.2. FLUX DE L'ATELIER ET TYPES D'OBJETS	20
2.3. NOTION DE PROCESSUS	21
2.4. DES TACHES AUX ACTIVITES	22
CONCLUSION	25

CHAPITRE 2 : ASPECTS HUMAINS DANS LES SYSTEMES DE FABRICATION MANUFACTURIERS

1. GESTION DES RESSOURCES HUMAINES DE L'ENTREPRISE	28
1.1. FONCTIONS ET OBJECTIFS DE LA GRH	28
1.2. IDENTIFICATION DE PROBLEMATIQUES DE LA GRH	29
2. GESTION DU CLIMAT SOCIAL	30
2.1. DIMENSION INDIVIDUELLE DU CLIMAT SOCIAL	30
2.1.1. LES CONDITIONS DE TRAVAIL	31
2.1.2. LE STRESS	31
2.1.3. LA FATIGUE	32
2.2. DIMENSION COLLECTIVE DU CLIMAT SOCIAL	34
2.2.1. COHESION DE GROUPE	34
2.2.2. NORMES ET APPARTENANCE	35
2.2.3. LE POUVOIR DANS L'ENTREPRISE	36
2.3. APPRECIATION DU CLIMAT SOCIAL	39
2.3.1. L'ABSENTEISME	39
2.3.2. LE TURN-OVER	39
3. GESTION DE LA MOTIVATION	40
3.1. MODELISATION DES PROCESSUS DE LA MOTIVATION HUMAINE	41
3.1.1. LE MODELE MODERE	41
3.1.2. LE MODELE MODMIL	43
3.1.3. MOTIVATION ET PARAMETRES HUMAINS	44
3.2. MOYENS D'ACTION SUR LA MOTIVATION HUMAINE	45

3.2.1. <i>Changement du travail</i>	45
3.2.2. <i>Récompenses et rémunération</i>	47
4. GESTION DES COMPETENCES	48
4.1. LE CONCEPT DE COMPETENCE	49
4.2. IDENTIFICATION DES COMPETENCES	50
4.2.1. <i>COMPETENCES REQUISES</i>	50
4.2.2. <i>COMPETENCES ACQUISES</i>	51
4.3. AJUSTEMENT DES COMPETENCES	52
4.3.1. <i>GESTION PREVISIONNELLE</i>	53
4.3.2. <i>FORMATION DU PERSONNEL</i>	54
CONCLUSION	56

CHAPITRE 3 : PROPOSITION DE NIVEAUX DE MODELISATION POUR LES SYSTEMES DE FABRICATION MANUFACTURIERS ET LA PRISE EN COMPTE DE LEUR COMPOSANTE HUMAINE

1. CHOIX DES NIVEAUX DE MODELISATION	61
1.1. L'OPERATEUR HUMAIN DANS LE SYSTEME DE FABRICATION	61
1.1.1. <i>L'OPERATEUR HUMAIN : ACTEUR ET OBJET DU SYSTEME</i>	61
1.1.2. <i>EMERGENCE DES NIVEAUX DE MODELISATION</i>	64
1.2. UTILITE DES NIVEAUX DE MODELISATION PROPOSES POUR LES FONCTIONS PRODUCTION ET GRH	66
1.2.1. <i>MISE EN EVIDENCE DES NIVEAUX PROPOSES DANS LA FONCTION PRODUCTION</i>	66
1.2.2. <i>MISE EN EVIDENCE DES NIVEAUX PROPOSES DANS LA FONCTION GRH</i>	68
2. PRESENTATION DES NIVEAUX DE MODELISATION	70
2.1. NIVEAU STRUCTURE	70
2.1.1. <i>COMPOSANTS DU SYSTEME DE FABRICATION</i>	71
2.1.2. <i>ATTRIBUTS DES COMPOSANTS</i>	72
2.1.3. <i>RELATIONS ENTRE COMPOSANTS</i>	73
2.1.4. <i>DECOMPOSITION ET AGREGATION DE COMPOSANTS</i>	74
2.2. NIVEAU FONCTION	75
2.2.1. <i>SPECIFICATION DES TACHES</i>	75
2.2.2. <i>REPARTITION DES FONCTIONS DANS LE TEMPS</i>	76
2.2.3. <i>FONCTIONS DES RESSOURCES HUMAINES ET TECHNIQUES</i>	78
2.2.4. <i>CONTENU DU NIVEAU DE MODELISATION FONCTION</i>	78
2.3. NIVEAU FONCTIONNEMENT	79
2.3.1. <i>REPRESENTATION DES PROCESSUS ET INTERVENTION HUMAINE</i>	80
2.3.2. <i>MODES DE FONCTIONNEMENT NORMAUX ET ANORMAUX</i>	81
2.4. NIVEAU COMPORTEMENT	82
2.4.1. <i>MODELISATION DES ACTIVITES</i>	83
2.4.2. <i>LA MATRICE ACTIONS-FLUX</i>	84
2.5. INTERACTIONS ENTRE LES NIVEAUX DE MODELISATION	85
2.6. MODULARITE DE LA MODELISATION	87
CONCLUSION	88

CHAPITRE 4 : CONTRIBUTION DES NIVEAUX DE MODELISATION A L'INTEGRATION DES ASPECTS HUMAINS ET ILLUSTRATION SUR LE CAS D'UN ATELIER ORGANISE EN GROUPES AUTONOMES

1. INTEGRATION DES ASPECTS HUMAINS DANS LES NIVEAUX DE MODELISATION	91
1.1. REPARTITION DES ASPECTS HUMAINS SUR LES NIVEAUX DE MODELISATION	91
1.2. INTEGRATION DU CLIMAT SOCIAL	92
1.2.1. <i>ACQUISITION DES DONNEES RELATIVES AU CLIMAT SOCIAL</i>	93
1.2.1.1. <i>EVALUATION DE LA COHESION DES GROUPES</i>	93
1.2.1.2. <i>REPARTITION DU POUVOIR</i>	94
1.2.2. <i>INFLUENCE DU CLIMAT SOCIAL</i>	95
1.3. INTEGRATION DE LA MOTIVATION	95
1.3.1. <i>ACQUISITION DES DONNEES RELATIVES A LA MOTIVATION</i>	96

1.3.2. INFLUENCE ET CONSEQUENCES DE LA MOTIVATION	97
1.4. INTEGRATION DES COMPETENCES	98
1.4.1. IDENTIFICATION ET EVALUATION DES COMPETENCES	99
1.4.2. EXPLOITATION DES DONNEES SUR LES COMPETENCES	100
2. MISE EN ŒUVRE DES NIVEAUX DE MODELISATION SUR UN ATELIER D'ASSEMBLAGE	100
2.1. PRESENTATION D'UN ATELIER D'ASSEMBLAGE DE VEHICULES FERROVIAIRES	100
2.1.1. CONSTITUTION D'UN VEHICULE DE TRANSPORT FERROVIAIRE A DEUX NIVEAUX	101
2.1.2. FABRICATION D'UN VEHICULE DE TRANSPORT FERROVIAIRE A DEUX NIVEAUX	102
2.1.3. SYNCHRONISATION DU FLUX DE VEHICULES	103
2.1.4. IMPORTANCE DE LA COMPOSANTE HUMAINE	104
2.1.4.1. AUTOMATISATION DU MONTAGE DES VEHICULES FERROVIAIRES	104
2.1.4.2. DESCRIPTION D'UN GROUPE AUTONOME	105
2.1.4.3. PERFORMANCES D'UN GROUPE AUTONOME	106
2.2. APPLICATION DES NIVEAUX DE MODELISATION SUR L'ATELIER OBSERVE	107
2.2.1. COMPOSANTS DE L'ATELIER ET FONCTIONS ASSOCIEES	107
2.2.2. DEFINITION DE FONCTIONS A PARTIR DU PROCESSUS DE MONTAGE DES VEHICULES	108
2.2.3. COMPOSANTS D'UNE LIGNE DE MONTAGE ET FONCTIONS ASSOCIEES	110
2.2.4. EXEMPLE D'UN RETARD DE FABRICATION	111
3. APPORTS ET LIMITES DE LA MODELISATION	112
3.1. RAPPROCHEMENT DES FONCTIONS GRH ET PRODUCTION	113
3.2. PERTINENCE DES ASPECTS HUMAINS INTEGRES ET LIMITES DE L'INTEGRATION	114
3.2.1. OBSERVATION DES ASPECTS HUMAINS DANS L'ATELIER	114
3.2.1.1. INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DE GROUPE	114
3.2.1.2. EXEMPLE D'UNE NORME DE FONCTIONNEMENT	115
3.2.1.3. ILLUSTRATION DES FORMES DE COGNITION INTEGrees DANS MODMIL	115
3.2.2. ASPECTS HUMAINS NON PRIS EN COMPTE DANS LA MODELISATION	117
CONCLUSION	117

CHAPITRE 5 : SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES SUR L'INTEGRATION DES ASPECTS HUMAINS DANS LA MODELISATION DES SYSTEMES DE FABRICATION

1. SYNTHÈSE SUR L'INTEGRATION DES ASPECTS HUMAINS DANS LA MODELISATION	120
2. VALIDATION EXPERIMENTALE DES QUATRE NIVEAUX DE MODELISATION	121
2.1. RECUEIL DES ASPECTS HUMAINS INDIVIDUELS ET COLLECTIFS	122
2.2. SPECIFICATION D'UN SYSTEME D'INDICATEURS LIES A LA COMPOSANTE HUMAINE	122
2.3. EVALUATION DES EFFETS DES ASPECTS HUMAINS SUR LE SYSTEME DE FABRICATION	123
3. GESTION CONJOINTE DE LA PRODUCTION ET DES RESSOURCES HUMAINES	123
4. EXTENSION DES PRINCIPES DES SYSTEMES HOMME-MACHINE	124
5. CAPITALISATION DE CONNAISSANCES SUR LE SYSTEME DE FABRICATION	125
5.1. MODES DE FONCTIONNEMENT DEGRADES	125
5.2. BASE DE DONNEES DU MODELE	126
CONCLUSION GENERALE	128

BIBLIOGRAPHIE	131
----------------------	------------

ANNEXE 1 : EVALUATION DE PERFORMANCES : PARAMETRES, INDICATEURS ET MODELE DE REFERENCE	139
ANNEXE 2 : LE SYSTEMOGRAPHE SAGACE	141
ANNEXE 3 : ARCHITECTURES DE REFERENCE DE L'ENTREPRISE	145
ANNEXE 4 : IDEF3 : UNE METHODE DE RECUEIL DE DESCRIPTIONS DE PROCESSUS	151
ANNEXE 5 : PIF : PROCESS INTERCHANGE FORMAT	155
ANNEXE 6 : TECHNIQUES ET METHODES D'EVALUATION DU RENDEMENT	157
ANNEXE 7 : EXEMPLE DE CRITERE D'AFFECTATION DES RESSOURCES HUMAINES INTEGRANT L'EVALUATION DES COMPETENCES ACQUISES	161
ANNEXE 8 : ORDONNANCEMENT DES FONCTIONS D'UNE LIGNE DE MONTAGE	165
ANNEXE 9 : UTILISATION DE LA LOGIQUE FLOUE POUR L'EVALUATION DE L'EFFICACITE HUMAINE	167

Répertoire des Figures et Tableaux

CHAPITRE 1 :

Figure I. 1 : Détail de la fonction Production /DOUMEINGTS&al.-1993/	9
Figure I. 2 : Division de la fonction Production de l'entreprise	9
Figure I. 3 : Position du système physique de fabrication et liens entre sous-fonctions de production	10
Figure I. 4 : Les fonctions de la gestion de production, d'après /ALEONARD&al.-1993/	11
Figure I. 5 : Niveaux hiérarchiques de pilotage	13
Figure I. 6 : Approches de modélisation d'un atelier de production manufacturière	16
Figure I. 7 : Représentation d'un système socio-technique (SST)	17
Figure I. 8 : Positionnement de l'approche retenue	19
Figure I. 9 : Exemples de formalismes utilisés pour la représentation des activités	23
Figure I. 10 : Parties observable et non observable de l'activité	23
Figure I. 11 : Représentation de l'activité en fonction de la situation finale souhaitée pour le SHM	24
Figure I. 12 : Représentation des liens entre activité, tâche prescrite et tâche interprétée	25
Tableau I. 1 : Les différents flux d'une entreprise /LE GALLOU-1992/	20

CHAPITRE 2 :

Figure II. 1 : Contribution de la GRH à l'efficacité de l'organisation /DOLAN&al.-1988/	29
Figure II. 2 : Objectifs opérationnels et problématiques principales de la GRH	30
Figure II. 3 : Représentation simplifiée du phénomène de stress	31
Figure II. 4 : Dépendance entre le niveau de performance humaine et le niveau de stress	32
Figure II. 5 : Principales observation, formes et conséquences de la fatigue	33
Figure II. 6 : Facteurs principaux de cohésion	35
Figure II. 7 : Facteurs fondamentaux agissant sur l'identification au groupe /MARCH&al.-1971/	36
Figure II. 8 : Expression du pouvoir à partir de la centralité des individus dans un réseau	37
Figure II. 9 : Expression d'une relation de pouvoir et localisation des sources de pouvoir	38
Figure II. 10 : Modèle MODERE, adapté d'après /KARSKY&al.-1996/	42
Figure II. 11 : Modélisation de la théorie de la rationalisation, d'après /KARSKY&al.-1996/	44
Figure II. 12 : Changements du travail et motivation de l'opérateur humain	46
Figure II. 13 : Représentation du système de rémunération de l'entreprise	47
Figure II. 14 : Relation entre système de production et compétences de l'opérateur humain	50
Figure II. 15 : Ajustement entre les ressources humaines et le contenu de leur travail	52
Figure II. 16 : Ajustement des ressources humaines aux besoins de l'entreprise, adapté d'après /MARTORY&al.-1998/	53
Figure II. 17 : Interactions entre production et GRH /FRANCHINI&al.-1999/	54
Figure II. 18 : Relations entre problématiques GRH et objectifs de production	56
Tableau II. 1 : Exemples d'illustration des composantes de la compétence	49

CHAPITRE 3 :

Figure III. 1 : Proposition d'un modèle commun aux fonctions GRH et Production	60
Figure III. 2 : L'opérateur humain et le système de fabrication	61
Figure III. 3 : Exemple d'une tâche de manutention de cartons	62

Figure III. 4 : Points de vue « Acteur » et « Objet » sur l'opérateur humain	63
Figure III. 5 : Emergence des niveaux de modélisation	64
Figure III. 6 : Liens directs entre les niveaux de modélisation	66
Figure III. 7 : La fonction Production, le système de fabrication et le modèle proposé	66
Figure III. 8 : Niveaux de modélisation utilisés dans le cadre de la fonction Production	67
Figure III. 9 : Niveaux de modélisation utilisés dans le cadre de la fonction GRH	68
Figure III. 10 : Interactions entre les niveaux de modélisation et les fonctions Production et GRH	69
Figure III. 11 : Interactions entre le niveau « Structure » et les fonctions Production et GRH	70
Figure III. 12 : Exemple de composants d'une entreprise	71
Figure III. 13 : Exemple de décomposition-agrégation des composants d'une machine-outil	74
Figure III. 14 : Exemple de fonction de fabrication simplifiée d'un atelier	75
Figure III. 15 : Interactions entre Production-GRH et le niveau de modélisation « Fonction »	76
Figure III. 16 : Contenu du niveau de modélisation « Fonction »	79
Figure III. 17 : Interactions entre niveau « Fonctionnement » et fonctions Production et GRH	80
Figure III. 18 : Modes de fonctionnement relatifs à la réalisation d'une fonction	81
Figure III. 19 : Interactions entre niveau « Comportement » et fonctions Production et GRH	82
Figure III. 20 : Modèle de l'activité /FRERE&al.-1998b/	83
Figure III. 21 : Présentation de la Matrice Actions-Flux	84
Figure III. 22 : Détail des niveaux de modélisation proposés	85
Figure III. 23 : Représentation des relations entre les niveaux de modélisation	86
Figure III. 24 : Exemple simplifié d'application sur une cellule flexible de production	87
Tableau III. 1 : Exemple d'attributs d'une machine	72
Tableau III. 2 : Attributs d'un Opérateur Humain	72
Tableau III. 3 : Attributs d'une équipe d'opérateurs humains	73

CHAPITRE 4 :

Figure IV. 1 : Contribution des niveaux de modélisation à l'intégration des aspects humains et au rapprochement des fonctions Production et Gestion des Ressources Humaines	90
Figure IV. 2 : Aspects humains abordés par les niveaux de modélisation	91
Figure IV. 3 : Dimensions collective et individuelle de l'intégration des aspects humains	92
Figure IV. 4 : Processus d'évaluation de la cohésion des groupes	93
Figure IV. 5 : Evaluation d'un indice de pouvoir pour chaque opérateur humain	94
Figure IV. 6 : Intégration de la motivation dans la modélisation d'un opérateur humain	96
Figure IV. 7 : Processus d'évaluation de l'implication des opérateurs humains dans leurs fonctions	97
Figure IV. 8 : Transformation de l'écart désir-satisfaction en motivation, adapté de MODMIL	98
Figure IV. 9 : Evaluation de l'adéquation entre fonctions et Opérateurs Humains	99
Figure IV. 10 : Représentation simplifiée d'un véhicule de transport ferroviaire à 2 niveaux	101
Figure IV. 11 : Flux de véhicules et implantation de l'atelier	102
Figure IV. 12 : Perturbation de la synchronisation du flux de véhicules	103
Figure IV. 13 : Le groupe autonome et son environnement	105
Figure IV. 14 : Illustration des domaines de compétences observés dans l'atelier	107
Figure IV. 15 : Composants de l'atelier et fonctions associées	108
Figure IV. 16 : Représentation simplifiée du processus de fabrication d'un véhicule sous le formalisme IDEF3	109
Figure IV. 17 : Démarche d'optimisation du temps de cycle de montage des véhicules	109
Figure IV. 18 : Composants d'une ligne de montage et fonctions associées à un groupe autonome	110
Figure IV. 19 : Exemple d'activation d'un mode de fonctionnement dégradé	111
Figure IV. 20 : Interactions entre les niveaux de modélisation dans le cas d'un retard de fabrication	112
Figure IV. 21 : Intégration des interactions entre Production et GRH dans les niveaux de modélisation	113
Figure IV. 22 : Rappel des processus de la partie cognitive du modèle MODMIL	116
Tableau IV. 1 : Influence des aspects humains du climat social sur les niveaux de modélisation	95

CHAPITRE 5 :

Figure V. 1 : Présentation des perspectives de recherche	120
Figure V. 2 : Démarche de validation de la modélisation proposée	121
Figure V. 3 : Evaluation d'indicateurs par agrégation d'aspects humains	122
Figure V. 4 : Le système de fabrication vu en tant que système Hommes-Machines	124
Figure V. 5 : Présentation des librairies associées aux niveaux de modélisation	126

Introduction Générale

Besoin de coopération entre les fonctions de l'entreprise dédiées à la production et à la gestion des ressources humaines

Dans un contexte économique toujours plus difficile et face à une concurrence accrue, l'entreprise doit sans cesse chercher à améliorer son efficacité, que celle-ci soit exprimée en termes de productivité, de flexibilité ou encore de réactivité. Cette politique d'amélioration permanente a provoqué l'émergence, depuis quelques années, de nouveaux concepts d'organisation comme l'**entreprise individualisée** et l'**entreprise apprenante**. Ces concepts témoignent de la volonté de l'entreprise à mieux comprendre le potentiel et le rôle joué par ses ressources humaines.

Une nouvelle orientation au niveau du management des ressources humaines est en train de s'opérer, marquant un véritable changement de mentalité. Après avoir cherché à optimiser ses flux de matière, en recourant à la standardisation et à l'automatisation ; puis ses flux d'information, par l'intégration des informations sur la production ; l'entreprise met désormais l'accent sur ses ressources humaines afin d'utiliser au mieux leurs capacités et de les impliquer très fortement dans le processus d'amélioration de l'efficacité. Cette évolution de l'entreprise est largement influencée par le contexte économique, qui l'a successivement poussée à se préoccuper de son outil de production, de ses flux d'informations puis, finalement, de ses ressources humaines.

Années	1950	1960	1970	1980	1990
Entreprise	Standardisée		Intégrée		Individualisée Apprenante
Priorités de l'entreprise	Productivité		Productivité Flexibilité, Réactivité		Productivité Flexibilité Réactivité Adaptation Innovation Capitalisation
Moyens d'action	Outil de production		Flux d'informations		Ressources humaines

Représentation de l'évolution de l'entreprise en fonction de ses priorités

Effectivement, la période d'après-guerre, dans un premier temps, était favorable à la production de masse et l'entreprise s'est naturellement focalisée sur l'objectif de productivité. Cette priorité de productivité a mené à la standardisation des produits et des tâches de production, à la mécanisation puis à l'automatisation. Cette période est attachée au modèle de l'**entreprise standardisée**.

L'ENTREPRISE STANDARDISEE, UNE REPONSE AU BESOIN DE PRODUCTIVITE

L'entreprise standardisée applique les principes de l'organisation scientifique du travail (OST), élaborée par Taylor ; qui considère que les opérateurs humains sont capables de reproduire les mêmes opérations dans des conditions de travail similaires et durant un même laps de temps. Il est alors possible d'estimer les temps de fabrication par le chronométrage des temps standards nécessaires pour réaliser des tâches élémentaires tels que déplacer, tourner ou soulever une pièce. Cette estimation des temps de fabrication permet de planifier et d'organiser plus précisément la production, permettant à l'entreprise d'augmenter son volume de production et, par conséquent, de générer des gains plus importants.

Néanmoins, la standardisation des temps et des procédures est confrontée à des problèmes de variabilité humaine : les temps de fabrication ainsi que la qualité des produits fabriqués varient d'un individu à un autre (variation inter-individuelle) mais également pour un même individu (variation intra-individuelle). L'OST propose de contrôler cette variabilité humaine par la mise en place d'une organisation hiérarchique verticale très rigide, qui ne laisse aucune place à l'initiative et veille au respect des procédures, considérées comme étant « optimales » suivant le principe du « *one best way* ».

Malgré l'évolution du contexte économique, qui ne privilégie plus particulièrement la production de masse ; et celle des principes de management de l'entreprise, qui favorisent désormais l'initiative individuelle, la gestion des compétences et des motivations ; le modèle Taylorien de l'organisation du travail est toujours largement rencontré dans les entreprises actuelles. Il a su évoluer et s'adapter aux exigences actuelles d'organisation de la production en introduisant plus de souplesse dans son système de pouvoir, basé sur le contrôle vertical ; grâce au développement de la coopération horizontale /DUBOIS-1992/.

Mais la standardisation des tâches, résultant directement de l'entreprise standardisée, a mené à la définition de tâches répétitives, relativement ennuyeuses et fatigantes pour les opérateurs. Celles-ci ont pu être automatisées, ce qui a eu pour effet d'éloigner les opérateurs du flux de matière et de leur allouer des tâches plus élaborées. L'opérateur manipule de plus en plus d'information et de moins en moins de matière. La quantité d'informations caractérisant un système de production peut être considérable, c'est pourquoi il est nécessaire de gérer les flux d'informations et de mettre en place un système d'information efficace. De plus, la diversité des produits augmente et la concurrence s'amplifie. L'entreprise doit être plus flexible et plus réactive ; et ajoute à son objectif de productivité, ceux de réactivité et de flexibilité.

Une gestion efficace des informations contribue largement à atteindre ces objectifs. En effet, disposer des bonnes informations, pertinentes et fiables ; au bon moment et les partager permet d'améliorer significativement la réactivité et la compétitivité de l'entreprise. Cette intégration des informations marque le passage de l'entreprise standardisée à l'entreprise intégrée.

L'ENTREPRISE INTEGREE, UNE REPONSE AU BESOIN DE GESTION DES INFORMATIONS

La maîtrise et l'optimisation des flux d'informations permettent à l'entreprise d'améliorer sa réactivité et sa flexibilité. L'utilisation rationnelle des technologies de l'information dans la technologie manufacturière fait l'objet de la productique, dont l'équivalence anglaise est CIM (Computer Integrated Manufacturing).

L'objectif de la productique est d'intégrer toutes les informations relatives à la production de l'entreprise, par le biais de réseaux de systèmes informatiques /VERNADAT-1994/

/BROWNE&al.-1994/. Cette intégration est présentée comme une stratégie, autant qu'une technologie ; qui a pour objectif de faciliter l'adaptation et la réactivité de l'entreprise par la coordination des décisions stratégiques, tactiques et quotidiennes. Cette coordination est assurée par la mise en place d'un flux d'informations opportun et efficace et d'une organisation qui autorise une utilisation optimale de ces informations /WILLIAMS&al.-1993/.

Son adoption dans le milieu industriel a été plus lente que prévue, principalement à cause des coûts importants de développement et de maintenance des logiciels et de la difficulté à atteindre les niveaux requis d'intégration entre les systèmes. Néanmoins, la production intégrée par ordinateur est désormais reconnue comme une stratégie efficace pour l'amélioration de la réactivité et de la qualité de la production /AYRES-1989/ /MERCHANT-1988/. Elle a eu pour effet de modifier la vision des concepteurs de systèmes de production sur les ressources humaines : un opérateur reçoit, émet et gère des informations. L'Homme n'est donc plus assimilable à une machine, comme c'était le cas dans les débuts de l'entreprise standardisée ; mais il devient alors un « acteur intelligent » du système d'information.

VERS UNE CONSIDERATION NOUVELLE DES RESSOURCES HUMAINES

L'utilisation du potentiel humain de l'entreprise, plus ou moins négligé jusqu'à maintenant, devient une préoccupation majeure de l'entreprise dans le courant des années quatre-vingt. L'apparition de la gestion des ressources humaines marque l'évolution d'une gestion essentiellement administrative du personnel vers l'intégration de la gestion des facteurs humains. Elle favorise également l'émergence de nouveaux concepts organisationnels comme l'entreprise apprenante et l'entreprise individualisée.

L'**entreprise apprenante** cherche à capitaliser les connaissances des opérateurs et à les réutiliser pour accroître son efficacité /GRUNDSTEIN-1995/. Les ressources humaines sont alors considérées comme la principale source de connaissances. Mais elles doivent pour cela accepter de transmettre leurs connaissances et leur savoir-faire, au risque de se sentir moins « indispensables » et potentiellement remplaçables. L'entreprise doit instaurer un climat de confiance pour favoriser le transfert des connaissances et du savoir-faire. Il lui faut pour cela expliquer clairement le besoin de capitalisation des connaissances, son intérêt, l'exploitation qui en sera faite et insister sur le rôle essentiel et central joué par les ressources humaines. Leur emploi n'est pas remis en cause mais fondamentalement modifié : l'Homme enrichit l'entreprise par ses compétences, incluant connaissances et savoir-faire ; et lui fournit un service qu'elle rémunère en retour. Les ressources humaines ne sont donc plus uniquement considérées au travers des tâches qu'elles effectuent mais sur leurs compétences et le potentiel qu'elles confèrent à l'entreprise¹.

De même, l'**entreprise individualisée**, développée dans /GHOSHAL&al.-1998/, exprime une vision centrée sur le potentiel humain. Elle considère l'individu comme le moteur de la création de valeur, et laisse l'initiative à ses salariés. Les principes de management sous-jacents ont déjà été adoptés par des grandes entreprises comme 3M, Motorola ou encore General Electric. Ces entreprises considèrent, contrairement aux entreprises traditionnelles, que la ressource rare n'est plus le capital mais les hommes ; et que leur performance économique dépend de ses « composants » humains, et non plus uniquement économique ou financière. D'après GHOSHAL², l'entreprise individualisée sera le modèle prédominant

¹ cf. article « Bon professionnel ou salarié jetable ? » dans « L'officiel de la formation » n°23, Octobre 1998.

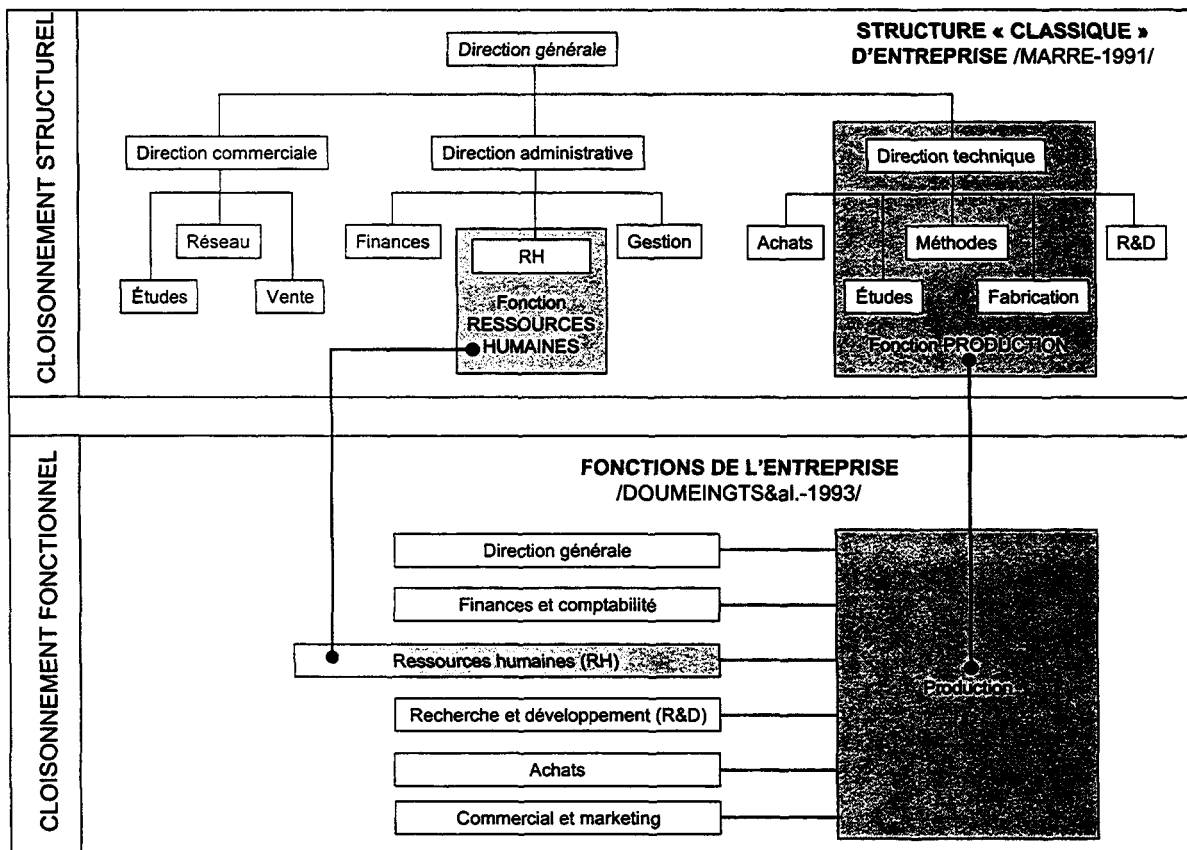
² cf. article de Sumantra GHOSHAL « L'individu est le moteur de la création de valeur » dans « L'Entreprise » n°166, Juillet-Août 1999.

d'organisation et de management d'ici à la moitié du vingt-et-unième siècle. C'est pourquoi il est nécessaire, pour l'entreprise, d'être en mesure de mettre en place ce nouveau concept.

L'importance croissante des ressources humaines dans les concepts émergents d'organisation d'entreprise nécessite une gestion plus fine et appropriée que celle pratiquée dans le cadre des entreprises standardisées et intégrées. Les facteurs humains interviennent significativement sur le comportement du système de production de l'entreprise et les connaissances des opérateurs permettent d'éviter certains dysfonctionnements et de ramener rapidement ce système dans un mode de fonctionnement normal. L'adaptation des ressources humaines de production en fonction du contexte, leur réactivité et leur capacité d'innovation contribuent à l'efficacité de l'organisation et permettent à l'entreprise d'atteindre et même de dépasser ses objectifs de production. Pour cela, l'entreprise s'organise : elle définit les fonctions à réaliser pour atteindre les objectifs qu'elle s'est fixés ; ainsi que la structure organisationnelle sur laquelle sont réparties les fonctions.

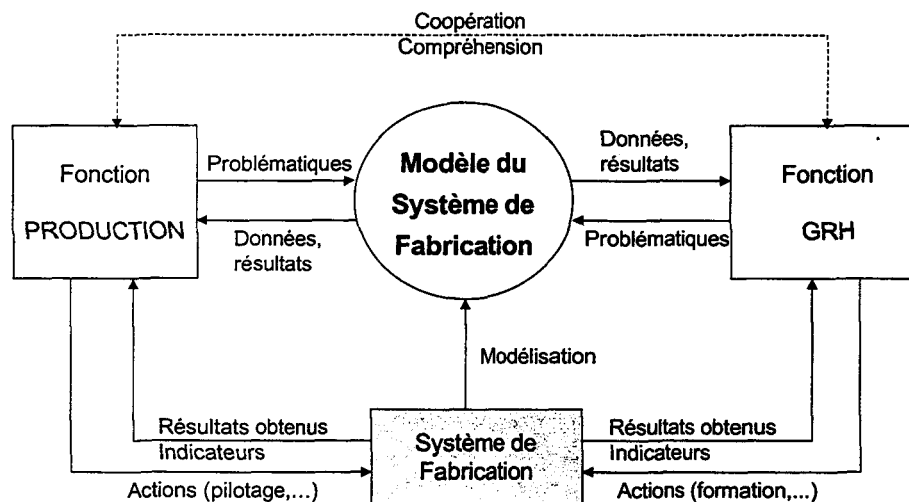
FONCTIONS ET STRUCTURE DE L'ENTREPRISE : DES PROBLEMES DE CLOISONNEMENT

La fonction Production occupe une position centrale par rapport aux autres fonctions de l'entreprise. Cette fonction est directement liée au flux de matière, transformé lors de la fabrication des produits ; et assure la gestion des ressources techniques disponibles pour la production. La gestion des ressources humaines, quant à elle, est assurée par une fonction spécifique de l'entreprise. Cependant, les opérateurs humains intervenant dans la fabrication sont à la fois des ressources humaines de l'entreprise et des ressources de production ; et leur gestion implique simultanément la fonction de production et la fonction ressources humaines. Or, ces deux fonctions sont dissociées dans l'organisation de l'entreprise, et ce tant au niveau fonctionnel qu'au niveau structurel, comme le montre la figure suivante.



Cloisonnement structurel et fonctionnel entre les services Production et Ressources humaines

La division de l'entreprise en fonctions et sous-fonctions spécialisées (division fonctionnelle), allouées à des services dédiés (division structurelle), est nécessaire pour gérer la complexité de l'entreprise mais peut mener à un cloisonnement entre services et/ou fonctions /PROBST&al.-1997/. Ce cloisonnement peut nuire à leur compréhension mutuelle et à la qualité de leur coopération. Les fonctions liées à la production et aux ressources humaines sont exposées à ce problème et possèdent, de plus, une culture différente issue des sciences de l'ingénieur pour l'une et des sciences humaines pour l'autre. Cette différence de culture peut accentuer les problèmes de compréhension et de communication entre leurs acteurs respectifs et renforcer sensiblement leur cloisonnement.



Rapprochement des fonctions GRH et production de l'entreprise

La mise en place d'une organisation apprenante et individualisée dans l'entreprise nécessite de rapprocher les fonctions de production et de ressources humaines. La proposition d'un modèle du système de fabrication commun à ces deux fonctions contribue à leur rapprochement et fait l'objet de cette thèse.

Il consiste, en d'autres termes, à concevoir une interface entre les machines, câblées en réseaux, et les opérateurs humains, constitués en équipes. Cette interface considère les facteurs humains dans les problèmes de répartition des tâches et de la charge de travail dans les **Systèmes Hommes-Machines** de l'atelier.

PRESENTATION DES TRAVAUX

Ce travail s'inscrit dans le cadre du thème de recherche du GRAISyHM³ intitulé « Vers une maîtrise sociale et économique de l'automatisation ». Ce thème soulève la question de la place de l'Homme dans les systèmes automatisés et des modifications du contenu de leur travail engendrées par l'automatisation. La réflexion développée dans cette thèse porte sur les aspects humains et leur influence sur le comportement des systèmes de production. Quels sont ces aspects humains ? Peuvent-ils être modélisés ? Sont-ils mesurables, observables ? Comment sont-ils liés entre eux ? Quels sont leurs effets sur la production ?

L'étude a pour objectif de mettre l'accent sur l'importance des aspects humains et de les spécifier afin de faciliter leur intégration et leur gestion dans le cadre de la production. Elle se

³ Groupement de Recherche sur l'Automatisation Intégrée des Systèmes Homme-Machine

concentre alors sur les fonctions de l'entreprise qui ont respectivement à charge la production et la gestion des ressources humaines, et se penche sur leurs besoins respectifs en termes d'informations et de modèles pour faciliter leur coopération et leur compréhension.

Le **premier chapitre** présente la fonction *Production* sous l'angle de l'importance de ses ressources humaines et de ses besoins en modèles pour la gestion de production. L'influence de la composante humaine sur le comportement des systèmes de production est très significative et se concrétise par sa capacité à innover, gérer les modes de fonctionnement anormaux, anticiper les dysfonctionnements, améliorer les procédures de fabrication, s'adapter aux contraintes de l'environnement du système de production. Mais la composante humaine se caractérise également par sa propension à commettre des erreurs, et par sa variabilité inter et intra-individuelle qui entraîne des variations sur les temps de fabrication, le niveau de qualité atteint ou encore le respect des procédures. Ces qualités et défauts des ressources humaines n'apparaissent que très peu dans les modèles utilisés pour la gestion de production. La difficulté à observer et mesurer les facteurs humains et la complexité de ces derniers, expliquent ce manque d'intégration.

Le **chapitre 2** développe les aspects humains par une présentation des activités et des problématiques de la fonction de gestion des ressources humaines. L'identification de ces problématiques, des aspects humains qu'elles abordent et des mécanismes qui les relient permettent de spécifier les entrées et les sorties à prendre en compte pour la modélisation des systèmes de production.

Le **chapitre 3** présente une contribution à l'intégration des aspects humains du second chapitre dans un modèle qui met également en œuvre les notions de modélisation nécessaires à la fonction de production. Cette proposition de modèle a pour but de faciliter la compréhension et la coopération entre les fonctions de production et de gestion des ressources humaines. Il considère les flux de matière, les flux d'informations et les flux humains du système de production. Il est composé de niveaux de représentation permettant d'aborder successivement la structure du système, la répartition sur cette structure des fonctions à réaliser pour atteindre les objectifs de production, la modélisation des fonctionnements correspondant aux processus mis en œuvre pour réaliser les fonctions et un dernier niveau destiné à formaliser les actions élémentaires sur les objets transformés par les activités intervenant dans les processus.

Le **chapitre 4** présente l'intégration des aspects humains dans les niveaux de modélisation proposés au chapitre 3 et une mise en œuvre de ces niveaux sur un cas industriel. Le site industriel considéré est un atelier d'assemblage de véhicules de transport ferroviaire qui présente la particularité de recourir quasiment exclusivement à des ressources humaines. Son très faible degré d'automatisation permet de juger plus facilement de l'intérêt de la prise en compte des facteurs humains dans les modèles utilisés pour la production.

Le **chapitre 5** présente finalement les perspectives offertes par ce travail, parmi lesquelles figure l'évolution d'une gestion respective de la production et des ressources humaines vers une gestion conjointe.

Chapitre 1

Importance de l'Homme et des modèles pour la fonction Production de l'Entreprise

1. LA FONCTION PRODUCTION	8
1.1. SOUS-FONCTIONS ET CONCEPTS GÉNÉRAUX DE PRODUCTION.....	8
1.2. LE SYSTÈME PHYSIQUE DE FABRICATION.....	10
1.3. LE SYSTÈME DE GESTION DE PRODUCTION.....	11
1.4. ORDONNANCEMENT DE LA PRODUCTION.....	11
1.5. PILOTAGE DES SYSTÈMES DE PRODUCTION.....	12
1.5.1. <i>Niveaux de pilotage</i>	12
1.5.2. <i>Pilotage et évaluation de performance</i>	13
1.5.3. <i>Intégration d'aspects humains</i>	14
2. MODÉLISATION DES SYSTÈMES DE PRODUCTION.....	15
2.1. APPROCHES DE MODÉLISATION	15
2.1.1. <i>Approche technocentrée</i>	16
2.1.2. <i>Approche anthropocentrée</i>	16
2.1.3. <i>Approche socio-technique</i>	17
2.1.4. <i>Approche systémique</i>	18
2.1.5. <i>Approche retenue</i>	19
2.2. FLUX DE L'ATELIER ET TYPES D'OBJETS	20
2.3. NOTION DE PROCESSUS.....	21
2.4. DES TÂCHES AUX ACTIVITÉS.....	22
CONCLUSION.....	25

CHAPITRE 1 : IMPORTANCE DE L'HOMME ET DES MODELES POUR LA FONCTION PRODUCTION DE L'ENTREPRISE

L'introduction générale a retracé l'évolution de l'entreprise et mis en évidence les principales fonctions de production et de gestion des ressources humaines. Ce premier chapitre présente la fonction de production en relevant l'importance de la composante humaine qui fait l'objet essentiel de notre travail.

La fonction production, ou fonction technique, est une fonction centrale pour l'entreprise de production industrielle. Elle lui permet de fabriquer ses produits dans le respect de contraintes liées aux quantités à produire, aux délais et coûts de production, et à la qualité des produits. La complexité de cette fonction nécessite un découpage en sous-fonctions chargées de la fabrication, de la gestion des ressources, des flux de production ou encore de la maintenance du système de production. Ces sous-fonctions sont naturellement en étroite interaction et coopèrent en permanence. Celles-ci sont regroupées en deux catégories :

- les sous-fonctions « préparatoires » à la fabrication,
- les sous-fonctions réalisant la fabrication proprement dite.

L'importance de la composante humaine pour cette fonction de production est décrite dans toutes les étapes de la production. La dernière partie de ce chapitre aborde les concepts d'intégration des aspects humains dans les modèles de systèmes de production.

1. LA FONCTION PRODUCTION

1.1. Sous-fonctions et concepts généraux de production

La fonction production est composée de sous-fonctions, présentées Figure I. 1 /DOUMEINGTS-1993/ ; parmi lesquelles la Maintenance, la Qualité, l'Approvisionnement et la Fabrication, qui interviennent directement sur le processus de fabrication. Il consiste à réaliser des produits finis à partir de matières premières fournies par la fonction d'approvisionnement. Cette fabrication est assurée par des ressources humaines et techniques et doit respecter des contraintes de coûts, délais, qualité et quantité. Elle est informée de la conformité des caractéristiques du produit par rapport à son cahier des charges par la fonction Qualité, qui assure un contrôle régulier de cette conformité. La qualité des produits et le respect des délais de production sont fortement conditionnés par le bon fonctionnement des ressources techniques, auquel s'attache la fonction de maintenance. Celle-ci intervient à plusieurs niveaux sous la forme d'une maintenance préventive, planifiée sur des horizons à moyen et long terme ; et d'une maintenance curative lors d'un incident.

La notion d'horizon temporel se retrouve pour la fonction de Planification/Ordonnancement qui réalise une gestion prévisionnelle de la production d'un horizon à long terme vers un horizon à court terme. Les prévisions nécessitent et justifient l'intervention de l'Homme, qui peut être guidé dans sa tâche par des systèmes d'aide à la décision. La fonction de Planification/Ordonnancement fournit des consignes pour la fabrication et constitue, dans ce sens, une étape préparatoire et indispensable à la fonction de fabrication, ce qui est également le cas des fonctions Etudes et Méthodes.

En effet, ces fonctions assurent la conception des produits, pour la fonction Etudes ; et des procédés et moyens de fabrication, pour la fonction Méthodes. La composante humaine constitue une source de connaissances, de savoir-faire et d'innovation irremplaçable dans le cadre de la conception, ce qui lui confère une importance toute particulière dans le cadre de ces fonctions. Leur automatisation s'est concrétisée par l'ingénierie simultanée qui permet de réduire la durée des tâches de conception, de faciliter leur exécution et de gérer la coopération entre concepteurs ainsi que le parallélisme de leurs tâches.

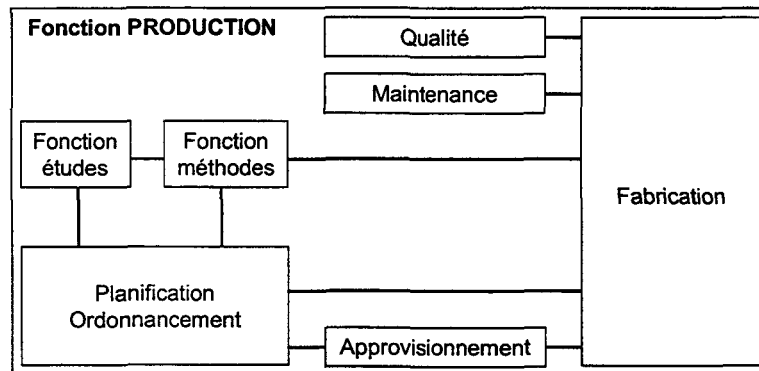


Figure 1.1 : Détail de la fonction Production /DOUMEINGTS&al.-1993/

D'un point de vue synthétique, la fonction Etudes fournit un cahier des charges du produit, à partir duquel la fonction Méthodes élabore un processus de fabrication, formalisé par des procédures, et spécifie s'il y a lieu ou non de modifier certains moyens de production existants ou d'en acquérir de nouveaux pour réaliser ce processus. Les fonctions Planification/Ordonnancement et Méthodes fournissent à la fonction fabrication une organisation des tâches prescrites sous forme de procédures et ordonnancées dans le temps. Les fonctions Fabrication, Maintenance, Qualité et Approvisionnement, quant à elles, sont chargées de la réalisation de ces tâches. Il est donc possible de distinguer au sein de la fonction de production, un premier ensemble de sous-fonctions dont le résultat est un ensemble de tâches prescrites, planifiées dans le temps et affectées à des ressources ; ces tâches constituant les entrées d'un second ensemble de sous-fonctions chargé de les réaliser, Figure 1. 2. La Maintenance, la Qualité et l'Approvisionnement sont des fonctions connexes à la fabrication, dans laquelle elles s'intègrent progressivement à en juger par le développement de l'auto-contrôle, de la participation des opérateurs de fabrication aux cercles de qualité, de la prise en charge de la maintenance de premier niveau, ou encore de leur intervention dans la gestion des stocks.

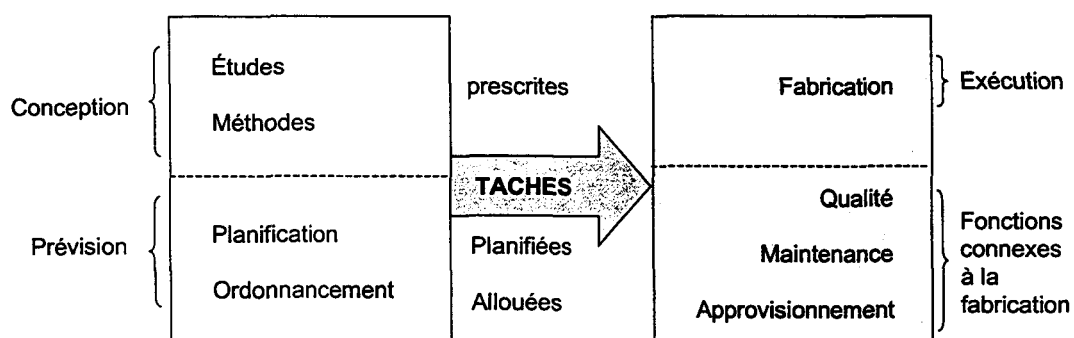


Figure 1.2 : Division de la fonction Production de l'entreprise

La fonction de fabrication a l'objectif de transformer des composants en produits finis en ajoutant de la valeur au flux de matière. Ce flux est contrôlé par un système de pilotage, qui

assure un suivi en temps réel pour atteindre les objectifs fixés préalablement par la fonction d'ordonnancement. Ce système de pilotage, qui fait partie du système de fabrication, appartient également au système de gestion de production qui assure la liaison avec la fonction Planification/Ordonnancement. Les deux parties suivantes abordent successivement le système physique de fabrication et le système de gestion de production qui sera ensuite précisé.

1.2. Le système physique de fabrication

Le système physique de fabrication, Figure I. 3, respecte les contraintes relatives aux quantités produites, aux délais de production et aux coûts engendrés. Les entrées et sorties du système physique sont de natures diverses, matière, documents, informations, consignes, produits, mais sont directement liées aux flux de matière.

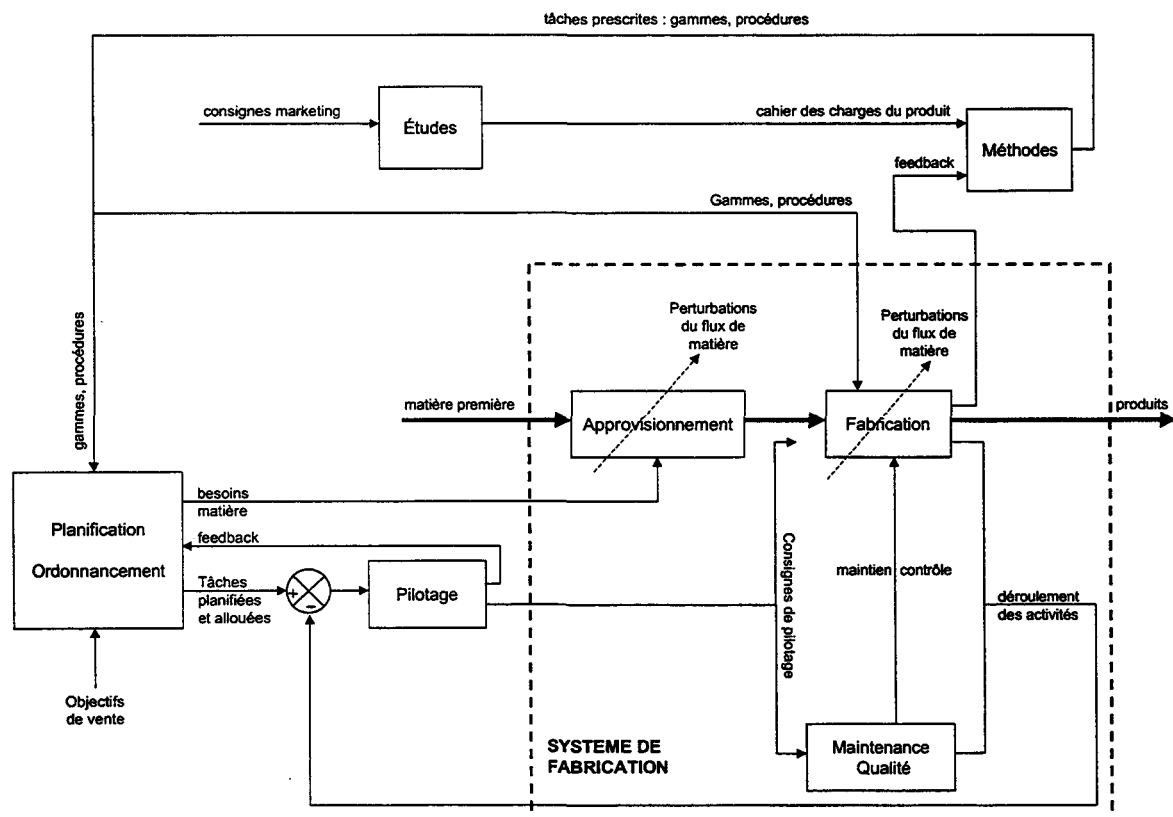


Figure I. 3 : Position du système physique de fabrication et liens entre sous-fonctions de production

La structure de l'atelier découle du choix d'une organisation de production et impose une implantation spécifique des ressources de production. Ces ressources de production sont caractérisées par des paramètres tels que le taux de défaillance, le taux de réparation ou encore la cadence de production, cf. annexe 1 ; et par leur mode de fonctionnement. Le recensement des modes de fonctionnement révèle une quantité très importante d'états de marche ou d'arrêt /DUBUISSON-1990/ /BLEUX&al.-1996/. Il est néanmoins possible de limiter les considérations sur les modes de fonctionnement normaux, dégradés et transitoires /FRERE&al.-1998b/. La gestion des modes de fonctionnement des moyens de production est réalisée en temps réel par le module de pilotage opérationnel de l'atelier. Ce module de pilotage est un sous-système du système de gestion de production décrit au paragraphe suivant.

1.3. Le système de gestion de production

La gestion de production consiste à prendre des décisions qui permettent de générer un programme de production et fait intervenir des fonctions, présentées Figure I. 4. Celles-ci sont généralement distinguées selon l'horizon de temps qu'elles manipulent :

- les fonctions de gestion prévisionnelle de la production, correspondant à la fonction Planification/Ordonnancement précédemment rencontrée ;
- la fonction de pilotage, réalisée en temps réel sur le système physique de fabrication.

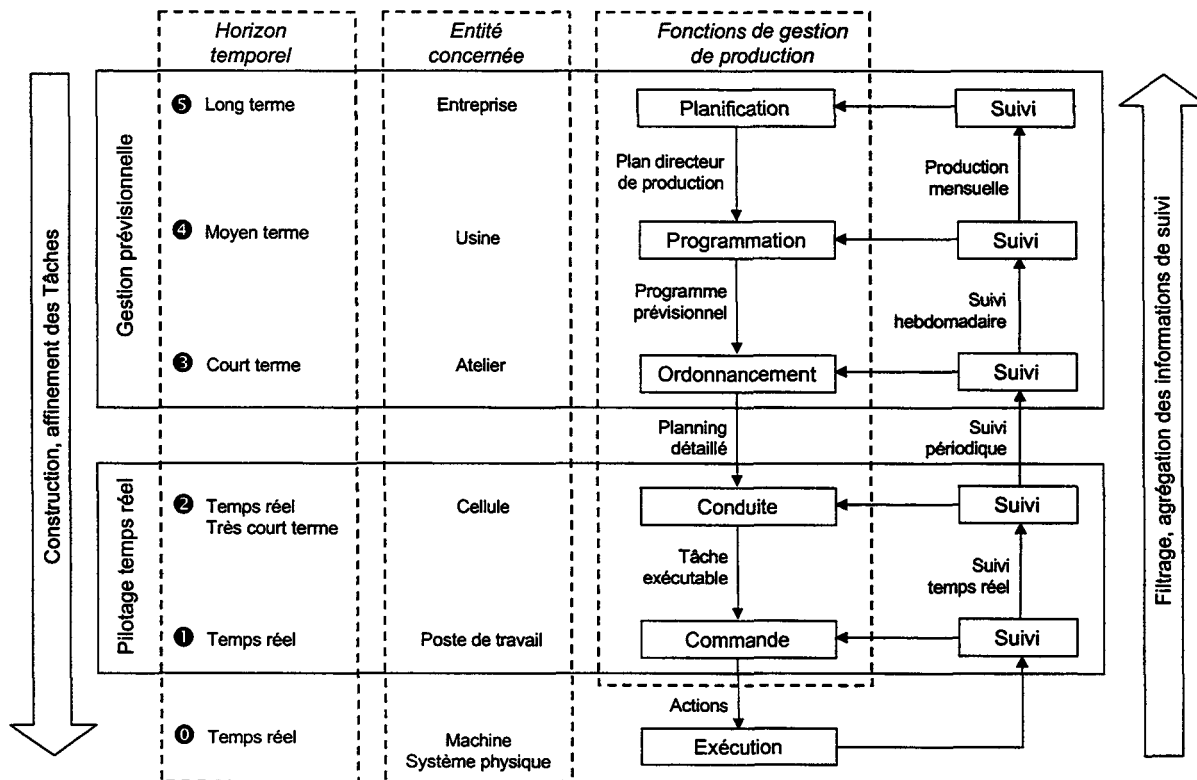


Figure I. 4 : Les fonctions de la gestion de production, d'après /ALEONARD&al.-1993/

La fonction d'ordonnancement, qui fait l'objet du paragraphe suivant, assure la gestion des ressources de l'atelier, parmi lesquelles les ressources humaines qui se placent au centre des préoccupations de cette étude. Le système de pilotage assure quant à lui la gestion des flux de production. En cas d'incident, la fonction d'ordonnancement est sollicitée par le système de pilotage pour procéder à une modification du planning détaillé. Ce mode de fonctionnement exige des prises de décision rapides et fiables, reposant généralement sur l'utilisation de modèles et d'outils informatiques.

1.4. Ordonnancement de la production

L'organisation des tâches en fonction du temps est généralement représentée par un diagramme de Gantt. Elle est soumise à des contraintes de précédence et de succession. Chaque tâche est caractérisée par une durée, une date de début au plus tôt et une date de fin au plus tard. Ces dates sont obtenues, par exemple, par l'application de la méthode PERT.

L'allocation des ressources respecte des contraintes de disponibilité et de capacité à effectuer la tâche. Les ressources techniques disposent de fonctionnalités, traduisant leur capacité à effectuer certaines fonctions ; et les ressources humaines possèdent des compétences. La notion de compétence est traitée spécifiquement au chapitre 2.

La formation et la polyvalence des opérateurs humains permettent de disposer d'un ensemble de compétences affectées à des tâches particulières. Cette affectation de compétences n'est pas toujours optimale. En effet, si les tâches attribuées aux opérateurs humains ne permettent pas d'exploiter leurs compétences acquises, l'opérateur humain risque d'en perdre la maîtrise et de restreindre son domaine de compétences. C'est pourquoi l'allocation des ressources en ordonnancement doit impliquer la gestion des compétences.

Effectivement, une donnée primordiale en ordonnancement est l'estimation des durées de tâches. Celle-ci est relativement précise pour les tâches assurées par des ressources techniques, mais l'est beaucoup moins dans le cadre de tâches manuelles ou nécessitant la coopération entre opérateurs humains. La durée de réalisation des tâches « humaines » est variable dans le temps et d'un individu à un autre et, de plus, elle est fortement influencée par des facteurs tels que la motivation, la fatigue, le stress ou encore la cohésion au sein des équipes. Ces facteurs influencent donc la durée des tâches, mais également la capacité à gérer les dysfonctionnements de l'atelier ou encore la réactivité du système de production, qui constitue un besoin essentiel pour leur pilotage.

1.5. Pilotage des systèmes de production

Le pilotage nécessite une grande réactivité car il a pour but de gérer les flux de production en temps réel et doit donc être en mesure de réagir suffisamment vite aux aléas de la production, comme les pannes, les défauts de fabrication ou les absences d'opérateurs. Le pilotage peut être décomposé, de manière hiérarchique, en niveaux chargés de la restructuration de l'atelier, de l'adaptation des ressources de l'atelier en fonction des objectifs et de la régulation des processus de production. Compte tenu de son importance, cette partie est présentée à l'aide de trois sous-paragraphes qui traitent des niveaux de pilotage, de l'évaluation des performances et d'intégration d'aspects humains dans le cadre du pilotage.

1.5.1. Niveaux de pilotage

Le pilotage se situe à différents niveaux hiérarchiques /DINDELEUX-1998/, représentés Figure 1. 5 :

- le **pilotage stratégique**, ou pilotage de l'entreprise : il veille à la correction des éventuelles dérives au regard des objectifs stratégiques de l'entreprise, par des actions de **restructuration**. Directement lié au cycle de vie d'un produit, il s'applique sur une perspective à long terme. Le pilotage stratégique tente de spécifier les règles de décision et d'action à mettre en œuvre au niveau des activités pour assurer un niveau de surplus économique satisfaisant pour l'entreprise /LORINO-1991/. Ces règles résultent en partie de la capitalisation des résultats et des enseignements tirés des actions opérationnelles, qui enrichissent la réflexion sur les objectifs de l'entreprise par un retour d'expérience.
- le **pilotage tactique** : il vise l'**adaptation** des ressources du système physique de fabrication en fonction de son état, sans remettre en cause les objectifs de quantité, de coûts, de délai et de qualité. Ce niveau de pilotage correspond à la conduite du système physique de fabrication.

- le **pilotage opérationnel** : il est effectué en temps réel et se préoccupe directement du flux de matière. Il assure la **régulation** des processus par rapport à des règles ou des normes préétablies ; comme c'est le cas, par exemple, pour le dépannage ponctuel d'une machine suite à une panne.

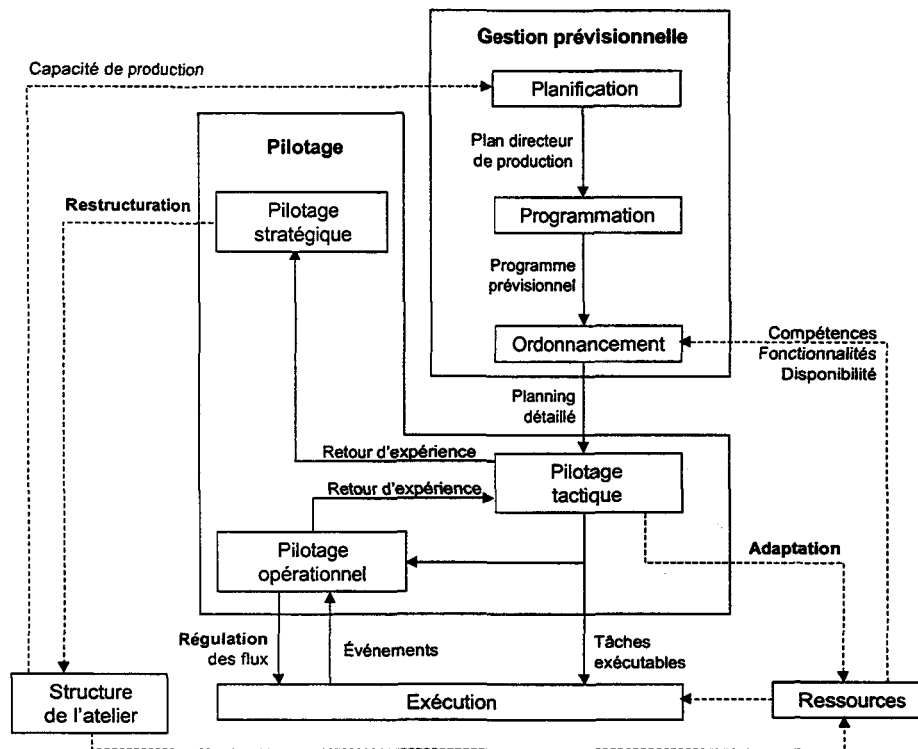


Figure I. 5 : Niveaux hiérarchiques de pilotage

Le pilotage d'un système de production nécessite d'en évaluer les performances. De nombreux critères et des indicateurs financiers permettent le pilotage des coûts engendrés par les activités de production. Les contraintes de quantité et de délai sont préalablement traitées par la fonction d'Ordonnancement et les contraintes de qualité par la fonction Qualité.

1.5.2. Pilotage et évaluation de performance

La performance de l'entreprise ne se base plus seulement sur sa compétitivité sur les coûts mais également sur la qualité de ses produits et ses délais de production, ce qui place la réactivité au centre des préoccupations. La performance n'est plus uniquement contrôlée mais pilotée. Les indicateurs de performance ne rendent plus seulement compte d'un état du système mais également d'une tendance d'évolution de ce système qui permet de réagir pour respecter les objectifs de performance fixés. C'est une des raisons pour lesquelles pilotage et performance sont étroitement liés.

Le pilotage d'un système de production nécessite une mesure et une évaluation des performances du système, sous la forme de paramètres, directement mesurés sur le système; et d'indicateurs, calculés généralement à partir des paramètres précédents et développés en annexe 1. Les indicateurs de performance s'inscrivent dans une politique d'amélioration permanente et correspondent à des *données quantifiées qui mesurent l'efficacité et l'efficience de tout ou partie d'un processus ou d'un système réel ou simulé, par*

rapport à une norme, un plan ou un objectif, déterminé et accepté dans le cadre d'une stratégie d'entreprise /BERRAH&al.-1999/.

Ces indicateurs peuvent être spécifiques à un niveau de pilotage, ce qui donne lieu à des indicateurs opérationnels, tactiques et stratégiques ; ou encore rattachés à une logique de maîtrise, qui cherche à maintenir le système à un niveau de performance donné et utilise des indicateurs dits « structurels » pour leur caractère stable et permanent ; ou à une logique de progrès, qui pousse le système vers un niveau de performance supérieur et utilise, par conséquent, des indicateurs dits « conjoncturels » pour leur faible durée de vie.

La performance d'un système de production peut également être exprimée au regard des activités qu'il met en œuvre pour assurer sa fonction de production. La performance d'une activité est mesurée à l'aide de paramètres ou d'indicateurs sur des attributs tels que :

- les ressources techniques et humaines
- les flux
- la gestion des flux

Signalons enfin que l'évaluation des performances basée sur les activités permet de mettre en place la méthode ABC (Activity Based Costing), utilisée pour l'estimation des performances physico-économiques des systèmes de production par /SENECHAL-1996/. Cette évaluation est efficace mais n'intègre cependant pas les performances humaines et organisationnelles. Le paragraphe suivant examine ces aspects humains dans la fonction de pilotage.

1.5.3. Intégration d'aspects humains

Les opérateurs humains sont capables de faire face à des informations hétérogènes et à la complexité des systèmes de production. Cette complexité réduit néanmoins la réactivité du système de gestion de production et, plus particulièrement, celle du système de pilotage /TRENESAUX&al.-1998/. La composante humaine est donc d'une importance capitale dans le cadre du pilotage, mais également dans celui de la fabrication. C'est pourquoi les modèles de systèmes de production et les méthodes d'évaluation de la performance, utilisés pour le pilotage, cherchent à intégrer actuellement les aspects humains.

C'est le cas, par exemple, du Système d'Aide à la Modélisation et à l'Evaluation d'Atelier intégrant les Hommes (SAMEAH), développé au Laboratoire d'Automatique de Grenoble /EL MHAMED-1990/, qui propose une méthode d'évaluation multi-niveaux de l'atelier. Chaque niveau correspond à un point d'observation particulier :

- le **niveau structurel** est destiné à rechercher les meilleures structures de l'atelier du point de vue des ressources humaines. Un algorithme permet de déterminer la constitution d'équipes optimales au sens d'un critère exprimant le niveau de coopération entre les opérateurs. Le problème de ce niveau réside dans l'obtention de ces pondérations caractérisant le niveau de coopération entre opérateurs et dans leur pertinence.
- le **niveau qualitatif** cherche à déterminer la meilleure affectation homme/machine pour la structure définie au niveau précédent. La détermination de cette affectation optimale nécessite l'évaluation des postes homme-machine. Cette évaluation manipule des paramètres liés aux machines mais également des attributs associés à l'Homme : la polyvalence des opérateurs humains, leur formation, leur maîtrise des outils de travail, leur expérience professionnelle et leur taux d'absentéisme.

-
- le **niveau quantitatif** permet d'obtenir des résultats quantitatifs par la simulation du système de production réalisée pour une affectation homme/machine, définie au niveau qualitatif en fonction de la structure choisie au niveau structurel. Cette simulation est supportée par un modèle des postes de travail constituant le système de production. Ce modèle utilise les réseaux de Petri colorés et introduit les états de disponibilité de l'opérateur humain et de la machine composant un poste Homme/Machine.

Cette méthode d'évaluation introduit des facteurs humains dans le cadre de la conduite des systèmes de production : constitution des équipes au niveau structurel et évaluation qualitative des postes homme-machine. L'utilisation de niveaux de modélisation permet d'identifier des problèmes spécifiques à chaque niveau et d'isoler les problématiques qu'ils soulèvent. Les niveaux de SAMEAH abordent respectivement le problème de constitution des équipes, de répartition des tâches et la simulation du système.

Comme le décrit cette première partie de chapitre, l'Homme occupe une place importante dans le système de production. Il lui permet d'être réactif, de s'adapter en fonction du contexte dans une plus grande gamme de complexité. L'opérateur humain est capable par exemple d'anticiper certains dysfonctionnements, de résoudre des problèmes mal ou incomplètement définis, d'innover et de gérer des situations imprévues. En contrepartie de ses nombreuses capacités, l'opérateur humain commet parfois des erreurs et produit des comportements variables dans le temps. La complexité de l'Homme se situe particulièrement dans la grande quantité des aspects humains à prendre en compte pour comprendre, analyser et prévoir son comportement. Ces aspects humains, qui font l'objet du chapitre 2, sont parfois non mesurables et non observables. De plus, ils sont liés par des relations causales qui rajoutent encore à la difficulté de leur mesure.

Néanmoins, les aspects humains caractérisant les opérateurs du système physique de fabrication, présenté au paragraphe 1.2, ont une influence directe et significative sur le système de production. C'est pourquoi il est nécessaire de les intégrer dans les modèles utilisés pour le pilotage et la gestion prévisionnelle de la production. Ces modèles adoptent un point de vue sur le système de production, traduisant une approche de modélisation ; et manipulent des notions telles que les flux, les processus, les activités et les tâches. C'est ce qui est exposé dans la seconde partie de ce chapitre.

2. MODELISATION DES SYSTEMES DE PRODUCTION

La fonction Production se réfère aux notions de flux, de tâche ou encore d'activité. Ces notions doivent nécessairement figurer dans les modèles de systèmes de production pour qu'ils puissent être utilisés pour le pilotage et la gestion prévisionnelle de la production. Avant de présenter ces notions, présentons tout d'abord l'approche adoptée pour la modélisation des systèmes de production.

2.1. Approches de modélisation

Il existe plusieurs approches de modélisation, exprimant des visions ou des images différentes du système considéré /MORGAN-1989/. Pour les systèmes de production, l'approche de modélisation peut être technocentrée, anthropocentrée, socio-technique ou systémique /ORTIZ-1995/ /FRERE&al.-1998a/ /JOUFFROY-1999/, Figure 1. 6. Ces approches sont traitées dans les paragraphes suivants et mettent en évidence la diversité des regards qui peuvent être portés sur un même système de production.

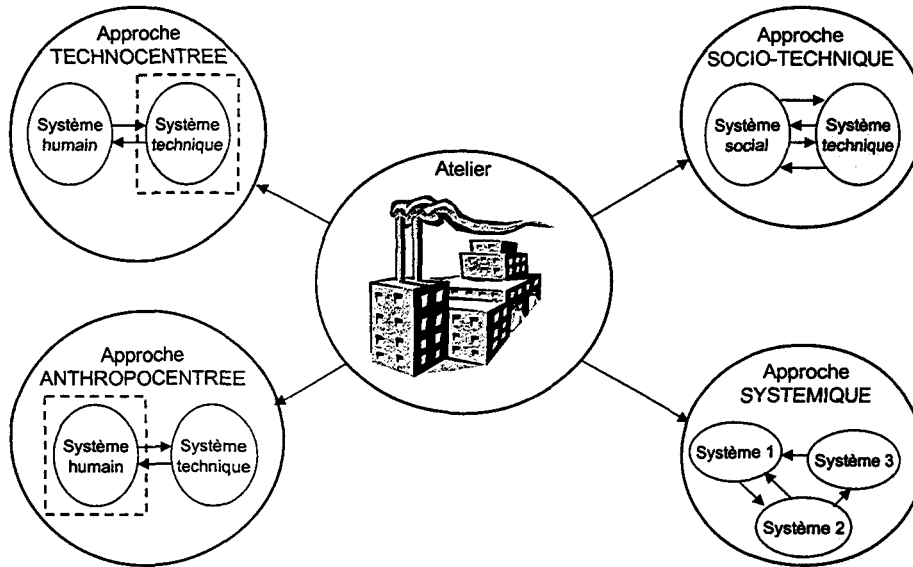


Figure 1. 6 : Approches de modélisation d'un atelier de production manufacturière

2.1.1. Approche technocentrée

Cette approche résulte directement de l'entreprise standardisée, présentée dans l'introduction générale, et se focalise sur les performances des moyens de production et la recherche d'une efficacité optimale. L'organisation scientifique du travail (OST) a mené au calibrage des temps standards de production. Ce calibrage a amélioré l'estimation des temps de fabrication, dont la précision influence directement la planification de la production et la simulation de l'atelier par la connaissance des temps de fabrication de chaque poste de travail dont il est composé. L'OST a également facilité l'automatisation des postes réalisant des tâches standardisées et répétitives.

Néanmoins, la prise en compte des aspects humains est quasiment inexistante dans cette approche centrée sur la technique. La machine et l'opérateur humain sont caractérisés par des paramètres identiques /PATCHONG-1997/ ; mais cette « simplification » permet d'obtenir de bons résultats en termes d'amélioration de productivité. De plus, les paramètres et indicateurs de performance, présentés dans l'annexe 1, reflètent implicitement les améliorations dues à des actions sur la composante sociale par le biais des mesures de performance.

2.1.2. Approche anthropocentrée

L'approche anthropocentrée traduit une démarche de modélisation focalisée sur l'Homme. On la trouve principalement dans le cadre de travaux en psychologie du travail, sociologie industrielle ou sociologie des organisations.

Néanmoins, cette démarche de modélisation « centrée sur l'Homme » est de plus en plus fréquente dans le domaine de l'automatique, à l'occasion de travaux sur les systèmes Homme-Machine. L'objectif de ces travaux est d'optimiser la répartition et la coopération entre l'Homme et la Machine par la conception d'interfaces adaptées et prenant en compte les besoins de l'opérateur de supervision effectuant des tâches de détection et de diagnostic

/LAMBERT-1999/ ou encore les préférences de l'opérateur dans le cadre de la téléopération /WAWAK-1996/ /JOLLY&al.-1999/.

Cette approche a également été adoptée dans le cadre d'un projet ESPRIT dont l'objectif est de produire des composants CIM centrés sur l'Homme et de développer des technologies utilisant au mieux les compétences des opérateurs plutôt que des technologies cherchant à les substituer /MARTENSSON-1992/.

2.1.3. Approche socio-technique

L'approche socio-technique cherche à atteindre l'adéquation entre les systèmes sociaux et techniques composant le système de production.

La théorie des **Systèmes Socio-Techniques (SST)** est issue des travaux du Tavistock Institute à la fin des années 40. L'analyse des performances de sites miniers –centrée sur la productivité, l'absentéisme et le nombre d'accidents- a permis aux chercheurs d'isoler un site dont les performances étaient largement plus satisfaisantes que la moyenne. Cette performance élevée était directement liée à la mise en place d'une organisation du travail constituée de groupes de travail semi-autonomes qui assuraient la gestion de leurs activités et participaient aux prises de décisions les concernant. L'organisation du travail n'était alors plus considérée de manière déterministe sous l'angle technologique mais envisagée sous la forme de SST, Figure I. 7, dont les résultats, jugés par la performance économique et la satisfaction au travail, dépendent directement de l'adéquation entre les systèmes technique et social qui les composent /TRIST-1981/.

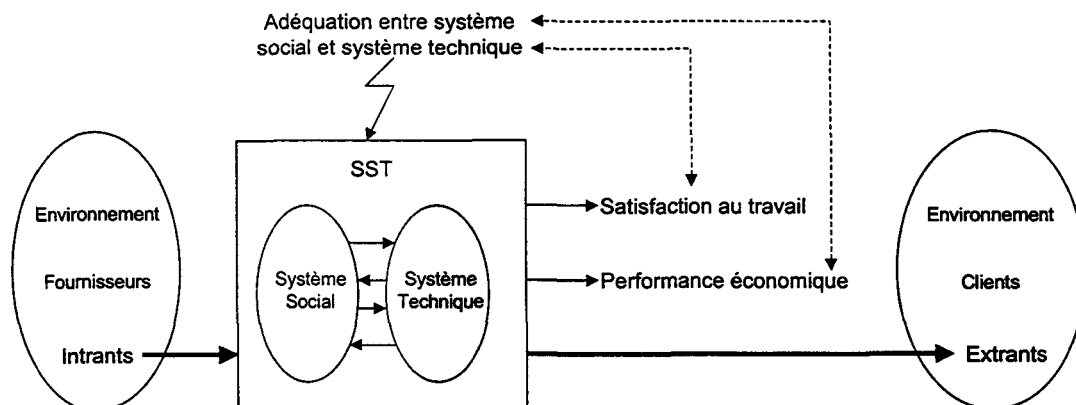


Figure I. 7 : Représentation d'un système socio-technique (SST)

D'après Emery /TRIST-1981/, ces deux systèmes sont intrinsèquement indépendants car ils ne sont pas de même nature et ne sont pas régis par les mêmes lois. Le système social suit les principes développés en sciences humaines telles que la psychologie ou la sociologie, alors que le système technique est soumis aux lois des sciences naturelles de physique ou de chimie. Cependant, ces systèmes peuvent être largement interdépendants dans l'action et sont corrélés dans le sens où l'un a besoin de l'autre pour réaliser les opérations de transformation des intrants en extrants.

Les systèmes sociaux et techniques possèdent donc des caractéristiques spécifiques et la préoccupation principale de l'analyse socio-technique consiste alors à maximiser la relation entre le système technique et le système social /MORIN-1994/. En outre, ces deux systèmes interagissent en permanence avec un environnement, considéré comme un troisième système composant le SST. Cet environnement est constitué des clients et autres entités

extérieures qui valorisent les produits du système. La préoccupation de l'analyse socio-technique consiste alors, plus précisément, à optimiser le couplage entre les trois sous-systèmes qui composent le SST. Ce problème de couplage, basé sur la considération des besoins spécifiques à chaque sous-système, est complexe car une optimisation localisée sur un des trois sous-systèmes mène généralement à la sous-optimisation des deux autres, donc à la sous-optimisation du SST /BABA&al.-1997/.

La notion de système socio-technique et son intégration dans un environnement s'approche de la théorie des systèmes et de l'approche systémique, qui constitue la dernière approche de modélisation abordée et qui fait l'objet de la partie suivante.

2.1.4. Approche systémique

L'approche systémique repose sur la définition des limites du système à modéliser, l'identification des éléments importants qui le composent et des types d'interaction entre ces éléments, et sur la détermination des liaisons qui intègrent ces éléments en un tout organisé /BOURDICHON-1994/. La systémique fait référence à des principes régissant le comportement des systèmes tels que l'homéostasie, qui exprime la propension d'un système à maintenir son équilibre malgré les pressions de son environnement, l'adaptation aux conditions changeantes de son environnement ou encore l'auto-organisation, qui traduit sa capacité à s'adapter de façon autonome.

Un exemple courant de l'application de l'approche systémique sur les systèmes de production est le modèle OID /LEMOIGNE-1977/, qui représente le système de production par un système Opérant, un système Informationnel et un système Décisionnel en étroite interaction. Ce modèle a été exploité dans le cadre du modèle GRAI et dans la méthodologie GIM, résumée dans l'annexe 4. Un autre exemple, décrit dans /KELLERT&al.-1998/, consiste à représenter un système de production à flux discrets par un système physique, un système logique et un système décisionnel. La différence avec le modèle OID réside principalement dans la définition du système logique qui représente l'ensemble des matières premières, des produits semi-ouvrés, des composés que peut fabriquer le système, des nomenclatures de produits, des gammes associées aux nomenclatures et des flux informationnels qui caractérisent toutes ces entités.

De cette approche, on peut dégager deux techniques de modélisation basées sur :

- la **modularité**, sur laquelle repose l'Analyse Modulaire des Systèmes /MELESE-1991/ et qui permet de construire un modèle composé de modules prédéfinis. Chaque module est associé à des caractéristiques dont les valeurs seront renseignées suite à l'analyse du système. Le système est alors vu comme un ensemble de modules présentant les mêmes caractéristiques.
- la définition de **vues** ou **points de vue** sur le système, qui permet de considérer le système sous des angles différents tels que son organisation, ses ressources ou encore ses informations. Le modèle résultant peut être complexe mais la phase de modélisation est relativement simplifiée par la limitation de l'observation à des aspects particuliers du système. Cette technique est utilisée dans SAGACE et CIM-OSA, qui font respectivement l'objet des annexes 2 et 3.

L'utilisation de ces techniques mène à une réduction de la complexité du modèle. Cette complexité est d'autant plus réduite que la prise en compte des aspects humains dans les modèles systémiques des systèmes de production est faible. Néanmoins, des travaux récents, comme l'intégration d'un modèle détaillé des compétences dans la vue *Ressources* de CIM-OSA /BERIO&al-1999/ ; affirment la volonté de remédier à cette lacune, dont la prise

de conscience est à l'origine du développement d'une architecture de référence de l'entreprise par l'université de Purdue (PERA, présentée en annexe 3).

2.1.5. Approche retenue

L'approche socio-technique distingue deux catégories de sorties pour les SST : les sorties caractérisant la performance économique, qui se rapproche des objectifs de la fonction « Production » ; et les sorties caractérisant la satisfaction sociale, plus proche des objectifs de la fonction « Ressources Humaines ». C'est pourquoi cette approche semble appropriée pour établir les bases d'un modèle qui puisse être exploité simultanément et conjointement par ces deux fonctions.

De plus, le paradigme socio-technique insiste sur la nécessité de rechercher un mode de fonctionnement optimal pour le SST. L'adéquation parfaite entre les sous-systèmes social et technique, traduisant cet optimum organisationnel du SST ; ne correspond pas aux optima locaux de ces deux sous-systèmes. Les approches technocentrées et anthropocentrées ne permettent pas la recherche de cet optimum « global », c'est pourquoi elles ne seront pas retenues dans le cadre de cette thèse.

L'approche socio-technique semble en outre adaptée à la problématique de rapprochement des fonctions de l'entreprise dédiées à la production et à la gestion des ressources humaines, mais elle doit être enrichie par les possibilités offertes par l'approche systémique. Effectivement, cette dernière intègre la définition des limites des systèmes considérés, de leurs fonctions respectives et de leurs finalités. Les techniques de modélisation systémique, comme les points de vue sur les systèmes, les niveaux d'abstraction et de détail ou encore la modularité ; permettent de prendre en compte des parties du système qui n'ont pas une nature socio-technique puisqu'elles ne sont composées que d'opérateurs humains, comme c'est le cas pour les groupes de progrès ; ou d'équipements techniques, comme un centre d'usinage ou un système automatisé par exemple. De plus, l'approche systémique permet d'envisager d'enrichir les vecteurs de sortie des SST par la prise en compte d'indicateurs sur le niveau de sécurité du SST, par exemple, qui n'entre pas explicitement dans la catégorie des indicateurs de satisfaction sociale ou de performance économique. L'approche retenue est donc mixte et s'inspire des approches socio-technique et systémique, comme indiqué Figure 1. 8.

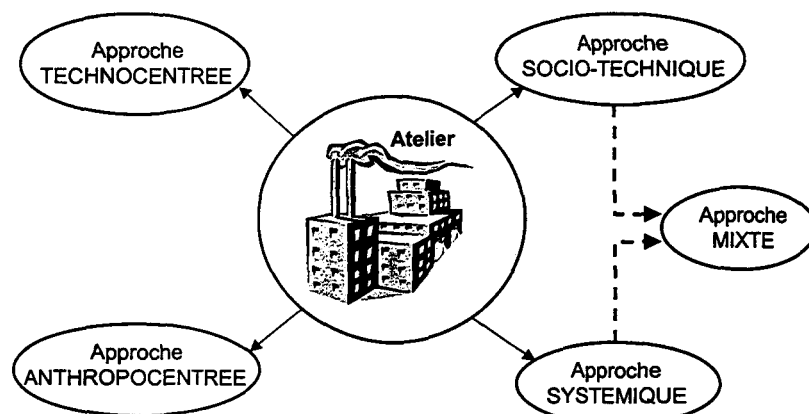


Figure 1. 8 : Positionnement de l'approche retenue

L'atelier est ainsi considéré comme un système composé de ressources humaines et de ressources techniques qui interagissent par le biais d'actions ou d'échanges d'informations.

Les objets de nature humaine, matérielle et informationnelle sont groupés sur des flux qui traduisent leur circulation au sein de l'atelier. Les interactions entre système social et système technique se concrétisent par des activités, qui sont définies sous la forme de tâches ; ces tâches et activités étant organisées dans le temps sous la forme de processus. La définition de ces notions de flux, de processus, d'activité et de tâche font l'objet des parties suivantes.

2.2. Flux de l'atelier et types d'objets

Un flux représente la circulation d'entités ou objets de nature homogène dans un système. Chaque flux est régi par le principe de conservation suivant lequel la somme des objets entrés dans le flux se retrouve en sortie du flux, les objets ayant éventuellement subi une modification sur leur forme comme, par exemple, de la matière brute à l'entrée du flux transformée en produit fini en sortie du flux.

Une analyse systémique des flux de l'entreprise /LEGALLOU-1992/ a permis d'établir une classification, présentée Tableau I. 1, qui est étonnante dans le sens où elle met en évidence un nombre important de flux liés à la composante humaine de l'entreprise. Néanmoins les flux spécifiés dans cette analyse ne figurent jamais en totalité dans les modèles existants qui se limitent principalement aux flux de matière, d'informations et d'énergie /BRAESCH&al.-1995/.

La prise en compte du flux physique a été nécessaire pour l'amélioration de productivité visée dans le cadre de l'entreprise standardisée. Celle du flux d'informations est principalement liée au besoin d'intégration des fonctions de la gestion de production et du partage intelligent et efficace de ces informations dans le cadre de l'entreprise intégrée. Celle du flux d'énergie est liée aux procédés de nature continue, comme c'est le cas pour le systémographe SAGACE présenté en annexe 3. La modélisation des systèmes de production discrets ne nécessite pas une prise en compte explicite du flux d'énergie, à la différence des systèmes de production continus pour lesquels le flux d'énergie est parfois le flux principal, comme c'est le cas pour les centrales nucléaires par exemple. L'énergie est une ressource nécessaire au fonctionnement des équipements de l'atelier et peut être considérée sous la forme d'une information attestant de la présence ou de l'absence d'énergie au niveau de chaque équipement. Cette information autorise le fonctionnement de l'équipement ou provoque son arrêt total ou partiel.

Domaine concerné	Flux
Multiple ou polyvalent	d'hommes d'argent
Physique et énergétique	d'équipements de matériaux et de produits
Informatique	d'informations
Psychologique	de formation d'innovation de motivation de satisfaction d'esthétique d'éthique de mystique

Tableau I. 1 : Les différents flux d'une entreprise /LE GALLOU-1992/

De même que pour l'énergie, le flux financier peut être intégré dans le flux d'information qui véhicule alors des informations de nature financière. Dans l'état d'esprit de l'*Activity Based Costing*, chaque activité de fabrication génère un coût, par l'intermédiaire d'inducteurs de coûts. Ce coût correspond alors à une information exprimant la quantité de ressources financières consommées par l'activité ; et figure sur le flux informationnel traversant l'activité concernée.

Sur la base de ces considérations, les flux à considérer dans un système de production discret sont les suivants /FRERE&al.-1998a/ :

- le **flux physique**, qui groupe les objets physiques, palpables tels que la matière première, les produits, les outils ou encore les machines ;
- le **flux d'informations**, qui véhicule tous les objets de nature informationnelle, y compris les décisions, qui constituent une forme particulière d'information /MINTZBERG-1982/, les informations financières et sur la présence d'énergie.
- le **flux humain**, qui regroupe le flux d'hommes et le flux psychologique Tableau I. 1. L'adjectif « humain », utilisé pour caractériser un flux, peut sembler mal approprié. Néanmoins, les notions de « stock humain » et de « flux humain » sont couramment employées dans le domaine de la gestion des ressources humaines /BATAL-1997/.

Ces trois flux seront développés dans le chapitre 3. Ils mettent en évidence la nature des objets manipulés dans un système de production discret. Ces objets sont transformés dans ce système lors de l'exécution d'activités, décrites aux opérateurs sous la forme de tâches. Ces tâches et activités, qui seront présentées dans le paragraphe 2.4., font référence à des événements qui modifient la situation, ou état, du système de production. L'évolution de ces situations dans le temps correspond à la définition de la notion de processus.

2.3. Notion de processus

Un processus correspond, dans le cadre de nos travaux, à une séquence ordonnée d'événements. Dans les systèmes conçus par l'homme, les événements qui constituent un processus sont conçus et ordonnés pour atteindre des sorties désirées. /KBSI-1995/.

Cette définition de la notion de processus, proposée dans le cadre de la méthode IDEF3¹, fait référence à une séquence ordonnée d'évènements et à des sorties désirées, ou objectif du processus. Les événements modifient la situation dans laquelle se trouve le système observé, en l'occurrence un atelier de production. Cette situation, ou état, de l'atelier évolue dans le temps en fonction de séquences d'évènements et les processus permettent d'exprimer cette évolution. Les connaissances sur la séquence d'évènements et sur l'objectif d'un processus peuvent être complètes ou partielles ; ce qui donne lieu à la définition de catégories de processus /TAOUTAOU&al.-1999/ /ELMHAMED&al.-1998/ :

- les **processus structurés**, pour lesquels la séquence d'évènements et la situation finale sont clairement définis. Cette catégorie de processus peut aisément être modélisée grâce au déterminisme qui la caractérise.
- les **processus semi-structurés**, pour lesquels l'objectif est clairement défini mais la séquence d'évènements n'est que partiellement connue.
- les **processus non structurés**, pour lesquels l'objectif à atteindre et la séquence d'évènements ne sont que partiellement connus.

¹ La méthode IDEF3 permet de capturer des descriptions de processus. Une présentation de cette méthode est fournie en annexe 4.

La majorité des processus qui impliquent une intervention humaine entre dans les catégories de processus semi et non structurés. Effectivement, la séquence d'événements n'est que partiellement connue et varie pour un même opérateur et d'un opérateur à un autre. De plus, un processus menant à une prise de décision ne permet pas de définir totalement l'objectif poursuivi. Les processus impliquant l'Homme sont donc rarement structurés et leur modélisation nécessite l'utilisation de méthodes adaptées.

Les descriptions de tels processus peuvent être obtenues par l'application de la méthode IDEF3 /KBSI-1995/, présentée en annexe 4. Le format d'échange PIF² (Process Interchange Format /LEE&al.-1994/) permet de les stocker sous la forme de fichiers informatiques et, ainsi, de capitaliser les connaissances sur les processus. La capitalisation de ces connaissances permet d'envisager leur réutilisation, dans le but d'améliorer la performance de l'atelier par exemple ; ce qui entre parfaitement dans le courant de pensée de l'entreprise apprenante.

La notion de processus permet donc de rendre compte de l'évolution temporelle de la situation du système en fonction de séquences d'événements. Ces événements se produisent réellement lors de la réalisation d'activités, ces activités étant guidées par une tâche associée qui fixe l'objectif à atteindre, correspondant à une situation finale souhaitée du système.

2.4. Des tâches aux activités

Une tâche est caractérisée, dans le cadre de la fonction d'ordonnancement, par une date de début au plus tôt, une date de fin au plus tard, une durée et une ou plusieurs ressources chargées de sa réalisation. L'activité assurée correspond à l'exécution en temps réel d'une tâche sur le système réel. L'ensemble des fonctions chargées de la gestion prévisionnelle manipule donc des tâches ; alors que l'ensemble des fonctions en lien direct avec la fabrication exécutent des activités.

La distinction entre tâche et activité apparaît donc clairement pour la gestion de production. Cependant, la nuance entre ces deux notions ne se limite pas à des considérations sur le temps. Les définitions retenues, inspirées principalement par /LEPLAT&al.-1983/ et /ORTIZ-1995/, sont les suivantes :

TACHE : Une tâche est un but à atteindre, qui concerne un changement déterminé de l'état d'un objet. Elle est ainsi définie par le couple {objet résultant, objet donné}. La tâche véhicule avec elle l'idée de prescription, sinon d'obligation : elle traduit « ce qui est à faire ».

ACTIVITE : Une activité correspond à la réalisation d'une tâche par un acteur en situation de travail. Elle exprime « ce qui se fait » et englobe tout ce qui est mis en œuvre par l'acteur pour exécuter la tâche : une partie est observable et correspond au comportement ; et une autre partie, inobservable, porte sur les représentations mentales de l'acteur et les mécanismes cognitifs et psychologiques mis en jeu dans la production du comportement.

L'activité est classiquement représentée sous la forme d'un bloc de transformation d'entrées en sorties, associé à des paramètres variables en fonction des modèles, parmi lesquels figurent généralement les ressources ainsi que les paramètres de contrôle utilisés par l'activité, Figure I. 9.

² Le format PIF, présenté en annexe 5, permet l'échange de modèles de processus entre utilisateurs et facilite ainsi la construction de bases de données qui peuvent être facilement enrichies.

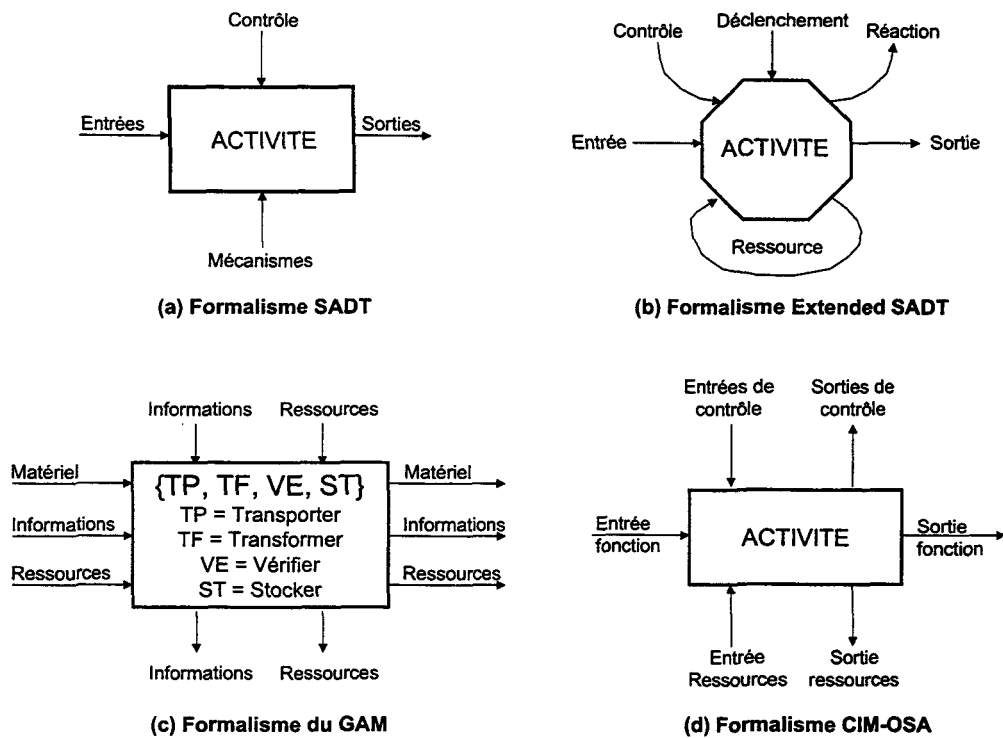


Figure 1.9 : Exemples de formalismes utilisés pour la représentation des activités

Ces modèles sont utilisés pour tous les types d'activités, qu'elles soient réalisées exclusivement par un homme, une machine, plusieurs hommes, plusieurs machines ou qu'elles nécessitent des interactions entre Hommes et machines. Cependant, comme l'indique la Figure 1.10, la définition retenue de l'activité évoque deux parties :

- une partie **observable**, le comportement, qui correspond aux *actions observées* et aux *informations* produites par l'opérateur humain.
- une partie **non observable**, correspondant aux différents mécanismes cognitifs, psychologiques, sociologiques, psycho-sociologiques et physiologiques qui contribuent à la production du comportement de l'opérateur humain.

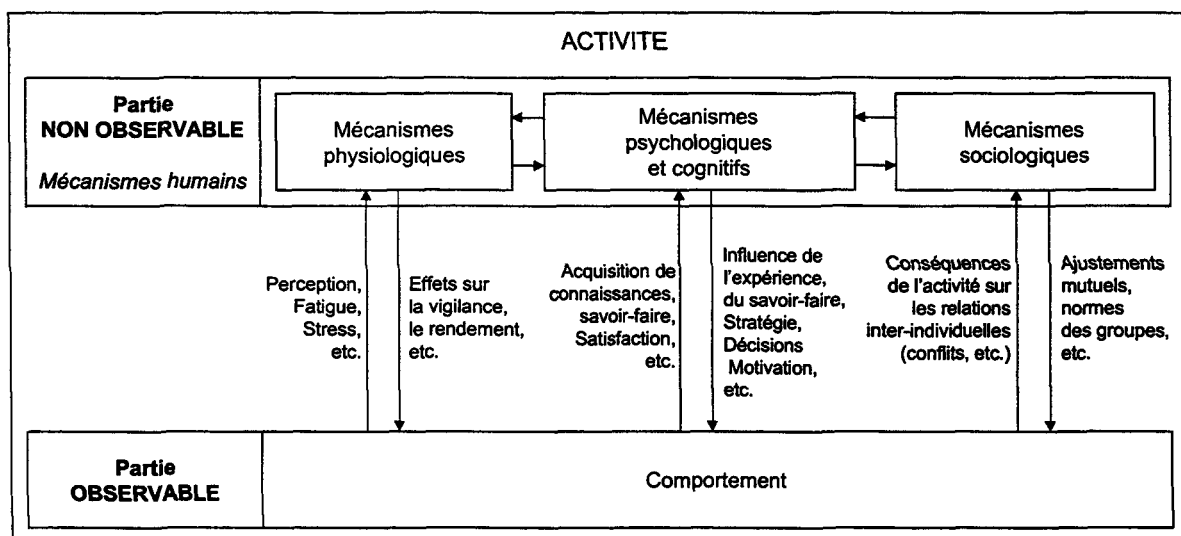


Figure 1.10 : Parties observable et non observable de l'activité

La partie inobservable prend d'autant plus d'importance que la tendance actuelle dans les entreprises consiste à confier de plus en plus de responsabilités et d'autonomie aux opérateurs humains. Cet élargissement de la notion d'activité correspond mieux à la réalité actuelle des systèmes de fabrication.

L'opérateur humain **perçoit** l'état du Système Hommes-Machines, ce qui se concrétise par une Situation du SHM Perçue par l'opérateur humain. Cette Situation Perçue peut rendre compte, par exemple, de la disponibilité des machines ou encore de l'avancement de l'activité de l'opérateur humain par rapport à ses collègues de travail. L'opérateur **interprète** ensuite la situation perçue et construit une Situation Interprétée dans laquelle interviennent ses connaissances sur le SHM. Ces connaissances lui permettent de générer des compléments d'informations sur la situation perçue ou encore d'anticiper des situations. La situation interprétée est ensuite comparée à la Situation Finale Souhaitée. En fonction de l'écart constaté entre ces deux situations, l'opérateur humain décide des actions qu'il doit **exécuter** sur le SHM pour que celui-ci atteigne finalement la situation finale souhaitée. Les actions qu'il exécute effectivement sur le système Hommes-Machines sont observables et correspondent au comportement qui a été présenté précédemment.

Ce mécanisme, représenté sur la Figure I. 11, met en évidence les phases de perception et d'interprétation, ainsi que l'ajustement effectué par l'opérateur qui planifie un ensemble d'actions à exécuter pour amener le SHM à la situation finale souhaitée. Il est intéressant de remarquer que ces phases de perception, d'interprétation et d'exécution se retrouvent dans des modèles de l'opérateur humain tels que SMOc (Simple Model of Cognition /HOLLNAGEL&al.-1991/), le modèle du processeur humain de /CARD&al.-1983/ ou encore le modèle de Rasmussen /RASMUSSEN-1983/.

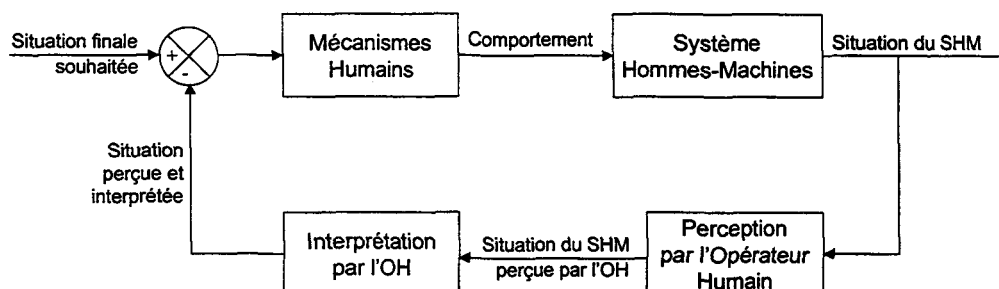


Figure I. 11 : Représentation de l'activité en fonction de la situation finale souhaitée pour le SHM

Les aspects humains influencent donc significativement la réalisation des activités. Ils se retrouvent également en amont de l'activité, au niveau de l'interprétation des tâches prescrites. Effectivement, la **tâche prescrite** est fournie à l'opérateur humain et prend la forme, par exemple, d'une gamme de montage dans le cadre d'un atelier d'assemblage. Elle spécifie la Situation Finale Prescrite qui correspond au résultat attendu suite à la réalisation de la tâche. Cette tâche prescrite à l'opérateur humain est interprétée par ce dernier et mène à la construction d'une **tâche interprétée**. Cette dernière constitue la consigne que l'opérateur humain poursuit lors de son activité et synthétise les définitions des tâches appropriée et actualisée au sens de POYET et NEBOIT /POYET-1990/ /ISDF-1994/. L'opérateur humain peut adapter la tâche interprétée, comme indiqué Figure I. 12, en fonction d'un écart constaté entre son interprétation d'une part, et les prescriptions de la tâche ou son comportement d'autre part. Cette adaptation de la tâche interprétée peut également résulter d'un changement dans la perception de la situation du SHM par l'opérateur humain, ce qui constitue alors une actualisation de la tâche en fonction de cette situation perçue.

Les phases de perception, d'interprétation et d'exécution se retrouvent dans la séquence composée de la perception de la tâche prescrite par l'opérateur humain ; suivie de son interprétation, donnant lieu à la tâche interprétée ; puis par son activité, correspondant à l'exécution de la tâche. Ces trois phases, représentées sur la Figure I. 12, sont présentées plus en détail dans le chapitre 3.

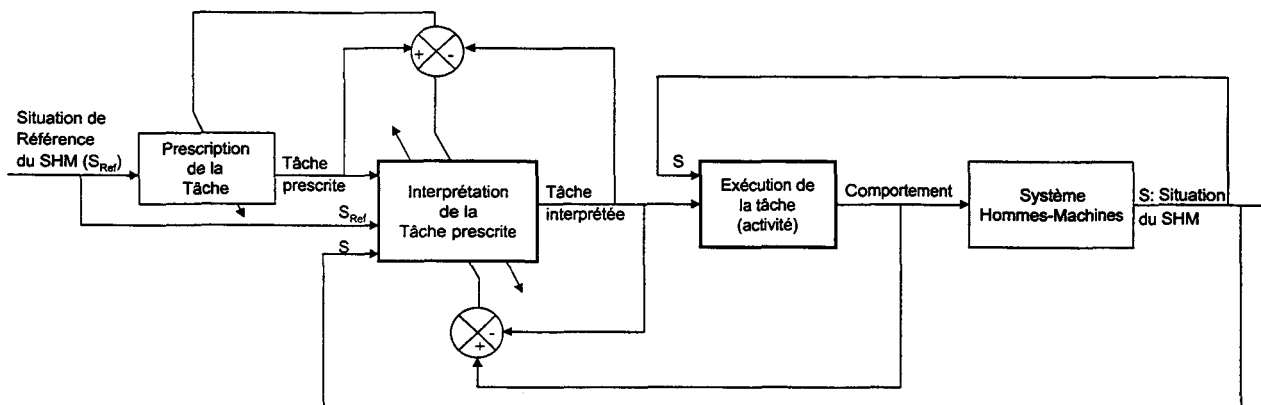


Figure I. 12 : Représentation des liens entre activité, tâche prescrite et tâche interprétée

Les représentations de l'activité et des tâches permettent de mettre en évidence l'importance des facteurs humains dans les activités de production. La nécessité de les prendre en compte répond aux besoins exprimés par les entreprises qui mettent en relief l'esprit d'initiative, d'autonomie et de responsabilité. L'opérateur humain en production devient un acteur capable de piloter le système et d'accroître non seulement la réactivité et la flexibilité de l'atelier, mais aussi la compétitivité et les connaissances de l'entreprise.

CONCLUSION

Ce premier chapitre décrit la fonction de l'entreprise dédiée à la production et met en évidence deux catégories de sous-fonctions :

- les sous-fonctions préliminaires à la fabrication spécifient les cahiers des charges des produits, les procédés et procédures de fabrication et assurent la gestion prévisionnelle de la production par une planification et un ordonnancement définissant des tâches allouées à des ressources déterminées et planifiées dans le temps.
- les sous-fonctions liées à la fabrication sont directement liées au flux de matière de l'atelier et regroupent la sous-fonction de fabrication et ses sous-fonctions annexes : approvisionnement, qualité et maintenance.

Le pilotage opérationnel du système de fabrication assure le contrôle du bon fonctionnement de ce système et nécessite une grande réactivité, à laquelle les opérateurs humains contribuent très significativement. Ces opérateurs sont très adaptés à la reprise de modes de fonctionnement anormaux du système de fabrication et sont également capables d'anticiper des dysfonctionnements. Les stratégies émergentes de management sont propices à l'initiative individuelle, marquent l'importance de l'autonomie et cherchent à capitaliser les connaissances et le savoir-faire des employés. La composante humaine du système de fabrication occupe une place de plus en plus importante au sein des préoccupations de l'entreprise. Cependant, la place de l'Homme se manifeste aussi parfois par des erreurs, par exemple des écarts entre les activités et les tâches prescrites. Le chapitre suivant poursuit cette analyse en développant la gestion des ressources humaines.



Chapitre 2

Aspects humains dans les systèmes de fabrication manufacturiers

1. GESTION DES RESSOURCES HUMAINES DE L'ENTREPRISE	28
1.1. FONCTIONS ET OBJECTIFS DE LA GRH	28
1.2. IDENTIFICATION DE PROBLÉMATIQUES DE LA GRH	29
2. GESTION DU CLIMAT SOCIAL	30
2.1. DIMENSION INDIVIDUELLE DU CLIMAT SOCIAL	30
2.1.1. <i>Les conditions de travail</i>	31
2.1.2. <i>Le stress</i>	31
2.1.3. <i>La fatigue</i>	32
2.2. DIMENSION COLLECTIVE DU CLIMAT SOCIAL	34
2.2.1. <i>Cohésion de groupe</i>	34
2.2.2. <i>Normes et appartenance</i>	35
2.2.3. <i>Le pouvoir dans l'entreprise</i>	36
2.3. APPRÉCIATION DU CLIMAT SOCIAL	39
2.3.1. <i>L'absentéisme</i>	39
2.3.2. <i>Le Turn-Over</i>	39
3. GESTION DE LA MOTIVATION	40
3.1. MODÉLISATION DES PROCESSUS DE LA MOTIVATION HUMAINE	41
3.1.1. <i>Le modèle MODERE</i>	41
3.1.2. <i>Le modèle MODMIL</i>	43
3.1.3. <i>Motivation et paramètres humains</i>	44
3.2. MOYENS D'ACTION SUR LA MOTIVATION	45
3.2.1. <i>Changement du travail</i>	45
3.2.2. <i>Récompenses et rémunération</i>	47
4. GESTION DES COMPÉTENCES	48
4.1. LE CONCEPT DE COMPÉTENCE	49
4.2. IDENTIFICATION DES COMPÉTENCES	50
4.2.1. <i>Compétences requises</i>	50
4.2.2. <i>Compétences acquises</i>	51
4.3. AJUSTEMENT DES COMPÉTENCES	52
4.3.1. <i>Gestion prévisionnelle</i>	53
4.3.2. <i>Formation du personnel</i>	54
CONCLUSION	56

CHAPITRE 2 : ASPECTS HUMAINS DANS LES SYSTEMES DE FABRICATION MANUFACTURIERS

L'importance des aspects humains dans les systèmes de production, mise en évidence dans le chapitre précédent, nécessite de pouvoir identifier et mesurer ces aspects, et d'en évaluer les effets sur le fonctionnement du système de production. La Gestion des Ressources Humaines (GRH) traite ces questions et a pour but de faciliter l'acte de production, par la gestion des compétences ou encore des processus de motivation. Cependant, les actions de la GRH sont également susceptibles de dégrader le fonctionnement du système de production. Une telle situation se caractérise par des blocages d'atelier, résultant de dysfonctionnements sociaux qui n'auront pas été détectés et anticipés par le système de Gestion des Ressources Humaines.

Le lien entre les actions de la GRH et celles de la production nécessite une coopération étroite et efficace entre ces deux fonctions de l'entreprise, comme indiqué dans l'introduction générale. La fonction GRH peut être caractérisée par des sous-fonctions décrites dans le paragraphe suivant.

1. GESTION DES RESSOURCES HUMAINES DE L'ENTREPRISE

La Gestion des Ressources Humaines (GRH) est une pratique récente qui a pour vocation d'obtenir la meilleure adéquation possible entre les besoins d'une organisation et ses ressources humaines /BATAL-1997/. Elle se différencie de la gestion administrative du personnel qui ne prend en compte que les aspects comptables, les congés et les retraites. Les deux paragraphes suivants exposent les problématiques de la GRH avec ses objectifs.

1.1. Fonctions et objectifs de la GRH

Le modèle systémique de la GRH, présenté Figure II. 1 et développé dans /DOLAN&al.-1988/, met en évidence les fonctions principales suivantes :

- la **planification**, qui prend en charge la gestion des prévisions des besoins de l'entreprise en ressources humaines à court et à long terme ; ainsi que l'analyse de postes, permettant la mise en évidence des connaissances et des aptitudes requises pour accomplir les différentes tâches et la définition des postes en fonction des besoins respectifs des opérateurs humains et de l'entreprise.
- l'**acquisition**, qui comprend le recrutement des ressources humaines après avoir exprimé les besoins de l'entreprise, la sélection des candidats, l'accueil et l'orientation initiale des nouveaux employés.
- l'**évaluation** du rendement et la **rémunération**, qui fixe la rémunération des employés. Initialement basée sur le rendement attendu, la rémunération est ensuite établie en fonction de la performance de l'employé. Le processus d'évaluation du rendement est primordial et extrêmement complexe. La nature du poste occupé par l'employé intervient également dans la détermination du niveau de rémunération.
- la **formation** et le **perfectionnement**, qui visent à faciliter l'orientation et le cheminement de carrière des individus et, simultanément, à améliorer la productivité de l'entreprise par un accroissement du rendement des individus.
- l'**instauration** et le **maintien** d'un climat de travail satisfaisant, qui passe par la reconnaissance et le respect des droits des employés, par la compréhension des fonctions et de la structure des syndicats dans la perspective de négociations plus

efficaces en cas de conflit et des raisons qui ont poussé les employés à se syndicaliser.

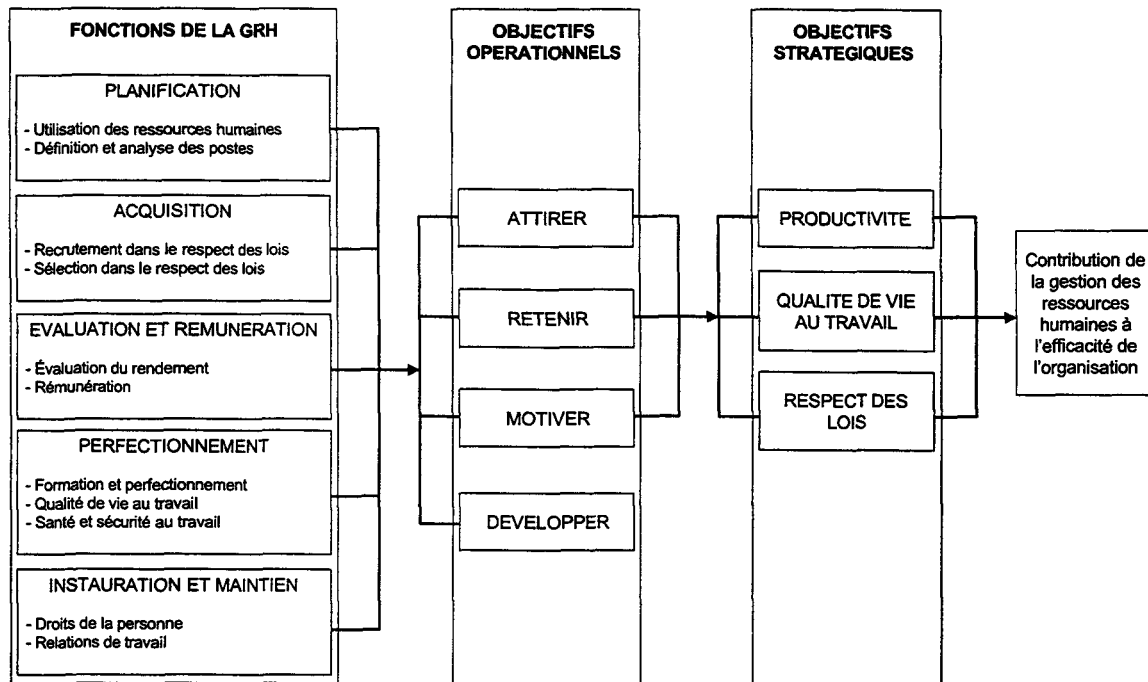


Figure II. 1 : Contribution de la GRH à l'efficacité de l'organisation /DOLAN&al.-1988/

Ces fonctions ont pour objectifs d'**attirer** des candidats qualifiés, de **conserver** les employés fournissant un rendement satisfaisant, de **motiver** les employés et de les aider à **développer** leur potentiel et à se réaliser. Ces quatre objectifs opérationnels de la GRH contribuent à l'amélioration de la productivité, de la qualité de vie au travail et du respect des lois ; ce qui permet d'accroître l'efficacité de l'organisation.

La GRH implique les employés qui sont sollicités pour des auto-évaluations, pour l'évaluation de rendement de leurs collègues de travail, pour l'élaboration des critères d'évaluation, la détermination des objectifs de production ou encore les descriptions de postes /DOLAN&al.-1988/.

1.2. Identification de problématiques de la GRH

La phase d'exploitation d'un système de production privilégie les objectifs opérationnels de la GRH qui consistent à **retenir**, **motiver** et **développer** les ressources humaines de l'atelier. L'objectif « *Attirer* », quant à lui, consiste à définir les stratégies de recrutement et de sélection des futurs employés. Il ne s'applique donc pas aux ressources existantes. C'est pourquoi il n'est pas développé dans le cadre de ce travail. Il joue néanmoins un rôle essentiel dans le cas où l'acquisition de nouvelles ressources humaines devient nécessaire suite à une modification de l'atelier engendrant, par exemple, la mise en place de nouveaux équipements ou une révision des objectifs qui lui sont assignés, comme une augmentation du volume de production. Il est à noter, cependant, que la prise en compte des autres objectifs opérationnels et le traitement des problématiques qu'ils abordent, contribue indirectement à la réalisation de cet objectif « *Attirer* ».

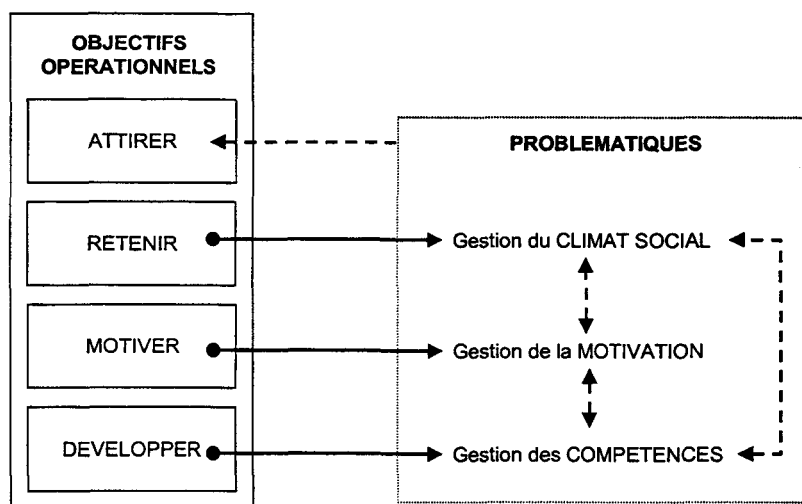


Figure II. 2 : Objectifs opérationnels et problématiques principales de la GRH

La problématique de gestion du climat social de l'entreprise contribue largement à « retenir » les employés et, donc, à atteindre l'objectif opérationnel « Retenir ». Il est ensuite évident que les objectifs opérationnels « Motiver » et « Développer » sont directement liés aux problématiques respectives de gestion de la motivation et de gestion des compétences. La prise en compte et la résolution de ces problématiques influencent étroitement l'image de l'entreprise vis-à-vis de son environnement et contribue ainsi à attirer les futurs employés potentiels.

Les dimensions individuelle et collective des problématiques retenues, Figure II. 2, font l'objet des parties suivantes, au sein desquelles sont présentés les aspects humains mis en jeu et les modèles, outils et méthodes susceptibles d'être utilisés.

2. GESTION DU CLIMAT SOCIAL

La gestion du climat social englobe tous les moyens disponibles et utilisables pour assurer le bien-être des individus et une bonne qualité de vie au travail. Les causes principales d'un mauvais climat social relevées par le personnel /MARTORY&al.-1998/ sont le cloisonnement entre les services, l'insatisfaction vis-à-vis de la promotion, l'insécurité sur l'avenir, le manque de stimulation et de motivation, les difficultés de communication avec les supérieurs et les collègues, le manque de définition des tâches, l'insuffisance de commandement, le manque de définition des objectifs, des mauvaises conditions matérielles de travail. La gestion du climat social touche donc à de nombreux problèmes qui mettent en jeu des mécanismes individuels et collectifs abordés dans les parties suivantes.

2.1. Dimension individuelle du climat social

L'individu peut être considéré, suivant la théorie du *behaviorisme* ou *comportementalisme*, comme un système qui fournit une réponse, ou comportement, lorsqu'il est soumis à des stimuli. Ce comportement engendre des conséquences pour le sujet et son environnement. Les comportementalistes cherchent alors à exprimer le comportement de l'Homme en fonction des stimuli appliqués et des conséquences prévues.

Les *cogniticiens* cherchent à comprendre et expliquer ces réactions en s'intéressant aux mécanismes cognitifs mis en œuvre par l'individu pour aboutir à la réaction.

Cette partie sur la dimension individuelle du climat social aborde les conditions de travail, le stress et la fatigue de l'opérateur dont les effets et conséquences influencent largement sa qualité de vie dans le système de production et, par conséquent, son efficacité au regard de la production.

2.1.1. Les conditions de travail

Les conditions de travail s'expriment au travers de la configuration du poste de travail, de la charge de travail que l'opérateur humain doit assumer et du sentiment de sécurité éprouvé à l'égard de son poste, des tâches qu'il doit réaliser et du contexte économique dans lequel se trouve l'entreprise.

La configuration des postes de travail s'inscrit dans le champ de l'ergonomie : un poste de travail ergonomique est un poste adapté à l'opérateur. Ses tâches sont alors facilitées par la configuration du poste, ce qui permet d'espérer un rendement optimal et un sentiment de satisfaction de l'opérateur à l'égard de son poste. Ce poste doit également garantir la sécurité physique de l'opérateur, en éliminant tout risque d'accident ; et minimiser les possibilités d'erreurs de la part de l'opérateur. Le sentiment de sécurité de l'opérateur peut également être défini au niveau psychologique, par la considération d'une sécurité de l'emploi. Cette sécurité de l'emploi est directement liée au contexte économique dans lequel évolue l'entreprise. Elle sera très faible dans les périodes de licenciement massif et aura une influence très significative sur le comportement de l'opérateur qui ne poursuivra souvent qu'un seul objectif consistant à préserver son emploi.

Plusieurs méthodes d'évaluation de la charge de travail, parmi lesquelles T.L.X. (*Task Load Index*) et SWAT (*Subjective Workload Assessment Technique*), utilisent des descripteurs tels que la pression temporelle, l'effort mental ou physique, la performance ou encore le stress qui fait l'objet du paragraphe suivant.

2.1.2. Le stress

De nombreux auteurs assimilent stress et **situation stressante** mais il est préférable de les distinguer /VILLEMEUR-1988/. En effet, une *situation stressante* est engendrée par la perception, de la part de l'opérateur humain, d'un écart entre les exigences de la situation dans laquelle il se trouve et sa capacité à y faire face, Figure II. 3. Le stress peut alors être défini comme un ensemble de réactions physiologiques et psychologiques face à une situation stressante.

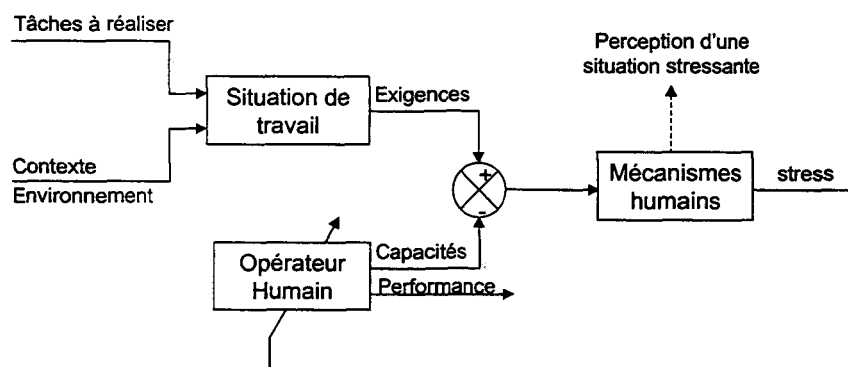


Figure II. 3 : Représentation simplifiée du phénomène de stress

Suivant la Figure II. 3, un écart strictement positif entre exigences de la situation et capacités de l'opérateur signifie que les exigences de la situation excèdent largement les capacités de l'opérateur. Dans ce cas, le stress résultant peut être atténué si la situation est partagée au sein d'un collectif de travail. Effectivement, la perception d'un **stress partagé** entraîne une nette élévation de la tolérance au stress /SEIDMAN&al.-1957/. Lorsque l'écart entre exigences et capacités est négatif, l'opérateur n'est pas employé à sa juste valeur, ce qui peut engendrer un sentiment de frustration. La sous-utilisation des compétences figure d'ailleurs parmi les sources principales de stress dans les entreprises /KARUPPAN-1994/.

La gestion du stress consiste alors à minimiser l'écart entre les exigences des situations de travail rencontrées par un opérateur et ses capacités à y faire face. Cependant, un stress nul n'est pas forcément optimal car le niveau de performance d'un opérateur dépend de son niveau de stress, mesuré par l'intermédiaire de sa charge de travail, Figure II. 4. Un niveau de *stress minimal* est nécessaire pour obtenir les meilleures performances, d'après le rapport WASH-1400 cité dans /AGOPIAN&al.-1994/.

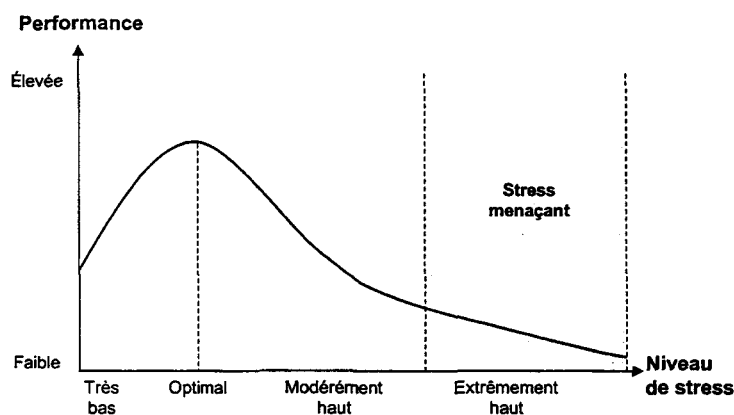


Figure II. 4 : Dépendance entre le niveau de performance humaine et le niveau de stress

La performance est donc en relation directe avec la spécification des tâches prescrites et leur répartition, qui doivent permettre d'atteindre une performance optimale. Pour cela, il est nécessaire de se préoccuper de l'adéquation tâche/opérateur, vue comme l'écart entre les exigences des situations de travail et les capacités des opérateurs, Figure II. 3, et permettant de se rapprocher du niveau optimal de stress défini Figure II. 4.

Le *syndrome général d'adaptation* décrit par SELYE /KANTOWITZ-1983/ est indépendant de la situation stressante qui l'engendre et présente une évolution en trois phases : une *réaction d'alarme*, qui correspond à une réaction physiologique, mesurable par la sécrétion d'hormones comme l'adrénaline ; suivie d'une phase de *résistance* susceptible de mener à une phase d'*épuisement* en cas de maintien de la situation stressante.

2.1.3. La fatigue

Plusieurs formes de fatigue peuvent être distinguées /ALLAIN-1998/, comme indiqué Figure II. 5 :

- la **fatigue musculaire**, rencontrée dans les ateliers de production exigeant des activités physiques pénibles.
- la **fatigue nerveuse**, qui se manifeste généralement par l'impossibilité de l'opérateur à maintenir son régime initial, par une augmentation du nombre d'erreurs et

notamment du nombre d'omissions, une baisse de vigilance et des altérations de la mémoire traduites par un déficit des performances cognitives. Les fatigues auditive et visuelle, qui se rencontrent fréquemment dans les ateliers de production manufacturiers, peuvent avoir un effet multiplicateur sur la fatigue nerveuse.

- la **fatigue organique** résulte principalement d'un état infectieux de l'opérateur.
- la **fatigue écologique** provient d'interférences entre les rythmes biologiques et sociaux imposés à l'individu. Ce type de fatigue entraîne une hypersensibilité aux fatigues musculaire et nerveuse ainsi qu'une propension à éviter la vie en société. Les sensations de fatigue au niveau d'une équipe de production lors de situations d'effort collectif prolongé, voire lors de perte collective de motivation, font également partie de cette forme de fatigue.
- la **fatigue subjective**, qui se traduit par des anomalies au niveau de la mémoire de travail, de la vitesse de traitement de l'information et de l'attention. Il s'agit essentiellement d'une sensation perçue par l'individu au cours de l'activité ou lorsque celle-ci cesse. La théorie des principes opposants /VINCENT-1996/, relative à cette forme de fatigue, envisage l'hypothèse d'une panne des systèmes neurochimiques du plaisir, qui interviennent au niveau du désir et de la motivation.

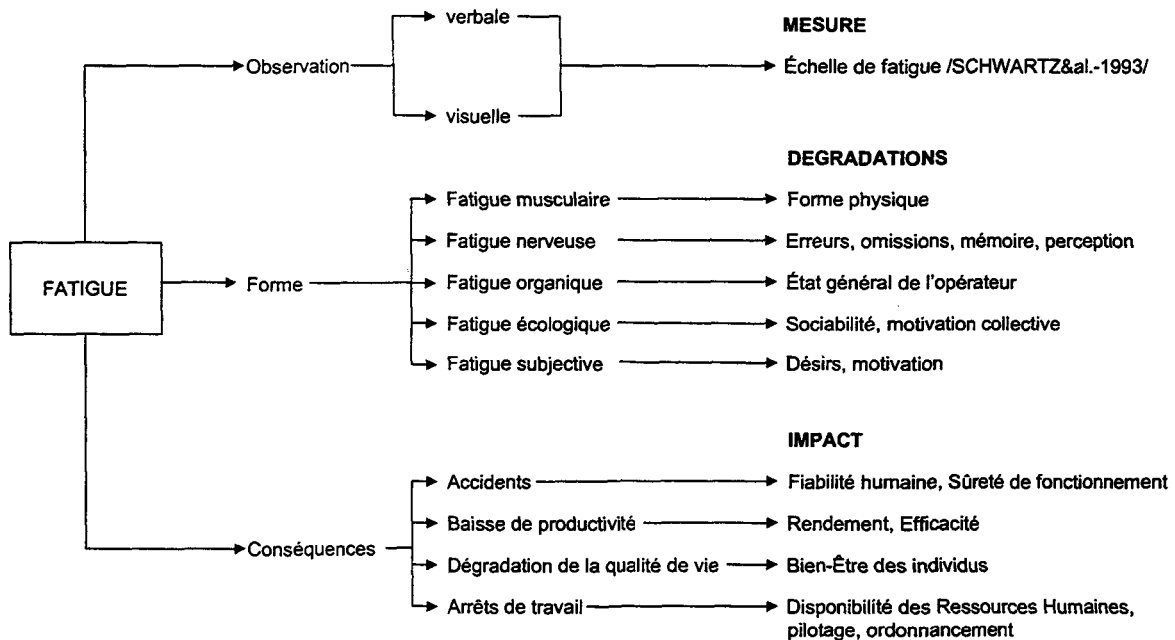


Figure II. 5 : Principales observation, formes et conséquences de la fatigue

La fatigue peut donc se manifester sous des formes diverses et exerce une influence non négligeable sur la qualité de vie et la motivation d'un opérateur. Celui-ci manifeste sa fatigue par une plainte perceptible par le dialogue ou par des signes qui peuvent être constatés visuellement chez l'opérateur. Elle est ainsi quantifiable, notamment par le recours à une échelle validée par /SCHWARTZ&al.-1993/. Son champ de définition recouvre l'activité musculaire ainsi que les activités psychosensorielles, concernant en premier lieu le travail professionnel, l'activité sportive, et la vie en société /ALLAIN-1998/. Les conséquences de la fatigue se manifestent par des arrêts de travail, une chute des performances, l'augmentation d'accidents et détériorent la qualité de vie des opérateurs, comme indiqué Figure II. 5.

Fatigue, stress et conditions de travail sont fortement liés et influencent largement le bien-être des opérateurs et leur qualité de vie au travail. Les relations inter-individuelles interviennent également dans la définition du climat social et font l'objet du paragraphe suivant

2.2. Dimension collective du climat social

La dimension collective du climat social aborde le bien-être des individus au travers des relations inter-individuelles. Elle se réfère à des notions principalement issues de la sociologie. Les syndicats et les comités d'entreprise permettent d'accéder à certains progrès sociaux qui contribuent au bien-être des individus et à leur qualité de vie au travail.

La plupart des sociologues admettent que les comportements ou les opinions des individus dépendent des structures dans lesquelles ils s'insèrent. Il est donc nécessaire de pouvoir exprimer et formaliser ces structures pour être en mesure de fournir des explications cohérentes et pertinentes sur le comportement des individus. La mise en évidence des réseaux sociaux /DEGENNE&al.-1994/ contribue à cela. Elle utilise la théorie des graphes dont les arcs expriment des relations entre individus ou groupes d'individus. L'analyse de ces relations est réalisée sous la forme d'opérations matricielles et permet de considérer des caractéristiques propres aux groupes, comme la cohésion qui fait l'objet d'une présentation dans le paragraphe suivant.

2.2.1. Cohésion de groupe

La notion de cohésion exprime la densité des liens existant entre les individus d'un groupe /DEGENNE&al.-1994/. L'une des premières études ayant trait à cette notion de cohésion fût celle des ateliers Hawthorne, réalisée par Elton Mayo à la *Western Electric Company* de Chicago /MAYO-1933/. Cette expérience, dont l'objectif était d'étudier l'impact des modifications des conditions de travail sur la productivité, marque le début de la sociologie industrielle. Les premiers résultats de cette expérience s'expriment sous la forme d'une mise en garde vis-à-vis des biais injectés par l'expérience dans la mesure de paramètres humains : l'effet Hawthorne. Face aux résultats inattendus qui ont été obtenus, Mayo décide d'approfondir l'expérience par une étude ethnographique des ateliers qui a permis de mettre en évidence l'existence de sous-groupes informels au regard de la cohésion /ROETHLISBERGER&al.-1939/. Ces sous-groupes, appelés cliques, sont caractérisés par un sentiment commun d'appartenance, un certain degré d'intimité et des normes de comportement reconnues /WARNER&al.-1941/. La principale conclusion réside dans la constatation d'une corrélation étroite entre la cohésion et la productivité d'un groupe.

De plus, la cohésion d'un groupe est fortement liée à la **quantité d'interactions** et à l'**uniformité d'opinion** du groupe /MARCH&al.-1971/. Il est alors possible d'envisager une évaluation de la cohésion par celles de la quantité d'interactions et de l'uniformité d'opinion constatée dans le groupe. La démarche utilisée dans /ELMHAMEDI-1990/, présentée dans le chapitre 1, peut être interprétée suivant cette logique. En effet, le niveau de coopérativité entre opérateurs, qui est utilisé dans SAMEAH pour la constitution des équipes de production, est une expression qualitative, évaluée sur une échelle de valeurs, liée à la quantité d'interactions qui devrait être constatée au sein de l'équipe qu'ils vont former. Il semble alors possible de composer judicieusement des équipes de production de manière à favoriser une cohésion forte. Une équipe ainsi constituée dispose d'une uniformité d'opinion qui se caractérise par une importante force de pression du groupe sur les individus /MARCH&al.-1971/.

Il est cependant préférable parfois de définir des équipes dont la cohésion est faible. C'est le cas, par exemple, pour les équipes de supervision dans les centrales nucléaires pour lesquelles il est préférable d'éviter une uniformité d'opinion du groupe afin de maximiser les formulations d'avis, de diagnostics et de solutions en présence d'un dysfonctionnement.

Les **facteurs de cohésion**, Figure II. 6, peuvent être dissociés en deux catégories /MAISONNEUVE-1976/ :

- les facteurs **extrinsèques** : ils sont antérieurs à la formation d'un groupe ou immédiatement fixés lors de l'installation du groupe. Ils sont obtenus par l'analyse des relations formelles et informelles entre les membres du groupe, leur organigramme et les données dont dispose l'entreprise sur chaque employé.
- les facteurs **intrinsèques** : ils sont propres au groupe constitué et peuvent être déclinés en facteurs d'ordre *socio-affectif*, qui se réfèrent aux motivations, émotions et valeurs communes et confèrent au groupe son attractivité, également appelée valence ; et facteurs d'ordre *socio-opératoire*, qui touchent à l'organisation propre du groupe en lui permettant de satisfaire ses besoins et de poursuivre ses buts au moins partiellement. L'évaluation des facteurs d'ordre socio-affectifs se prête à l'utilisation de différenciateurs sémantiques continus alors que les facteurs d'ordre socio-opératoires se formalisent sous la forme de graphes.

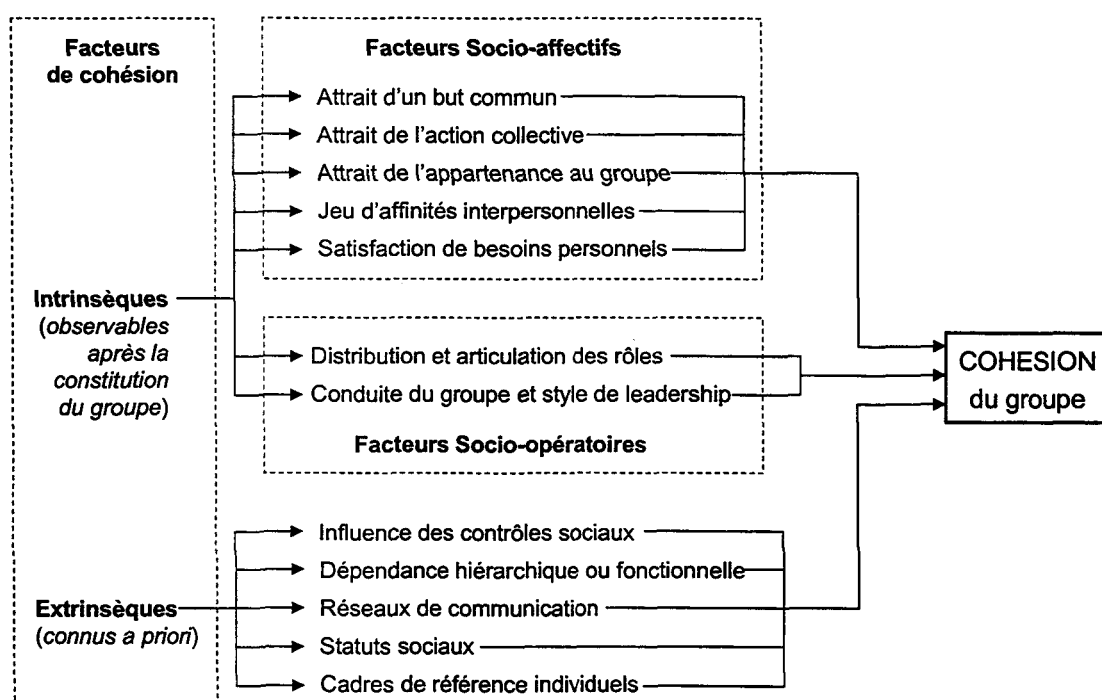


Figure II. 6 : Facteurs principaux de cohésion

La catégorie des facteurs intrinsèques de cohésion marque l'impossibilité d'évaluer précisément la cohésion d'un groupe a priori. Cependant, la prise en compte des facteurs extrinsèques lors de la composition des groupes favorise l'apparition des facteurs intrinsèques et renforce la possibilité d'obtenir une cohésion forte. Cette cohésion de groupe se manifeste par des conduites collectives qui se réfèrent aux notions de normes et d'appartenance présentées dans le paragraphe suivant.

2.2.2. Normes et appartenance

La cohésion présentée au paragraphe précédent se manifeste par des conduites collectives, parmi lesquelles figurent le conformisme et la résistance aux déviations qui se réfèrent à la notion de norme de groupe :

- Le **conformisme** : il se traduit par la présence ou l'émergence de normes et de modèles collectifs menant à une uniformité des conduites, des opinions, des sentiments, voire même du langage. L'intégration au groupe nécessite alors l'adhésion du nouvel individu à ces normes, suivant un processus de conformisation.
- La **résistance aux déviations** : une conduite déviationniste exprime un écart par rapport aux normes du groupe. La résistance aux déviations entre dans le cadre plus général de la *résistance au changement* et peut mener à l'exclusion des déviants ou à la négociation d'un compromis pour ramener les déviants à une norme commune. Dans les ateliers, par exemple, les ouvriers adoptent des normes tacites de production comportant une certaine marge : celui qui cherche à travailler le moins possible est médiocrement estimé et, à l'inverse, celui qui travaille trop est souvent exclu parce qu'il ne respecte pas le « *freinage* » modéré par lequel se manifeste généralement la solidarité des travailleurs.

La cohésion est une condition nécessaire pour l'émergence de normes propres à un groupe. En général, ces normes sont d'autant plus simples, étroites et rigides que le groupe est isolé, alors qu'elles sont relativement souples et imprécises dans les groupes de plus grande taille en raison de l'interférence des modèles. L'émergence de normes spécifiques à un groupe, admises et respectées par les individus composant le groupe, atteste ainsi de l'existence d'une cohésion significative au sein de ce groupe. Cette adhésion aux normes est liée à un fort sentiment d'appartenance, encore appelé **identification au groupe**, et à d'autres facteurs /MARCH&al.-1971/ présentés Figure II. 7.

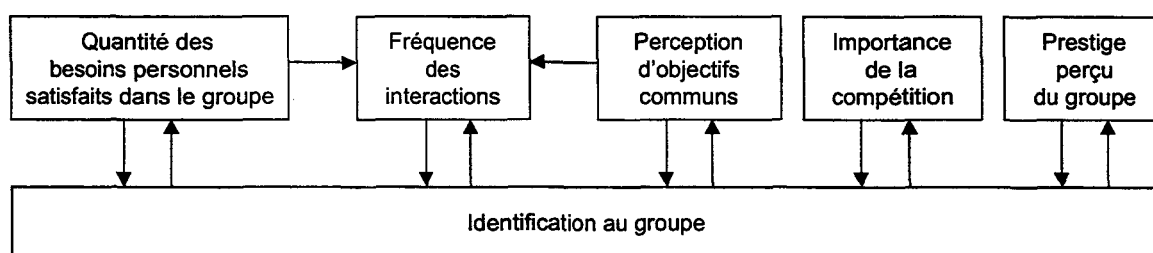


Figure II. 7 : Facteurs fondamentaux agissant sur l'identification au groupe /MARCH&al.-1971/

La culture d'entreprise exprime certaines normes auquel l'employé adhère d'autant plus qu'il ressent un fort sentiment d'appartenance à l'entreprise. D'autres normes peuvent émerger des sous-systèmes qui composent l'entreprise, tels que les ateliers, lignes de produits ou groupes autonomes de production. L'analyse de la structure de l'entreprise permet de mettre en évidence ces sous-systèmes et l'étude de leurs normes facilite la compréhension des conduites collectives qui émergent de ces sous-systèmes. Néanmoins, l'interprétation des conduites collectives et individuelles ne se limite pas à la considération et à l'analyse des normes de groupes : elle doit également intégrer la répartition du pouvoir qui influence largement le comportement de l'organisation.

2.2.3. Le pouvoir dans l'entreprise

Le pouvoir, d'après /PROBST&al.-1997/, est « l'aptitude à faire adopter par un individu ou un groupe d'individus un cadre de référence déterminé comme critère de réflexion, d'action et/ou d'évaluation ». Cette définition n'en est qu'une parmi tant d'autres /POIRIER&al.-1991/ mais, malgré une grande diversité de définitions, le pouvoir implique toujours la possibilité pour des individus ou des groupes d'agir sur d'autres individus ou groupes. C'est un mécanisme fondamental de stabilisation du comportement qui ne peut s'exprimer qu'au

travers de relations entre deux acteurs au moins. C'est pourquoi le pouvoir ne constitue pas un attribut des acteurs mais ne peut s'exprimer que sous la forme d'une **relation**, d'après /CROZIER&al.-1977/, qui est appelée *relation de pouvoir*.

Les réseaux sociaux peuvent être utilisés pour exprimer ce type de relations et fournir une évaluation du pouvoir des différents individus formant le réseau. Cette évaluation considère le pouvoir suivant le point de vue lié à la *centralité* des individus dans le réseau et les *relations exclusives* qu'ils entretiennent entre eux /DEGENNE&al.-1994/. Ces relations exclusives, pondérées par l'importance des acteurs impliqués, permettent d'établir une expression du pouvoir présentée Figure II. 8.

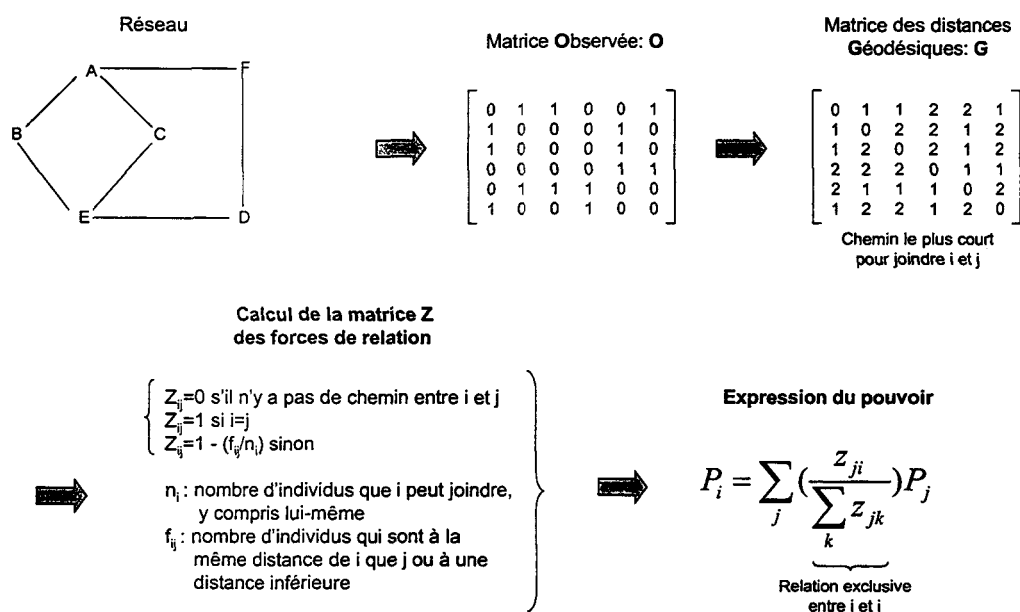


Figure II. 8 : Expression du pouvoir à partir de la centralité des individus dans un réseau

La notion de pouvoir est inséparable de la **négoce**, qui implique un échange de ressources entre les acteurs /CROZIER&al.-1977/. Le pouvoir peut alors être défini comme un **rapport de force** entre deux acteurs dont l'un peut retirer davantage que l'autre sans que l'un ne soit démuné face à l'autre. Ce rapport de force est influencé par les **ressources**, comme la richesse, le prestige ou l'autorité, dont disposent les acteurs pour élargir leur **marge de liberté**¹ dans la relation de pouvoir considérée. Ces ressources individuelles, culturelles, économiques et sociales sont conférées par la situation sociale globale de l'acteur et définissent le **cadre** dans lequel s'inscrit sa stratégie :

- cadre *temporel*, qui traduit l'utilisation du facteur temps dans la relation de pouvoir.
- cadre *spatial*, qui correspond à une possibilité de diversification des domaines d'investissement par une multiplicité des relations de pouvoir.
- cadre *social*, qui exprime des inégalités entre acteurs liées, par exemple, à leurs positions respectives dans un champ social structuré.

Ce cadre définit des dimensions suivant lesquelles peuvent s'installer des tensions entre deux acteurs ou groupes d'acteurs. Ces tensions permettent de localiser les sources de pouvoir, Figure II. 9, dont les principales relevées par /CROZIER&al.-1977/ sont les suivantes :

¹ Plus la marge de liberté d'un acteur est grande, plus son comportement est imprévisible pour l'acteur avec lequel il entretient une relation de pouvoir et plus son pouvoir sur ce dernier grandit.

- la **maîtrise d'une compétence particulière** et la **spécialisation fonctionnelle** : elle caractérise le cas des experts qui sont les seuls à pouvoir résoudre certains problèmes cruciaux pour l'organisation et qui se trouvent alors, naturellement, dans une position très confortable pour la négociation. Cette source de pouvoir est en relation directe avec le problème des *compétences critiques* de l'entreprise.
- les **relations entreprise-environnement** : un acteur intégré dans plusieurs systèmes d'action en relation les uns avec les autres, comme un ouvrier responsable syndical, peut jouer le rôle indispensable d'intermédiaire et d'interprète entre des logiques d'action différentes, voire contradictoire. Ce rôle lui confère un pouvoir important au sein de l'entreprise.
- la **maîtrise de la communication et des informations** : si un individu a besoin d'informations essentielles en provenance d'autres individus alors ceux-ci disposent d'un pouvoir sur lui. La façon dont ils transmettent les informations, avec plus ou moins de retard ou de façon plus ou moins filtrée, affecte la capacité d'action du destinataire.
- l'existence de **règles organisationnelles générales** : les règles augmentent le pouvoir du supérieur et réduisent la marge de liberté de ses subordonnés par une prescription précise de ce qu'ils doivent faire. Mais cette même règle peut devenir un **moyen de protection** pour ces derniers car le supérieur ne dispose plus de moyen pour obtenir d'eux qu'ils fassent plus que ce que précise la règle. Pour pallier ce problème, le supérieur peut tolérer que ses subordonnés dérogent à certaines règles. Il dispose alors d'un moyen de chantage à leur égard.

L'analyse de ces sources de pouvoir dans l'entreprise met en évidence une structure de pouvoir, parallèle à celle qui est définie sur l'organigramme officiel, qui permet d'apprécier la marge de manœuvre dont disposent les différents acteurs dans leurs négociations respectives. Cette structure de pouvoir constitue le véritable organigramme de l'organisation, par rapport auquel s'orientent et se forment les stratégies des uns et des autres.

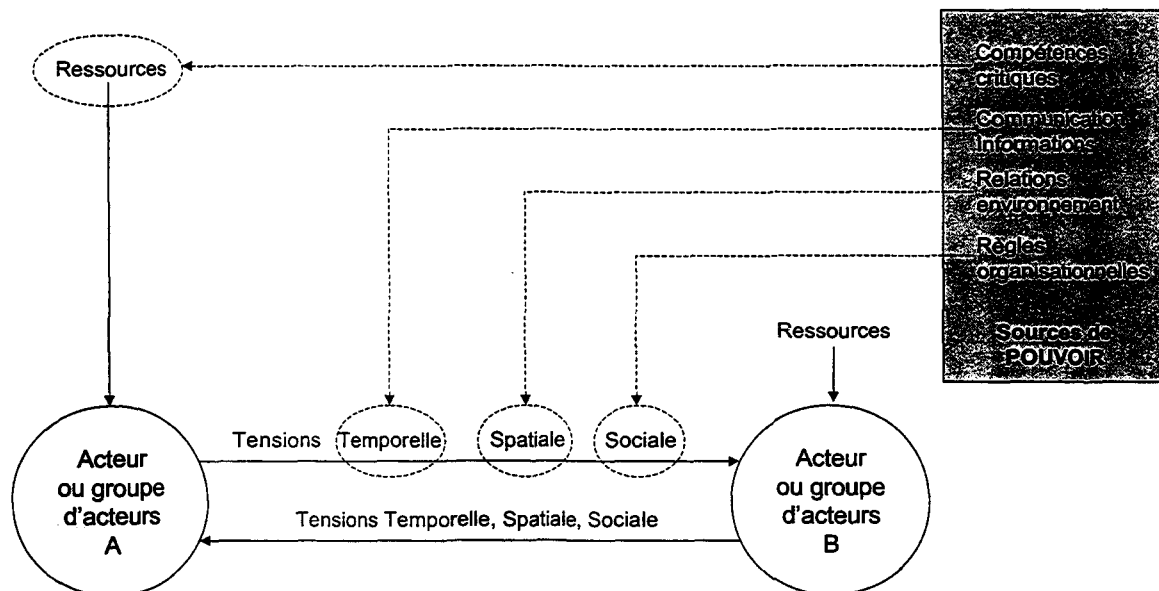


Figure II. 9 : Expression d'une relation de pouvoir et localisation des sources de pouvoir

Le jeu des relations de pouvoir régule les relations inter-individuelles dans l'entreprise et influence ainsi largement la qualité de ces relations qui occupent une part importante dans

l'expression du climat social de l'entreprise. Celui-ci fait intervenir de nombreux facteurs humains et son évaluation, qui fait l'objet du paragraphe suivant, est confrontée au problème de l'exhaustivité des variables prises en compte.

2.3. Appréciation du climat social

L'appréciation du climat social d'une entreprise est une tâche extrêmement difficile et met à contribution l'expérience et les connaissances irremplaçables des gestionnaires sociaux. Cette appréciation du climat social peut être réalisée sous la forme d'enquêtes périodiques auprès du personnel, des campagnes d'observation sur le terrain ou par l'utilisation d'indicateurs. Les variations de ces indicateurs fournissent des renseignements sur la stabilité du climat social et les causes de dysfonctionnement. Les indicateurs les plus communs sont l'absentéisme et le turn-over, qui font l'objet des deux parties suivantes.

2.3.1. L'absentéisme

L'absentéisme entraîne des perturbations sur la production et l'organisation du travail et engendre des coûts importants pour l'entreprise. Ses causes sont nombreuses et peuvent exprimer un refus provisoire du travail et une baisse d'implication du personnel /MARTORY&al.-1998/.

Le taux d'absentéisme est donné par le rapport entre les heures d'absence anormale et le nombre d'heures théorique de travail. La définition de la « normalité » des absences et la période d'observation diffère souvent d'une entreprise à une autre. Il est donc possible de recenser une grande quantité de définitions d'indicateurs destinés à mesurer la même variable. Il est donc nécessaire, avant d'interpréter les valeurs d'un indicateur, d'avoir assimilé toutes les subtilités qui lui sont sous-jacentes. Cependant, quelle que soit la définition adoptée pour l'indicateur, sa pertinence se trouve dans sa capacité à refléter des variations soudaines ou prolongées dans le temps. Ces variations fournissent des tendances qui sont interprétables et permettent de détecter efficacement des dysfonctionnements sociaux. Les variations du taux d'absentéisme permettent donc d'évaluer la qualité du climat social, ce qui est également le cas du taux de turn-over.

2.3.2. Le Turn-Over

Le Turn-Over, ou *rotation du personnel*, caractérise le nombre de départs vers l'extérieur. Il peut, dans certains cas, permettre à l'entreprise de relancer une dynamique de groupe par le recrutement de nouvelles ressources humaines. Dans ces cas, un taux de Turn-Over élevé est souhaité par l'entreprise mais cela ne correspond qu'à une minorité des cas. Généralement un taux de Turn-Over élevé traduit un dysfonctionnement social coûteux pour l'entreprise. Celle-ci doit recruter et former le nouveau personnel. De plus, une période d'apprentissage est nécessaire pour les nouveaux salariés avant qu'ils ne parviennent à atteindre le même rendement que leurs prédécesseurs, ce qui entraîne un manque à gagner. Le calcul du **taux de rotation global** s'exprime comme suit :

$$T_N = \frac{100 \times D_N}{E_N}, \text{ avec } \begin{array}{l} D_N : \text{nombre de départs sur l'année N} \\ E_N : \text{Effectif sur l'année N} \end{array}$$

→ { moyenne du nombre d'employés sur l'année N
ou
nombre d'employés au 1^{er} Janvier de l'année N

Ce taux de rotation global peut être calculé pour des sous-populations particulières correspondant à des catégories de personnel, des équipes de travail, des corps de métier, ou encore par rapport à l'ancienneté ou le sexe. Les causes des départs sont recueillies, par le biais d'interviews ou de questionnaires, pour être ensuite analysées. Ces analyses permettent de déterminer les variables principales du turn-over, parmi lesquelles figurent régulièrement le type de spécialité, le niveau hiérarchique, le nombre de jours d'absence sur l'année précédente ou encore le nombre d'enfants de l'employé. Ces variables principales sont ensuite pondérées pour obtenir la formulation d'un indice de turn-over à partir duquel est construite une fonction de probabilité de départ des employés. Cette fonction est exploitée pour anticiper les mouvements futurs du personnel et gérer au mieux la rotation du personnel de l'entreprise.

L'évaluation du climat social repose donc sur des indicateurs relatifs à l'absentéisme, au turn-over ou encore au taux de propension à la grève ; des enquêtes de satisfaction menées auprès du personnel et des observations sur site. Les informations qu'ils fournissent, complétées par les connaissances et le savoir-faire des managers, sont utilisées pour construire une stratégie de gestion du climat social et mettre en place cette stratégie par des actions portant sur la répartition du pouvoir, la définition des postes de travail ou encore la constitution des équipes.

Les résultats des enquêtes, des observations de terrain et les variations des indicateurs sont également utilisés pour l'évaluation et la gestion de la motivation du personnel de l'entreprise, qui constitue la seconde problématique GRH présentée dans ce chapitre et fait l'objet du paragraphe suivant.

3. GESTION DE LA MOTIVATION

Les entreprises se préoccupent de plus en plus de la motivation, ou plutôt des motivations de leurs employés. Effectivement, la motivation est suscitée par un besoin ou par des activités, il n'y a donc pas une motivation unique mais des motivations qui poussent les individus à agir et produire des comportements.

La motivation est un concept relativement récent qui s'applique principalement au niveau de l'individu mais peut s'étendre aux aspects collectifs, par le biais des systèmes de valeurs principalement, ce qui en fait un sujet d'étude de la psycho-sociologie /FEERTCHAK-1996/. La motivation s'inscrit dans le processus comportemental d'un individu qui est composé des phases suivantes /NUTTIN-1980/ :

1. une phase de représentation de l'environnement extérieur.
2. une phase d'élaboration des buts et des projets qui concrétisent les besoins de l'individu, nommée **phase motivationnelle**.
3. une phase d'action proprement dite, qui permet à l'individu de réaliser ses projets en agissant sur la situation actuelle telle qu'il la perçoit.

La phase motivationnelle du comportement de l'individu est l'interface entre sa représentation du monde réel et les actions qu'il réalise sur ce monde. Elle se concrétise par des buts et des objectifs élaborés en fonction des besoins de l'individu. Dans les ateliers de fabrication, ces buts et objectifs sont généralement fournis par l'organisation aux opérateurs humains et concrétisent rarement leurs besoins respectifs. Claude LEVY-LEBOYER /1998/ s'est intéressée à la motivation des individus dans les entreprises et définit la motivation comme une force qui pousse l'opérateur humain à **accepter un objectif, décider de faire un effort** pour l'atteindre et **persévérer** dans l'effort jusqu'à ce que cet objectif soit atteint.

Cette définition peut être illustrée et approfondie grâce au modèle systémique de la dynamique des motivations proposé dans /KARSKY&al.-1996/.

3.1. Modélisation des processus de la motivation humaine

Le modèle de simulation des comportements dynamiques de motivation, exposé dans /KARSKY&al.-1996/, relève d'une approche systémique et combine les principales théories relatives à la motivation humaine. Il ne propose pas une nouvelle théorie mais l'intégration de plusieurs théories parfois concomitantes ou complémentaires, mais souvent rivales. La combinaison des théories a été réalisée en deux étapes consécutives :

- le modèle MODERE (MOtivation DEsir REalité), qui exprime les théories de la motivation faisant référence aux notions de désir et d'écart entre la situation réelle et celle anticipée par l'individu,
- l'expression d'un point de vue cognitif sur le processus de motivation qui complète celui de MODERE et constitue le modèle MODMIL.

Le modèle MODMIL est utilisé pour la formation de gestionnaires des Ressources Humaines. Il ne vise pas à rendre compte des comportements où l'action trouve exclusivement sa source dans l'individu lui-même mais de ceux d'un individu auquel on propose une ou plusieurs actions.

Une action proposée est caractérisée par une date, un niveau d'action, une durée et la succession des actions proposées est ordonnée dans le temps. Chaque action proposée est liée à une gratification caractérisée par un niveau de gratification, la date à laquelle elle est obtenue et son type qui peut exprimer une gratification proportionnelle à l'action réalisée ou sous forme de promotion, de bonus, etc. Le modèle MODERE traduit la partie des processus de motivation liés à cette gratification.

3.1.1. Le modèle MODERE

Le modèle MODERE, initialement exprimé dans le formalisme de la dynamique des systèmes, peut être reformulé à l'aide des concepts de l'automatique, Figure II. 10. Chaque signal intervenant dans le modèle correspond à un niveau qui peut prendre des valeurs de « faible » à « fort », exprimées dans un intervalle de 0 à 1.

La sortie principale de MODERE est l'action produite et la valeur affectée à cette sortie traduit le niveau de résultat de l'action produite qui peut être interprété comme le degré d'implication de l'opérateur humain dans l'action qui lui a été proposée. Un niveau faible de cette sortie peut se caractériser par une mauvaise qualité de réalisation de l'action ou un allongement des temps nécessaires pour cette réalisation.

L'opérateur humain anticipe la satisfaction et la gratification qu'il est susceptible d'obtenir s'il réalise l'action proposée, suivant la *théorie des attentes* /PORTER&al.-1968/. Cette anticipation est représentée, Figure II. 10, sous la forme d'un modèle prédictif. L'écart entre gratification anticipée et gratification obtenue ($\varepsilon_g = \hat{g} - g$) régule l'anticipation de l'opérateur humain sous la forme d'un apprentissage.

L'écart entre satisfaction anticipée et obtenue ($\varepsilon_s = \hat{s} - s$), quant à lui, engendre un intérêt à l'action lors de la prise de décision à l'issue de laquelle une décision d'action est émise. Cette décision d'action résulte également de la motivation de l'opérateur humain, obtenue en

sortie des processus de Réalisation et d'Inhibition, traduisant respectivement la *théorie des besoins* de MASLOW /1954/ et le *Système d'Inhibition de l'Action* de LABORIT /1979/. Le processus de Réalisation exprime la stimulation de l'opérateur humain par l'existence d'un écart entre désir et satisfaction qui le pousse à agir pour réduire cet écart. La motivation naît d'un déséquilibre entre désir et satisfaction mais celui-ci génère également de la frustration chez l'opérateur humain qui, s'il excède un certain seuil tolérable et se prolonge dans le temps, peut mener à l'inhibition de sa motivation par une saturation de sa propension à l'action, Figure II. 10.

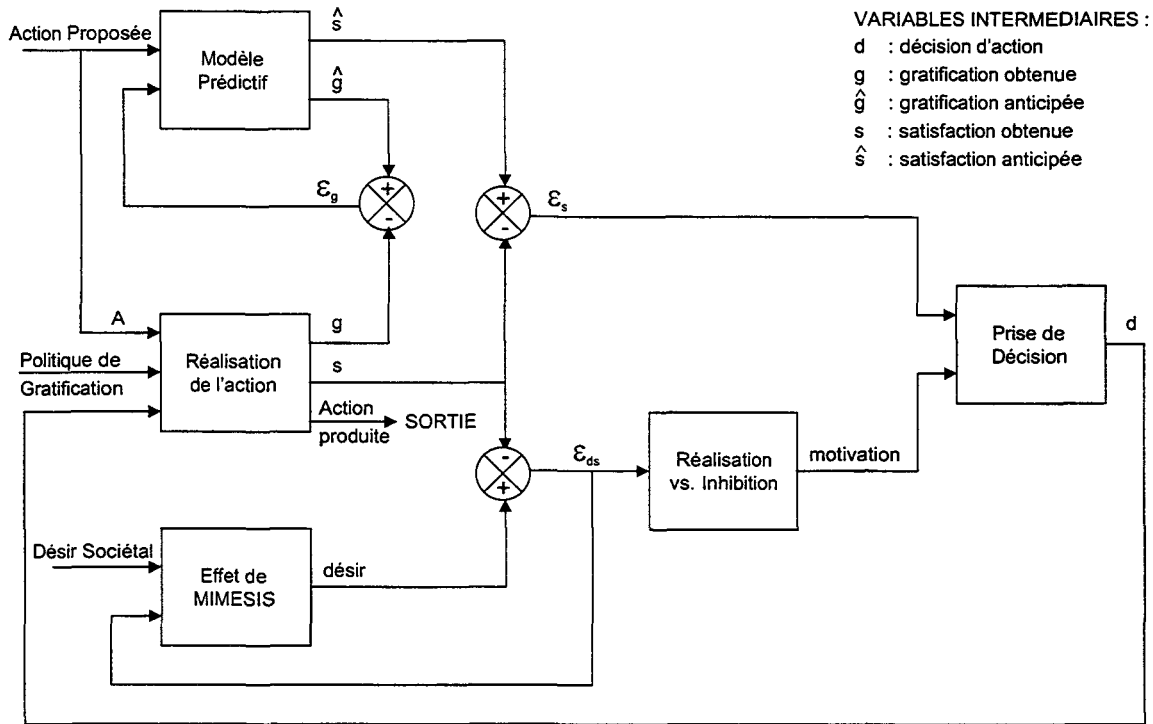


Figure II. 10 : Modèle MODERE, adapté d'après /KARSKY&al.-1996/

La satisfaction obtenue par la réalisation de l'action proposée est également comparée au désir de l'opérateur humain et l'écart entre ces deux signaux (ϵ_{ds} , Figure II. 10) renforce le niveau de désir de l'opérateur humain.

Ce renforcement est exprimé par une boucle d'amplification exprimant la *théorie du désir mimétique* de GIRARD et faisant intervenir une donnée d'entrée supplémentaire, le désir sociétal, qui traduit la variation du désir résultant de l'âge ou encore des origines sociales de l'individu.

Les processus de motivation représentés dans MODERE sont principalement liés aux niveaux de désir et de satisfaction de l'opérateur humain et sont stimulés par les écarts constatés entre ces deux signaux. Outre les modifications qu'elles subissent au cours des processus, ces deux variables sont soumises à un processus supplémentaire caractérisant une érosion.

Cette érosion traduit le fait qu'un niveau de satisfaction élevé ne se maintient pas indéfiniment et finit toujours par s'estomper s'il ne trouve pas une nouvelle source de stimulation, intervenant sous la forme d'une nouvelle action proposée par exemple. Ce modèle MODERE ne tient pas compte des aspects cognitifs de la motivation qui ont été ajoutés et ont mené à la formalisation d'un modèle plus complet intitulé MODMIL.

3.1.2. Le modèle MODMIL

Les processus cognitifs de la motivation pris en compte dans MODMIL font référence aux théories de la **rationalisation** et du **Locus Of Control (LOC)** qui expriment respectivement la consolidation ou le changement des valeurs et des opinions d'un individu et son attitude vis-à-vis de l'échec et de la réussite.

➤ **Locus Of Control**

Le LOC traduit le fait qu'un individu peut expliquer ses échecs et ses réussites par ses capacités, son travail et ses efforts ; ou bien par le hasard et la chance. La première attitude, dite *internalisante*, caractérise un individu qui pense avoir le contrôle sur ce qui lui arrive et qui lutte contre les difficultés. La seconde attitude, dite *exteriorisante*, caractérise quant à elle un individu qui pense que ce qui lui arrive ne dépend pas de lui et qui a tendance à réagir par la démotivation. Dans MODMIL, le LOC est stimulé par l'efficacité ressentie vis-à-vis de l'Action proposée et de la Gratification obtenue. Le LOC génère un sentiment de contrôle qui influence le désir d'action de l'opérateur humain et amplifie sa décision d'action. Le LOC intervient également sur la variable *drive* des processus d'engagement et de dissonance, présentés ci-après.

➤ **La Rationalisation**

La théorie de la rationalisation /BEAUVOIS&al.-1981/ combine les théories de la **dissonance cognitive** /FESTINGER-1957/ et de l'**engagement** /KIESLER-1971/. Le modèle résultant, Figure II. 11, fait intervenir des variables de nature cognitive correspondant aux Cognitions Privées, Génératrice, Conjoncturelles et sur l'action proposée.

La Dissonance Cognitive résulte d'une comparaison entre les cognitions privées et la cognition génératrice, Figure II. 11, correspondant respectivement à la représentation de l'état du système construite par l'opérateur humain et à sa représentation de l'action effectuée. Il y a un risque de dissonance lorsque l'opérateur humain effectue une action qui va à l'encontre de ses cognitions privées et que sa représentation du contexte n'est pas suffisante, par exemple lorsqu'il doit réaliser une action particulière sans qu'aucune justification ne lui soit fournie.

Ce contexte d'action intervient sous la forme des cognitions conjoncturelles qui réduisent ou amplifient l'écart constaté entre les cognitions privées et génératrice, Figure II. 11. La dissonance cognitive génère un signal de sortie *drive* qui est une variable de régulation destinée à réduire la dissonance soit par une amplification des cognitions conjoncturelles, afin de réduire l'influence de l'écart entre cognitions privées et génératrice, soit par un ajustement des cognitions privées avec la cognition génératrice ou encore par une réaction d'opposition à l'action qui se traduira par un refus d'agir à la prochaine proposition d'une action similaire, Figure II. 11.

Le processus de dissonance cognitive intervient lorsque l'action est effectuée. Il modifie les cognitions de l'opérateur et ses effets se répercutent à l'occasion des actions proposées suivantes. La théorie de l'engagement, quant à elle, décrit un processus qui débute dès la sollicitation de l'opérateur humain pour une nouvelle action proposée. Elle traduit une tendance chez l'individu qui s'engage dans une action à ne pas remettre en cause cet engagement.

L'engagement est généré à partir de l'écart entre les cognitions privées et celles sur l'action proposée, Figure II. 11. Si cet écart est faible, l'individu effectue l'action proposée et ses cognitions privées sont renforcées.

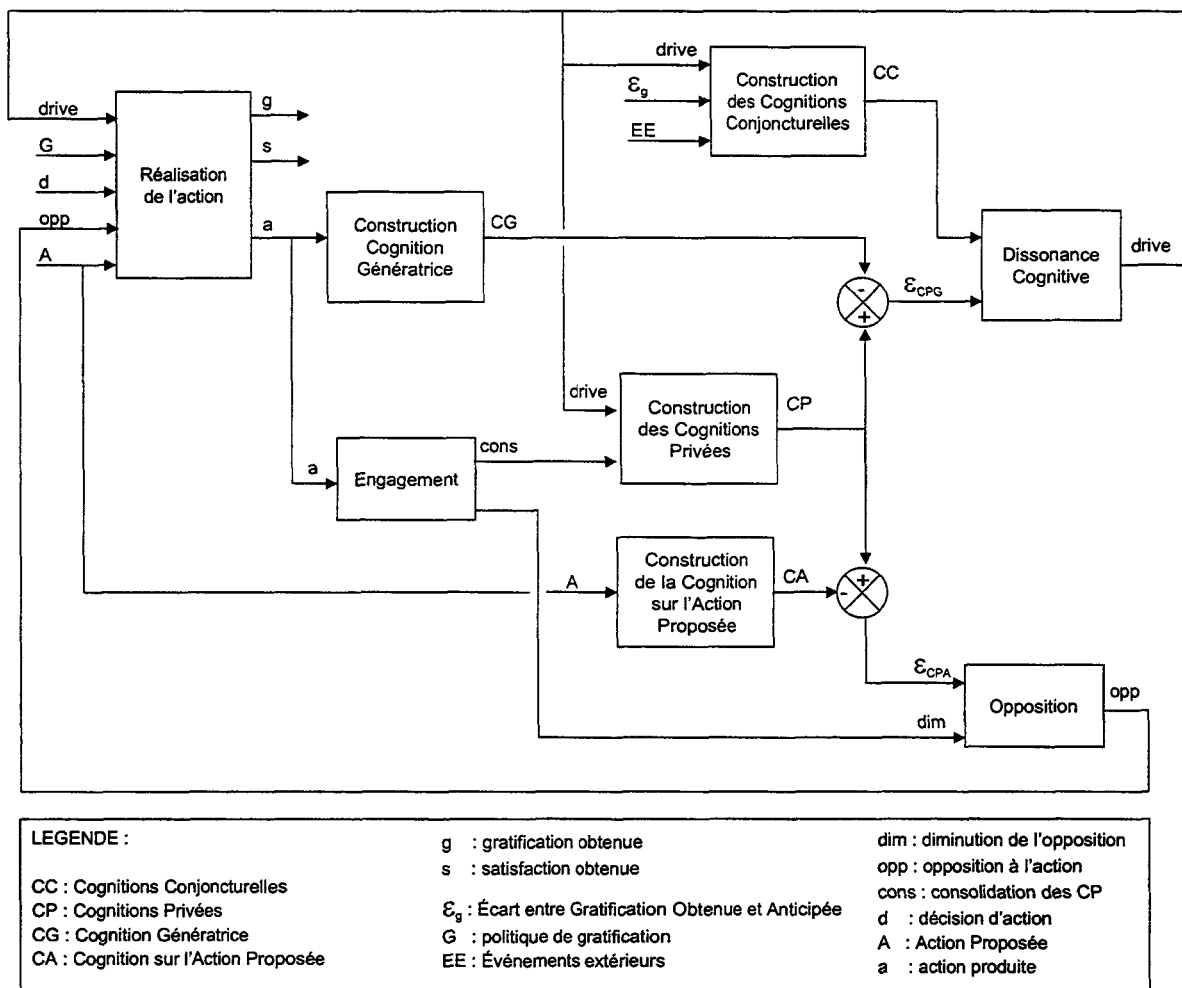


Figure II. 11 : Modélisation de la théorie de la rationalisation, adaptée d'après /KARSKY&al.-1996/

Un faible écart entre les cognitions privées de l'opérateur humain et ses cognitions sur l'action proposée et cognition génératrice traduit une **conformité** de l'opérateur humain vis-à-vis de ce qui lui est proposé. Cette notion de conformité permet d'exprimer une tendance vers l'engagement ou la dissonance chez l'opérateur humain. Elle fait partie des traits de personnalité retenus pour caractériser les individus dans le modèle MODMIL.

3.1.3. Motivation et paramètres humains

Les processus modélisés dans MODMIL font intervenir des constantes de temps qui dépendent fortement du type de processus et des traits de personnalité de l'opérateur humain. Les caractéristiques humaines retenues dans MODMIL sont les suivantes :

- Le **dynamisme** : exprime le niveau de désir de l'opérateur humain qui intervient dans la boucle du désir, Figure II. 10.
- La **confiance** : définit la réaction de l'opérateur humain aux promesses non tenues et aux échecs. Elle intervient dans la boucle d'apprentissage qui agit sur le modèle prédictif de l'opérateur humain, Figure II. 10.
- Le **pragmatisme** : il traduit la tendance chez l'opérateur humain à comparer ses désirs à la satisfaction qu'il a déjà obtenue auparavant dans le cas d'un pragmatisme

fort, ou à la satisfaction qu'il anticipe dans le cas d'un pragmatisme faible. Ce paramètre intervient dans la boucle de réalisation au niveau du comparateur entre désir et satisfaction, Figure II. 10.

- **L'inhibition** : ce paramètre intervient pour la définition du seuil de frustration acceptable pour l'opérateur humain, seuil au-delà duquel sa motivation est inhibée.
- La **conformité** : présentée dans la théorie de la rationalisation, cette caractéristique force la valeur initiale des cognitions privées, Figure II. 11.
- Le **Locus Of Control** : présenté dans le paragraphe précédent, il renvoie aux notions d'attitudes internalisantes ou externalisantes.
- Le **besoin de réussite** : il traduit la tendance d'un opérateur humain à vouloir faire plus que ce qui lui est proposé. Cette caractéristique amplifie l'écart entre le désir d'action de l'opérateur humain et l'action maximum possible qui lui est proposée.
- Le **désir sociétal** : il définit l'importance que l'environnement sociétal de l'opérateur humain donne à la gratification qui lui est proposée. Ce paramètre intervient comme une entrée dans la boucle du désir, Figure II. 10.

Chaque paramètre caractérisant l'opérateur humain prend une valeur entre 0 et 1 et intervient dans l'initialisation et la dynamique du modèle MODMIL. Ce dernier fournit des indications sur les raisons qui poussent un individu à accepter un objectif, qui le poussent à agir et à maintenir ses efforts pour atteindre les objectifs fixés par l'action proposée.

Ce modèle est utilisé en simulation dans le cadre d'actions de formation consacrées à la compréhension des mécanismes de la motivation humaine. Il donne des indications sur des comportements possibles d'individus virtuels paramétrés au préalable. Il n'est pas utilisé pour anticiper le comportement d'opérateurs humains « réels » à cause de l'importante quantité de paramètres qu'il manipule, la difficulté de leur évaluation et leur subjectivité.

Il constitue néanmoins une base solide de réflexion pour établir une politique de gratification de l'entreprise et proposer des actions adaptées aux opérateurs humains. Ces moyens d'action sur la motivation sont présentés plus en détail dans le paragraphe suivant.

3.2. Moyens d'action sur la motivation

D'après /LEVYLEBOYER-1998/ et le modèle MODMIL /KARSKY&al.-1996/, le contenu du travail confié aux opérateurs humains et la politique de gratification de l'entreprise contribuent directement à la motivation du personnel. Cette partie présente ces deux moyens d'action sur la motivation, auxquels s'ajoute une source de motivation supplémentaire qui s'exprime par l'émergence d'un leader charismatique mais qui ne sera pas développée.

3.2.1. Changement du travail

La gestion de la motivation peut se concrétiser par des changements apportés au travail, résumés en quatre points dans /LEVYLEBOYER-1998/ :

- **Complexité** : L'accroissement de complexité du travail réduit la *monotonie* et la *répétition* des activités et se traduit par le recours à des *compétences* plus nombreuses et plus sophistiquées, Figure II. 12. Le travail ainsi valorisé prend un

nouveau sens, ce qui crée une relation d'*appartenance* et d'*identité* entre l'individu et sa tâche. Cette relation engendre une motivation interne.

- **Contrôle** : la notion de contrôle traduit une plus grande *autonomie* de l'opérateur humain dans l'*organisation* de son travail et la prise de *décisions* le concernant. Il a ainsi une plus grande *responsabilité* sur le travail à accomplir, ce qui intensifie son *implication* vis-à-vis de l'organisation, Figure II. 12. Cette implication se traduit, d'une part, par l'attachement à l'organisation et l'adhésion à ses objectifs ; et d'autre part, par la volonté de rester dans l'organisation, ce qui est en rapport avec l'adhésion à la culture de l'entreprise et influence son climat social.

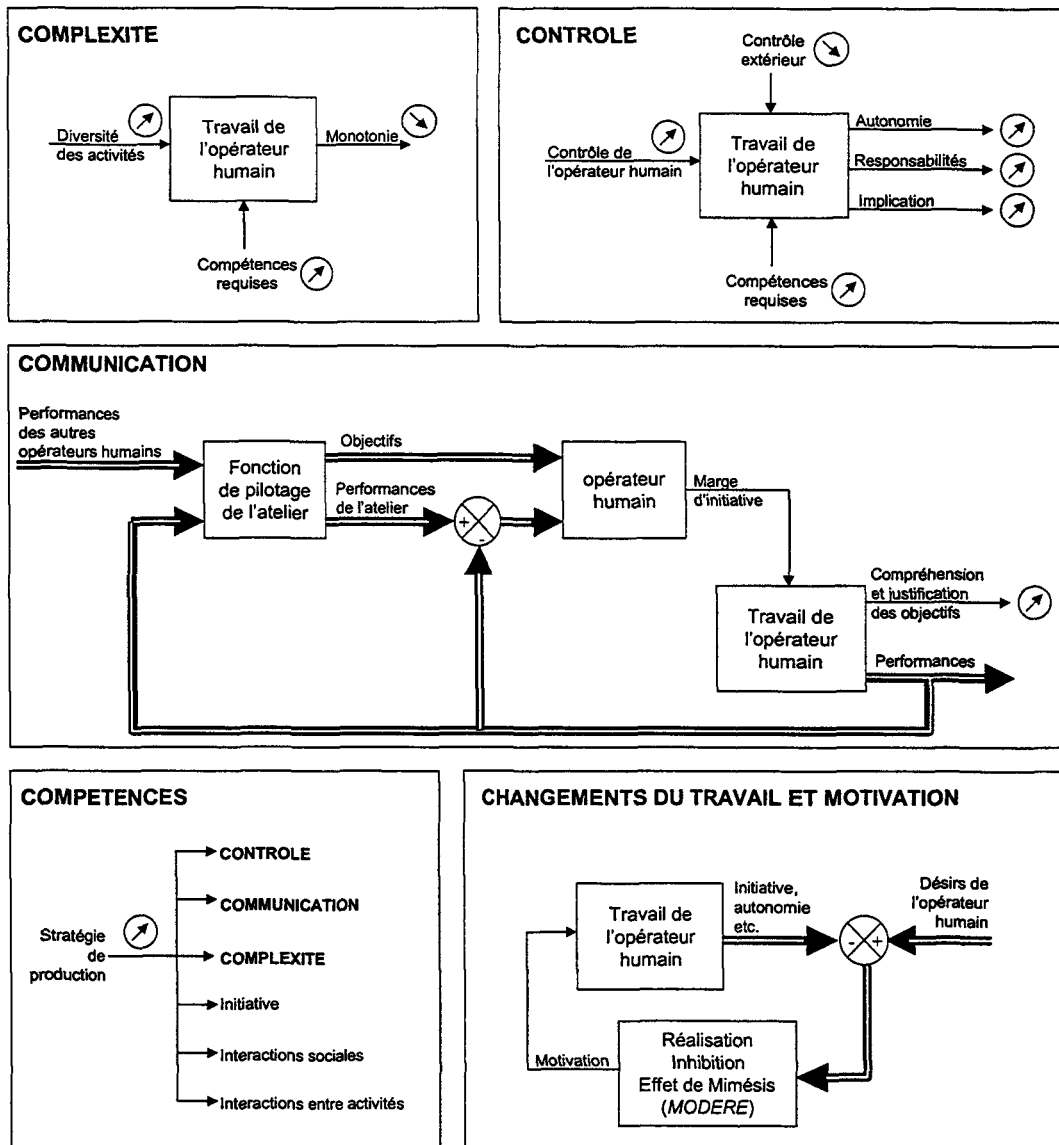


Figure II. 12 : Changements du travail et motivation de l'opérateur humain

- **Communication** : la communication des objectifs de *performance* souhaités, le retour d'informations sur les mesures de performances, leur évolution et leur comparaison avec les performances d'autres opérateurs ou équipes de travail permettent aux opérateurs d'évaluer les résultats de leurs efforts et leurs perspectives d'amélioration, Figure II. 12. Cette communication les place en situation d'*acteur* et leur fournit une *marge d'initiative* qui, même si elle est limitée par les contraintes organisationnelles, contribue à leur motivation.

- **Compétences** : ce dernier point exprime la possibilité donnée à l'opérateur humain d'accroître ses compétences à tous les niveaux. Des stratégies de production telles que le *juste-à-temps*, la gestion de la *qualité totale* ou encore l'*informatisation des techniques de production* demandent une grande *implication* du personnel. Elles stimulent la motivation en agissant sur les points décrits précédemment, mais également sur l'*initiative individuelle*, la multiplication des *interactions sociales* et une plus grande *visibilité* de la contribution de chaque acteur résultant du renforcement des interactions entre chaque activité de production, Figure II. 12.

L'action sur ces dimensions du travail a pour but d'adapter le travail aux besoins des opérateurs humains et permet d'ajuster les écarts entre désir et satisfaction abordés dans le modèle MODERE, Figure II. 12.

Les besoins des individus fournissent des renseignements sur les raisons qui les poussent à travailler. Ces raisons de travailler sont toutes associées à des récompenses, au sens large du terme, résidant dans l'échange des résultats d'un travail contre la satisfaction de besoins matériels ou plus abstraits, qui font l'objet de la partie suivante.

3.2.2. Récompenses et rémunération

Le système de rémunération, Figure II. 13, doit permettre à l'entreprise d'atteindre les équilibres suivants /MARTORY&al.-1998/ :

- l'**équilibre financier** de l'organisation : la masse salariale constitue généralement le principal engagement financier de l'entreprise et constitue donc une variable décisive de sa politique financière.
- l'**équilibre externe** : les rémunérations fixées par l'entreprise pour chaque type de qualification doit respecter un certain « étalonnage » par rapport au marché du travail.
- l'**équilibre interne** : le niveau des salaires doit être adapté aux responsabilités qui sont confiées aux employés. De plus, la rémunération doit les inciter à améliorer leurs performances. Elle doit donc favoriser les efforts individuels et, pour cela, se traiter au cas par cas, ce qui n'est que très rarement possible.

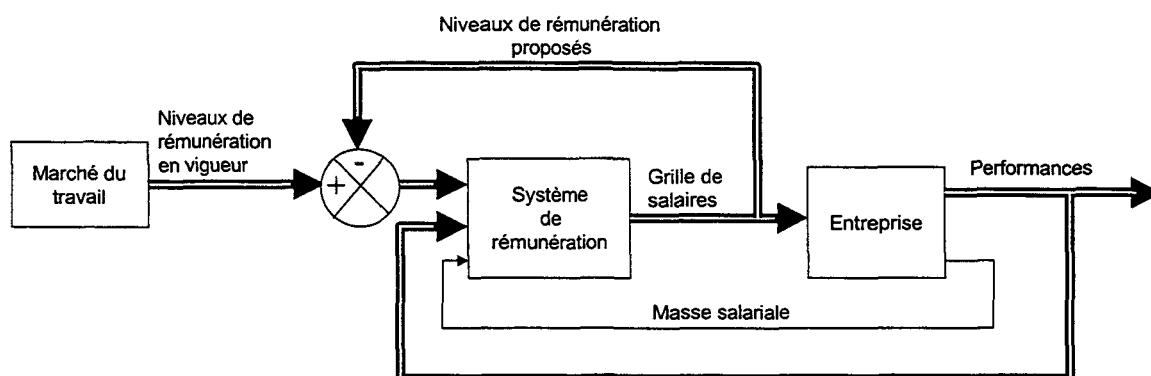


Figure II. 13 : Représentation du système de rémunération de l'entreprise

Le système de rémunération, Figure II. 13, est un système dynamique dans le sens où ces trois composantes sont en interaction : par exemple, le maintien des salaires en dessous des moyennes sectorielles provoque des difficultés à l'embauche et le départ des salariés à plus long terme.

Les rémunérations et les récompenses sont en rapport avec la politique de gratification qui apparaît dans le modèle MODERE. Si l'entreprise connaît la nature des besoins de ses employés, elle est en mesure de proposer des récompenses adaptées et, ainsi, de les motiver. Dans ce sens, la stratégie motivationnelle de l'entreprise consiste à mettre en correspondance les aspirations individuelles et les buts de l'organisation en récompensant chaque employé dans la mesure où il contribue aux objectifs de l'entreprise /LEVYLEBOYER-1998/. Il est question d'un échange entre un travail et une récompense, qui se distingue suivant sa nature et son mode d'attribution :

- **nature** des récompenses : elles peuvent se présenter *financièrement* sous la forme de salaires, de primes associées aux résultats ou à la mobilité, ou encore de participation aux bénéfices ou d'attribution d'actions de l'entreprise. Elles peuvent aussi constituer des avantages en *nature* : rabais sur les produits de l'entreprise, possibilités de prêts à taux bas ou encore mise à disposition d'un logement de fonction. La nature des récompenses doit être adaptée aux besoins des employés.
- **mode d'attribution** : les récompenses peuvent être attribuées en fonction du statut et de l'ancienneté d'un employé ou sur la base du travail effectué. Ce dernier mode d'attribution, qui mène à des « *récompenses au mérite* », permet d'encourager la production de comportements souhaités par l'entreprise tels que l'incitation à l'innovation, la ponctualité ou l'accroissement de la qualité de la production.

L'attribution de « *récompenses au mérite* » se répand de plus en plus dans les entreprises dont les règles de rémunération évoluent d'une situation relativement fixe vers des situations flexibles ou une partie du salaire est tributaire du travail fourni et du respect des règles organisationnelles.

Une telle évolution permet à l'entreprise de stimuler la motivation de son personnel si le système de récompenses est adapté à leurs besoins, de renforcer les principes qu'elle souhaite développer et mettre en œuvre, et de rémunérer les employés en fonction des compétences acquises et de la performance de groupe. Ce dernier point est important car il signifie que les récompenses ne concernent pas uniquement le travail individuel mais également la volonté des opérateurs humains à se développer et à participer de manière productive aux activités d'une équipe.

La mise en place d'un système de rémunération basé sur les compétences /MARBACH-1999/ nécessite la définition de méthodes d'identification, d'évaluation et de gestion de ces compétences, ce qui fait l'objet de la partie suivante correspondant à la dernière problématique GRH abordée dans ce chapitre : la gestion des compétences.

4. GESTION DES COMPETENCES

La compétence est directement liée au climat social et à la motivation du personnel, abordés ci-dessus. Effectivement, une utilisation non adaptée des compétences de l'opérateur humain peut se traduire, en termes de stress, par un écart entre ses capacités effectives et les exigences de son travail, ce qui correspond à la définition d'une situation stressante, §2.1.2 ; et, en termes de motivation, par un écart entre les besoins et désirs de l'opérateur humain et le travail qui lui est proposé par l'entreprise, §3.1.

De plus, les compétences peuvent avoir un impact direct sur la qualité, les délais et les coûts de production et permettent d'accroître la flexibilité de l'atelier de production. C'est pourquoi il est nécessaire de prendre en compte les compétences des opérateurs humains et d'en chercher l'adéquation avec les compétences requises par les tâches qu'ils réalisent, les postes de travail ou les fonctions qu'ils occupent.

Cette partie sur la gestion des compétences présente tout d'abord le concept de compétence, puis aborde l'identification de ces compétences pour finir sur les ajustements réalisés au sein de l'entreprise pour assurer leur gestion.

4.1. Le concept de compétence

La compétence caractérise la capacité d'un opérateur à maîtriser l'ensemble des activités qu'il doit réaliser dans le cadre de son travail. Elle traduit également l'aptitude de l'opérateur humain à identifier et apprécier en permanence l'importance et l'urgence relatives des tâches qui doivent être réalisées, ainsi que sa capacité à définir et conduire un ordonnancement dynamique de ses activités en fonction des contraintes spatio-temporelles /ORTIZ-1995/.

La compétence est classiquement vue comme une combinaison de savoirs, de savoir-faire et de savoir être /MARBACH-1999/ /HARZALLAH&al.-1999/ /LEBOTERF-1997/ /LEVYLEBOYER-1996/, appelées composantes de la compétence, qui constituent des ressources dont dispose l'opérateur humain lors de la réalisation des tâches qui lui sont confiées.

Le **savoir** correspond à des connaissances aussi bien générales que spécialisées sur un thème précis ; le **savoir-faire** exprime la maîtrise de la mise en œuvre concrète de techniques, de méthodes ou d'outils ; et le **savoir-être** traduit la maîtrise d'attitudes comportementales /BATAL-1997/, Tableau II. 1.

Composante	Exemples
SAVOIR	Connaître les lois élémentaires de l'électricité Connaître les principes essentiels du statut de la fonction publique Connaître la procédure de montage du système mécanique XY
SAVOIR-FAIRE	Savoir mettre en œuvre les techniques d'animation de réunion Savoir utiliser un voltmètre Savoir monter le système mécanique XY
SAVOIR-ETRE	Etre diplomate Etre organisé Etre rigoureux

Tableau II. 1 : Exemples d'illustration des composantes de la compétence

Les compétences, ainsi définies par leurs composantes, peuvent être classées par rapport à leur champ d'application en **compétences générales ou transversales**, qui ne sont pas spécifiques à un emploi particulier et sont utilisables dans de nombreux emplois ; **compétences professionnelles**, propres à une filière de métier particulière ; et **compétences spécifiques**, propres à une structure, une entreprise particulière. Cette classification suivant le champ d'application permet de distinguer les emplois en fonction de leur généralité ou, au contraire, de leur spécificité.

Le concept de compétence intègre également la capacité de l'opérateur humain à générer des compétences nouvelles à partir de celles qu'il a acquises /LEBOTERF-1998/, ce qui lui confère un aspect dynamique intégré dans la composante de savoir-être ou traduit sous la forme d'une composante supplémentaire de la compétence : le savoir-évoluer /MARTORY&al.-1998/.

Le concept de compétence est défini dans le cadre de ce travail par l'ensemble des ressources cognitives et sociales possédées par l'opérateur humain et qu'il peut engager pour produire un comportement à partir des tâches prescrites qui lui sont confiées, Figure II. 14.

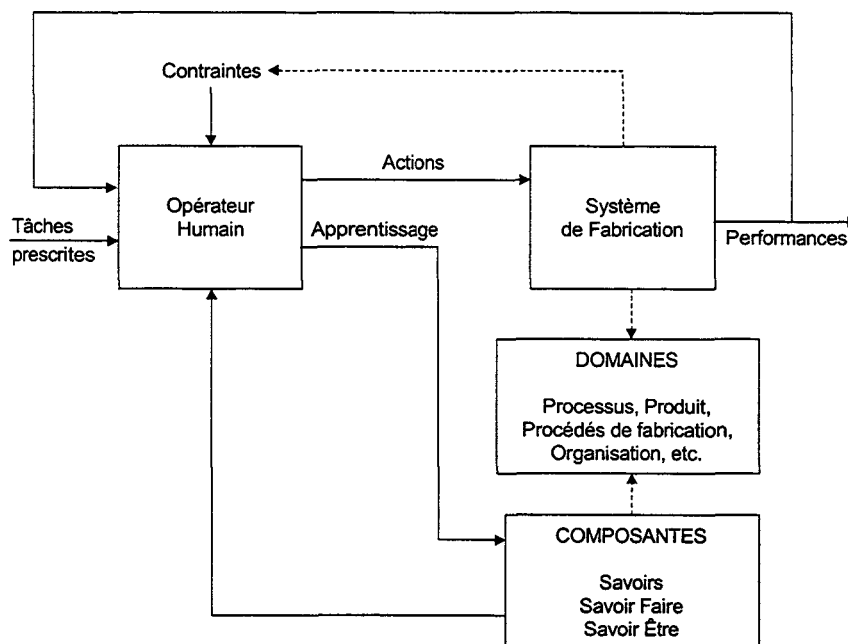


Figure II. 14 : Relation entre système de production et compétences de l'opérateur humain

Cette dimension individuelle de la Compétence est complétée par une dimension collective qui traduit principalement la capacité du collectif de travail à produire des normes, implicites ou explicites, pour accomplir ses tâches. Le collectif de travail doit néanmoins posséder toutes les compétences requises par les tâches qu'ils doivent effectuer. Il est, pour cela, nécessaire d'identifier les compétences requises par les postes de travail et d'évaluer les compétences acquises par les opérateurs humains pour atteindre l'adéquation entre les équipes de travail et le travail qu'elles réalisent.

4.2. Identification des compétences

L'identification des compétences s'effectue suivant deux dimensions : les compétences requises par un poste de travail, une tâche, une fonction ou une mission ponctuelle ; et les compétences acquises par les opérateurs humains. Les parties suivantes abordent ces deux types de compétences.

4.2.1. Compétences requises

L'identification des compétences requises peut être réalisée sur un poste de travail existant ou en phase de conception. Les compétences requises pour des postes dont le contenu est similaire peuvent être réutilisées. Il est donc intéressant de capitaliser les connaissances issues des phases d'identification.

L'identification des compétences requises pour un poste de travail peut reposer sur l'utilisation d'une liste prédéfinie de compétences, comme celle du dictionnaire TRIMA /ARSENAULT-1997/. La phase d'identification consiste alors à relever les compétences souhaitées, parmi les 150 compétences qui figurent dans le dictionnaire, et à les classer par ordre d'importance et suivant le domaine² auquel elles se rapportent. Une telle démarche est

² Les domaines de compétence définis dans TRIMA sont les suivants : technique, stratégique, innovation, coopération et influence.

relativement simple à mettre en place, n'impose pas d'analyse détaillée des tâches, et limite la quantité d'informations nécessaires pour l'identification des compétences. Néanmoins, le dictionnaire TRIMA spécifie des compétences générales et transversales qui correspondent à un niveau de détail très élevé et s'apparentent plutôt à des composantes de compétences. Il est adapté pour l'identification des compétences requises pour des postes à responsabilités, des emplois de cadres, mais ne détaille pas les compétences professionnelles et spécifiques, qui doivent faire l'objet d'une analyse particulière pour chaque entreprise souhaitant utiliser ce dictionnaire.

Il est donc nécessaire de compléter les compétences générales, spécifiées dans le dictionnaire TRIMA, par les compétences professionnelles et spécifiques requises par les tâches réalisées au sein du système de production. La mise en évidence de ces compétences, exprimées par leurs composantes de savoir, savoir-faire et savoir-être, est réalisée par une analyse des tâches prescrites qui permet d'exprimer le point de vue des prescripteurs. Ce point de vue est souvent d'ordre technique et doit être complété par des points de vue supplémentaires qui permettent de spécifier exhaustivement les domaines en rapport avec les compétences : les managers, les ergonomes, les psychologues et les sociologues expriment des composantes de la compétence relatives à des domaines généralement non maîtrisés par les prescripteurs des tâches.

Les compétences requises par un poste de travail, une tâche spécifique, une fonction ou encore une mission ponctuelle sont ensuite comparées aux compétences acquises par les opérateurs humains pour affecter les ressources humaines optimales, au sens de la compétence, aux tâches prescrites à réaliser.

4.2.2. Compétences acquises

L'évaluation des compétences acquises par les opérateurs humains est réalisée sous la forme d'une évaluation du personnel qui repose sur les techniques d'interview, de questionnaire, d'observation des opérateurs humains en situation de travail, et de mesures de leurs performances et rendements. Lors de l'évaluation du personnel, il est nécessaire de dissocier les éléments suivants /LAPRA-1997/ :

- la **prestation** : elle est observable et mesurable. Elle correspond aux comportements produits par l'opérateur humain et relève d'un *constat*. Sa mesure est confrontée à l'objectivité de l'appréciation.
- les **compétences** : elles font l'objet d'un *diagnostic*.
- le **potentiel** : il fait l'objet d'un *pronostic* et caractérise l'aptitude d'un opérateur humain à acquérir de nouvelles compétences. Il correspond à l'aspect dynamique des compétences intégré dans la composante de savoir-être et traduite par une composante supplémentaire exprimant le « savoir-évoluer » dans /MARTORY&al.-1998/. Il est important d'évaluer ce potentiel dans la perspective d'une gestion prévisionnelle des compétences.

La **prestation** correspond au comportement de l'opérateur humain, tel qu'il a été défini dans le chapitre 1. Ce comportement peut être décrit par des observateurs extérieurs pour ensuite être codé et archivé dans le formalisme IDEF3 par exemple, cf. annexe 4. La description du comportement ainsi obtenue peut alors être comparée au comportement prescrit qui aura été exprimé au préalable dans le même formalisme IDEF3. L'évaluation de la prestation s'effectue par des mesures de performance et de rendement des opérateurs humains, qui font l'objet de l'annexe 6.

Les **compétences** d'un opérateur humain sont perçues au travers de ses prestations observées par ses supérieurs hiérarchiques et collègues de travail. C'est dans l'action qu'un

opérateur humain est jugé compétent ou non pour le poste qu'il occupe, pour les tâches qu'il réalise. L'évaluation des compétences est un processus social qui s'effectue implicitement et mène à une perception des compétences d'un même individu souvent différente d'un collègue de travail à un autre en fonction de leurs systèmes de référence qui intègrent la culture, le sens de l'éthique ou encore l'expérience professionnelle /LICLIDER-1994/. L'évaluation des compétences d'un opérateur humain recourt à des interviews, des techniques d'analyse de l'activité ou encore d'analyse de protocole verbal. Elle a pour but d'identifier les ressources cognitives et sociales mises en jeu dans les activités réalisées par l'opérateur humain et son degré de maîtrise pour chaque compétence acquise. Les entretiens auprès du personnel doivent également permettre de déceler le **potentiel** de chaque opérateur humain. Ce potentiel traduit les souhaits et les capacités de l'opérateur humain pour l'acquisition de nouvelles compétences et doit être pris en compte lors de l'élaboration des plans de formation de l'entreprise. Il conditionne effectivement la réussite des actions de formation.

L'identification des compétences permet d'envisager la capitalisation des connaissances et du savoir-faire. Le savoir-faire détenu par un opérateur humain dans le cadre de la réalisation d'une tâche de fabrication particulière, par exemple, permet d'expliquer et de justifier un comportement différent du prescrit. Il est alors possible de capitaliser cette adaptation de l'opérateur humain et d'en tenir compte pour redéfinir la procédure à suivre pour réaliser la tâche prescrite.

Outre cette capitalisation et la possibilité de mise en place d'un système de rémunération basé sur les compétences, l'évaluation des compétences permet de mieux utiliser les compétences des ressources humaines de l'entreprise par une affectation adéquate des ressources humaines aux tâches qui leur sont confiées. Cette adéquation se situe tant au niveau de la performance attendue que de la satisfaction au travail du personnel et suscite des ajustements des compétences en fonction des besoins de l'entreprise.

4.3. Ajustement des compétences

L'ajustement des compétences aux besoins de l'entreprise a pour but de parvenir à l'adéquation entre les ressources humaines de l'entreprise, d'une part, et les tâches, fonctions et missions à réaliser d'autre part, Figure II. 15.

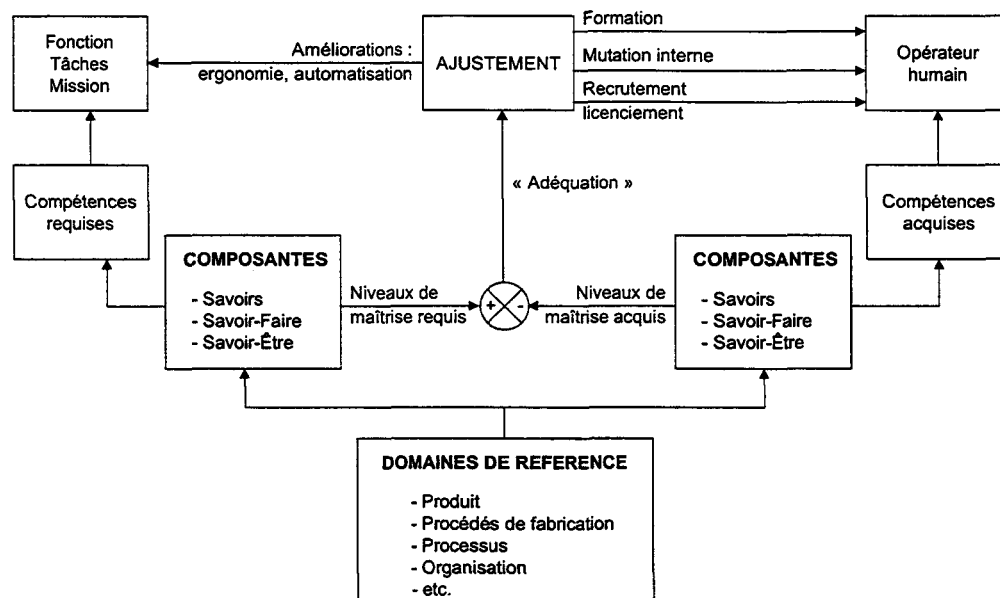


Figure II. 15 : Ajustement entre les ressources humaines et le contenu de leur travail

L'ajustement se traduit sur les postes de travail par des améliorations de postes, relatives à son ergonomie, ou l'automatisation de tâches ; et sur les ressources humaines par des actions de formation, des mutations internes, des embauches ou des licenciements. Les ajustements internes et externes résultant d'une gestion prévisionnelle des compétences font l'objet de la partie suivante.

4.3.1. Gestion prévisionnelle

Le principe de la gestion prévisionnelle consiste à ajuster les ressources humaines de l'entreprise à ses besoins, Figure II. 16. Cet ajustement passe par une prévision des effectifs pour la période à venir, généralement l'année, effectuée à partir de l'état actuel des ressources humaines de l'entreprise et des prévisions de départs, de mutations internes, d'embauche ou encore de départs à la retraite.

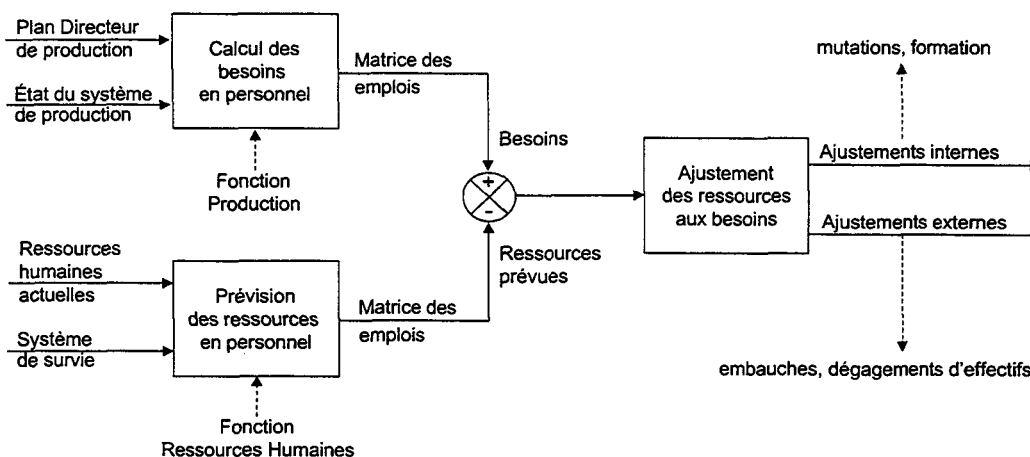


Figure II. 16 : Ajustement des ressources humaines aux besoins de l'entreprise, adapté d'après /MARTORY&al.-1998/

Il résulte de cette prévision une matrice des emplois qui, comparée à la matrice des emplois obtenue à partir des projections de production pour la période à venir et de l'état du système productif, détermine les ressources humaines nécessaires pour mettre en œuvre la production souhaitée pour la période à venir /MARTORY&al.-1998/.

L'ajustement entre ressources et besoins implique les systèmes de gestion des ressources humaines et de gestion de production qui interviennent respectivement pour l'expression des prévisions en personnel et pour celle des besoins en ressources. L'interaction entre ces deux systèmes existe pour chaque horizon temporel qu'ils abordent, Figure II. 17, et exprime de nouveau le besoin de coopération présenté dans l'introduction générale.

L'ajustement des compétences peut être considéré suivant les approches suivantes :

- approche **collective** des ajustements de compétences : l'état des compétences repose sur l'organisation, caractérisée par les organigrammes et pyramides des âges, la nomenclature des emplois types et une matrice des postes. L'objectif de cet ajustement est de parvenir aux cibles organisation-métiers-postes définies par l'entreprise par le biais des régulations suivantes :

- la réorganisation, qui permet de combler des besoins en compétences par une réallocation des effectifs au sein de la structure organisationnelle.
 - les embauches-départs
 - la formation
 - la gestion de carrières, qui permet de favoriser le développement des compétences les plus fortement demandées..
- approche **individuelle** des ajustements de compétences : elle repose sur l'analyse des tâches et les aptitudes et résultats individuels. Elle consiste à atteindre la cible, correspondant aux profils des postes et des métiers, par des actions de formation, de motivation et la proposition de carrières pour les hauts potentiels.

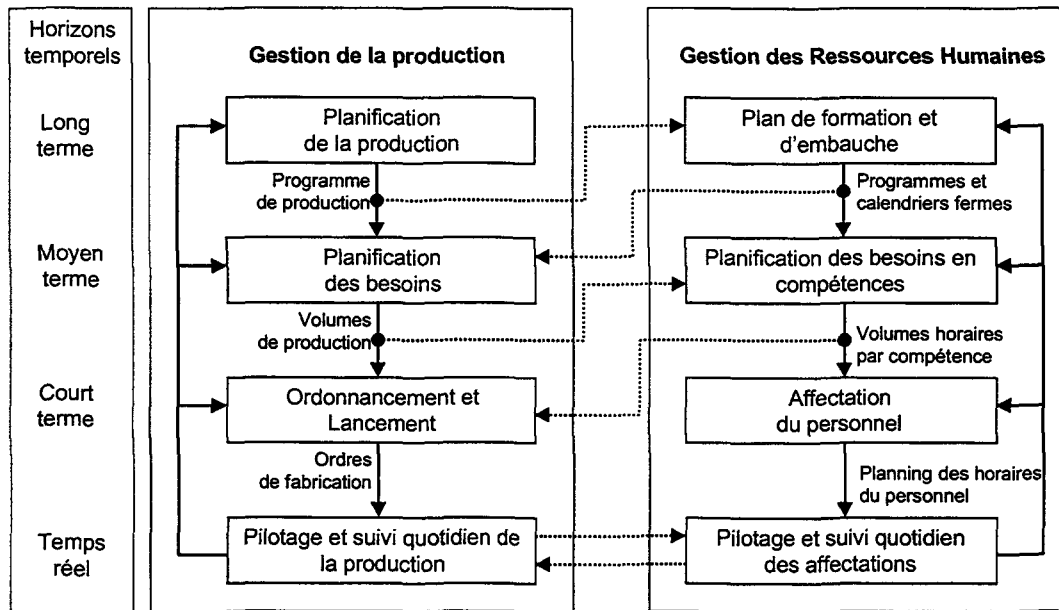


Figure II. 17 : Interactions entre production et GRH /FRANCHINI&al.-1999/

La formation du personnel intervient tant au niveau individuel que collectif de l'ajustement des compétences. Il est important de s'assurer des « chances de réussite » d'une formation en vérifiant que le potentiel des opérateurs humains est adapté à la formation proposée.

La formation, qui fait l'objet du paragraphe suivant, ne contribue pas uniquement à atteindre le niveau de performance souhaité mais également à installer un climat social stable au sein de l'entreprise.

4.3.2. Formation du personnel

La formation permet d'accroître le domaine de compétences des opérateurs humains ou leur niveau de maîtrise des compétences déjà acquises. La théorie du capital humain considère que formation et productivité sont liées par une relation causale.

Suivant cette théorie, l'économiste G. BALLOT, cité dans /ARCIMOLES-1994/, a établi une fonction de production de la compétence qui fait intervenir l'aptitude innée et la capacité de l'individu à obtenir la compétence, son niveau d'éducation formelle, une culture d'entreprise favorable à l'acquisition de la compétence, la durée d'acquisition de la compétence, l'effort alloué par l'individu pour développer la compétence et les dépenses de formation continue

de l'entreprise. Les paramètres intervenant dans cette fonction de production d'une compétence se répartissent entre l'individu et l'entreprise.

D'après la théorie du capital humain, la formation est en relation avec la productivité. Néanmoins, les travaux de /RUFFIER-1996/ soulèvent quelques doutes à l'égard de cette relation. Effectivement, ces travaux ont comparé des entreprises de niveau technologique équivalent et ont permis de constater une efficacité équivalente, voire supérieure pour les entreprises qui disposaient des opérateurs humains dont le niveau de formation était le plus faible.

L'interprétation de ce résultat invoque principalement des différences culturelles, sociales et organisationnelles entre les entreprises en comparaison. L'efficacité de la formation du personnel dépend donc de certaines conditions sociales, culturelles et organisationnelles qui doivent être réunies pour autoriser l'accroissement de productivité espéré.

La formation est principalement destinée à accroître les connaissances professionnelles des opérateurs humains ce qui laisse espérer un gain de productivité. Cependant, la performance de l'entreprise ne se limite pas à la productivité et la formation permet d'accroître les performances sociales et organisationnelles par son incidence sur :

- le **climat social**, par sa contribution à l'intégration des opérateurs humains et à l'amélioration de leurs relations ;
- l'**organisation**, par une élévation du niveau de savoir des opérateurs humains qui facilite leur compréhension du fonctionnement de l'entreprise ou de l'atelier. Même si elle ne se concrétise pas par une amélioration des performances du service dont font partie les opérateurs humains formés, cette élévation du niveau de savoir permet d'améliorer le fonctionnement de l'organisation par une meilleure circulation d'informations ou une meilleure coordination entre services par exemple.

La formation permet ainsi, par son influence sur l'acquisition de connaissances professionnelles, le climat social et l'organisation ; d'accroître la **flexibilité** de l'entreprise et sa **performance** par l'intermédiaire d'un accroissement du **capital intellectuel** de l'entreprise /MARTORY&al.-1998/.

La formation contribue également à la constitution et à la consolidation d'un **référentiel commun** qui permet aux opérateurs humains de mieux comprendre les contraintes organisationnelles, l'influence de leurs activités sur celles des autres, ou encore les buts poursuivis par chacun et les comportements à adopter pour leur permettre d'atteindre ces buts. Cette notion de référentiel commun est déclinée dans de nombreux travaux principalement axés sur la coopération /PACAU&al.-2000/ /JOUGLET-2000/ /LEMOINE-1998/ /TERSSAC&al.-1990/ et intervient dans la constitution des compétences collectives.

Les nouvelles connaissances acquises par l'opérateur humain au cours des formations agrémentent la composante « savoir » de ses compétences. L'utilisation en situation réelle de ces nouveaux savoirs permet de générer du savoir-faire mais cette mise en pratique nécessite une période d'apprentissage souvent indispensable pour que l'opérateur humain puisse atteindre, voire dépasser, le niveau de performance espéré.

D'un point de vue cognitif, l'accroissement des compétences d'un opérateur humain intervient dans les phases d'actualisation et d'interprétation des tâches en autorisant une perception et une analyse plus détaillée des situations, ce qui contribue à faciliter les prises de décisions et accroître leur fiabilité.

La gestion des compétences permet donc de mieux utiliser les ressources humaines de l'entreprise en leur proposant des tâches adéquates à leurs compétences. La prise en

compte des souhaits des opérateurs humains en termes de compétences associée à l'adéquation tâches-compétences contribue :

- à leur motivation, par la satisfaction des désirs et besoins ;
- et au climat social, par la limitation des situations stressantes caractérisées par un écart entre les exigences des tâches et les compétences de l'opérateur humain et par la constitution d'équipes de travail adaptées aux tâches proposées et propices à l'émergence d'une cohésion forte.

La forte corrélation entre les trois problématiques GRH abordées dans ce chapitre, Figure II. 18, se retrouve une fois de plus dans l'analyse de la gestion des compétences.

CONCLUSION

La considération des objectifs opérationnels de la gestion des ressources humaines, permet de mettre en évidence les **problématiques** fondamentales liées à la gestion du **climat social**, de la **motivation** et des **compétences**. Ces trois problématiques sont étroitement liées car elles manipulent des paramètres communs, comme l'absentéisme ou le salaire, et contribuent à l'efficacité de l'organisation.

D'après J.M. DESCARPENTRIES, l'**Efficacité humaine** correspond au produit de la Motivation, des Compétences et de la Culture. Cette définition de l'efficacité humaine peut être interprétée de la manière suivante : l'efficacité de l'organisation résulte d'une gestion adaptée de la motivation, des compétences et du climat social. Dans ce sens, une organisation efficace doit faire en sorte de disposer d'opérateurs humains motivés, compétents et œuvrant dans un contexte propice à la performance.

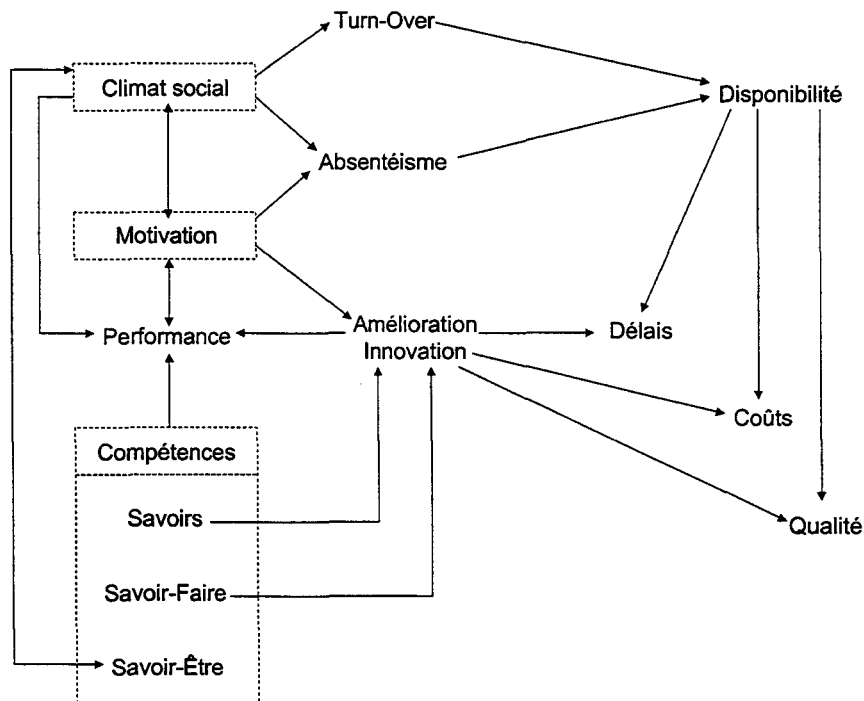


Figure II. 18 : Relations entre problématiques GRH et objectifs de production

Les aspects humains abordés dans le cadre de ces problématiques sont **complexes** : ils sont nombreux et variés, souvent corrélés ou liés entre eux par des relations de cause à

effet, difficilement mesurables et de nature subjective et qualitative, ils peuvent évoluer rapidement dans le temps pour un même individu et diffèrent d'un individu à un autre ou d'un groupe à un autre. Leur prise en compte dans la modélisation des systèmes de fabrication manufacturiers est néanmoins nécessaire pour parvenir à une gestion conjointe et optimale de la production et des ressources humaines.

La gestion du climat social fait intervenir des caractéristiques individuelles, telles que le stress, la fatigue ou la satisfaction au travail, et des caractéristiques collectives qui se rapportent aux notions de cohésion, de pouvoir, de normes et d'appartenance qui influencent le comportement des individus au sein des groupes qu'ils forment.

La gestion de la motivation nécessite la prise en compte des besoins et des désirs des individus, et met l'accent sur l'importance de la politique de gratification dans l'entreprise et de la nature des tâches proposées aux opérateurs humains.

La gestion des compétences, quant à elle, fait référence à la recherche d'une adéquation entre les compétences requises par ces tâches, et les compétences acquises par l'opérateur humain qui se les voit confier. Les composantes des compétences se déclinent en savoirs, savoir-faire, savoir-être et savoir-évoluer et leur identification repose sur l'utilisation d'un modèle.

Les relations entre le système de gestion des ressources humaines et le système de gestion de la production sont nombreuses, comme indiqué Figure II. 17 et Figure II. 18, et contribuent à l'efficacité de l'organisation. Néanmoins, comme nous l'avons présenté en introduction générale, des problèmes de communication et de compréhension entre ces deux systèmes peuvent nuire à leur coopération.

Le chapitre suivant exprime notre proposition d'un modèle du système de fabrication exploitable par les fonctions de production et de gestion des ressources humaines. Il tente d'intégrer les aspects humains soulevés par les problématiques GRH considérées dans ce chapitre avec les aspects plus conventionnels de la production tels qu'ils figurent généralement dans les modèles existants abordés dans le chapitre 1.



Chapitre 3

Proposition de niveaux de modélisation pour les systèmes de fabrication manufacturiers et la prise en compte de leur composante humaine

1. CHOIX DES NIVEAUX DE MODÉLISATION	61
1.1. L'OPÉRATEUR HUMAIN DANS LE SYSTÈME DE FABRICATION	61
1.1.1. L'opérateur humain : Acteur et Objet du système	61
1.1.2. Emergence des niveaux de modélisation.....	64
1.2. UTILITÉ DES NIVEAUX PROPOSÉS POUR LES FONCTIONS PRODUCTION ET GRH	66
1.2.1. Mise en évidence des niveaux proposés dans la fonction Production	66
1.2.2. Mise en évidence des niveaux proposés dans la fonction GRH	68
2. PRÉSENTATION DES NIVEAUX DE MODÉLISATION	70
2.1. NIVEAU STRUCTURE.....	70
2.1.1. Composants du système de fabrication	71
2.1.2. Attributs des composants	72
2.1.3. Relations entre composants	73
2.1.4. Décomposition et agrégation de composants	74
2.2. NIVEAU FONCTION.....	75
2.2.1. Spécification des tâches.....	75
2.2.2. Répartition des fonctions dans le temps.....	76
2.2.3. Fonctions des ressources humaines et techniques.....	78
2.2.4. Contenu du niveau de modélisation Fonction	78
2.3. NIVEAU FONCTIONNEMENT	79
2.3.1. Représentation des processus et intervention humaine.....	80
2.3.2. Modes de fonctionnement normaux et anormaux	81
2.4. NIVEAU COMPORTEMENT.....	82
2.4.1. Modélisation des activités.....	83
2.4.2. La Matrice Actions-Flux	84
2.5. INTERACTIONS ENTRE LES NIVEAUX DE MODÉLISATION	85
2.6. MODULARITÉ DE LA MODÉLISATION.....	87
CONCLUSION	88

CHAPITRE 3 : PROPOSITION DE NIVEAUX DE MODELISATION POUR LES SYSTEMES DE FABRICATION MANUFACTURIERS ET LA PRISE EN COMPTE DE LEUR COMPOSANTE HUMAINE

Ce troisième chapitre propose une démarche de modélisation des systèmes de fabrication manufacturiers reposant sur la considération de niveaux de modélisation qui se rapportent à leurs structure, fonctions, fonctionnement et comportement. Le modèle obtenu par application de la modélisation sur un atelier de fabrication a pour objectif de faciliter et d'optimiser la gestion de ses ressources assurée par les fonctions Production et GRH abordées respectivement dans les chapitres 1 et 2.

Chaque niveau de modélisation nécessite le recueil d'informations détenues par ces fonctions Production et GRH et leur fournit en retour des indications utiles pour leurs prises de décisions, Figure III. 1.

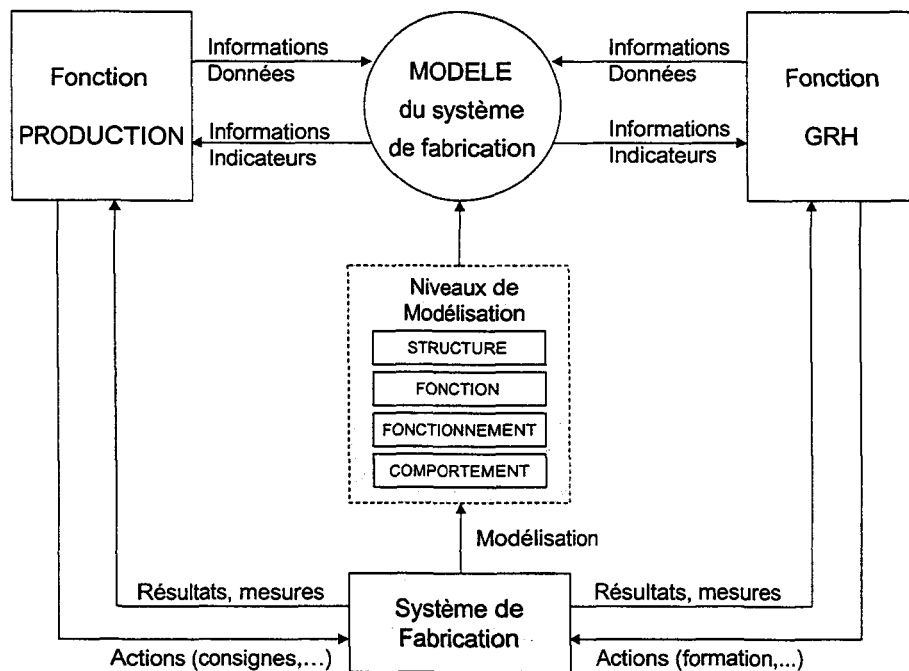


Figure III. 1 : Proposition d'un modèle commun aux fonctions GRH et Production

La première partie de ce chapitre justifie le choix de ces niveaux de modélisation par le biais d'une analyse du rôle de l'opérateur humain dans le système de fabrication manufacturier et des besoins formulés par les fonctions Production et GRH. Les parties suivantes présentent le contenu de chaque niveau et leurs principes de modélisation avant d'aborder les interactions entre ces niveaux de modélisation et l'utilisation du principe de modularité dans le modèle.

L'intégration des aspects humains dans ce modèle est présentée partiellement dans ce chapitre mais fait l'objet du chapitre suivant.

1. CHOIX DES NIVEAUX DE MODELISATION

La complexité du système de fabrication nécessite une modélisation répartie sur plusieurs niveaux afin de simplifier le modèle et de faciliter sa mise en œuvre et son exploitation. La détermination des niveaux de modélisation retenus dans le cadre de notre proposition est argumentée à partir de l'analyse des interactions entre l'opérateur humain et le système de fabrication. Les niveaux retenus sont ensuite présentés vis-à-vis des besoins des fonctions de production et de gestion des ressources humaines, l'objectif principal du modèle résidant dans le rapprochement de ces deux fonctions et l'optimisation de la gestion des ressources de l'atelier.

1.1. L'opérateur humain dans le système de fabrication

L'opérateur humain peut être considéré à la fois comme **acteur** et **objet** du système de fabrication, Figure III. 2. En tant qu'acteur, il joue le rôle d'un organe intelligent de commande et de régulation du système qui poursuit des consignes exprimées sous la forme de tâches prescrites par les *Méthodes* et planifiées par les fonctions d'*Ordonnancement* et de *Pilotage*. En tant qu'objet, il « subit » les actions appliquées sur ce système, Figure III. 2.

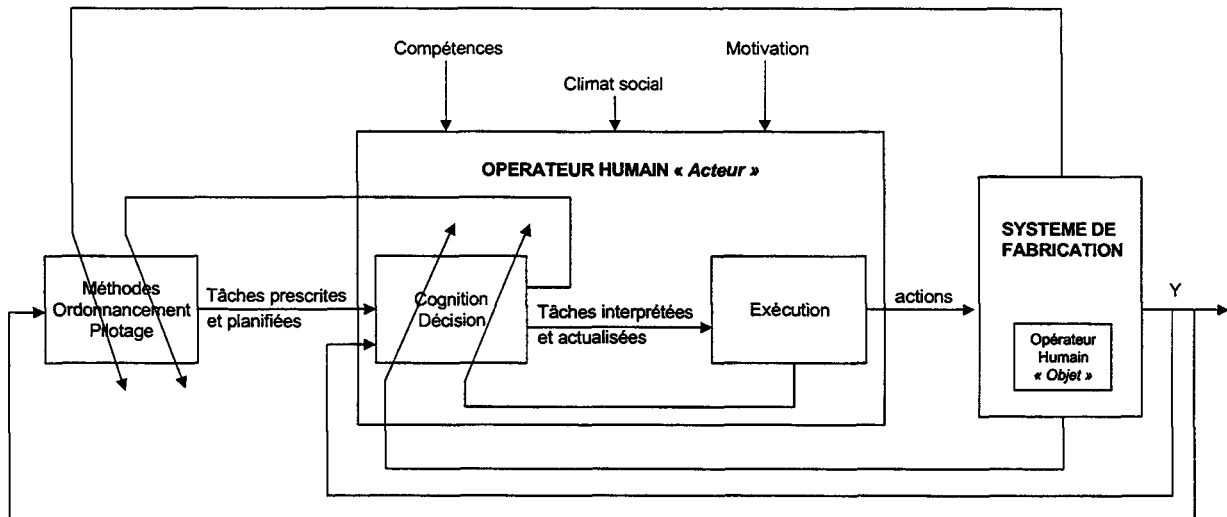


Figure III. 2 : L'opérateur humain et le système de fabrication

L'ordonnancement et le pilotage de la production s'adaptent aux états et structure de l'atelier mais également aux difficultés et dysfonctionnements rencontrés par les opérateurs humains lors de la réalisation de leurs tâches. Ces opérateurs humains sont également influencés par les compétences dont ils disposent, la motivation dont ils font preuve et le climat social dans lequel ils évoluent. Le paragraphe suivant présente les deux points de vue, « Acteur » et « Objet », sur l'opérateur humain dans le système de fabrication.

1.1.1. L'opérateur humain : Acteur et Objet du système

↳ L'opérateur humain ACTEUR

L'opérateur humain, en tant qu'acteur, prend en charge des tâches dont il doit respecter les prescriptions. Une tâche est définie par l'expression de la *Situation Initiale* de l'atelier, ou partie de l'atelier, à partir de laquelle doit être atteinte une *Situation Finale* dans le respect

d'un ensemble de contraintes et d'objectifs liés au temps, aux ressources matérielles disponibles ou encore à la procédure à suivre, Figure III. 3.

La Situation Finale est une **fonction** de la Situation Initiale, $S_F=T(S_I)$, qui fait intervenir différentes variables parmi lesquelles la partie du produit modifiée par la tâche, les ressources techniques et outils utilisés ou encore les données nécessaires à la réalisation de la tâche, Figure III. 3.

Les tâches réalisées par les opérateurs humains peuvent être plus ou moins formalisées et mènent à des activités plus ou moins structurées. Par exemple, la tâche de manutention de la Figure III. 3 est définie par une procédure simple et détaillée qui ne laisse que peu d'autonomie à l'opérateur humain. Une tâche de gestion du budget d'un groupe autonome de production, quant à elle, n'est pas définie sous la forme de procédures et implique des concertations et des compromis entre les membres du groupe, des choix sur les impératifs du groupe et des prises de décision de la part du responsable du budget.

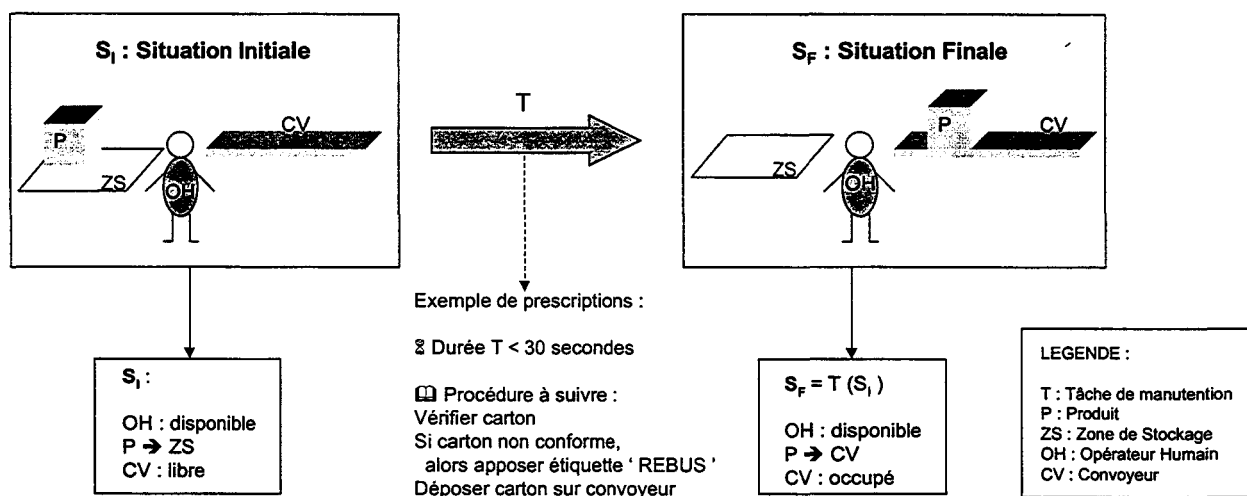


Figure III. 3 : Exemple d'une tâche de manutention de cartons

Les tâches réalisées par les opérateurs humains sont généralement programmées dans le temps par la fonction d'ordonnancement et peuvent mener à différents modes de fonctionnement lors de leur réalisation.

Ces **fonctionnements**, qui peuvent être modélisés par les processus qu'ils engendrent, font fréquemment intervenir des sous-tâches définies par l'opérateur humain lui-même, qui les planifie dans le temps et les adapte au contexte tel qu'il le perçoit. Le passage d'une tâche prescrite à l'action, Figure III. 2 et §2.4 du chapitre 1, fait intervenir les phases cognitives suivantes :

- une phase de *perception* de la situation du système de fabrication par l'opérateur humain qui lui permet d'appréhender l'état du système de fabrication et le contexte d'exécution des actions ;
- une phase d'*interprétation* et d'*actualisation* de la tâche, dans laquelle interviennent la situation du système de fabrication perçue par l'opérateur humain et ses connaissances et savoir-faire ;
- une phase de *réalisation* qui est influencée par la motivation de l'opérateur humain, déterminant l'intensité de l'effort qu'il investit dans ses actions, et par le climat social dans lequel il évolue, qui peut faciliter ou au contraire compliquer ses actions.

La gestion de l'ensemble de ses tâches par l'opérateur humain implique des phases supplémentaires de *planification* et de *coordination* des tâches qui viennent s'ajouter aux phases cognitives citées auparavant.

Effectivement, l'opérateur humain gère tout ou partie de l'organisation de son travail et doit donc planifier et coordonner ses activités, sachant que l'actualisation d'une tâche peut provoquer l'activation d'une autre tâche non programmée par avance. C'est le cas, par exemple, lors de l'apparition d'une panne machine qui impose l'arrêt de l'activité de production et provoque une activité de maintenance nécessaire à la reprise de la production.

Ces phases de coordination et de planification sont des fonctions propres à l'opérateur humain qui entraînent des prises de décisions. Ces décisions sont réalisées en temps réel et influencent le fonctionnement qui peut être *efficace*, c'est le cas du régime permanent, *transitoire* ou *dégradé*. L'opérateur humain assure l'actualisation des tâches qu'il poursuit par une mise à jour régulière de sa perception de la situation du système de fabrication.

↳ L'opérateur humain OBJET

L'opérateur humain « *Objet* » subit les actions de son environnement à la différence de l'opérateur humain « *Acteur* » qui prend des décisions, réalise des actions et met en œuvre des compétences.

Le **comportement** de l'opérateur humain, tel qu'il est défini dans le §2.4 du chapitre 1, correspond à l'ensemble des actions qu'il réalise. L'opérateur humain « *Acteur* » produit un comportement alors que l'opérateur humain « *Objet* » subit le comportement des composants de son environnement. L'opérateur humain peut ainsi être considéré en tant qu'objet vu de l'entrée et en tant qu'acteur vu de la sortie, Figure III. 4.

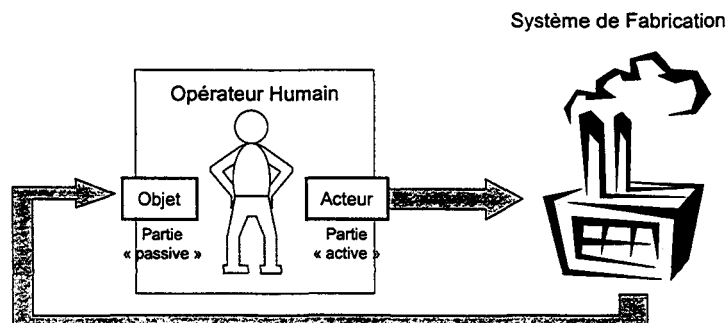


Figure III. 4 : Points de vue « Acteur » et « Objet » sur l'opérateur humain

Sur l'exemple de la Figure III. 3, le déplacement des produits par l'opérateur humain est susceptible d'engendrer une fatigue physique chez ce dernier. Cette fatigue physique, qui varie principalement en fonction du poids des produits et de leur fréquence d'arrivée sur la zone de stockage, correspond à une caractéristique de l'opérateur humain dont les variations dépendent du contexte de ses actions.

Un opérateur humain en formation fait l'acquisition de nouvelles connaissances, ce qui peut être interprété comme un stockage d'informations en vue d'une réutilisation ultérieure. L'utilisation des connaissances place l'opérateur humain en position d'acteur, alors qu'il peut être considéré en tant qu'objet lors de la période d'apprentissage.

De même, l'opérateur humain est considéré en tant qu'objet « *Ressource* » lors de l'ordonnancement des tâches de production. Néanmoins, les tâches qu'il réalise ne lui sont pas intégralement planifiées et imposées : il peut décider d'une modification de la séquence

de tâches prévue, réorganisée en fonction du contexte, et de l'activation de tâches non planifiées, telles qu'une réparation de matériel en défaut, une interruption volontaire de la fabrication due à l'anticipation d'un problème ou encore la récupération d'une erreur. L'opérateur humain est donc considéré comme un *objet* lors de la phase d'ordonnancement de la production mais il est *acteur* lorsqu'il réalise les tâches qui lui sont confiées.

L'opérateur humain « Acteur » et « Objet » constitue un composant du système de fabrication. L'ensemble des composants de ce système de fabrication et des relations entre ces composants caractérise sa **structure**, au sens de la théorie des ensembles utilisée dans /LABORIT-1968/ en support pour l'étude des organismes biologiques.

Les considérations sur l'opérateur humain développées dans ce paragraphe mettent en évidence les notions de structure, fonction, fonctionnement et comportement sur lesquelles reposent notre proposition de niveaux de modélisation orientée vers une analyse des systèmes de fabrication tenant compte des aspects humains.

1.1.2. Emergence des niveaux de modélisation

Le paragraphe précédent met en évidence l'importance de la **structure** du système de fabrication, des **fonctions** réalisées au sein de ce système, de leurs **fonctionnements** et des **comportements** résultants, Figure III. 5. La modélisation proposée dans ce chapitre repose sur des niveaux de modélisation dédiés à la représentation de la structure, des fonctions, des fonctionnements et du comportement du système de fabrication.

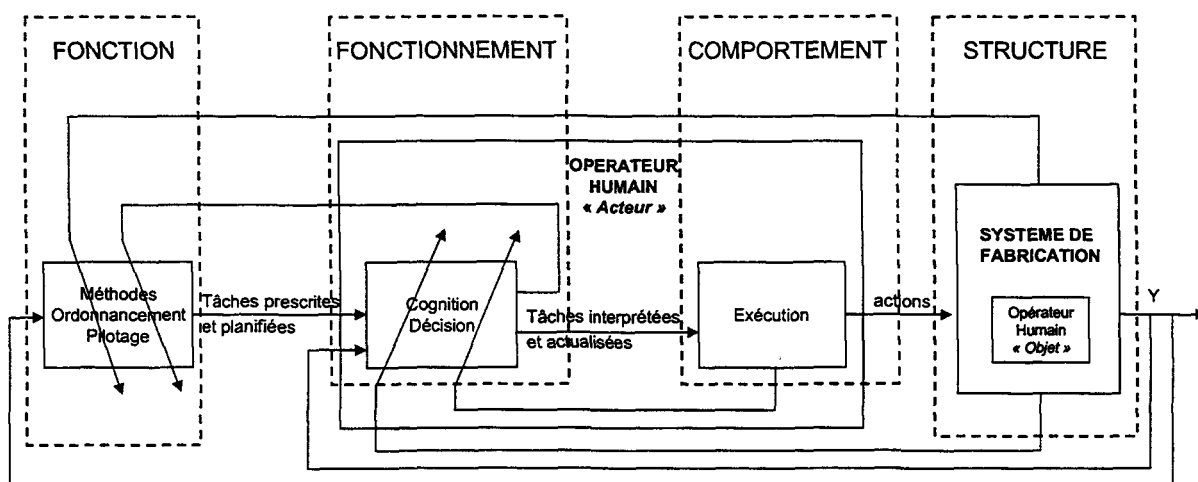


Figure III. 5 : Emergence des niveaux de modélisation

Les niveaux de modélisation *Structure*, *Fonction* et *Comportement* figurent dans la majorité des modèles existants tels que SAMEAH /ELMHAMEDI-1990/, qui considère un niveau Structure, un niveau qualitatif dans lequel est effectuée la répartition des fonctions sur les opérateurs humains et un niveau quantitatif autorisant une simulation du comportement des systèmes Homme-Machine ; ou encore SAGACE dans lequel sont définis les points de vue Structure, Fonction et Comportement dans la matrice des points de vue, cf. annexe 2.

Notre particularité réside dans la proposition d'un niveau supplémentaire, nommé *Fonctionnement*, destiné à intégrer les variations inter et intra-individuelles rencontrées lors de la réalisation des fonctions par les opérateurs humains. Ces variations peuvent être engendrées par un contexte d'action différent mais font également intervenir les savoir-faire,

connaissances et préférences des opérateurs humains. La justification de l'introduction de ce niveau supplémentaire est justifiée par la suite.

↳ Démarche de modélisation

Dans le cadre de la **conception** d'un système de fabrication, la définition des fonctions précède généralement celle de la structure. Les choix concernant cette structure sont ainsi guidés par les fonctions que le système doit réaliser et pour lesquelles il est conçu.

Dans le cadre de l'**analyse** d'un système de fabrication, la démarche est guidée par la structure du système qui est généralement décomposée en sous-structures dans le but de faciliter l'étude. L'objet de l'analyse est le système de fabrication et nous proposons ainsi de débiter la modélisation par la mise en évidence de sa structure, c'est-à-dire de ses composants et de leurs relations. Chaque composant peut ensuite être analysé dans le but de déterminer les fonctions qu'il assure effectivement au sein du système de fabrication. La réalisation d'une fonction peut se dérouler différemment :

- suivant le *composant* qui la réalise : influence des savoir-faire, des préférences, des expériences professionnelles des opérateurs humains ; procédures d'utilisation différentes suivant la machine ;
- suivant le *contexte* de sa réalisation : apparition d'un dysfonctionnement, panne machine, opérations sur le produit négligées afin de gagner du temps dans le cas d'un retard dans la production, niveau de fatigue élevé.

Le fonctionnement, correspondant à la réalisation d'une fonction, n'est donc pas identique dans le temps et d'un composant à un autre. Il se traduit néanmoins par des actions appliquées sur des composants de la structure et entraînant des modifications de leurs caractéristiques ou des relations qui les associent. La formalisation de ces actions permet d'exprimer le comportement des composants et, de proche en proche, celui de la structure globale de l'atelier. Cependant, les comportements peuvent être variables et d'autant plus lorsqu'il s'agit d'opérateurs humains.

↳ Proposition d'un niveau « Fonctionnement »

Nous proposons de tenir compte de cette variabilité des comportements par l'introduction d'un niveau de modélisation exprimant les différentes possibilités de fonctionnements lors de la réalisation d'une fonction. Ce niveau *Fonctionnement* offre les possibilités suivantes :

- prise en compte des variations inter-individuelles et intra-individuelles lors de la réalisation des fonctions. Ces variations reflètent l'influence des compétences des opérateurs humains, de leur motivation et du climat social dans lequel ils évoluent.
- prise en compte des processus semi-structurés et non-structurés résultant d'une forte intervention humaine dans la réalisation d'une fonction.
- prise en compte et capitalisation des modes de fonctionnement dégradés et transitoires.

Nous proposons donc quatre niveaux de modélisation pour l'analyse des systèmes de fabrication, les niveaux *Structure*, *Fonction*, *Fonctionnement* et *Comportement*, dont les interactions, représentées Figure III. 6, résultent directement de la Figure III. 5.

Ces niveaux peuvent être appliqués au système de fabrication mais également à chacun de ses composants et groupes de composants, ce qui sera développé dans la partie sur la modularité de la modélisation située en fin de ce chapitre.

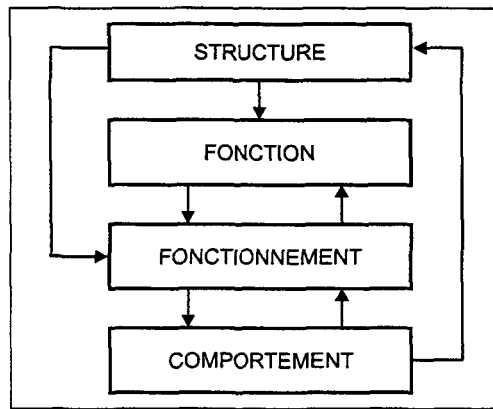


Figure III. 6 : Liens directs entre les niveaux de modélisation

Les quatre niveaux de modélisation permettent de localiser, de formaliser et d'aider à la résolution des problèmes traités par les fonctions de l'entreprise dédiées à la production et à la gestion des ressources humaines, ce qui fait l'objet du paragraphe suivant.

1.2. Utilité des niveaux proposés pour les fonctions Production et GRH

Les quatre niveaux de modélisation proposés précédemment peuvent être mis en évidence dans le cadre des fonctions de Production et de Gestion des Ressources Humaines. Effectivement, ces deux fonctions manipulent les notions de structure, de fonction, de fonctionnement et de comportement, comme le présentent les deux paragraphes suivants.

1.2.1. Mise en évidence des niveaux proposés dans la fonction Production

La fonction de production, présentée chapitre 1, peut être scindée en deux parties qui assurent d'une part la spécification des tâches et la gestion de la production et, d'autre part, la réalisation des tâches prescrites, Figure III. 7.

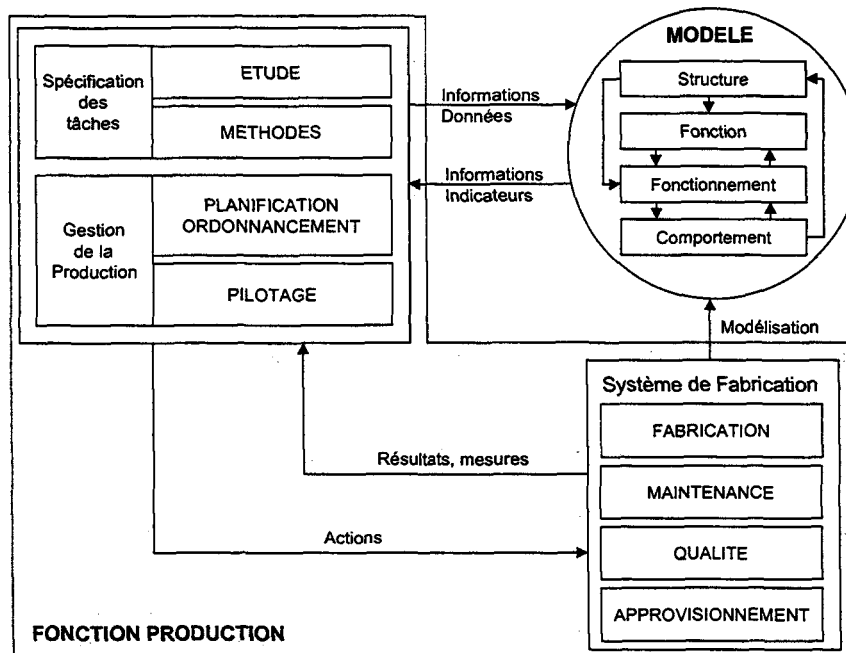


Figure III. 7 : La fonction Production, le système de fabrication et le modèle proposé

Le système de fabrication assure les fonctions de fabrication, maintenance, qualité et approvisionnement et fait l'objet de la modélisation proposée dans ce chapitre. Cette modélisation a pour but d'établir un modèle du système de fabrication destiné à faciliter et optimiser la spécification des tâches et la gestion de la production dans le cadre de la fonction Production.

Par la suite, le libellé « Production » sur les figures fait référence au bloc « spécification des tâches » et « gestion de production » de la Figure III. 7. C'est le cas de la Figure III. 8 qui présente les niveaux de modélisation utilisés en Production pour la spécification des tâches et la gestion de production.

↳ Spécification des tâches prescrites

① Le bureau d'*Etudes* prend en charge la définition des fonctions et de la structure des produits qui seront fabriqués par le système de fabrication. Il en spécifie également les fonctionnements possibles des produits et leurs comportements. Ces spécifications sont transcrites par un cahier des charges.

② A partir du cahier des charges défini par le bureau d'études, le bureau des *Méthodes* spécifie les procédés et les moyens de fabrication présentant les fonctionnalités requises. Il définit également leur intégration dans la structure de l'atelier et les procédures de fabrication. Ces procédures correspondent aux fonctions à réaliser sur le produit et formalisent le fonctionnement prescrit à suivre pour réaliser les fonctions.

		Niveaux de modélisation				
		STRUCTURE	FONCTION	FONCTIONNEMENT	COMPORTEMENT	
Spécification des tâches prescrites	① ETUDES	Définition du produit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	② METHODES	Définition des procédés de fabrication	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Définition des procédures		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Gestion de la production	③ PLANIFICATION ORDONNANCEMENT	Définition du Plan Directeur de Production	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Ordonnancement de la production	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	④ PILOTAGE	Suivi de production		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		Optimisation des flux	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		Adaptation des ressources	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
		Gestion des dysfonctionnements		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
		Adaptation de la structure de l'atelier	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figure III. 8 : Niveaux de modélisation utilisés dans le cadre de la fonction Production

↳ Gestion de la production

③ La gestion de production assure ensuite la *Planification* de la production sous la forme d'un plan directeur de production élaboré en fonction des capacités de l'atelier. Les tâches de fabrication sont ordonnancées, c'est-à-dire programmées dans le temps et

affectées aux ressources de l'atelier. L'*ordonnancement* est établi dans le respect des objectifs de production définis par le Plan Directeur de Production.

④ Lors de la réalisation des tâches ordonnancées par le système de fabrication, la sous-fonction de *Pilotage* assure le suivi de l'avancement des tâches et la résolution des problèmes rencontrés. Les objectifs principaux du *Pilotage* sont les suivants :

- réagir rapidement et efficacement en cas de dysfonctionnement,
- optimiser les flux de produits par le biais de simulations du comportement de l'atelier par exemple,
- adapter la structure de l'atelier afin de respecter les objectifs de production fixés par le plan directeur de production ainsi que les contraintes de coûts, qualité et délais en rapport avec les clients.

La Figure III. 8 propose un récapitulatif sur l'utilisation des niveaux de modélisation dans le cadre de la fonction Production. Les niveaux de modélisation Figure III. 8 se rapportent à des composants différents : le bureau d'études, par exemple, définit la structure, les fonctions, les fonctionnements et les comportements des **Produits** alors que le bureau des méthodes raisonne sur l'**Atelier**, ou partie de l'atelier, en définissant les procédés de fabrication et les procédures à suivre pour la fabrication des produits et l'utilisation des machines.

1.2.2. Mise en évidence des niveaux proposés dans la fonction GRH

Sur le même principe, les quatre niveaux de modélisation définis peuvent contribuer aux sous-fonctions de la Gestion des Ressources Humaines, tirées du modèle systémique développé par /DOLAN&al.-1988/ et présenté au §1.1 du chapitre 2, Figure III. 9 :

① La *Planification* des ressources humaines assure la définition et l'analyse des postes de travail. La phase d'analyse contribue à l'acquisition d'informations sur l'utilisation des ressources humaines, en termes de compétences utilisées par exemple.

		Niveaux de modélisation			
		STRUCTURE	FONCTION	FONCTIONNEMENT	COMPORTEMENT
① PLANIFICATION	Utilisation des ressources humaines	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	Définition et analyse des postes	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
② ACQUISITION	Recrutement		<input checked="" type="checkbox"/>		
	Sélection		<input checked="" type="checkbox"/>		
③ EVALUATION ET REMUNERATION	Évaluation du rendement				<input checked="" type="checkbox"/>
	Rémunération	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
④ PERFECTIONNEMENT	Formation et perfectionnement		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	Qualité de vie au travail	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	Santé et sécurité au travail	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
⑤ INSTAURATION ET MAINTIEN	Droits de la personne	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	Relations de travail	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

Figure III. 9 : Niveaux de modélisation utilisés dans le cadre de la fonction GRH

② L'Acquisition de nouvelles ressources humaines est sollicitée par un besoin en recrutement et compétences nécessaires pour la réalisation des fonctions de l'atelier.

③ L'Evaluation du rendement des ressources humaines repose sur l'observation de leurs comportements et la mesure de leurs performances. La Rémunération prend en compte ces performances mais également des caractéristiques des opérateurs humains, telles que l'ancienneté, et la nature des fonctions qui leur sont confiées : grilles de salaires par métier ou par niveau de responsabilités.

④ Le Perfectionnement des ressources humaines a pour objectif d'améliorer la qualité de vie au travail, de veiller à la santé et à la sécurité des individus dans le système de fabrication et d'accroître les compétences et la polyvalence des opérateurs humains par des actions de formation et de perfectionnement. Cette sous-fonction de la GRH couvre l'intégralité des niveaux de modélisation.

⑤ L'Instauration et le Maintien des ressources humaines consistent à veiller aux droits de la personne et à la qualité des relations de travail. Cette sous-fonction de la GRH porte ses considérations sur la structure de l'atelier, intégrant les relations entre opérateurs humains, et la répartition des fonctions, directement liée à la répartition du pouvoir.

Les Figure III. 8 et Figure III. 9 présentent les niveaux de modélisation en tant que sources d'information et d'intérêt pour les fonctions de production et de gestion des ressources humaines.

Chaque niveau de modélisation intervient, d'une part, pour la spécification des tâches et la gestion de la production et, d'autre part, pour la gestion du climat social, de la motivation et des compétences, Figure III. 10.

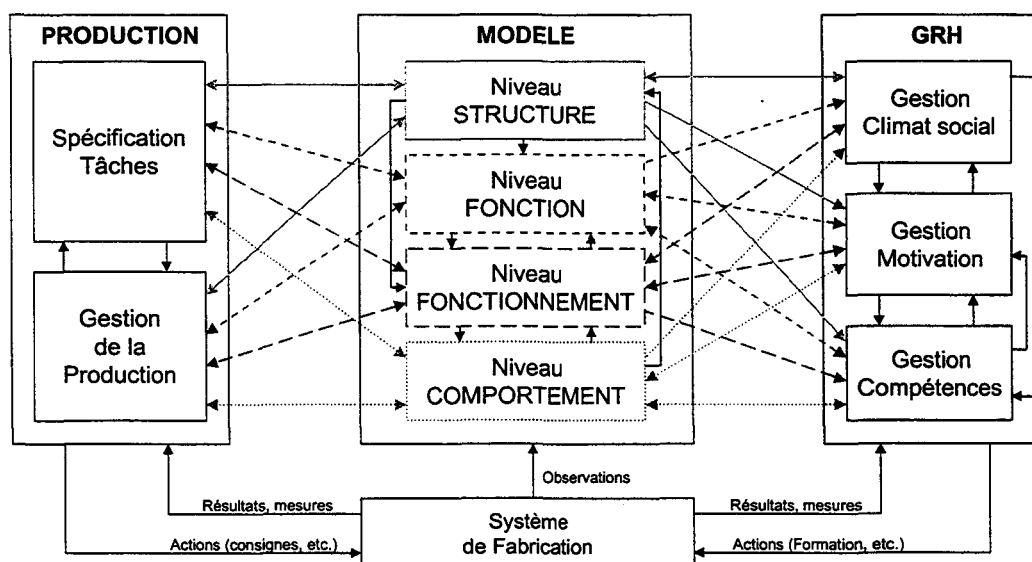


Figure III. 10 : Interactions entre les niveaux de modélisation et les fonctions Production et GRH

Les échanges, en termes d'entrées et de sorties, entre le modèle et les fonctions de l'entreprise dédiées à la Production et à la Gestion des Ressources Humaines sont détaillés pour chacun des niveaux de modélisation proposés dans les paragraphes suivants.

2. PRESENTATION DES NIVEAUX DE MODELISATION

L'analyse d'un système de fabrication sur la base des niveaux de modélisation proposés débute par la modélisation de sa structure. Cette **structure** a été mise en place pour assurer des **fonctions**, dans le cadre d'une finalité qui consiste à produire dans des quantités, qualités, coûts et délais satisfaisants. Ces fonctions, lors de leur réalisation, mènent à des **fonctionnements** qui se concrétisent par des **comportements**.

Cette partie présente successivement chacun des quatre niveaux de modélisation. Le contenu de chaque niveau et les échanges entretenus avec les fonctions de l'entreprise dédiées à la production et à la gestion des ressources humaines y sont détaillés. Après avoir présenté les spécificités de chaque niveau, cette partie se termine sur les **interactions** entre ces niveaux.

2.1. Niveau Structure

Les interactions entre le *niveau Structure* et les fonctions *Production* et *GRH*, illustrées Figure III. 11, mettent en évidence les principaux **composants** du système de fabrication considérés pour la modélisation :

- les **opérateurs humains** : ils peuvent être considérés comme des « objets » du système de fabrication, Figure III. 2. Il est cependant important de prendre en compte leurs compétences, motivation et le climat social dans lequel ils sont plongés afin de favoriser et d'améliorer leur efficacité en tant qu'acteurs du système de fabrication car leur comportement est influencé par ces aspects humains, Figure III. 2. Dans cette optique, la *qualité des relations* entre opérateurs humains, le *respect des besoins individuels* ou encore leurs *compétences* peuvent intervenir dans la gestion des ressources humaines, Figure III. 11.

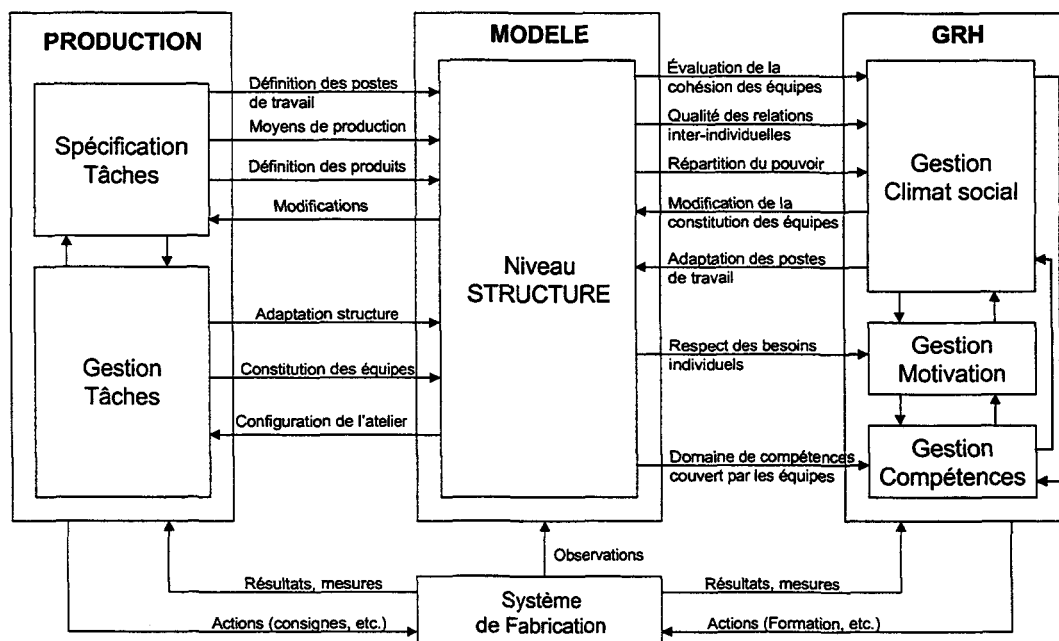


Figure III. 11 : Interactions entre le niveau « Structure » et les fonctions Production et GRH

- les **équipes** d'opérateurs humains : ces équipes sont constituées par fonction Production pour assurer la fabrication. Le critère principal retenu pour cette

constitution est exprimé en termes de compétences requises. Les relations entre individus sont néanmoins susceptibles d'influencer significativement la productivité et le niveau de qualité de la production des équipes. La recherche d'une cohésion forte au sein des équipes, par exemple, peut être une source de gain en qualité et productivité.

- les **moyens de production** : ils sont principalement définis par le bureau des méthodes et regroupent les machines, les outils mais également les automates et autres bases de données. L'utilisation et la maintenance de ces moyens de production nécessitent souvent des compétences particulières. La disposition des moyens de production dans l'atelier peut varier en fonction des produits fabriqués comme c'est le cas dans les ateliers flexibles.
- les **postes de travail** : ils définissent les Systèmes Hommes-Machines de l'atelier. L'analyse des postes de travail permet d'envisager certaines améliorations ergonomiques qui contribuent au bien-être des opérateurs humains au travail.
- les **produits** : la structure des produits, définis par le bureau d'études, impose certaines contraintes quant à la disposition des moyens de production et l'organisation de l'atelier.

Ces composants interagissent et la définition de la structure de l'atelier inclut les **relations** entre composants, telles que l'appartenance d'opérateurs humains à une même équipe, les degrés d'appréciation interindividuelle, l'existence de communications entre ressources ou encore le flux de matière entre les ressources techniques.

2.1.1. Composants du système de fabrication

Suivant l'approche socio-technique, un système de fabrication est composé de ressources humaines et techniques qui constituent deux sous-systèmes en interaction. Ces deux sous-systèmes peuvent être organisés en lignes de produits, en îlots de production ou encore en groupes autonomes de production qui constituent eux-mêmes des structures possédant leur propre organisation. Un atelier de fabrication peut ainsi être considéré comme un composant d'une structure de plus grande taille comme l'entreprise par exemple. Une illustration des composants d'une entreprise, inspirée du cas d'application présenté dans le chapitre 4, est proposée Figure III. 12.

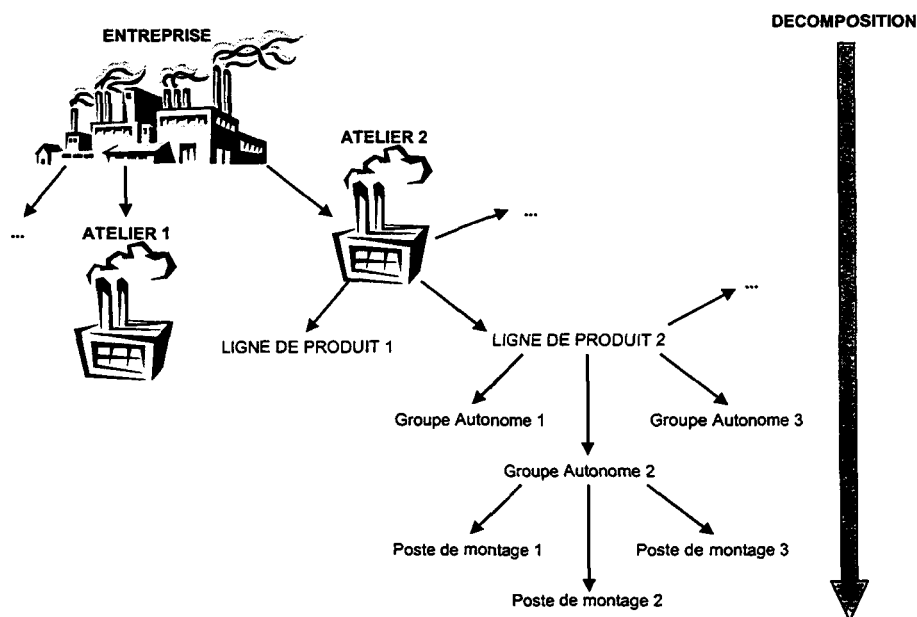


Figure III. 12 : Exemple de composants d'une entreprise

Les composants sont définis par un ensemble d'attributs et de relations les associant à d'autres composants. Les paragraphes suivants abordent respectivement ces attributs et relations, présentés principalement pour les ressources humaines et techniques. Un composant peut également être lui-même constitué de composants et la mise en évidence de ces sous-structures met en œuvre les principes de décomposition et d'agrégation de composants qui font l'objet du dernier paragraphe de cette partie sur le niveau de modélisation « *Structure* ».

2.1.2. Attributs des composants

Chaque composant de l'atelier est caractérisé par des attributs qui peuvent être fournis lors de l'analyse, évalués, mesurés ou encore calculés. La notion d'attribut correspond à celle qui est utilisée dans les approches de programmation orientées objet. Ces attributs sont de natures diverses et spécifiques à chaque type de composant dont elles traduisent des paramètres ou des variables influençant son comportement. Pour illustrer cette notion d'attribut, les cas d'une machine, entrant dans la catégorie des Ressources Techniques, et d'un Opérateur Humain sont respectivement présentés Tableau III. 1 et Tableau III. 2.

Attributs machine	Contenu - Valeurs
Type	Tour parallèle, Fraisuse, CN, etc.
Informations générales	Constructeur, modèle, année d'acquisition
Capacités	Couple, fréquence de rotation, cadence de production maximum, etc.
Fonctionnalités	Dressage, perçage, etc.
Etat	Occupée, Disponible, En panne
Taux de panne	Probabilité d'occurrence d'une panne sur une période P
Taux de réparation	Probabilité de réparation d'une panne sur une période P
Cadence de production	X pièces/jour, Y pièces/heure

Tableau III. 1 : Exemple d'attributs d'une machine

Les attributs de l'opérateur humain, présentés dans le Tableau III. 2, résultent de l'analyse des aspects humains dans les systèmes de fabrication réalisée dans le chapitre 2.

Attributs OH	Contenu - Valeurs
Données générales	Nom, Prénom, sexe, situation familiale
Formation	Diplômes, stages, cursus professionnel
Ancienneté	Nombre d'années passées dans l'entreprise
Rémunération	Salaires, primes, avantages
Charge de travail admissible	Seuil admissible pour l'OH évalué sur un différenciateur sémantique continu
Charge de travail	Rapport entre le temps disponible pour effectuer une tâche et le temps requis ; ou évaluation par l'application des méthodes TLX ou SWAT
Tolérance au stress	Seuil admissible pour l'OH évalué sur un différenciateur sémantique continu
Tolérance à la fatigue	Seuil admissible pour l'OH évalué entre 0 et 1
Besoins / Désirs / Préférences	Niveaux entre 0 et 1 estimés à partir d'interviews, de questionnaires et exprimant l'importance portée par l'OH à chaque besoin et désir recensé dans la grille d'évaluation
Taux d'absentéisme	X jours d'absence par mois ou par an
Compétences acquises	Valeur entre 0 et 1 exprimant le niveau de maîtrise de l'OH pour chaque composante de la grille de compétences
Perception du climat social	Niveau de facilitation des tâches exprimé entre 0 et 1
Implication	Niveau d'implication entre 0 et 1 résultant de la motivation de l'OH exprimée pour chaque tâche et responsabilité confiée à l'OH
Etat	Absent, Repos (hors horaires de travail), Occupé, Disponible, Pause

Tableau III. 2 : Attributs d'un Opérateur Humain

Ils sont majoritairement subjectifs et sont exprimés qualitativement par des niveaux évalués entre 0 et 1. A ces attributs individuels s'ajoutent des attributs de groupe associés aux équipes de travail formées par ces opérateurs humains, Tableau III. 3. L'association de plusieurs ressources humaines mène donc à une structure dont les attributs sont plus nombreux que la simple somme des attributs individuels.

Attributs Equipe	Contenu – Valeurs
Cohésion	Expression de la densité de liens dans l'équipe
Turn-Over	Turn-Over dans l'équipe calculé généralement sur l'année
Absentéisme	Taux d'absentéisme calculé sur l'ensemble des membres de l'équipe
Accidents du travail	Nombre d'accidents du travail, fréquence, gravité

Tableau III. 3 : Attributs d'une équipe d'opérateurs humains

L'appartenance d'un opérateur humain à un groupe élargit l'ensemble de ses attributs par l'apparition de nouvelles caractéristiques telles que l'adhésion de l'opérateur humain aux normes du groupe ou encore ses niveaux de pouvoir et d'autonomie au sein du groupe. Ces attributs supplémentaires sont évalués à partir des réseaux formés par les opérateurs humains et exprimant les relations entre ces derniers. Les relations entre les ressources de l'atelier font l'objet de la partie suivante.

2.1.3. Relations entre composants

La relation la plus commune est celle qui traduit la liaison « physique » existant entre les machines de l'atelier en fonction du flux de matière. Les ressources techniques peuvent également être connectées par des liaisons informationnelles qui concrétisent l'émission et la réception de données par le biais de capteurs et d'automates par exemple.

Les relations entre ressources techniques et ressources humaines expriment l'échange d'informations au sein des systèmes Homme-Machine et la capacité des opérateurs humains à conduire une machine donnée ou à en assurer la maintenance, ce qui relève du domaine de compétences des opérateurs humains.

Les relations d'affectation des ressources humaines à des équipes de travail ou d'échange informationnel entre opérateurs humains au sein de l'équipe sont de nature objective. Cependant, les relations entre les composants « opérateurs humains » peuvent également être subjectives comme l'évaluation de la qualité des relations interindividuelles dans un groupe. Ces relations de nature « humaine » peuvent être modélisées sous la forme de graphes qui peuvent ensuite être interprétés, après transcription de ces graphes sous une forme matricielle.

Ces opérations sont réalisées dans le cadre de l'analyse des réseaux sociaux /DEGENNE&al.-1994/. Les graphes ainsi constitués permettent de formaliser les systèmes d'informations formels et informels, et servent de base au calcul des indicateurs de cohésion des groupes et de l'indice de pouvoir des opérateurs humains en fonction de leur *centralité* dans le réseau, cf. paragraphe du chapitre 2 sur le pouvoir §2.2.3.

Les relations sont exprimées pour les opérateurs humains composant les groupes et également pour les groupes composant l'atelier. Il faut pour cela mettre en évidence les groupes d'opérateurs humains rencontrés dans l'atelier et leurs lois de décomposition ou d'agrégation.

2.1.4. Décomposition et agrégation de composants

L'exemple d'une machine outil, Figure III. 13, permet d'illustrer le principe de décomposition. La structure de cette ressource technique peut être détaillée : elle est constituée d'un moteur, d'un chariot porte-outil et d'un montage d'usinage. Ces composants peuvent eux-mêmes être détaillés : le montage d'usinage, par exemple, peut être décomposé en un socle, des brides de fixation et des canons de perçage. Il est ainsi nécessaire de déterminer le niveau de détail souhaité pour la modélisation, correspondant à la **granularité** du modèle.

Pour illustrer cette notion de granularité, le modèle de référence, présenté annexe 1, considère une machine comme un composant unique associé aux paramètres suivants : taux de panne, taux de réparation et cadence de production. La granularité choisie est adaptée pour l'évaluation de performances pour laquelle a été élaboré ce modèle, mais n'est pas suffisante pour l'identification d'actions de maintenance ou de pannes localisées sur une partie des composants de la machine car le niveau de détail n'est pas suffisamment élevé pour procéder à une localisation de ces composants.

Suivant le principe inverse de celui de décomposition, des éléments peuvent être groupés par **agrégation**. C'est le cas des groupes autonomes présentés Figure III. 12 qui peuvent être agrégés en lignes de produit ; ou celui de la constitution d'équipes de travail qui fait apparaître, en complément des attributs individuels de chaque opérateur humain, un attribut de cohésion spécifique au groupe.

L'exemple Figure III. 13 illustre l'application de ces principes de décomposition et d'agrégation sur la structure simplifiée d'un tour parallèle. Dans le cas de la *décomposition*, le *composant de base* est la machine-outil et ses propres composants sont représentés par le biais de niveaux de détail plus élevés. La granularité souhaitée pour le modèle est atteinte lorsque les niveaux de représentation de la machine-outil mettent en évidence l'intégralité des composants que l'analyste souhaite prendre en compte. Dans le cas de l'*agrégation*, la modélisation débute par les composants constituant le niveau de détail le plus élevé de la représentation, par exemple l'outil, et ces composants sont regroupés jusqu'à l'obtention d'une représentation complète de la machine-outil. La granularité du modèle est définie *a priori* pour l'agrégation alors qu'elle exprime un *critère d'arrêt* pour la décomposition.

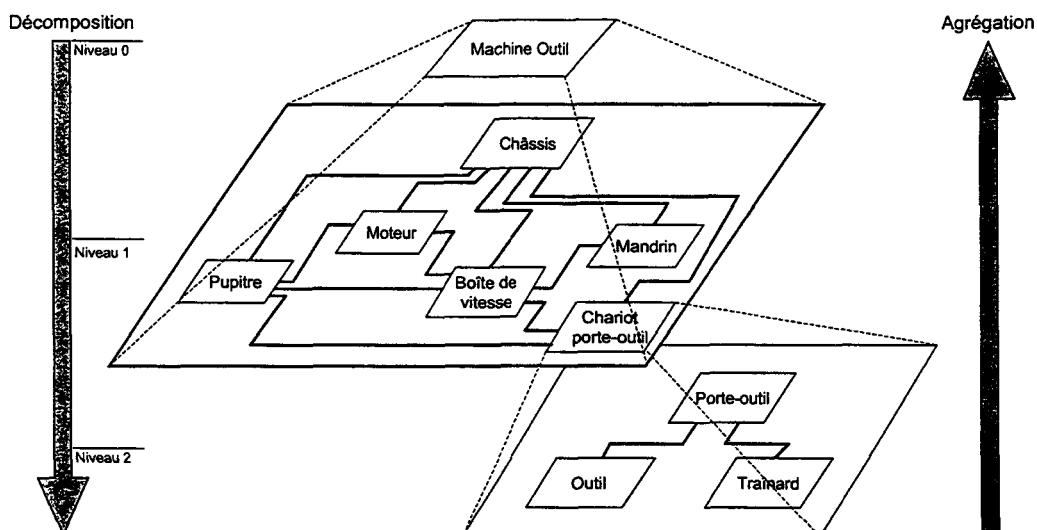


Figure III. 13 : Exemple de décomposition-agrégation des composants d'une machine-outil

La décomposition et l'agrégation sont généralement guidées par des critères qui reposent sur des considérations fonctionnelles : les structures sont décomposées ou agrégées suivant les fonctions qu'elles assurent. De plus, la répartition des fonctions parmi les ressources humaines de l'atelier détermine les relations entre les Hommes et les Machines et influence la répartition du pouvoir dans l'atelier. Le niveau *Structure* est donc fortement lié au niveau *Fonction* qui fait l'objet de la partie suivante.

2.2. Niveau Fonction

Une fonction est une transformation d'un ensemble de composants d'entrée en un ensemble de composants de sortie par la modification d'attributs des composants et des relations entre composants, la destruction ou la création de composants.

Les composants du système de fabrication sont chargés de réaliser des fonctions qui contribuent à l'accomplissement de la *fonction principale* du système de fabrication, Figure III. 14, consistant à fabriquer des produits dans le respect des contraintes qui lui sont imposées. Les fonctions réalisées au sein du système de fabrication assurent principalement la *fabrication* des produits mais se déclinent également en fonctions de *maintenance*, d'*approvisionnement*, de *contrôle*, de *préparation* du poste de travail ou encore d'*encadrement* et de *formation* des ressources humaines. Les fonctions de fabrication, dont les composants de sortie principaux sont les produits, peuvent être facilement identifiées à partir des procédures définies par le bureau des méthodes.

2.2.1. Spécification des tâches

Le bureau des méthodes spécifie l'ensemble des **fonctions** à appliquer sur les produits et sur les moyens de production pour parvenir au produit final décrit par le cahier des charges émanant généralement du bureau d'études, Figure III. 15. Ces fonctions sont détaillées sous la forme de procédures qui correspondent aux **tâches prescrites** aux opérateurs humains.

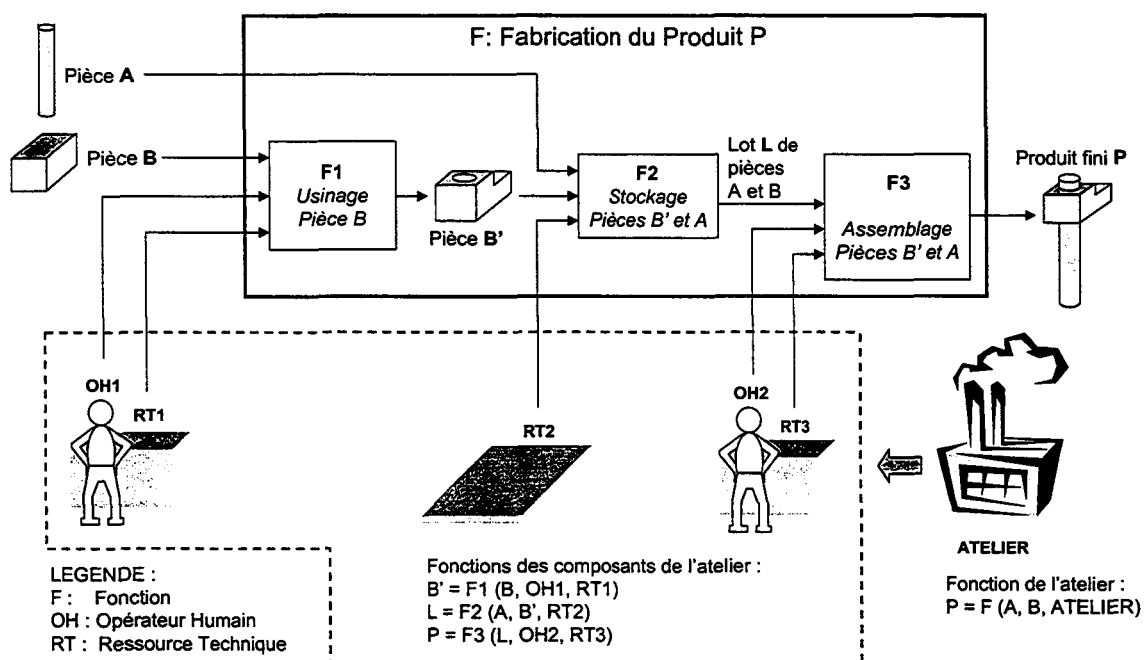


Figure III. 14 : Exemple de fonction de fabrication simplifiée d'un atelier

Les prescriptions du bureau des méthodes sont susceptibles d'évoluer dans le temps suite à des améliorations ou des adaptations émanant des opérateurs humains qui les réalisent. Si ces modifications concernent les composants d'entrée ou de sortie de la fonction, alors la définition de la fonction doit être modifiée, Figure III. 15. Si les modifications apportées à la procédure ne concernent que son déroulement, alors les modifications devront être reportées au niveau *Fonctionnement* de la modélisation proposée, niveau présenté ultérieurement.

2.2.2. Répartition des fonctions dans le temps

Les fonctions définies par le bureau des méthodes doivent être réalisées dans un *intervalle de temps* défini par une date de début au plus tôt et une date de fin au plus tard fixées par la fonction d'ordonnancement. Cette fonction d'ordonnancement détermine également les ressources techniques et humaines chargées de réaliser les fonctions, Figure III. 15.

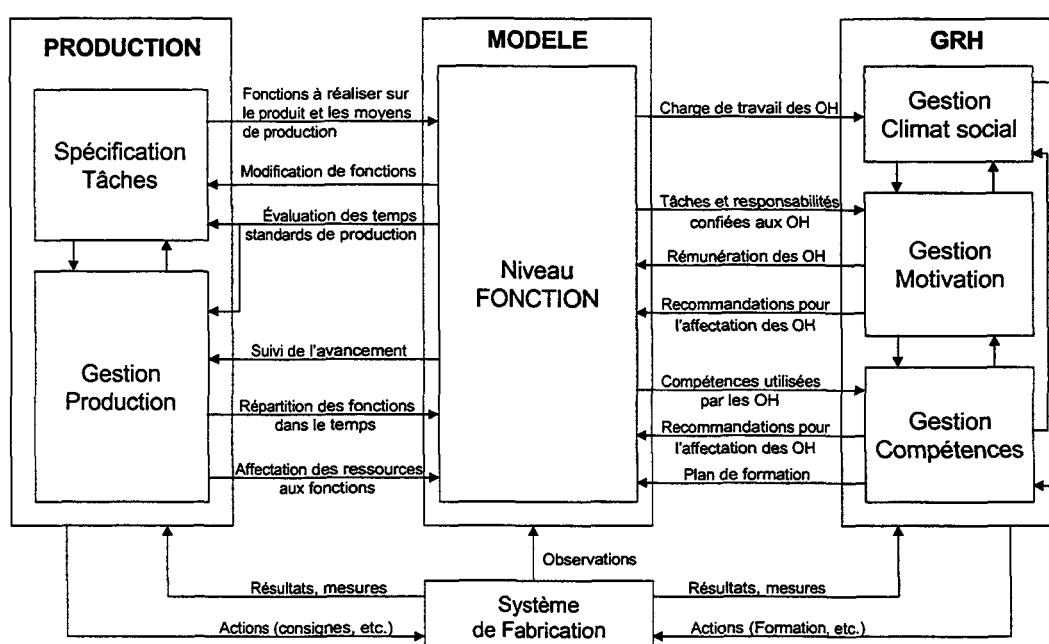


Figure III. 15 : Interactions entre Production-GRH et le niveau de modélisation « Fonction »

La fonction d'ordonnancement n'entre pas dans le cadre de la modélisation proposée car elle n'appartient pas au système de fabrication tel qu'il est présenté Figure III. 7. Elle constitue néanmoins une fonction au sens du modèle :

- ses entrées correspondent aux ensembles des ressources techniques, des ressources humaines et des fonctions prescrites par le bureau des méthodes ;
- sa sortie correspond à un ensemble de fonctions agencées dans le temps, chaque fonction étant associée à une date de début et une date de fin, et associées aux ressources humaines et techniques prévues pour leur réalisation.

Cette sortie de la fonction d'ordonnancement constitue une entrée pour le niveau *Fonction* de la modélisation proposée, Figure III. 15. La réalisation des fonctions est ainsi planifiée mais elle peut également être déclenchée sur l'occurrence d'événements, comme c'est le cas pour une panne machine qui nécessite l'activation d'une fonction de maintenance.

☞ *Opérateur humain « Acteur » et « Objet »*

Les opérateurs humains, lors de l'ordonnancement, sont considérés comme des ressources ce qui correspond au point de vue « Objet » des Figure III. 2 et Figure III. 4. La réalisation de la fonction les place en situation d'acteur, capable de faire face à des événements inattendus, de récupérer une situation dégradée, d'améliorer une procédure mais également, parfois, de commettre des erreurs.

La réalisation d'une fonction peut varier dans le temps pour un même opérateur humain et d'un opérateur humain à un autre, ce qui rend difficile l'évaluation des temps requis par une fonction impliquant une forte intervention humaine.

☞ *Evaluation du temps nécessaire à la réalisation des fonctions*

La durée de réalisation peut généralement être évaluée, plus ou moins précisément. Cette évaluation des temps requis par les fonctions repose généralement sur une analyse détaillée des gestes élémentaires effectués par les opérateurs humains associée à une estimation de la durée de ces gestes à partir d'un chronométrage sur le terrain ou de grilles de temps standardisés /MTM-1955/. L'analyse détaillée du déroulement des opérations lors de la réalisation des fonctions fait l'objet du niveau *Fonctionnement* de la modélisation proposée qui fournit une estimation des temps standards de réalisation au niveau *Fonction*, Figure III. 15.

☞ *Gestion du climat social, de la motivation et des compétences*

La définition des temps requis et des temps alloués pour la réalisation de chaque fonction permet d'évaluer la charge de travail des opérateurs humains /MILLOT-1988/. Cette charge de travail influence leurs niveaux de stress et de fatigue, qui peuvent engendrer des variations de la qualité de leur travail et des durées de réalisation de leurs fonctions. Elle constitue une source d'information pour la gestion du climat social, Figure III. 15, car le stress et la fatigue, tels qu'ils sont présentés chapitre 2, interviennent sur le bien-être des opérateurs humains dans le système de fabrication.

La qualité du travail et l'efficacité des ressources humaines dépend également de leur motivation qui se rapporte, en partie¹, au salaire qu'ils perçoivent. Ce salaire est généralement fixé par rapport aux fonctions réalisées par les opérateurs humains. L'affectation des ressources humaines à des fonctions particulières permet d'appréhender la répartition des responsabilités et du pouvoir dans l'atelier ainsi que le domaine de compétences utilisé par chaque opérateur humain. Les affectations des ressources humaines constituent une source d'information essentielle dans le cadre de la gestion du climat social, de la motivation et des compétences des ressources humaines de l'atelier, Figure III. 15.

Ainsi, les considérations de la fonction GRH sur ces aspects humains peut mener à la formulation de recommandations, exprimées sous la forme de contraintes ou de critères pour l'affectation des ressources humaines, dans le but d'améliorer le climat social, la motivation et les compétences des ressources humaines au travail.

Ces ressources humaines disposent de capacités d'adaptation et d'apprentissage incontestables qui leur confèrent une grande flexibilité. Les fonctions qu'elles réalisent sont ainsi plus diversifiées que celles des ressources techniques, comme la présente le paragraphe suivant.

¹ Les moyens d'action sur la motivation sont abordés au §3.2 du chapitre 2

2.2.3. Fonctions des ressources humaines et techniques

Chaque ressource technique et humaine de l'atelier assure des fonctions qui contribuent à la fabrication de produits respectant le cahier des charges et les contraintes de coût, de qualité et de délai qui ont été fixées. Elles peuvent être impliquées dans plusieurs fonctions mais la diversité de ces fonctions est moins importante pour les ressources techniques que pour les ressources humaines.

Effectivement, les ressources techniques sont généralement spécialisées dans une fonction. Par exemple, un centre d'usinage réalise une fonction de transformation du produit, un convoyeur assure une fonction de transfert de produits, un automate programmable est capable d'assurer des fonctions diverses liées au traitement d'informations mais son champ d'action est limité par les programmes qu'il exécute.

Les ressources humaines, quant à elles, sont capables d'assurer de nombreuses fonctions sollicitant fréquemment leurs capacités d'adaptation et d'innovation, telles que des fonctions de transformation de produits, détection de défauts, récupération d'erreurs, maintenance des moyens de production, programmation d'automates ou encore management d'une équipe.

Le recensement de ces fonctions à réaliser au sein du système de fabrication, généralement précisées pour les opérateurs humains dans la description du profil de poste dressé par la fonction GRH, constitue une part importante du contenu du niveau de modélisation *Fonction*. Ce dernier ne se résume cependant pas à cet inventaire puisqu'il intègre également la répartition des tâches dans le temps et parmi l'ensemble des ressources humaines et techniques de l'atelier.

2.2.4. Contenu du niveau de modélisation *Fonction*

Le niveau de modélisation *Fonction* s'attache à la modélisation des éléments suivants, Figure III. 16 :

- la **liste** des fonctions à réaliser sur les produits et les ressources humaines et techniques du système de fabrication. Cet inventaire spécifie les composants mis à contribution lors de la réalisation de la fonction, composant « d'entrée », ainsi que les composants résultants de la fonction, composants de « sortie ».
- la **répartition** des fonctions dans le temps et sur l'ensemble des ressources de l'atelier.
- l'ensemble des **contraintes** et des **objectifs** associés à chaque fonction.

L'affectation des ressources de l'atelier aux fonctions et l'organisation de ces fonctions dans le temps peuvent être représentées à l'aide d'un diagramme de Gantt et établissent une relation forte entre les niveaux de modélisation *Structure* et *Fonction*.

Les **contraintes** traduisent des restrictions sur les composants intervenant dans la fonction en entrée et sortie, comme par exemple :

- une restriction sur l'ensemble des ressources humaines admissibles liée aux compétences requises par la fonction ;
- la disponibilité des ressources techniques et humaines affectées à la fonction.

Ces contraintes peuvent également être relatives à l'enchaînement des fonctions. En effet, une contrainte portant sur l'avancement des transformations d'un produit exprime la nécessité d'avoir réalisé auparavant un ensemble de fonctions préparatoires. L'ensemble

des contraintes inclue ainsi les contraintes de précédence et de succession entre fonctions, ce qui intervient très significativement dans le cadre de l'ordonnancement des tâches.

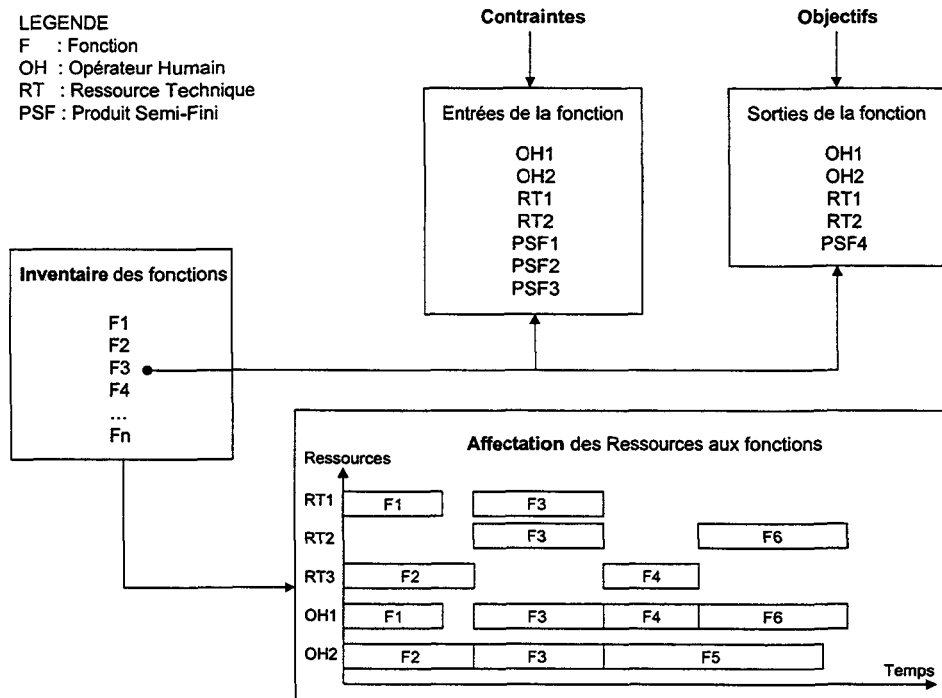


Figure III. 16 : Contenu du niveau de modélisation « Fonction »

Les **objectifs** expriment les critères à respecter pour les sorties de la fonction, tels qu'un intervalle de tolérance pour une côte de pièce ou encore la définition d'un ensemble de connaissances fondamentales à acquérir dans le cadre d'une formation du personnel. Ces contraintes et objectifs interviennent lors du déroulement des fonctions exprimé sous la forme d'un fonctionnement qui fait l'objet d'un niveau de modélisation dédié présenté dans le paragraphe suivant.

2.3. Niveau Fonctionnement

Le niveau de modélisation *Fonctionnement* place les opérateurs humains en situation d'acteurs qui interviennent sur le déroulement des processus par le biais de leurs compétences, de leurs préférences ou encore par rapport à leur état psychologique et physique. Ce niveau est introduit dans le but d'intégrer l'importance des connaissances, du savoir-faire et des préférences des opérateurs humains dans le cadre de leurs activités.

Il représente les processus mis en œuvre dans le cadre de la réalisation des fonctions répertoriées au niveau de modélisation précédent. L'utilisation de la méthode IDEF3 pour la représentation des processus permet d'exprimer le point de vue de chaque acteur impliqué dans le processus et des choix et décisions qu'il met en œuvre pour progresser dans ce processus.

Le niveau Fonctionnement est consacré à la formalisation des processus, de leur dynamique et de leur organisation dans le **temps**. Ce paragraphe présente tout d'abord la méthode IDEF3, retenue pour la représentation des processus, puis les modes de fonctionnement pris en compte dans notre proposition.

2.3.1. Représentation des processus et intervention humaine

Les processus représentés au niveau *Fonctionnement* permettent de formaliser les enchaînements de tâches et d'activités. La représentation de ces processus peut être réalisée par le biais de la méthode IDEF3² qui présente les avantages suivants :

- Description d'un même processus suivant les points de vue d'acteurs différents grâce au concept de scénario² ;
- Formalisation de la dynamique des processus par le biais des jonctions² ;
- Intégration des contraintes temporelles entre les processus par le biais des liens².

Le point de vue initial sur les processus de fabrication est défini par les procédures du bureau des méthodes, qui formalisent les processus prescrits. Les écarts constatés entre les processus observés sur le terrain et les processus prescrits peut entraîner une modification du prescrit ou une adaptation des ressources réalisant le processus dans le but de réduire l'écart entre le prescrit et l'effectif. Les dysfonctionnements observés dans l'atelier peuvent engendrer la définition de nouvelles procédures destinées à faciliter la reprise du système en dysfonctionnement ou à réduire la probabilité d'apparition du dysfonctionnement.

Le niveau de modélisation *Fonctionnement* fournit également des informations pour la gestion des ressources humaines qui sont prises en compte pour adapter les procédures, la structure de l'atelier et la répartition des fonctions vis-à-vis des considérations sur le climat social, la motivation et les compétences, Figure III. 17.

Ces aspects humains influencent le Fonctionnement dans lequel les opérateurs humains jouent le rôle d'acteur, Figure III. 2. Ces trois familles d'aspects humains, présentées chapitre 2, constituent une source d'explication pour l'analyse et la justification des différences constatées lors de l'observation des processus et leur interprétation contribue à l'amélioration de la compréhension des différences inter et intra-individuelles.

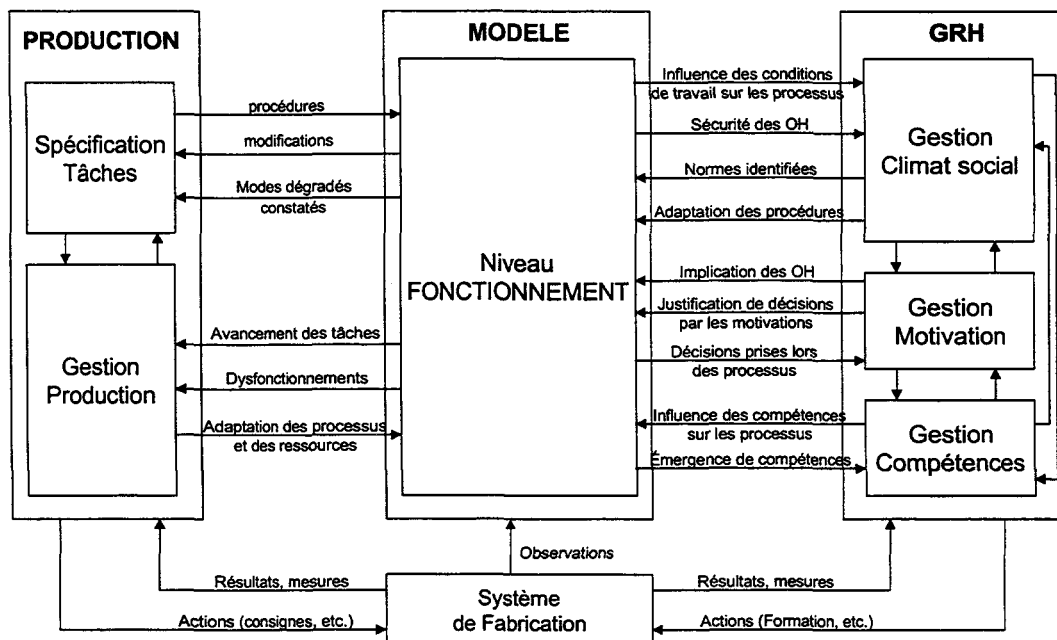


Figure III. 17 : Interactions entre le niveau « Fonctionnement » et les fonctions Production et GRH

² cf. annexe 4

Un dysfonctionnement correspond à un mode de fonctionnement dégradé. Dans ce cas, un des rôles des opérateurs humains du système de fabrication consiste à rétablir le fonctionnement correspondant à la réalisation normale d'une fonction, dans les délais les plus brefs. Les modes de fonctionnement retenus pour la modélisation font l'objet du paragraphe suivant.

2.3.2. Modes de fonctionnement normaux et anormaux

Les processus peuvent être structurés, semi-structurés ou non-structurés en fonction du niveau d'intervention humaine, cf. paragraphe du chapitre 1 sur la notion de processus §2.3. Ils peuvent se dérouler normalement et contribuer directement ou indirectement à la réalisation de la fonction à laquelle ils se rapportent, ou subir des dégradations. Ces possibilités sont traduites dans le modèle par la considération de modes de fonctionnement, Figure III. 18 :

- les modes **efficaces**, pendant lesquels la fonction est en cours de réalisation. L'adjectif « efficace » a été choisi d'après sa définition : « qui produit l'effet attendu ».
- les modes **transitoires**, qui sont nécessaires à la réalisation de la fonction mais n'y contribuent pas directement. Par exemple, la préparation d'une pièce ou d'un poste de travail, le réglage d'une machine.
- les modes **dégradés**, qui résultent de l'apparition de dysfonctionnements, d'événements imprévus.

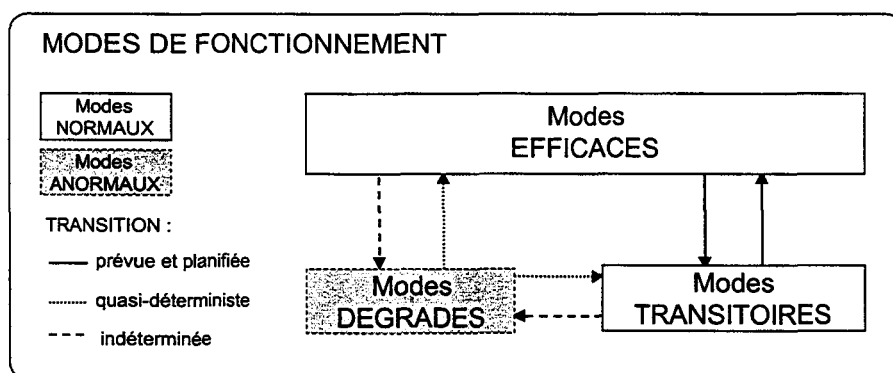


Figure III. 18 : Modes de fonctionnement relatifs à la réalisation d'une fonction

Les procédures fournies par le bureau des méthodes expriment principalement les modes efficaces de fonctionnement. Les modes transitoires ne figurent pas toujours dans le détail des procédures. Certaines procédures sont néanmoins définies pour assurer la reprise du système de fabrication, elles expriment alors la marche à suivre pour réagir lors de l'apparition de certains modes dégradés de fonctionnement. L'archivage des dysfonctionnements constatés dans l'atelier et des procédures à suivre pour y remédier permet d'envisager une amélioration de la réactivité du système de fabrication lors de l'apparition de ces modes dégradés, ce qui entre dans le cadre de l'entreprise apprenante présentée dans l'introduction générale.

La prise en compte des modes transitoires de fonctionnement permet de mettre en évidence la quantité d'opérations préparatoires nécessaires à la réalisation d'une fonction donnée par l'expression du ratio entre le temps consacré aux modes transitoires et efficaces. La standardisation des pièces et une organisation optimisée du poste de travail contribuent à

limiter le temps alloué aux modes de fonctionnement transitoires, ce qui constitue un des objectifs principaux de méthodes telles que les 5S³ ou le SMED⁴.

Les fonctionnements, qu'ils soient normaux ou anormaux, se concrétisent par des actions exécutées par les différents composants du système de fabrication. L'expression des ces actions fait l'objet du niveau *Comportement* de la modélisation proposée qui est présenté dans le paragraphe suivant.

2.4. Niveau Comportement

Le comportement traduit l'exécution des **actions** concrétisant le *Fonctionnement*. Ce niveau peut être assimilé aux « vues Données » d'IDEF3, le niveau *Fonctionnement* pouvant être comparé aux « vues Processus ». Il fournit des informations sur les activités effectuées au sein de ce système de fabrication, Figure III. 19.

Le comportement des opérateurs humains fournit des informations sur d'éventuelles prises de risque, les causes de certains accidents ou encore la motivation des opérateurs humains. Ces informations contribuent à la gestion de la Production et des ressources humaines.

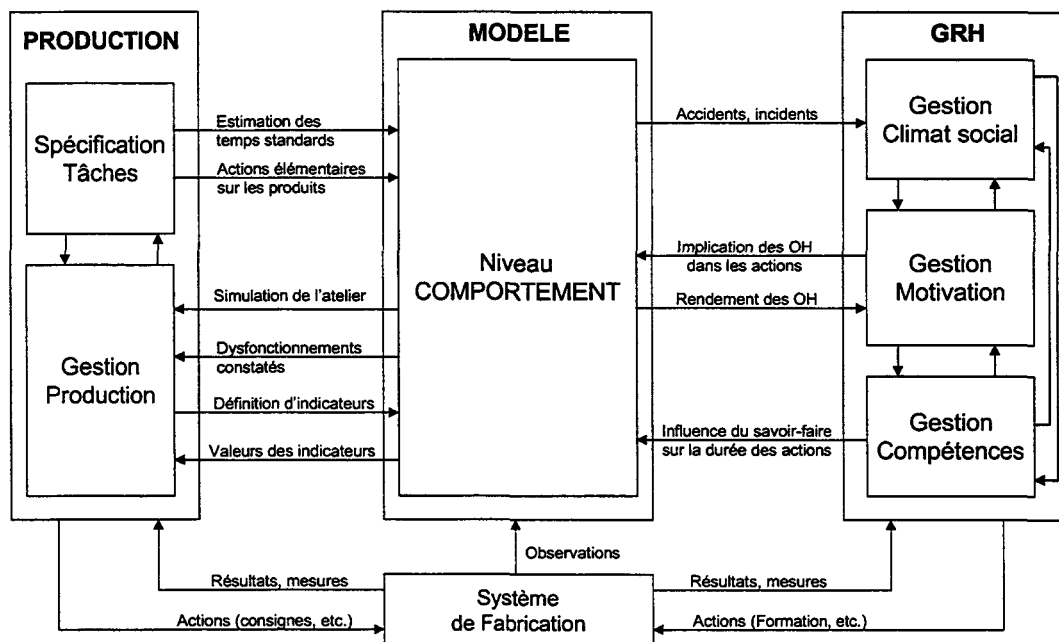


Figure III. 19 : Interactions entre le niveau « Comportement » et les fonctions Production et GRH

Les différentes actions appliquées sur les produits et une évaluation des temps standards relatifs à leur exécution peuvent être fournies par le bureau des méthodes, Figure III. 19. Ces données peuvent être utilisées pour évaluer la durée totale de réalisation de la fonction dans le cadre de laquelle les actions sont exécutées.

La simulation de ces actions permet d'envisager le comportement global du système de fabrication, intégrant les dysfonctionnements envisageables ou qui se sont déjà produits

³ Les 5S permettent de construire un environnement de travail fonctionnel, régi par des règles simples, précises et efficaces.

⁴ SMED : Single Minute Exchange or Die, vise la réduction des temps de changement d'outils et de séries.

dans l'atelier. Les informations résultant des simulations sont généralement présentées sous la forme d'indicateurs destinés à être analysés dans le but d'améliorer la production. Ces indicateurs sont définis et utilisés par la gestion de production, Figure III. 19.

La modélisation du comportement repose sur l'utilisation d'un modèle d'activité qui fait l'objet du paragraphe suivant.

2.4.1. Modélisation des activités

Une activité est un processus élémentaire qui ne donne pas lieu à une décomposition en niveaux de détail supplémentaires et dont les caractéristiques /FRERE&al.-1998b/, représentées Figure III. 20, sont énoncées ci-après :

- les conditions d'activation et d'arrêt de l'activité considérée ;
- la formalisation de l'ensemble des actions réalisées par et sur les composants de la structure de l'atelier ;
- les compétences requises pour que l'activité soit réalisée efficacement par les ressources humaines ;
- les fonctionnalités requises pour les ressources techniques

Comme indiqué Figure III. 19, un suivi des activités est assuré par le biais d'indicateurs, tels que le taux de qualité ou encore le nombre de retouches effectuées sur un poste de travail pendant une période donnée. Les estimations de temps nécessaires pour la réalisation des activités permettent d'obtenir une estimation de la durée globale d'un cycle de production. Cette estimation peut néanmoins se révéler difficile dans certains contextes de fabrication.

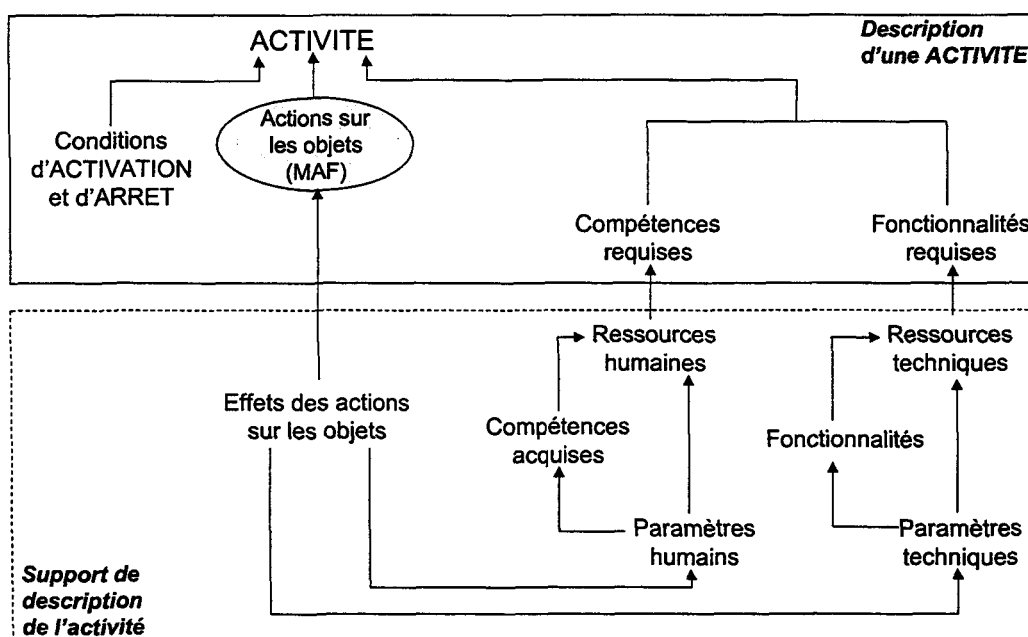


Figure III. 20 : Modèle de l'activité /FRERE&al.-1998b/

C'est le cas pour le système de fabrication étudié dans le chapitre 4. Celui-ci assure le montage de véhicules de transport ferroviaire et présente un degré d'automatisation quasiment nul. La forte intervention de sa composante humaine, associée à des temps de cycle de production relativement longs (de l'ordre de plusieurs semaines), une grande quantité de composants pour chaque produit et d'opérations à réaliser sur ces produits

mènent à des variations de la durée globale de fabrication d'un véhicule qui peuvent parfois se chiffrer en jours pour le retard de livraison du client.

L'ensemble des **actions** réalisées lors des activités sont appliquées sur un ensemble d'**objets** impliqués dans l'activité. Cet ensemble d'actions est représenté sous la forme d'une matrice, nommée *Matrice Actions-Flux*, présentée dans /FRERE&al.-1998a/.

2.4.2. La Matrice Actions-Flux

Les actions représentées dans cette matrice sont classées en trois catégories /BRAESCH&al.-1995/ : les actions sur la **forme**, sur l'**espace** et sur le **temps**. Ces actions sont appliquées sur des objets, parmi lesquels figurent les produits et les informations échangées entre les composants de l'atelier, et réalisées par des ressources, techniques et humaines. Les objets et ressources sont groupés sur des flux, Figure III. 21, et peuvent être répartis suivant trois catégories /FRERE&al.-1998a/ : les composants **physiques**, **informationnels** et **humains**.

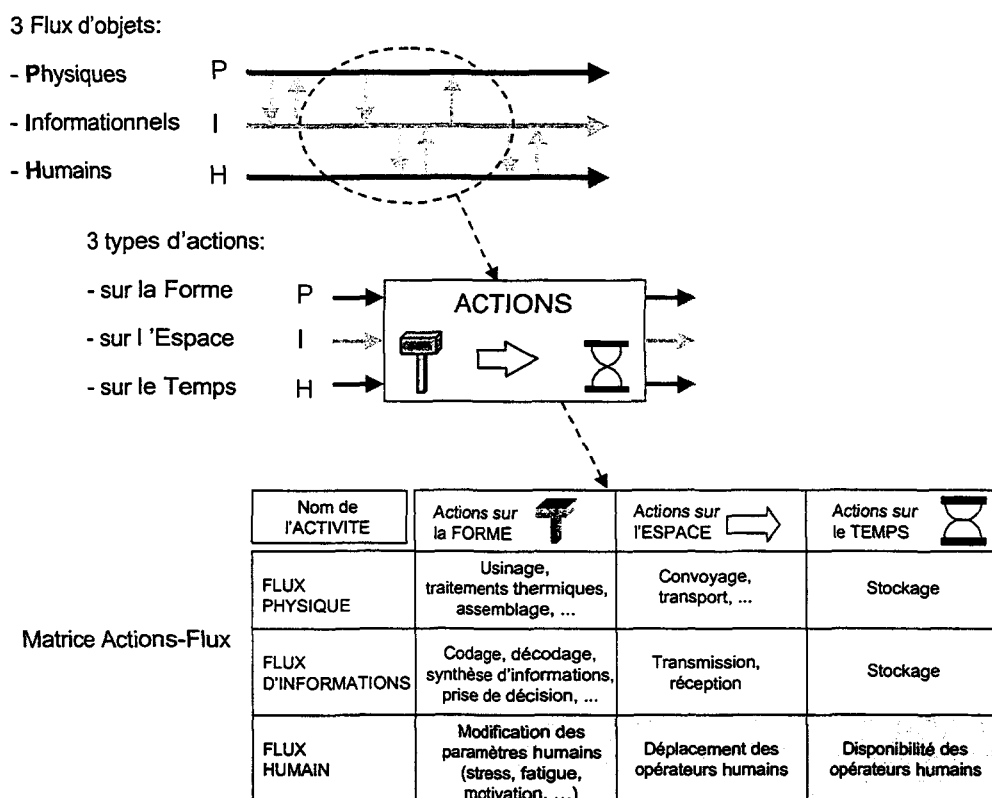


Figure III. 21 : Présentation de la Matrice Actions-Flux

La *Matrice Actions-Flux* formalise les actions qui se concrétisent par des changements de valeur des attributs associés aux composants de l'atelier impliqués dans l'activité. La formalisation de ces actions permet d'envisager la simulation des activités de chaque composant et, de proche en proche, la simulation du *comportement* global de l'atelier.

Les quatre niveaux de modélisation, présentés dans les paragraphes précédents, recueillent des données issues des fonctions de l'entreprise dédiées à la Production et à la Gestion des ressources humaines et leur fournissent des informations utiles dans le cadre de leurs

processus de prise de décision. Le paragraphe suivant aborde les relations entre ces niveaux telles qu'elles sont présentées Figure III. 6.

2.5. Interactions entre les niveaux de modélisation

Les paragraphes précédents ont présenté les échanges d'informations possibles entre ces fonctions Production et GRH et les niveaux de modélisation *Structure*, *Fonction*, *Fonctionnement* et *Comportement*. Le contenu de chaque niveau de modélisation a également été décrit et permet d'exprimer l'ensemble des éléments intervenant dans les quatre niveaux de modélisation, Figure III. 22.

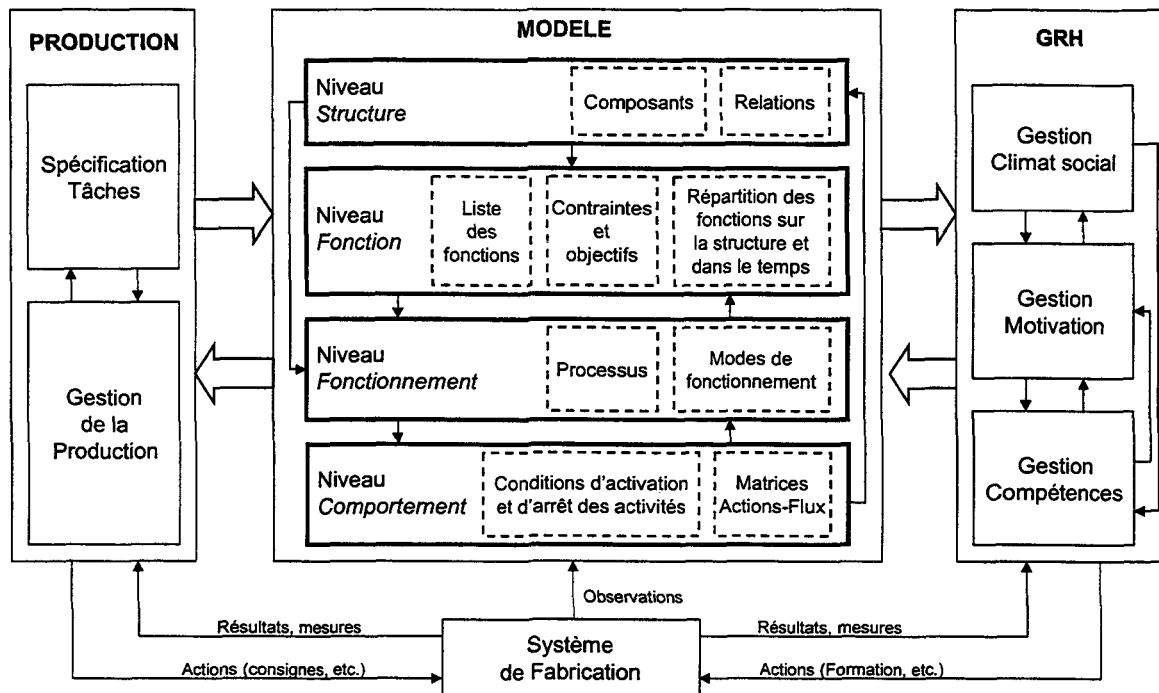


Figure III. 22 : Détail des niveaux de modélisation proposés

Les interactions entre ces éléments sont représentées par des *liens* graphiques, numérotés sur la Figure III. 23, et caractérisent les relations entre les éléments de chaque niveau :

- Les **composants** de la structure sont caractérisés par des *attributs* susceptibles d'être modifiés par les actions déclenchées par les **Matrices Actions-Flux** (*lien 19*) et sont interconnectés par des **relations** (*lien 4*).
- Les **relations** entre les composants de la structure peuvent également être modifiées lors de l'exécution des activités (*lien 18*), telles qu'un changement de constitution des équipes.
- La **liste des fonctions** est régulièrement complétée par la mise en place de nouvelles fonctions et par l'apparition de modes de fonctionnement observés dans l'atelier et non recensés auparavant. Ces nouveaux modes de fonctionnement mettent en évidence la réalisation de fonctions non recensées auparavant. Celles-ci sont alors ajoutées à la liste de fonctions (*lien 15*).
- Des **contraintes et objectifs** associés aux fonctions (*lien 8*) résultent des relations entre les ressources de l'atelier (*lien 5*), qui font partie de l'ensemble de ses composants, et des attributs des composants (*lien 3*). Le respect de ces contraintes et objectifs est contrôlé lors du déroulement des processus (*lien 12*).

- La **répartition** des fonctions sur la structure et dans le temps fait intervenir l'ensemble des composants de la structure (*lien 2*) et des fonctions à réaliser (*lien 7*). Cette répartition tient compte des contraintes et objectifs liés aux fonctions (*lien 9*).
- Les **processus** doivent respecter les contraintes et objectifs associés aux fonctions qu'ils réalisent (*lien 10*) et font intervenir les composants de la structure (*lien 1*). Leurs **modes de fonctionnement** résultent du déroulement des processus (*lien 14*) et de l'apparition éventuelle de dysfonctionnements générés par les *Matrices Actions-Flux* (*lien 17*).
- Les **conditions d'activation et d'arrêt** des activités sont définies par les processus (*lien 13*) et provoquent l'exécution ou l'interruption des actions formalisées dans les *Matrices Actions-Flux* (*lien 16*).

L'ajout d'un opérateur humain dans une équipe modifie l'ensemble des composants de la structure de l'équipe et les relations entre les membres de l'équipe (*lien 4*). Cet ajout engendre une mise à jour de la répartition des fonctions qui est réalisée sur un ensemble d'opérateurs humains plus important (*lien 2*). Le choix de l'affectation d'un opérateur humain à une fonction particulière influence la façon dont elle sera réalisée (*lien 1*), c'est-à-dire son *fonctionnement*, et se concrétise par un *comportement* différent (*liens 18 et 19*).

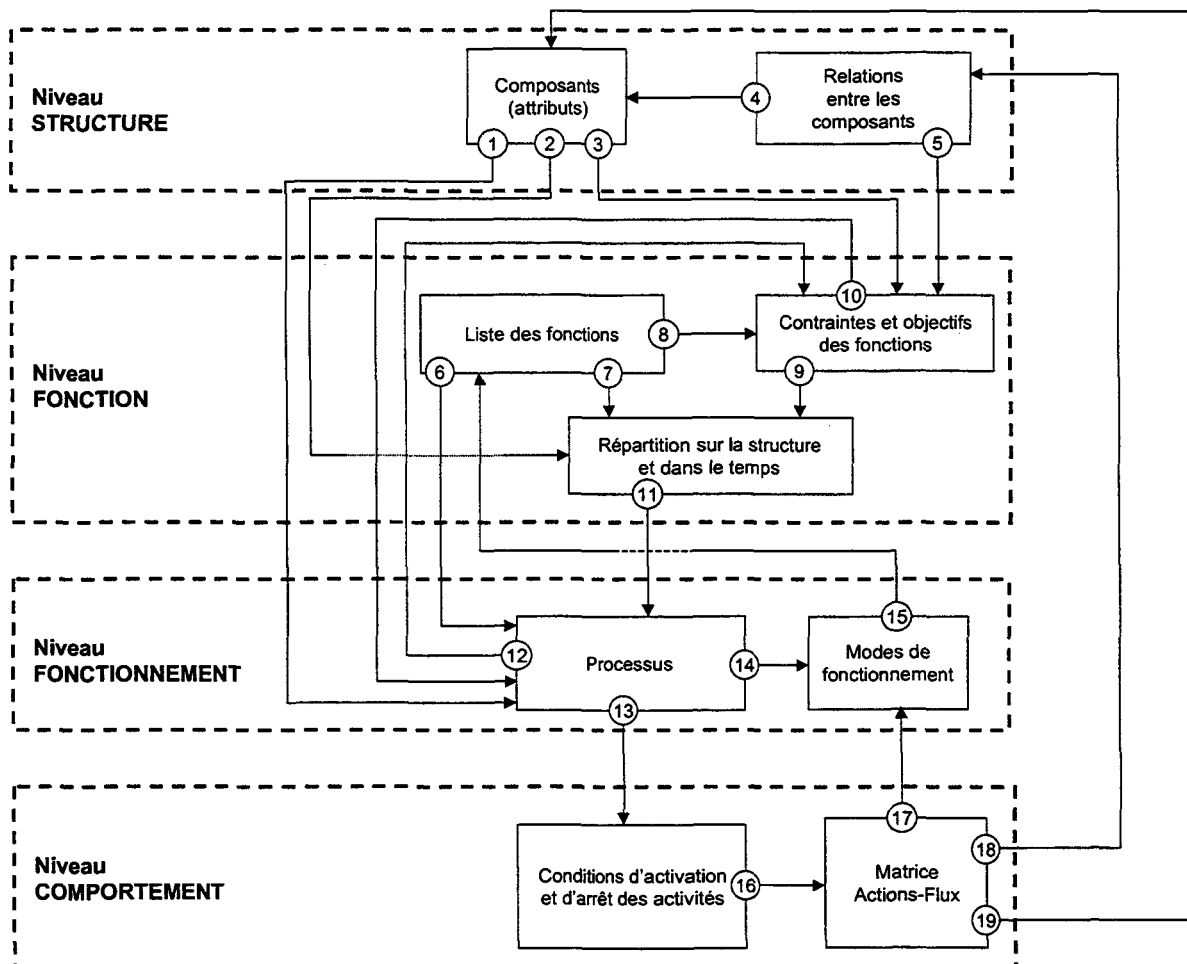


Figure III. 23 : Représentation des relations entre les niveaux de modélisation

Les quatre niveaux de modélisation sont donc fortement interconnectés, suivant les relations représentées Figure III. 6, et peuvent être utilisés pour représenter non seulement le système de fabrication dans sa globalité mais également chaque composant de la structure

de l'atelier. La modélisation proposée utilise ainsi le principe de modularité. Chaque module est constitué des quatre niveaux de modélisation présentés dans ce chapitre.

2.6. Modularité de la modélisation

Chaque composant de l'atelier est susceptible de posséder sa propre **structure** associée à des **fonctions** internes réalisées sous la forme de **fonctionnements** et aboutissant à des actions observables correspondant au **comportement** du composant. C'est le cas pour l'exemple proposé Figure III. 24 qui représente une cellule flexible de production⁵ composée d'opérateurs humains, de robots, d'une ligne de transfert de produits et d'automates programmables. Ces composants de la cellule flexible possèdent leur propre structure et assurent des fonctions pour lesquelles ils sont généralement spécialisés.

La Figure III. 24 représente la cellule flexible suivant les quatre niveaux de modélisation proposés dans ce chapitre et la modélisation d'un automate programmable suivant ces mêmes niveaux. Chaque automate programmable peut être modélisé suivant les niveaux *Structure, Fonction, Fonctionnement* et *Comportement*, lien ① Figure III. 24.

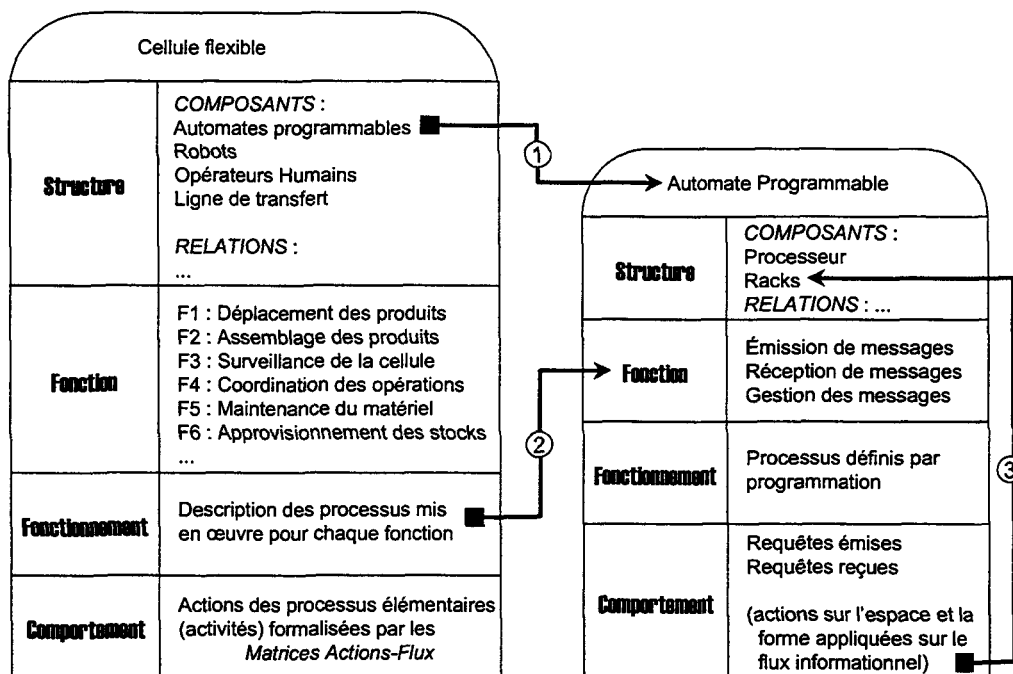


Figure III. 24 : Exemple simplifié d'application sur une cellule flexible de production

Les fonctionnements de la cellule flexible peuvent solliciter la réalisation d'une fonction interne à un automate programmable, ce qui est représenté par le lien ② Figure III. 24. Le lien ③ traduit la modification de l'état des cartes d'entrées-sorties contenues dans les racks suite à la mise en œuvre des requêtes et autres lignes de codes des programmes suivis au niveau du processeur.

Les informations reçues et envoyées par l'automate programmable sont en provenance ou à destination d'autres composants de la cellule flexible, tels qu'un capteur de position de la ligne de transfert ou un robot. Les messages émis et reçus par l'automate programmable

⁵ Cette cellule flexible est inspirée de celle de l'AIP de l'Université de Valenciennes

constituent respectivement des sorties et des entrées d'objets du flux informationnel associé aux *Matrices Actions-Flux* de l'automate.

Chaque composant de l'atelier peut ainsi être représenté par le biais des quatre niveaux de modélisation proposés dans ce chapitre. Les opérateurs humains et les équipes qu'ils forment constituent des composants particuliers de l'atelier sur lesquels s'appliquent également ces niveaux de modélisation. Ceci contribue à l'intégration des aspects humains dans la modélisation des systèmes de fabrication manufacturiers, sujet qui fait l'objet du chapitre suivant.

CONCLUSION

Ce chapitre présente une démarche de modélisation des ateliers de fabrication reposant sur la considération de quatre niveaux de représentation. Ces niveaux abordent respectivement la *structure* du système, les *fonctions* réalisées au sein de ce système, le *fonctionnement* caractérisant la réalisation des fonctions et les actions exécutées, ou *comportement*.

Ces quatre niveaux permettent de structurer le processus de modélisation et d'identifier les possibilités d'action des fonctions de Gestion des Ressources Humaines et de Production. Ces fonctions de l'entreprise utilisent des informations sur l'atelier de fabrication pour prendre les décisions relatives au pilotage et à la gestion des ressources. Les décisions prises par chacune de ces deux fonctions sont susceptibles de générer des modifications au niveau de l'atelier et ces modifications sont elles-mêmes susceptibles d'engendrer des conséquences ou des contraintes supplémentaires pour les prises de décision de l'autre fonction.

La prise en compte de ces fortes interactions entre la production et la gestion des ressources humaines dans un modèle de l'atelier commun à ces deux fonctions de l'entreprise contribue à améliorer leur compréhension mutuelle et l'efficacité de leurs décisions. Il faut pour cela que le modèle utilisé intègre les aspects humains permettant d'établir le lien entre les actions de la GRH et de la Production.

Cette intégration des aspects humains dans la modélisation des ateliers de fabrication fait l'objet du chapitre suivant qui propose également une illustration sur un cas d'application inspiré d'un site industriel réel correspondant à un atelier d'assemblage de véhicules de transport ferroviaire.

Chapitre 4

Contribution des niveaux de modélisation à l'intégration des aspects humains et illustration sur le cas d'un atelier organisé en Groupes Autonomes

1. INTÉGRATION DES ASPECTS HUMAINS DANS LES NIVEAUX DE MODÉLISATION	91
1.1. RÉPARTITION DES ASPECTS HUMAINS SUR LES NIVEAUX DE MODÉLISATION.....	91
1.2. INTÉGRATION DU CLIMAT SOCIAL.....	92
1.2.1. <i>Acquisition des données relatives au climat social</i>	93
1.2.1.1. Evaluation de la cohésion des groupes.....	93
1.2.1.2. Répartition du pouvoir.....	94
1.2.2. <i>Influence du climat social</i>	95
1.3. INTÉGRATION DE LA MOTIVATION	95
1.3.1. <i>Acquisition des données relatives à la motivation</i>	96
1.3.2. <i>Influence et conséquences de la motivation</i>	97
1.4. INTÉGRATION DES COMPÉTENCES	98
1.4.1. <i>Identification et évaluation des compétences</i>	99
1.4.2. <i>Exploitation des données sur les compétences</i>	100
2. MISE EN ŒUVRE DES NIVEAUX DE MODÉLISATION SUR UN ATELIER D'ASSEMBLAGE..	100
2.1. PRÉSENTATION D'UN ATELIER D'ASSEMBLAGE DE VÉHICULES FERROVIAIRES	100
2.1.1. <i>Constitution d'un véhicule de transport ferroviaire à deux niveaux</i>	101
2.1.2. <i>Fabrication d'un véhicule de transport ferroviaire à deux niveaux</i>	102
2.1.3. <i>Synchronisation du flux de véhicules</i>	103
2.1.4. <i>Importance de la composante humaine</i>	104
2.1.4.1. Automatisation du montage des véhicules ferroviaires	104
2.1.4.2. Description d'un Groupe Autonome.....	105
2.1.4.3. Performances d'un Groupe Autonome	106
2.2. APPLICATION DES NIVEAUX DE MODÉLISATION SUR L'ATELIER OBSERVÉ.....	107
2.2.1. <i>Composants de l'atelier et fonctions associées</i>	107
2.2.2. <i>Définition de fonctions à partir du processus de montage des véhicules</i>	108
2.2.3. <i>Composants d'une ligne de montage et fonctions associées</i>	110
2.2.4. <i>Exemple d'un retard de fabrication</i>	111
3. APPORTS ET LIMITES DE LA MODÉLISATION	112
3.1. RAPPROCHEMENT DES FONCTIONS GRH ET PRODUCTION	113
3.2. PERTINENCE DES ASPECTS HUMAINS INTÉGRÉS ET LIMITES DE L'INTÉGRATION.....	114
3.2.1. <i>Observation des aspects humains dans l'atelier</i>	114
3.2.1.1. Influence des caractéristiques de groupe	114
3.2.1.2. Exemple d'une norme de fonctionnement	115
3.2.1.3. Illustration des formes de cognition intégrées dans MODMIL.....	115
3.2.2. <i>Aspects humains non pris en compte dans la modélisation</i>	117
CONCLUSION.....	117

CHAPITRE 4 CONTRIBUTION DES NIVEAUX DE MODELISATION A L'INTEGRATION DES ASPECTS HUMAINS ET ILLUSTRATION SUR LE CAS D'UN ATELIER ORGANISE EN GROUPES AUTONOMES

Ce chapitre présente la contribution apportée par les niveaux *Structure*, *Fonction*, *Fonctionnement* et *Comportement*, proposés au chapitre précédent, pour l'intégration des aspects humains dans la modélisation des systèmes de fabrication.

Ces niveaux sont mis en œuvre pour la modélisation des opérateurs humains et des groupes d'opérateurs humains qui composent l'atelier. Ces deux types de composants –« *Opérateur Humain* » et « *Groupe d'opérateurs humains* » – abordent respectivement les dimensions individuelles et collectives des aspects humains. Ces derniers peuvent également être déclinés suivant les trois catégories, correspondant au climat social, à la motivation et aux compétences, mises en évidence par l'analyse systémique de la fonction de Gestion des Ressources Humaines présentée dans le chapitre 2.

La contribution apportée par ces quatre niveaux à l'intégration des aspects humains dans la modélisation des systèmes de fabrication est abordée, dans un premier temps, suivant un point de vue général qui présente les phases de recueil des données, l'évaluation des aspects humains et l'exploitation de ces aspects humains dans le modèle. Elle est ensuite illustrée par la mise en œuvre des niveaux de modélisation sur un atelier d'assemblage de véhicules de transport ferroviaire, Figure IV. 1. Cet atelier a fait l'objet d'une période d'observation au cours de laquelle ont été relevées des situations caractéristiques permettant d'illustrer l'intégration des aspects humains dans les niveaux de modélisation.

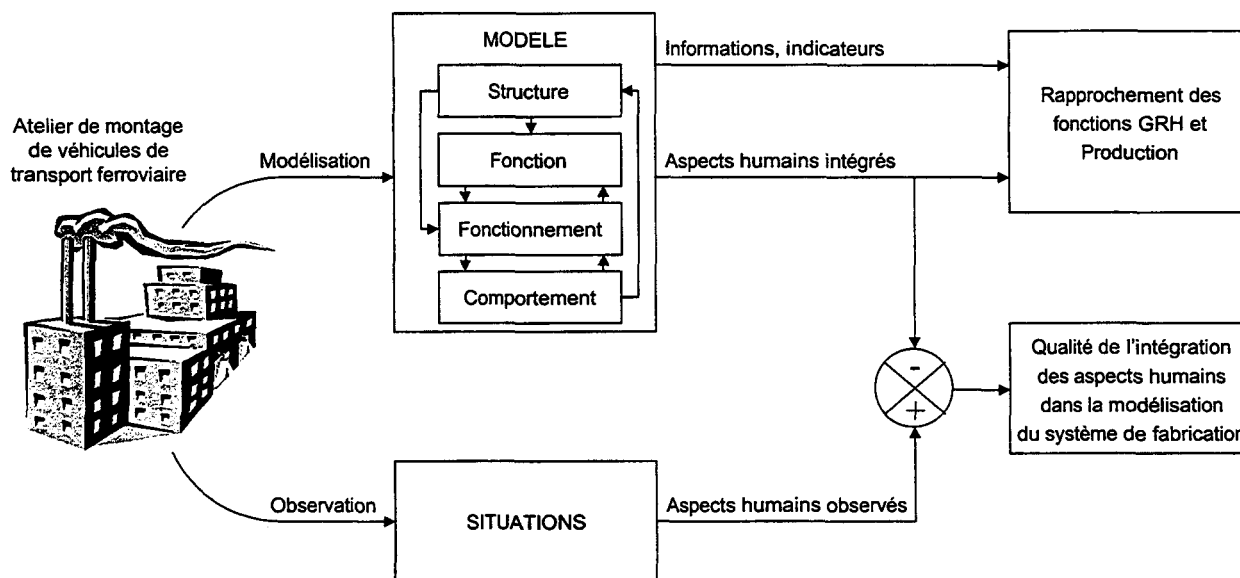


Figure IV. 1 : Contribution des niveaux de modélisation à l'intégration des aspects humains et au rapprochement des fonctions Production et Gestion des Ressources Humaines

Ce chapitre présente enfin les apports et limites de la proposition en termes de rapprochement des fonctions GRH et Production et d'exhaustivité de l'intégration des aspects humains, Figure IV. 1.

1. INTEGRATION DES ASPECTS HUMAINS DANS LES NIVEAUX DE MODELISATION

L'expression de l'efficacité humaine /MARTORY&al.-1998/ fait intervenir les catégories d'aspects humains correspondant au climat social, à la motivation et aux compétences, présentées dans le chapitre 2. Effectivement, les performances d'un opérateur humain compétent et motivé peuvent être limitées par un climat social dégradé entravant toute possibilité de coopération. De même, un opérateur humain motivé et aidé par ses collègues de travail peut accroître plus facilement et rapidement le niveau de maîtrise de compétences pour lesquelles il présentait des lacunes. Cette efficacité humaine, que la Gestion des Ressources Humaine a pour mission d'optimiser, se répercute directement sur les délais, la qualité et les coûts de production.

Cette partie présente l'intégration de ces trois catégories d'aspects humains dans les niveaux de modélisation proposés au chapitre précédent. La répartition de ces aspects humains et leurs dimensions individuelles et collectives font l'objet du premier paragraphe.

1.1. Répartition des aspects humains sur les niveaux de modélisation

Les niveaux de modélisation *Structure*, *Fonction*, *Fonctionnement* et *Comportement* abordent des aspects humains particuliers. La répartition de ces aspects humains sur les niveaux de modélisation, Figure IV. 2, résulte des considérations développées dans le chapitre 3.

Niveaux de modélisation	Contenu	Aspects humains abordés
STRUCTURE	Définition des composants Relations entre composants	Cohésion des groupes /DEGENNE&al.-1994/ Répartition du pouvoir /CROZIER&al.-1977/ Compétences acquises /HARZALLAH&al.-1999/
FONCTION	Définition des fonctions Contraintes et objectifs Répartition sur la structure Planification dans le temps	Compétences requises /HARZALLAH&al.-1999/ Motivation /KARSKY&al.-1996/ Charge de travail planifiée Évaluation de la durée de réalisation des fonctions
FONCTIONNEMENT	Processus Scenarii Modes de fonctionnement	Influence des compétences Variations inter et intra-individuelles Écart prescrit-effectif, erreurs procédurales Normes de fonctionnement
COMPORTEMENT	Actions élémentaires sur les composants et relations de la structure	Durées des actions Courbes d'apprentissage

Figure IV. 2 : Aspects humains abordés par les niveaux de modélisation

Ces aspects humains appartiennent aux catégories traitées dans le chapitre 2 et relatives au climat social, à la motivation ou aux compétences. Ils présentent une dimension individuelle et une dimension collective qui sont intégrées dans les définitions respectives des composants de l'atelier correspondant aux « *Opérateurs Humains* » et aux « *Groupes d'Opérateurs Humains* ». Ces composants peuvent être représentés sur la base des niveaux de modélisation proposés, Figure IV. 3, suivant le principe de modularité.

La structure de ces composants est définie par un ensemble d'attributs et de relations entre ces attributs. C'est par le biais de ces relations que peut être envisagée l'intégration, par exemple, des liens entre la charge de travail supportée par un opérateur humain et son niveau de stress ou encore son niveau de stress et ses performances¹.

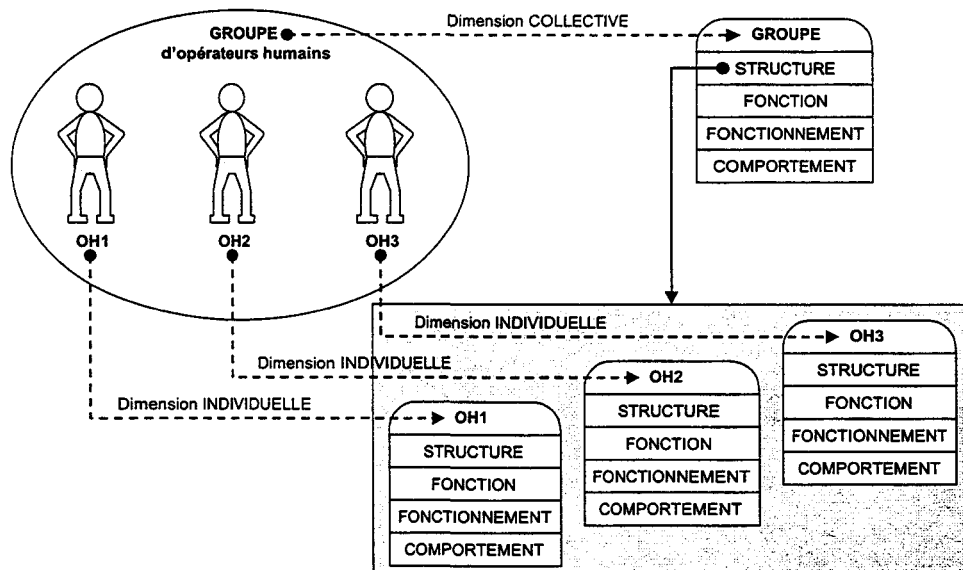


Figure IV. 3 : Dimensions collective et individuelle de l'intégration des aspects humains

Les paragraphes suivants présentent l'intégration des aspects humains liés au climat social, à la motivation et aux compétences dans les niveaux de modélisation. Cette intégration nécessite une première phase d'acquisition et d'évaluation des données qui requiert des observations de terrain, des entretiens avec les opérateurs humains et l'utilisation de questionnaires. La définition des méthodes, outils et techniques utilisées pour l'acquisition et l'évaluation des données nécessite la collaboration de spécialistes des Sciences Humaines et Sociales et de l'analyse de données. Cette définition et l'utilisation des concepts de la théorie des sous-ensembles flous pour l'évaluation d'indicateurs humains font l'objet de perspectives de recherche présentées dans le chapitre suivant.

Les paragraphes suivants présentent néanmoins le processus d'évaluation des aspects humains et l'exploitation de ces aspects humains dans le but de formaliser l'influence des aspects humains sur la production. Cette formalisation permet d'envisager un rapprochement entre les fonctions de l'entreprise dédiées à la GRH et à la Production par la possibilité d'utiliser un modèle commun à ces deux fonctions.

1.2. Intégration du Climat social

Le climat social, présenté chapitre 2, fait référence aux notions de cohésion des groupes, de répartition du pouvoir dans l'atelier et de satisfaction des opérateurs humains. L'acquisition des données relatives au climat social et leur exploitation dans le modèle, présentées dans ce paragraphe, n'abordent pas l'intégralité de ces aspects humains mais détaille particulièrement la cohésion des groupes et la répartition du pouvoir.

¹ Ces relations sont abordées dans le paragraphe 2.1.2 du chapitre 2

1.2.1. Acquisition des données relatives au climat social

L'évaluation du climat social, présentée chapitre 2, fait intervenir les indicateurs de *Turn-Over* et d'*absentéisme*, dont le calcul est détaillé §2.3 chapitre 2 ; l'évaluation de la *satisfaction* des opérateurs humains, réalisée à partir des questionnaires et interviews ; et celles de la **cohésion** des groupes et de la répartition du **pouvoir** dans l'atelier, présentées dans les deux paragraphes suivants.

1.2.1.1. Evaluation de la cohésion des groupes

Chaque groupe d'opérateurs humains est associé à un attribut de cohésion dont l'évaluation est effectuée suivant deux étapes successives, Figure IV. 4 :

- Une évaluation de la **cohésion « a priori »** qui repose sur l'expression des *facteurs extrinsèques* de cohésion, présentés §2.2.1 chapitre 2 : influence des contrôles sociaux, dépendance hiérarchique ou fonctionnelle, réseaux de communication, statuts sociaux et cadres de référence individuels. Ces facteurs sont disponibles avant la formation du groupe, ce qui permet de disposer d'un indicateur de cohésion avant que le groupe ne soit mis en place. Cet indicateur peut intervenir dans le cadre des décisions relatives à la constitution de nouvelles équipes.
- Une évaluation de la **cohésion « a posteriori »** qui ne peut être réalisée qu'après la formation et la mise en service du groupe en question. Cette évaluation fait intervenir les *facteurs extrinsèques*, vus précédemment ; les *facteurs intrinsèques* d'ordre *socio-opératoire*, composés de la distribution et de l'articulation des rôles, de la conduite du groupe et du style de leadership constaté ; et les facteurs intrinsèques d'ordre *socio-affectifs* : attrait d'un but commun, attrait de l'action collective, attrait de l'appartenance au groupe, jeu d'affinités interpersonnelles, satisfaction des besoins personnels.

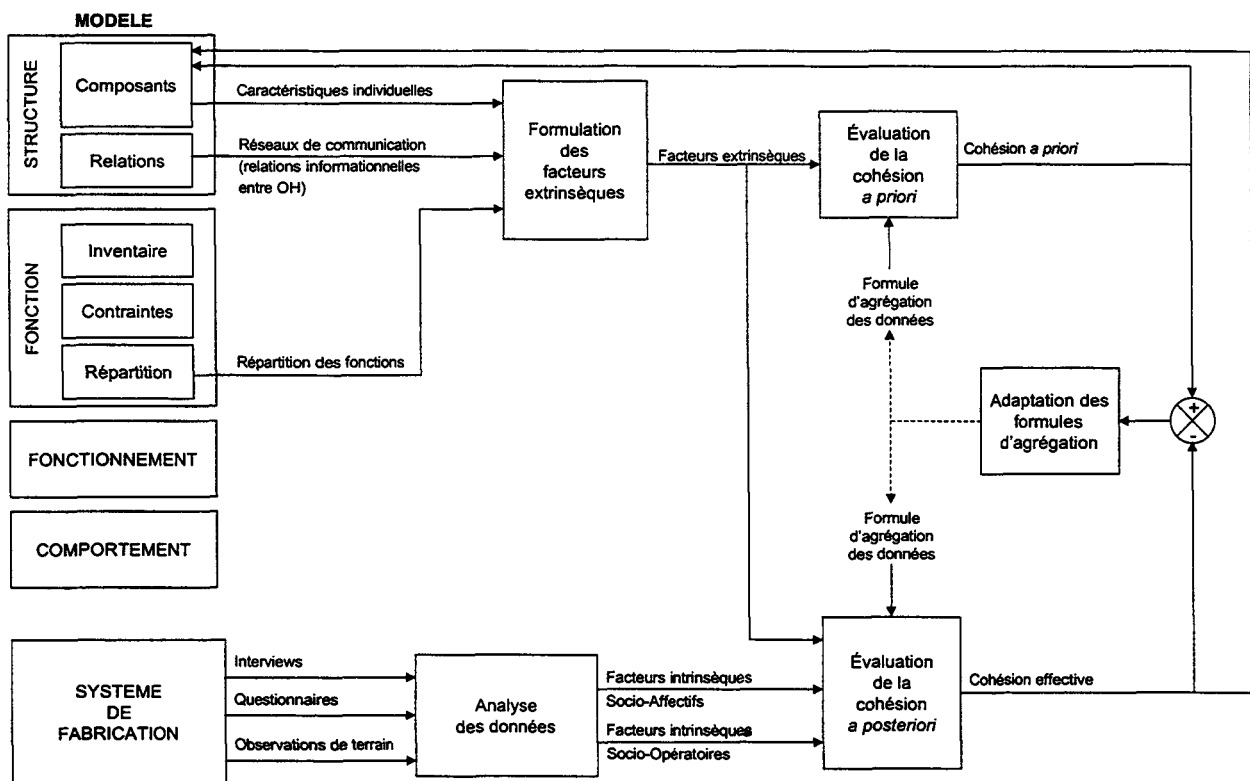


Figure IV. 4 : Processus d'évaluation de la cohésion des groupes

L'expression de la cohésion tient compte des relations interindividuelles, parmi lesquelles les relations hiérarchiques qui interviennent dans l'expression du pouvoir et de sa répartition dans l'atelier.

1.2.1.2. Répartition du pouvoir

La **répartition du pouvoir** dans l'atelier est évaluée à partir de l'expression d'un indice de pouvoir donnant lieu à un attribut calculé pour chaque opérateur humain à partir des éléments suivants, Figure IV. 5 :

- la **centralité** de l'individu dans les réseaux sociaux formés par l'atelier et les groupes auxquels il appartient. Cette centralité est calculée à partir des *relations* interindividuelles et hiérarchiques recueillies au niveau de modélisation *Structure*.
- Une évaluation des **sources de pouvoir** détenues par l'individu et correspondant à des compétences spécifiques, des informations essentielles pour l'entreprise, des relations privilégiées avec des acteurs importants de l'environnement de l'entreprise ou encore un usage « détourné » des règles organisationnelles, cf. §2.2.3 du chapitre 2.

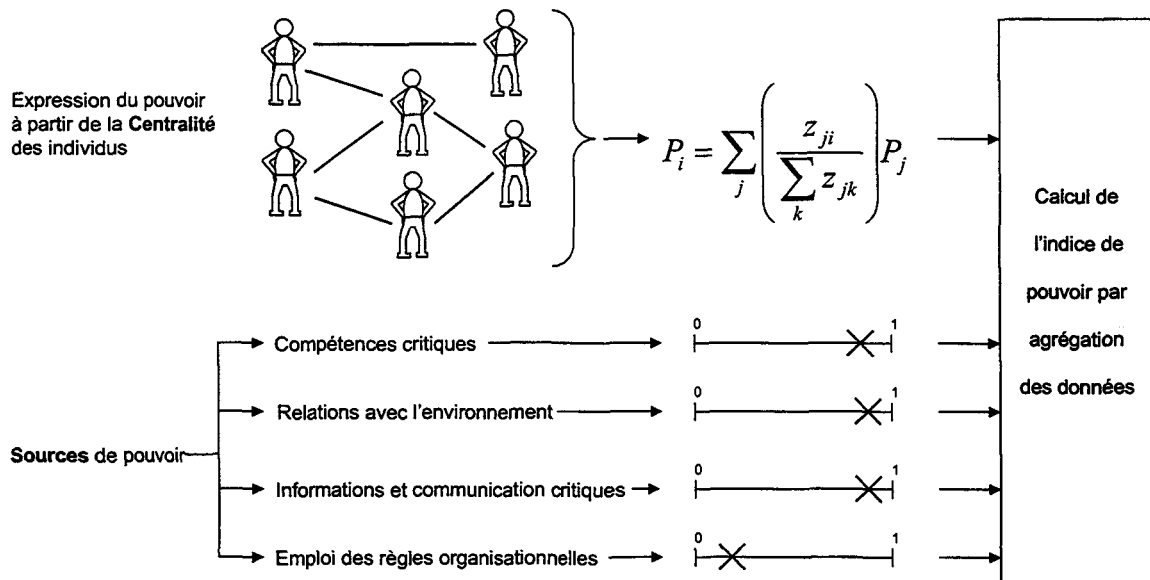


Figure IV. 5 : Evaluation d'un indice de pouvoir pour chaque opérateur humain

Le cas présenté Figure IV. 5 concerne un opérateur humain qui détient des connaissances et un savoir-faire importants qu'il est le seul à posséder dans l'entreprise. Il entretient des relations privilégiées avec certains clients et fournisseurs de l'entreprise dont il obtient des informations relativement importantes dans le cadre de la production. Il constitue un interlocuteur privilégié entre ces derniers et l'entreprise lors des négociations. L'entreprise doit veiller à conserver cet opérateur humain qui peut facilement négocier son départ vers une entreprise concurrente grâce à son réseau de relations et son expérience. Ceci lui confère du pouvoir quant à la revalorisation de son salaire et de son statut hiérarchique.

Les évaluations du pouvoir détenu par les individus au sein de l'atelier et de la cohésion des groupes influencent, directement ou indirectement, les performances de production de l'atelier, ce qui fait l'objet du paragraphe suivant.

1.2.2. Influence du climat social

L'influence sur les niveaux de modélisation des aspects humains liés au climat social est représentée Tableau IV. 1. Elle traduit le fait que la cohésion, par exemple, favorise la quantité d'interactions dans le groupe et l'émergence de normes de fonctionnement. Ces normes de fonctionnement et la coopération entre les opérateurs humains du groupe se traduisent au niveau de modélisation *Fonctionnement*.

Aspect humain	Niveau affecté	Influence
Cohésion	Fonction	Durée et qualité de réalisation des fonctions
	Fonctionnement	Normes de fonctionnement et coopération entre les opérateurs humains
Pouvoir	Structure	Relations entre les opérateurs humains
	Fonction	L'affectation des fonctions impliquant des responsabilités peut être effectuée en tenant compte des indices de pouvoir de chaque opérateur humain
	Fonctionnement	Influence de contrôle des supérieurs hiérarchiques sur le fonctionnement d'un groupe. Possibilité de freinages et de blocages
Satisfaction	Fonction	Influence sur la motivation (cf. paragraphe suivant)
Conditions de travail	Structure	Influence de la charge de travail, du niveau sonore dans l'atelier, de l'ergonomie du poste de travail sur les niveaux de stress et de fatigue des opérateurs humains
	Fonctionnement	Risque d'erreurs procédurales dues à une forte charge de travail
	Comportement	Risque d'accidents et d'incidents liés à la fatigue et au stress
Absentéisme	Structure	Modification de la structure des groupes de l'atelier
	Fonction	Restriction du nombre d'opérateurs humains pour l'ordonnancement des tâches
Turn-Over	Structure	Modification des caractéristiques des groupes
	Fonction	Le recrutement d'opérateurs humains non formés nécessite une période de formation et d'apprentissage qui affecte les durées et qualité de réalisation des fonctions
	Fonctionnement	La transmission de savoirs vers les nouveaux opérateurs humains modifie le fonctionnement qui intègre alors des processus supplémentaires contribuant à son apprentissage : démonstrations et explications des opérations par les opérateurs humains formés

Tableau IV. 1 : Influence des aspects humains du climat social sur les niveaux de modélisation

De même, une concentration de pouvoir, sur un groupe ou un opérateur humain, associée à une insatisfaction peut mener à un freinage, voire un blocage, qui se concrétise sur la qualité et la durée de réalisation d'une ou plusieurs fonctions résultant d'une forte variation entre le fonctionnement prescrit et le fonctionnement effectif. La satisfaction intervient également dans les mécanismes de la motivation humaine, Tableau IV. 1. C'est pourquoi les résultats des questionnaires et interviews utilisés pour l'évaluation de cette satisfaction sont également mis à contribution pour l'évaluation de la motivation des opérateurs humains.

1.3. Intégration de la motivation

Les processus de motivation humaine décrits dans MODMIL /KARSKY&al.-1996/, §3.1 chapitre 2, représente le niveau *Fonctionnement* associé à la Motivation intégrée au niveau *Fonction* de chaque composant « *Opérateur Humain* », Figure IV. 6.

La fonction **Motivation** fournit en sortie un niveau d'**implication** de l'opérateur humain associé aux différentes fonctions qu'il est chargé de réaliser au sein de l'atelier : fonctions de fabrication, de contrôle ou encore d'encadrement. Ces fonctions correspondent aux Actions Proposées qui constituent les entrées principales du modèle MODMIL, Figure IV. 6.

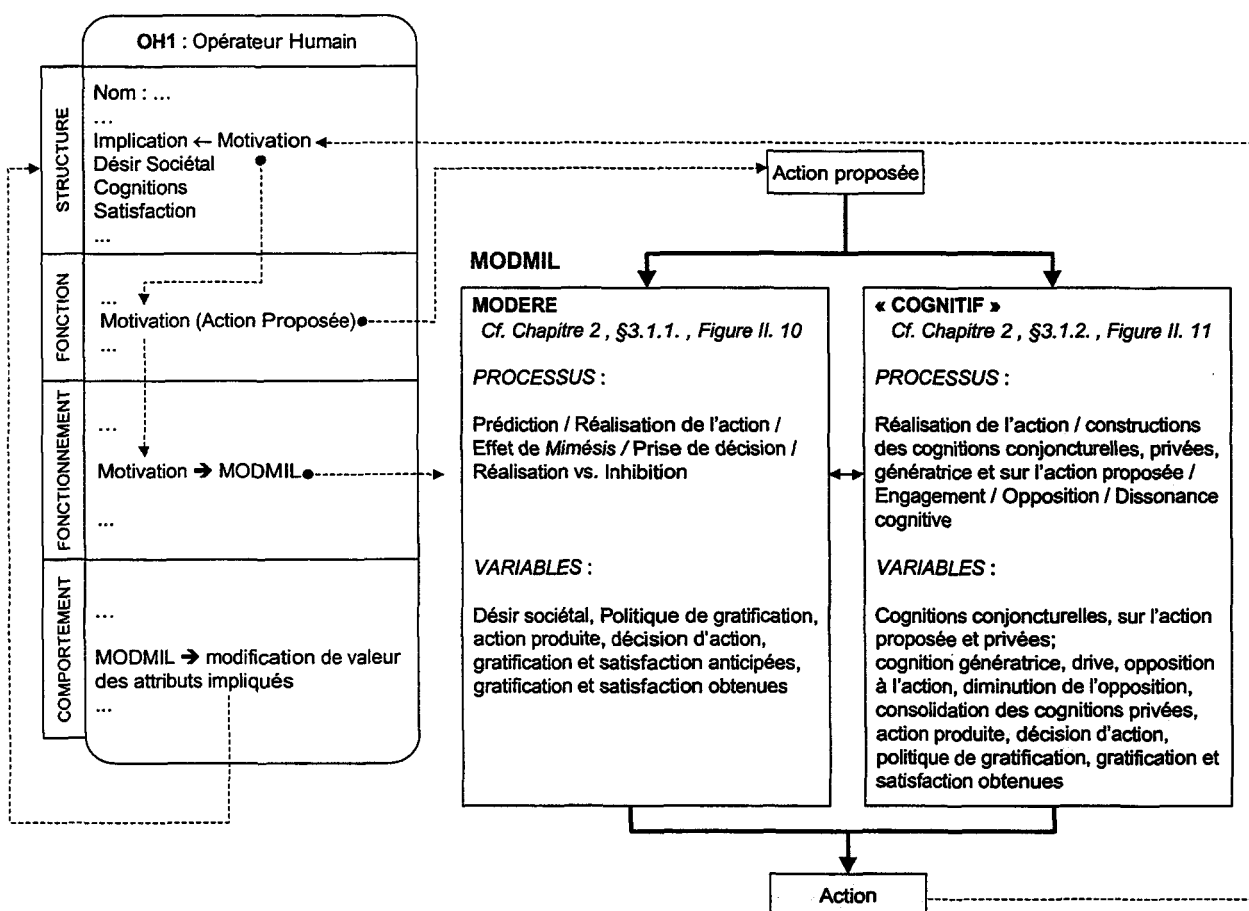


Figure IV. 6 : Intégration de la motivation dans la modélisation d'un opérateur humain

L'évaluation de ces niveaux d'implication nécessite d'évaluer auparavant les valeurs de nombreux attributs impliqués dans les processus de motivation, Figure IV. 6. L'acquisition de ces valeurs fait l'objet du paragraphe suivant après lequel seront abordées l'influence et les conséquences de cette implication sur les niveaux de modélisation.

1.3.1. Acquisition des données relatives à la motivation

Les processus de motivation humaine (cf. §3.1 chapitre 2), décrits dans le modèle MODMIL /KARSKY&al.-1996/, mettent en œuvre de nombreuses caractéristiques humaines, intégrées dans le modèle sous la forme d'attributs déclarés au niveau Structure associé au modèle de l'opérateur humain :

- les **besoins** et préférences des opérateurs humains définis en termes de complexité et diversité des tâches, charge de travail, relations interindividuelles, responsabilités et autonomie dans le travail. Ils font partie des attributs de chaque opérateur humain et sont évalués par le biais de questionnaires et d'interviews.
- le **désir sociétal**, exprimé à partir des attributs des opérateurs humains liés à son âge, son statut hiérarchique et ses besoins et désirs.

- l'expression des **cognitions** des opérateurs humains, déclinées dans MODMIL en cognitions *privées, conjoncturelles, génératrice* et sur l'Action Proposée. Les *valeurs* et les *normes* de groupe peuvent influencer ces *cognitions* et engendrer une dissonance cognitive, résultant d'un écart entre les *cognitions privées* et la *cognition génératrice* décrites dans MODMIL. Ce cas constitue une illustration de la **dimension collective** de la motivation humaine. Les formes de cognitions intégrées dans MODMIL sont illustrées lors de la mise en œuvre des niveaux de modélisation sur un groupe autonome de l'atelier d'assemblage de véhicules ferroviaires servant de support à l'application (§3.2.3, chapitre 4).

Les valeurs de ces attributs interviennent lors des processus de motivation humaine qui fournissent en sortie un niveau d'implication des opérateurs humains dans les fonctions qui leur sont confiées. Le processus d'évaluation de ces niveaux d'implication, intégrant celle des attributs impliqués dans la motivation humaine, est représenté Figure IV. 7 et fait l'objet d'une perspective de recherche, développée dans le chapitre 5, nécessitant une collaboration importante avec des spécialistes des Sciences Humaines et Sociales.

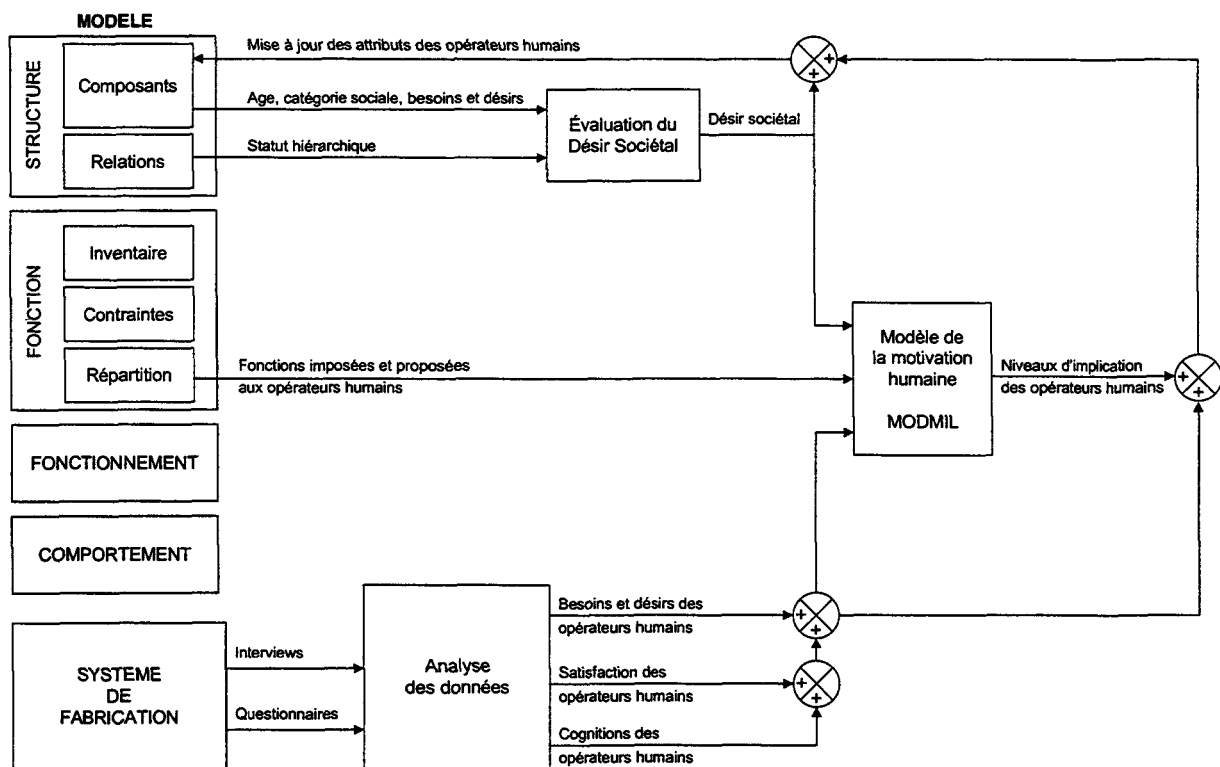


Figure IV. 7 : Processus d'évaluation de l'implication des opérateurs humains dans leurs fonctions

L'influence de cette implication des opérateurs humains dans la réalisation de leurs fonctions et les conséquences qu'elle peut engendrer font l'objet du paragraphe suivant.

1.3.2. Influence et conséquences de la motivation

La valeur de l'attribut « *Implication* » influence les durées d'exécution des actions de l'opérateur humain, le niveau de qualité qu'il fournit ou encore son taux d'absentéisme. Cet absentéisme peut d'ailleurs être interprété comme une manifestation du refus de l'opérateur humain à effectuer l'Action Proposée. La motivation engendre ainsi des conséquences intervenant sur les quatre niveaux de modélisation.

Les niveaux d'implication associés à chaque fonction, imposée ou proposée à l'opérateur humain, sont fortement influencés par sa motivation d'après le modèle MODMIL. L'analyse des processus de Motivation met en évidence l'importance de l'écart entre les **désirs** de l'opérateur humain d'une part, et les niveaux de **satisfaction** de ces désirs d'autre part. Cet écart *désir-satisfaction* constitue l'entrée du processus de « *Réalisation de soi* », dont la sortie exprime la *propension à l'action* de l'opérateur humain, et du processus de « *Frustration* » qui peut mener à une *inhibition* de sa motivation, Figure IV. 8.

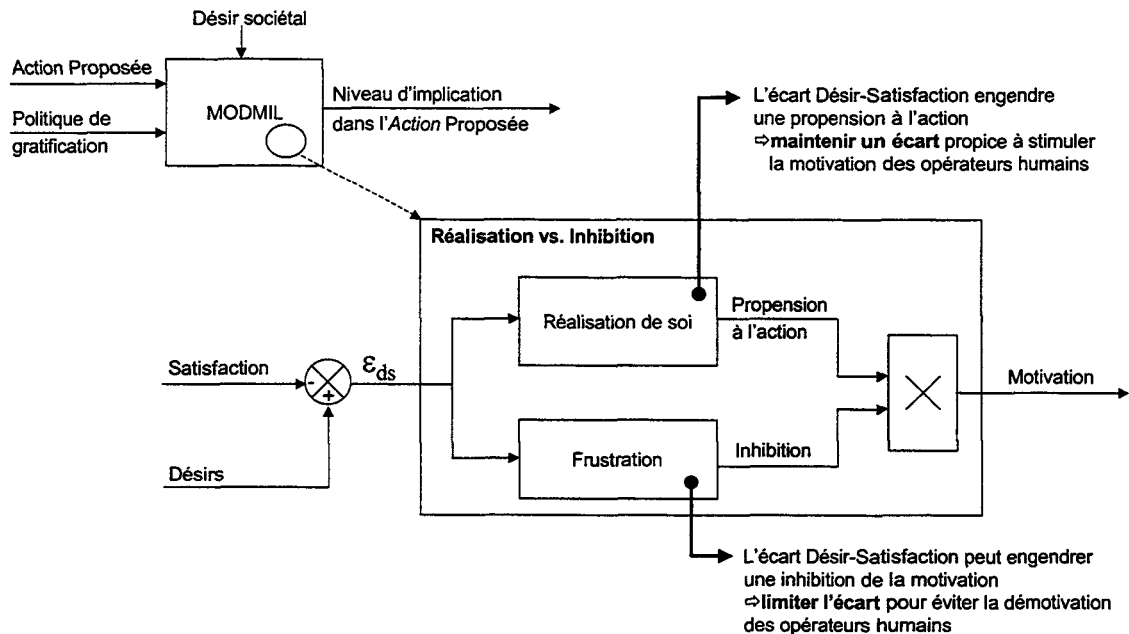


Figure IV. 8 : Transformation de l'écart désir-satisfaction en motivation, adapté de MODMIL

La gestion de la motivation suscite ainsi une régulation de l'écart *désir-satisfaction*. Le maintien d'un écart propice à la motivation constitue un dilemme vis-à-vis de la gestion du climat social qui cherche, quant à elle, à maximiser la satisfaction des individus dans une perspective de bien-être. Ce dilemme lié à la satisfaction des opérateurs humains mène à la recherche d'un compromis entre les gestions respectives du climat social et de la motivation.

La satisfaction des opérateurs humains s'exprime également en termes de rémunération et, plus généralement, de gratification. Le désir traduit alors les attentes de l'opérateur humain en matière de gratification et la satisfaction traduit la gratification reçue. La politique de gratification est établie en fonction du rôle que l'opérateur humain occupe dans l'atelier. Elle prend en considération les compétences acquises et utilisées par l'opérateur humain, ce qui constitue une relation forte entre la gestion de la motivation et la gestion des compétences des opérateurs humains.

1.4. Intégration des compétences

L'intégration des compétences dans les niveaux de modélisation aborde, dans un premier temps, les phases d'identification des compétences requises et d'évaluation des compétences acquises par les opérateurs humains ; puis, dans un second temps, l'utilisation des données relatives aux compétences dans le cadre des niveaux de modélisation.

1.4.1. Identification et évaluation des compétences

L'identification des compétences requises et l'évaluation des compétences acquises sont difficiles /HARZALLAH&al.-1999/. Le recueil et l'analyse des données sont relativement longue. Néanmoins, les phases d'identification et d'évaluation peuvent être optimisées progressivement par une capitalisation des connaissances.

L'identification des compétences requises permet d'établir un dictionnaire de compétences qui est réutilisable et peut être complété lors d'analyses ultérieures, Figure IV. 9. L'évaluation des compétences acquises, quant à elle, utilise le dictionnaire de compétences requises pour spécifier le contenu des interviews et questionnaires par le biais desquels sont évaluées les compétences acquises par les opérateurs humains, Figure IV. 9.

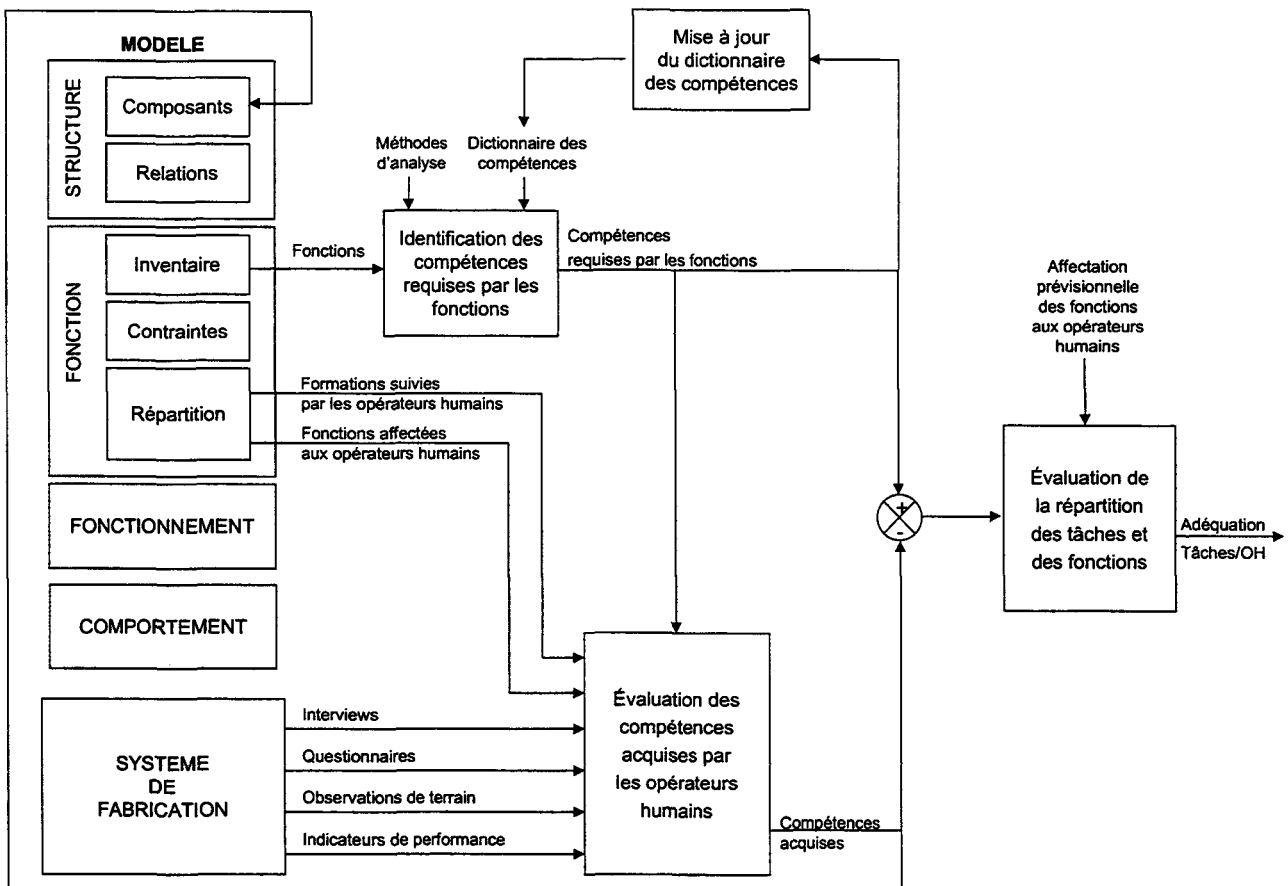


Figure IV. 9 : Evaluation de l'adéquation entre fonctions et Opérateurs Humains

L'évaluation des compétences acquises consiste à déterminer le niveau de maîtrise associé à chaque compétence détenue par les opérateurs humains. Ces niveaux de maîtrise sont déterminés par rapport aux critères caractéristiques des compétences requises : connaissances sur le produit, sur le processus de fabrication, maîtrise des machines, capacité à coopérer ou encore capacité à gérer les modes dégradés de fonctionnement.

La mise à jour des niveaux de maîtrise des compétences acquises par les opérateurs humains dépend des formations qu'ils suivent et de leur pratique des compétences requises par les tâches qu'ils réalisent. L'analyse des compétences acquises sur l'ensemble des opérateurs humains de l'atelier permet de détecter l'existence de compétences dites *critiques*, détenues par un nombre très restreint d'individus voire un opérateur humain unique. Ces compétences constituent des **ressources critiques** pour l'entreprise, qu'il

convient de déceler et de gérer spécifiquement, et des sources potentielles de **pouvoir**² pour les individus qui les détiennent. Les équipes d'opérateurs humains développent également des compétences, dites **compétences collectives**, qui se manifestent par leurs capacités d'organisation, de coopération, de coordination.

1.4.2. Exploitation des données sur les compétences

L'adéquation « *tâche-opérateur* » constitue un critère d'affectation des ressources humaines aux fonctions à réaliser. Cette adéquation est évaluée à partir d'un plan d'affectation prévisionnelle, Figure IV. 9. La comparaison entre plusieurs affectations prévisionnelles permet de déceler la meilleure au sens de l'utilisation des compétences. L'approfondissement des principes de gestion des compétences permet d'envisager la définition de critères et de règles destinés à générer automatiquement une *répartition optimale* au sens de l'utilisation des compétences, cf. annexe 7. Ces compétences interviennent dans les niveaux de modélisation suivants :

- le niveau *Fonctionnement*, dans lequel elles se traduisent dans la pertinence des prises de décision et la gestion de l'évolution des processus en fonction du contexte.
- le niveau *Comportement*, dans lequel elles expriment les tours de main et la maîtrise dont l'opérateur humain fait preuve dans la réalisation de ses actions.

La considération des niveaux de modélisation *Structure*, *Fonction*, *Fonctionnement* et *Comportement* contribue ainsi à l'intégration des aspects humains par leur **localisation** sur les niveaux, leur **formalisation** en tant qu'attribut ou fonction et leur **influence** sur le modèle global. Cette contribution à l'intégration des aspects humains dans la modélisation des systèmes de fabrication est illustrée dans le paragraphe suivant qui présente une application des niveaux de modélisation sur le cas réel d'un atelier d'assemblage de véhicules de transport ferroviaire.

2. MISE EN ŒUVRE DES NIVEAUX DE MODELISATION SUR UN ATELIER D'ASSEMBLAGE

La mise en œuvre des niveaux de modélisation sur l'atelier d'assemblage de véhicules ferroviaires nécessite une validation à partir de données qui n'ont pas pu être recueillies pendant la période d'observation pour des raisons de confidentialité et de limitation des moyens disponibles. En outre, cette campagne d'acquisition de données nécessite la collaboration de spécialistes en analyse de données et Sciences Humaines et Sociales, notamment pour la conception des questionnaires et la conduite des interviews. Cette phase de travail est présentée au chapitre 5 et constitue une perspective de ce travail en y associant les concepts de la théorie des sous-ensembles flous.

Cependant, notre campagne d'observation permet d'illustrer la démarche de modélisation, la mise en place des niveaux sur un cas d'application et leur utilité. La modélisation est appliquée sur une ligne de montage de l'atelier, présenté dans le paragraphe suivant.

2.1. Présentation d'un atelier d'assemblage de véhicules ferroviaires

Le cas d'application est un atelier d'assemblage de véhicules de transport ferroviaire. Cet atelier a fait l'objet d'une période d'observation de cinq semaines. Bien que cette durée soit limitée, elle fût néanmoins suffisante pour relever des situations qui mettent en évidence,

² cf. §2.2.3 du chapitre 2 sur la notion de pouvoir

d'une part, l'importance des aspects humains et, d'autre part, l'utilité de leur prise en compte pour l'amélioration des performances de l'atelier.

L'atelier compte 150 opérateurs humains qui réalisent la majorité des activités de fabrication. Le degré d'automatisation de l'atelier est très faible : ses ressources techniques se limitent à des ponts roulants, du matériel de levage, des perceuses et autres riveteuses. Le niveau d'intervention élevé de la composante humaine de l'atelier facilite l'observation des aspects humains et permet d'en saisir plus facilement l'importance, les conséquences qu'ils engendrent et l'intérêt de leur prise en compte.

Cette partie présente tout d'abord le **produit**, le **processus de fabrication** et les problèmes liés à la **synchronisation** du flux de produits. Celle-ci constitue une contrainte forte pour la production et la **composante humaine** de l'atelier contribue fortement au respect de cette synchronisation qui a mené à la mise en place de **groupes autonomes** destinée à améliorer la réactivité de l'atelier et la gestion des dysfonctionnements.

2.1.1. Constitution d'un véhicule de transport ferroviaire à deux niveaux

Un véhicule ferroviaire est composé de plusieurs dizaines de milliers de composants référencés. Ces composants sont de natures diverses : matériel pneumatique, électrique, pièces de garnissage, d'assemblage, etc. Ils sont répartis en toiture, dans la caisse et sous le châssis sur différentes zones, Figure IV. 10.

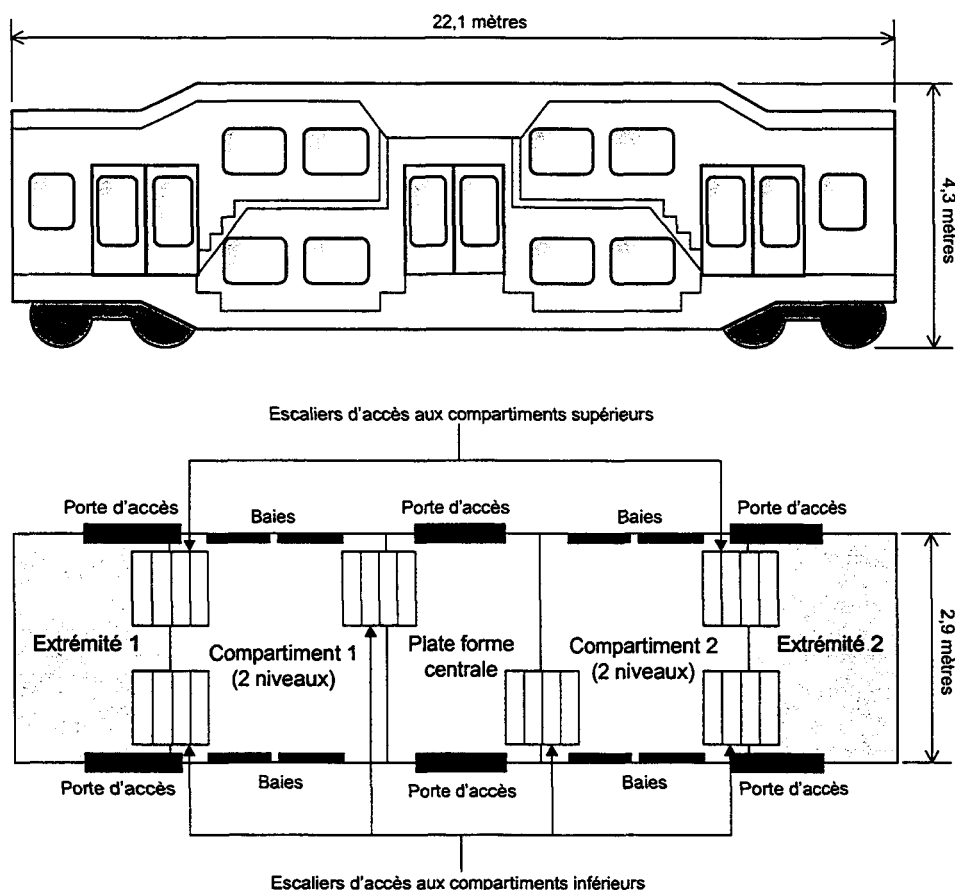


Figure IV. 10 : Représentation simplifiée d'un véhicule de transport ferroviaire à 2 niveaux

Les véhicules de transport à deux niveaux, fabriqués sur la ligne de produit qui a fait l'objet de la période d'observation, sont composés de deux extrémités, d'une plate forme centrale et de deux compartiments passagers composés de deux niveaux : les compartiments inférieurs et supérieurs, Figure IV. 10. La constitution d'un véhicule impose de nombreuses contraintes sur le processus de fabrication qui fait l'objet du paragraphe suivant.

2.1.2. Fabrication d'un véhicule de transport ferroviaire à deux niveaux

Le processus de fabrication d'un véhicule ferroviaire débute par des étapes de chaudronnerie qui réalisent le *châssis* et la *caisse* du véhicule, à partir de profilés et de tôles métalliques, puis l'assemblage du châssis et de la caisse composant le *chaudron*, qui constitue le « squelette » du véhicule. Ce chaudron, après avoir été mis en peinture, pénètre dans l'atelier observé, Figure IV. 11, pour le montage (Poste de Montage *PM18*) des planchers, des baies, de la tuyauterie intérieure et la pose du chemin de câbles électriques. Les étapes suivantes de la fabrication, Figure IV. 11, assurent successivement :

- le montage des escaliers d'accès aux niveaux supérieurs et inférieurs des compartiments voyageurs (*PM19*) ;
- le montage des portes d'accès, des cloisons coupe-feu et du module WC (*PM20*) ;
- le collage du revêtement de sol et une vérification de l'étanchéité du véhicule (*PM21*) ;
- le garnissage de la plate forme centrale et des compartiments voyageurs, Figure IV. 10, et le montage des alimentations pneumatiques pour les suspensions et les dispositifs de freinage et de fonctionnement des portes (*PM22/23*) ;

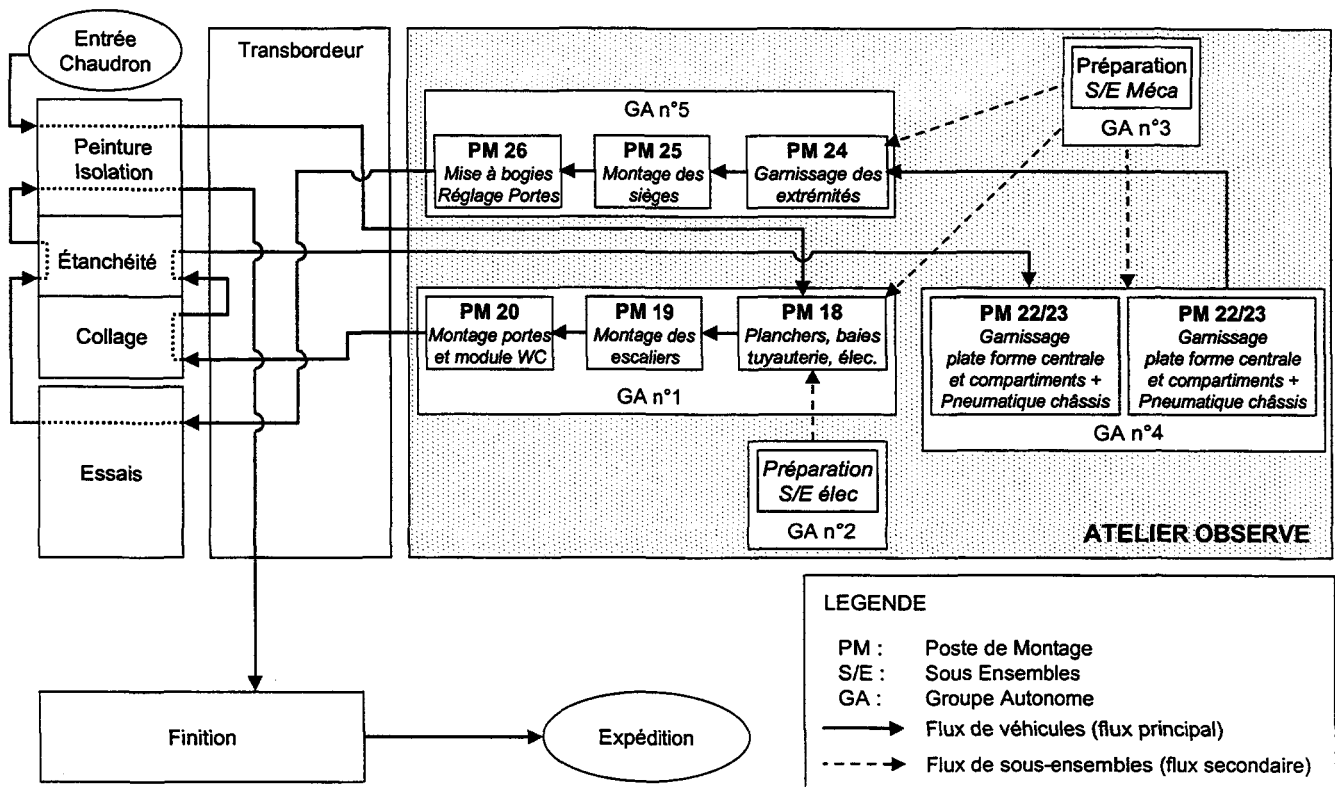


Figure IV. 11 : Flux de véhicules et implantation de l'atelier

- le garnissage des extrémités du véhicule, Figure IV. 10, le montage des rampes d'accès et le câblage en toiture (*PM24*) ;

- l'installation des sièges dans les compartiments voyageurs, les extrémités et la plate forme centrale (PM25) ;
- la mise à bogies définitive puis le réglage des portes (PM26).

Le véhicule fini, en sortie du PM26, est soumis aux essais et aux derniers contrôles, Figure IV. 11. Le déplacement des véhicules dans l'atelier est effectuée par le biais de voies de manutention ou de ponts roulants si la voie de manutention change d'un poste de montage au suivant (progression des PM22/23 au PM24, Figure IV. 11). Cette phase d'avancement des véhicules dans l'atelier implique une synchronisation du flux de véhicules, qui fait l'objet du paragraphe suivant.

2.1.3. Synchronisation du flux de véhicules

La répartition des opérations réalisées par les postes de montage sur le produit, Figure IV. 11, est effectuée de telle façon que les durées de montage soient identiques d'un poste de montage à un autre afin d'assurer la **synchronisation** du déplacement des véhicules dans l'atelier.

La durée d'immobilisation d'un véhicule sur un poste de montage était de quatre jours lors de la période d'observation. Cette période se situait en fin de commande, alors qu'en début de commande, la durée du cycle de fabrication de chaque poste de montage était de deux jours et leurs effectifs avaient été doublés afin d'être en mesure d'assurer la réalisation des opérations dans le temps imparti.

La réalisation de ces opérations peut être perturbée par l'apparition de dysfonctionnements engendrés par la non-conformité ou l'impossibilité de montage d'une pièce, un incident ou un accident, un montage mal effectué sur un poste de montage précédent ou encore un retard d'approvisionnement. Ces dysfonctionnements et la variabilité des temps de montage, due à la forte intervention humaine, peuvent avoir des conséquences sur la synchronisation de l'avancement des véhicules dans la ligne de montage, Figure IV. 12.

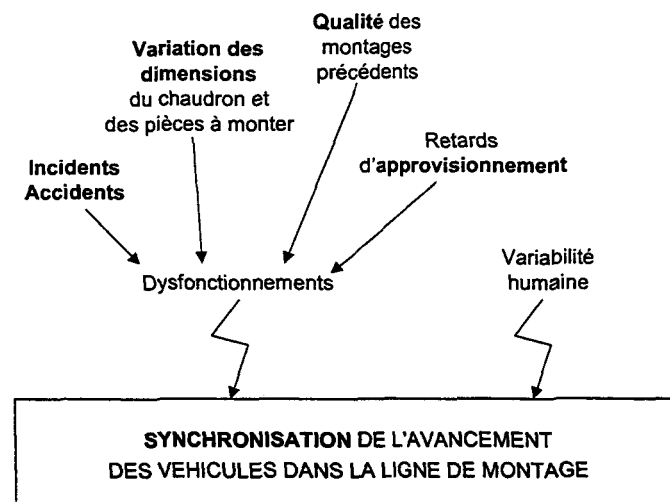


Figure IV. 12 : Perturbation de la synchronisation du flux de véhicules

Cette synchronisation est nécessaire pour appliquer la procédure de déplacement des véhicules dans l'atelier qui consiste à libérer le dernier poste de montage (PM26) en avançant le véhicule fini vers le transbordeur situé à l'extérieur de l'atelier, Figure IV. 11. Le déplacement du véhicule est assuré par un *locomoteur* qui le pousse sur une voie de manutention. L'emplacement libre sur le poste de montage (PM26) peut alors recevoir le

véhicule sur lequel ont été réalisées les opérations du poste de montage précédent (*PM25*), et ainsi de suite avec une transition plus longue pour le passage du *PM22/23* au *PM24* qui nécessite l'utilisation des ponts roulants.

Cette procédure peut parfois nécessiter une demi-journée et implique que chaque poste de montage ait achevé l'ensemble de ses opérations afin de pouvoir déplacer le véhicule vers le poste de montage suivant. Il est cependant difficile de maintenir la régularité des temps de fabrication exigée par cette procédure et la capacité d'adaptation et la réactivité des opérateurs humains sont largement mis à contribution pour y parvenir.

2.1.4. Importance de la composante humaine

Les opérations réalisées sur les véhicules ferroviaires sont **diversifiées**, **nombreuses** et souvent **spécifiques** au type de véhicule fabriqué. La moyenne d'âge des opérateurs humains dans l'atelier est d'environ quarante cinq ans et leur ancienneté d'une vingtaine d'années leur confère une expérience très significative et des connaissances précieuses sur les produits et les procédures de fabrication. Leurs capacités d'**adaptation** et d'**apprentissage**, leur **flexibilité**, leur **savoir-faire** et leur **réactivité** en font la ressource idéale pour la fabrication de véhicules de transport ferroviaire dont l'automatisation est difficilement envisageable.

2.1.4.1. Automatisation du montage des véhicules ferroviaires

L'automatisation des opérations réalisées dans l'atelier est difficilement envisageable, voire impossible. Elle serait justifiée pour la production de grandes séries, or une commande excède rarement la centaine de véhicules, ce qui correspond à une **petite série**. Une telle commande s'échelonne néanmoins sur **plusieurs années** car le temps de fabrication d'un véhicule, de la confection du chaudron au véhicule fini et contrôlé se chiffre en mois.

L'automatisation est également difficilement envisageable à cause des **variations de dimensions** entre les véhicules. Effectivement, des variations de plusieurs centimètres sont régulièrement constatées d'un chaudron à un autre, malgré des intervalles de tolérance relativement stricts. Les plus fortes variations sont généralement constatées sur la longueur du véhicule et restent néanmoins relativement faibles (de l'ordre de quelques centimètres) en rapport aux dimensions du véhicule, Figure IV. 10. De telles variations dimensionnelles ne permettent pas un assemblage automatique du véhicule à cause des nombreuses retouches à effectuer sur les pièces à monter dans le véhicule et des modifications fréquentes des procédures de montage en fonction des positions des éléments déjà montés.

De plus, la qualité du garnissage d'un véhicule prend en compte le critère d'**esthétique**. Ce critère est excessivement difficile à évaluer et seuls les opérateurs humains parviennent à l'intégrer et à le respecter.

L'automatisation permettrait néanmoins de limiter les variations des temps de fabrication dus à l'apparition fréquente de problèmes, dont la résolution implique fortement les opérateurs humains, et à la variabilité humaine qui se traduit par des fluctuations du temps de fabrication par rapport au temps standard estimé. Pour faciliter la gestion de ces problèmes et optimiser les performances de production, l'entreprise a choisi de réorganiser l'atelier et de mettre en place des **Groupes Autonomes**. L'implantation de ces groupes autonomes dans l'atelier est représentée Figure IV. 11 et la description d'un *groupe autonome* fait l'objet du paragraphe suivant.

2.1.4.2. Description d'un Groupe Autonome

Un *Groupe Autonome* est un sous-système de l'entreprise qui contribue à la poursuite de la finalité du système global. Le nombre d'opérateurs humains qui le composent est limité entre 5 et 20 individus. Cette restriction est destinée à fournir une stabilité maximum dans le groupe en rapport avec la dynamique des groupes restreints /ANZIEU&al.-1982/. Elle permet principalement de limiter l'émergence de meneurs au sein du groupe et de favoriser la libre expression de chaque opérateur humain afin de bénéficier de l'expérience et des connaissances de chacun. Le nombre effectif d'opérateurs humains dans les *Groupes Autonomes* de l'atelier n'excède généralement pas 15 personnes.

Le *Groupe Autonome* est approvisionné en matière par des *fournisseurs internes* et possède ses propres *clients*, qui sont généralement d'autres *groupes autonomes*. Il est chargé de gérer localement ses dysfonctionnements et de s'organiser afin de respecter les **objectifs** exprimés par l'équipe de direction en termes de **performances**. Ces performances, présentées dans le paragraphe suivant, sont mesurées par des indicateurs consultables en permanence par chaque opérateur humain.

La gestion du *groupe autonome* est assurée en interne par les opérateurs humains parmi lesquels sont nommés un **animateur** et des responsables de la **qualité**, de la **sécurité**, de la **maintenance** et du **budget** réservé à l'achat des petites fournitures (lunettes de protection, gants, etc.), Figure IV. 13. La mise en place de ces postes de responsables, qui sera analysée suivant le point de vue de la motivation humaine au §3.2.1.3 de ce chapitre, permet de gérer localement les sources de dysfonctionnement présentées Figure IV. 12 :

- la gestion de la **sécurité** et de la **maintenance** contribuent à la réduction des incidents et accidents dus à des prises de risques ou des défaillances matérielles. Le responsable de la maintenance assure la *maintenance de premier niveau* (entretien du petit matériel) et le responsable de la sécurité assure la prévention auprès des membres du groupe, analyse les situations qui ont mené à des accidents par l'élaboration d'arbres des causes, détecte les situations à risque et propose des solutions pour renforcer la sécurité des membres au sein du *groupe autonome*.
- la gestion de la **qualité** contribue à la détection et à l'identification des sources de non qualité. Elle consiste également à compléter l'autocontrôle des opérateurs humains par un contrôle du responsable.

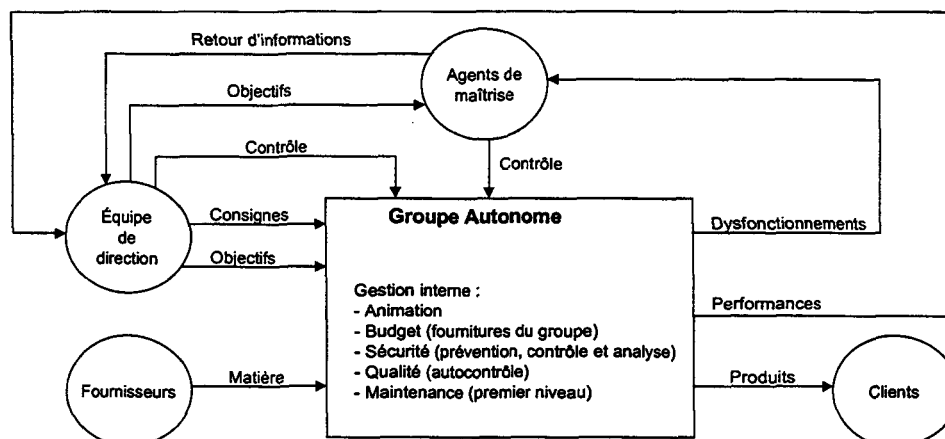


Figure IV. 13 : Le groupe autonome et son environnement

Des agents de maîtrise procèdent également à un contrôle qualité supplémentaire. Ces agents de maîtrise, au nombre de quatre dans l'atelier, ne sont pas rattachés à un *groupe*

autonome particulier mais interviennent sur l'ensemble de la ligne de fabrication. Ils sont également sollicités lors de l'apparition de dysfonctionnements importants et jouent le rôle d'interface entre les groupes autonomes et l'équipe de direction, Figure IV. 13.

L'animateur et les responsables de la sécurité, de la qualité, de la maintenance et du budget constituent des interlocuteurs privilégiés pour l'équipe de direction en cas d'apparition de problèmes importants relatifs au domaine qu'ils gèrent. Cette équipe de direction fixe des objectifs relatifs à la qualité, la sécurité, la maintenance et budget des groupes autonomes dont le suivi est assuré par le biais d'indicateurs de performances, présentés dans le paragraphe suivant.

2.1.4.3. Performances d'un Groupe Autonome

Les résultats du Groupe Autonome sont mesurés par des indicateurs de performances caractérisant la productivité, le rangement et la propreté, la sécurité, le nombre de retouches, le suivi qualité, le budget et l'absentéisme. Ces indicateurs permettent d'assurer le suivi des performances du groupe et le respect des objectifs qui lui sont fixés.

Deux rubriques supplémentaires du panneau d'indicateurs, intitulées **plan de progrès** et **spécificité du groupe**, contribuent à l'optimisation des performances du *groupe autonome*. Elles se rapportent respectivement aux **idées** émises par le groupe autonome, dans une perspective d'amélioration de performances, et à la **polyvalence** des opérateurs humains à leurs souhaits en termes de formation.

Le *plan de progrès*, dont le principe est similaire à celui des *boîtes à idées*, est souvent considéré comme un indicateur de motivation d'après le principe suivant lequel le niveau de motivation est proportionnel au nombre d'idées émises. Néanmoins, la validité de cet « *indicateur de motivation* » est remise en question car le nombre d'idées émises décroît logiquement au cours des années passées sur la commande et les opérateurs humains réalisent souvent des actions d'amélioration sans les reporter sur le plan de progrès. Le *plan de progrès* ne constitue donc pas un indicateur fiable de la motivation dans les groupes autonomes. Il demeure néanmoins un excellent moyen pour l'implication des opérateurs humains dans l'optimisation des performances du groupe autonome.

Cette implication se concrétise également dans la rubrique « *Spécificité du groupe* » par l'expression des souhaits des opérateurs humains en matière de formation. Ceux-ci expriment leur volonté d'acquérir de nouvelles compétences, ce qui permet d'envisager un accroissement de flexibilité et le relâchement de certaines contraintes d'ordonnement.

La rubrique « *Spécificité du groupe* » indique les corps de métier présents sur le groupe autonome -garnisseurs, électriciens, peintres, etc.- et les effectifs par métier. Elle se présente sous la forme d'un tableau dans lequel figurent les gammes de fabrication et les opérateurs humains du groupe autonome. Ce tableau décrit la maîtrise des gammes de fabrication par les opérateurs humains –un opérateur humain « *sait* » ou « *ne sait pas* » réaliser une gamme- et l'évolution de leur formation –un opérateur humain a émis une « *demande de formation* » ou est « *en cours de formation* » pour acquérir les connaissances et le savoir-faire pour la réalisation d'une gamme.

Ce tableau met en évidence les **métiers dominants** au sein du groupe autonome, principalement le garnissage pour l'atelier observé, et permet également de visualiser la **polyvalence** dans le groupe ainsi que les **efforts de formation**. Les données de ce tableau peuvent être utilisées dans le cadre de la mise en place d'une gestion des compétences des opérateurs humains. Effectivement, le tableau « *Spécificité du groupe* » précise la nature des opérations réalisées par les opérateurs humains et la partie du véhicule sur laquelle ils

travaillent. Ces deux informations se rapportent à des domaines de compétences³, Figure IV. 14, et le nombre d'heures passées par les opérateurs humains sur les différentes gammes fournit une indication sur leur niveau de maîtrise des connaissances et savoir-faire relatifs aux domaines de compétences abordés par ces gammes.

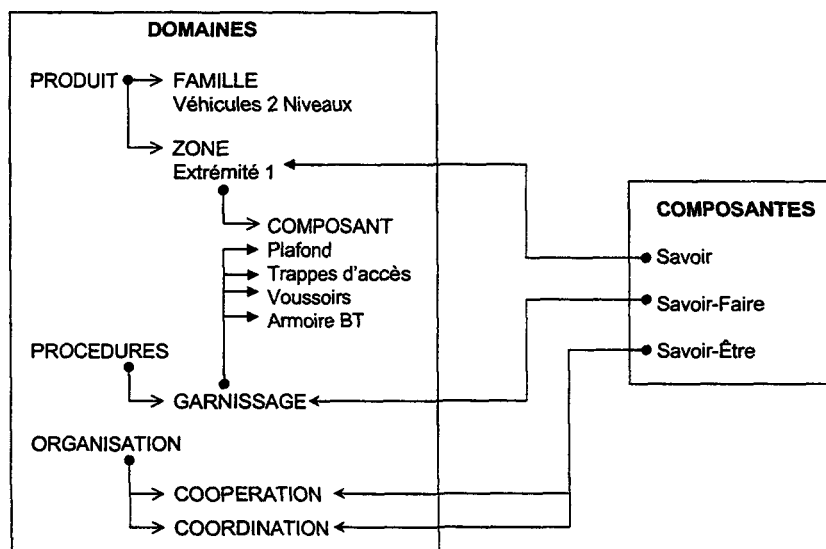


Figure IV. 14 : Illustration des domaines de compétences observés dans l'atelier

La description de l'atelier, réalisée dans cette partie, permet de procéder à la mise en œuvre des niveaux de modélisation sur ce cas d'application. Cette application a pour but d'illustrer la modélisation des niveaux Structure, Fonction, Fonctionnement et Comportement et de démontrer la possibilité d'intégration des aspects humains dans ces niveaux.

2.2. Application des niveaux de modélisation sur l'atelier observé

La mise en œuvre des niveaux de modélisation sur l'atelier d'assemblage de véhicules ferroviaires est présentée dans ce paragraphe. Les niveaux de modélisation *Structure*, *Fonction* et *Fonctionnement* sont appliqués successivement sur l'atelier et sur une de ses lignes de montage.

Cette mise en œuvre n'est pas complète, pour des raisons de limitation de moyens et de temps. Elle n'aborde pas le niveau de modélisation *Comportement* car le renseignement des *Matrices Actions-Flux* de ce niveau *Comportement* nécessite la modélisation des relations et attributs de l'intégralité des composants intervenant dans le modèle, et l'obtention de ces *Matrices Actions-Flux* nécessite la modélisation complète du niveau *Fonctionnement*. Ce paragraphe permet néanmoins d'illustrer l'application des niveaux de modélisation *Structure*, *Fonction* et *Fonctionnement* sur un cas industriel et l'interaction entre ces niveaux de modélisation sur l'exemple d'un retard de fabrication rencontré lors de la période d'observation de l'atelier.

2.2.1. Composants de l'atelier et fonctions associées

L'atelier d'assemblage de véhicules de transport ferroviaire est composé d'une *équipe de direction*, qui assure l'ordonnancement et le pilotage de la production ainsi que

³ cf. §4.1 chapitre 2

l'encadrement des Groupes Autonomes, d'un ensemble de *lignes de montage*, réduit à une ligne unique par souci de simplification, et d'un *groupe d'opérateurs humains* répartis parmi ces lignes de montage, Figure IV. 15.

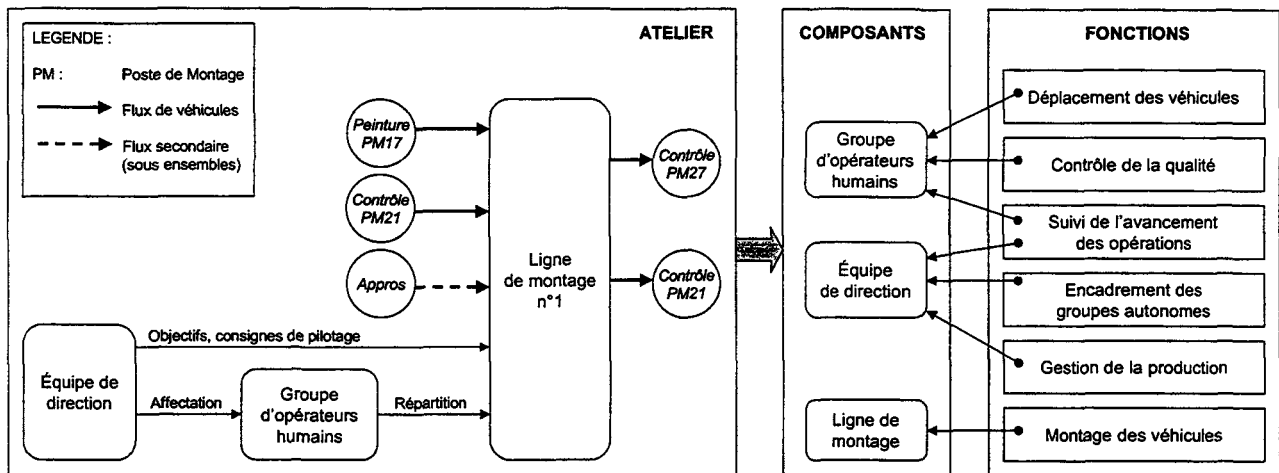


Figure IV. 15 : Composants de l'atelier et fonctions associées

Les *contrôleurs qualité* et les *agents de maîtrise* font partie de ce groupe d'opérateurs humains et sont respectivement chargés des fonctions de *contrôle*, appliquées sur l'ensemble des lignes de montage implantées dans l'atelier, et d'*encadrement*, consistant à relever les dysfonctionnements, à participer à leur résolution et à informer l'équipe de direction sur leur apparition, leur description et leur résolution. Les fonctions affectées à ces contrôleurs et agents de maîtrise sont définies au niveau de l'atelier, Figure IV. 15, alors que les fonctions affectées aux autres opérateurs humains sont déclarées au niveau des lignes de montage.

Ces *lignes de montage* assurent la fabrication d'un *type particulier* de véhicule. Le processus de fabrication, associé à la réalisation de la fonction « Montage des véhicules », est défini par le bureau des méthodes et l'équipe de direction. Ce processus définit les opérations à appliquer sur le véhicule, telles que le montage des planchers, l'installation de dispositifs pneumatiques ou encore le garnissage des extrémités du véhicule, Figure IV. 16. L'analyse de ce processus de fabrication et la définition des fonctions réalisées au sein des lignes de montage font l'objet du paragraphe suivant.

2.2.2. Définition de fonctions à partir du processus de montage des véhicules

La réalisation de la fonction « *Montage des véhicules* » est représentée Figure IV. 16 dans le formalisme IDEF3. Ce fonctionnement résulte d'analyses effectuées par l'équipe de direction et le bureau des méthodes qui ont choisi de grouper certaines opérations et ont affecté leur réalisation à des groupes autonomes.

Le choix du groupement des opérations et de leur parallélisme fixe le *temps de cycle* de montage des véhicules. L'optimisation de ce temps de cycle consiste à maximiser le nombre d'opérations réalisées en parallèle et à minimiser les déplacements des véhicules dans l'atelier, Figure IV. 17. Effectivement, chaque déplacement des véhicules provoque une interruption du processus de fabrication et une augmentation du délai de fabrication, comme indiqué sur le diagramme de Gantt de l'Annexe 8 représentant l'ordonnancement des tâches de la ligne de montage.

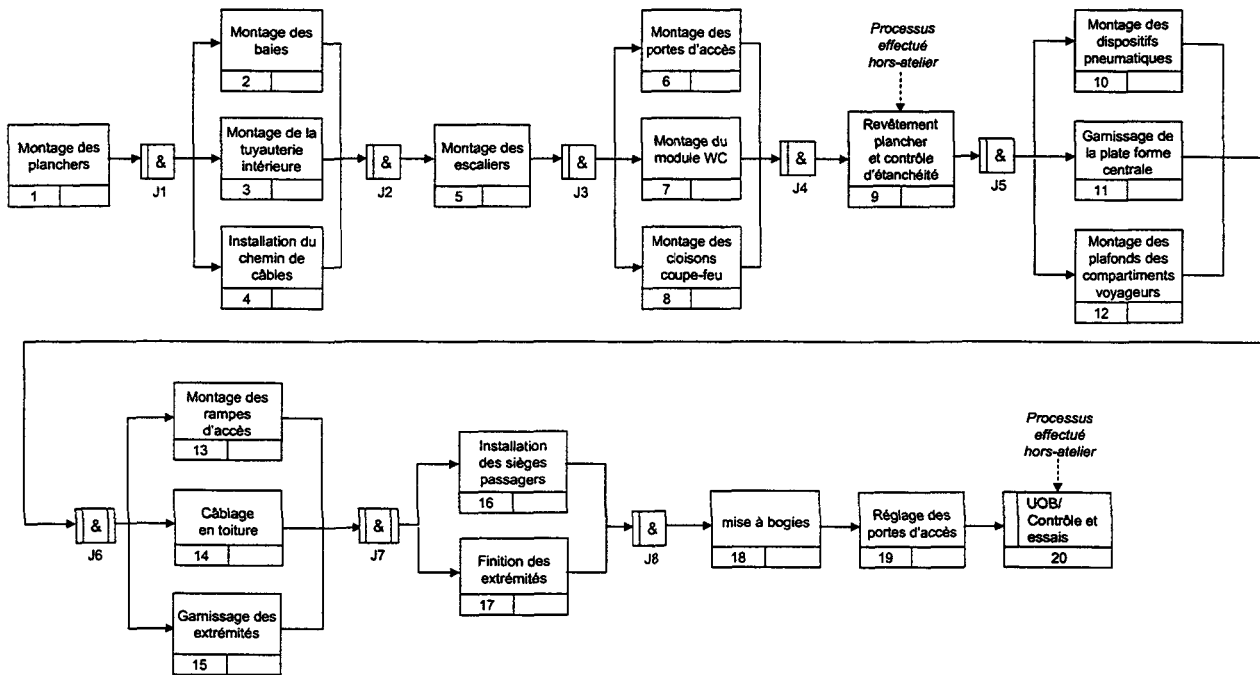


Figure IV. 16 : Représentation simplifiée du processus de fabrication d'un véhicule sous le formalisme IDEF3

Le formalisme IDEF3 permet de représenter le parallélisme l'activation conditionnelle des processus par le biais des jonctions, repérées J_i Figure IV. 16. Il permet également de formaliser les liens de précedence et de succession stricte des processus, Annexe 4. La description détaillée du processus de fabrication dans ce formalisme permet d'envisager son optimisation par la mise en évidence des opérations dont les contraintes de précedence autorisent le parallélisme, Figure IV. 17.

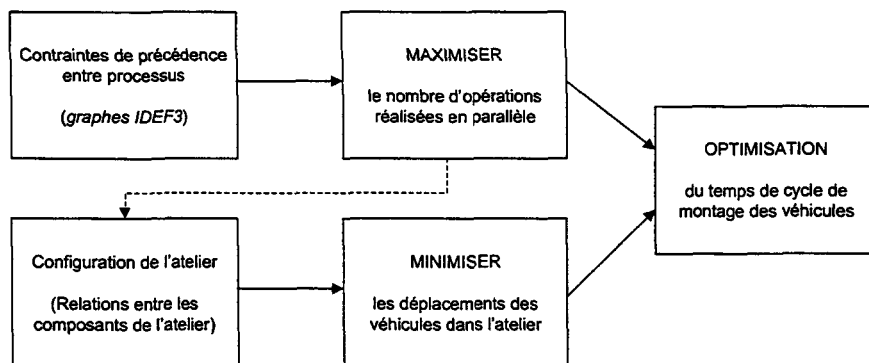


Figure IV. 17 : Démarche d'optimisation du temps de cycle de montage des véhicules

La modélisation et l'analyse du processus de fabrication permettent ainsi d'envisager une optimisation du délai de fabrication des véhicules. Chaque processus de la Figure IV. 16 donne lieu à une description plus détaillée qui permet de faire apparaître des variations sur le déroulement d'un même processus réalisé par des opérateurs humains différents. Ces variantes de processus peuvent être engendrées par différentes causes telles que :

- des conditions de travail différentes engendrées, par exemple, par une pression temporelle plus élevée. La charge de travail des opérateurs humains était relativement faible lors de la période d'observation et ces derniers consacraient plus de temps et d'attention à leurs opérations. Certaines opérations de finition étaient

apparemment négligées lorsque la charge de travail était plus élevée, suivant les remarques des opérateurs humains.

- des choix spécifiques aux préférences et savoir-faire de l'opérateur humain qui peut attacher plus ou moins d'importance aux critères de productivité, de qualité ou encore de sécurité. Un opérateur humain privilégiant la qualité de son travail passera généralement plus de temps sur ses opérations qu'un opérateur humain privilégiant la productivité. Cette hypothèse a été confirmée lors de la période d'observation. Le compromis entre ces différents critères fait d'ailleurs l'objet de recherche en sûreté de fonctionnement /POLET&al.-2000/.
- une simplification des opérations réalisées sollicitée par l'état psychologique et physiologique de l'opérateur humain qui cherche à réduire sa charge de travail.

Le processus de fabrication décrit Figure IV. 16 ne permet pas de visualiser ce genre de variante de processus mais permet de définir les fonctions qui seront affectées aux groupes autonomes constituant les lignes de montage. Les composants de ces lignes de montage et les fonctions qu'ils réalisent font l'objet du paragraphe suivant.

2.2.3. Composants d'une ligne de montage et fonctions associées

Les lignes de montage sont composées de groupes autonomes, Figure IV. 18. Ces groupes autonomes assurent des fonctions de fabrication mais également, comme vu précédemment, la gestion de la qualité, de la sécurité, du budget, de la maintenance et l'animation du groupe. Ces différentes fonctions, représentées pour un groupe autonome Figure IV. 18, sont affectées à des opérateurs humains du groupe autonome et à des postes de montage parmi lesquels sont répartis ces mêmes opérateurs humains.

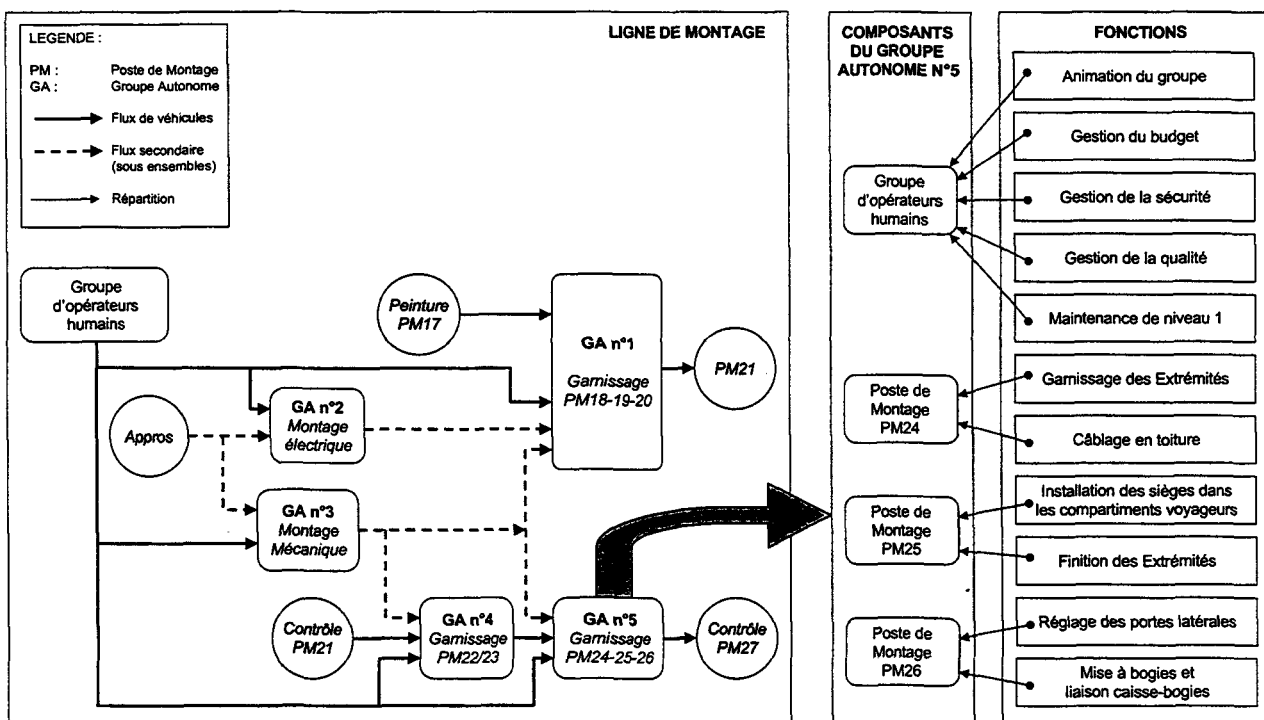


Figure IV. 18 : Composants d'une ligne de montage et fonctions associées à un groupe autonome

Les postes de montage des groupes autonomes rencontrent parfois des difficultés pour réaliser les fonctions qui leur sont affectées dans le temps prévu à cet effet. Un retard important sur un poste de montage peut provoquer une perturbation de la synchronisation du

flux de véhicules dans l'atelier, Figure IV. 12. L'exemple d'un tel retard sur un poste de montage fait l'objet du paragraphe suivant et permet d'illustrer l'interaction entre les niveaux de modélisation.

2.2.4. Exemple d'un retard de fabrication

Le retard d'un poste de montage n'est pas exceptionnel et nécessite une grande réactivité de la part du Groupe Autonome et de l'équipe de direction pour prendre les décisions efficaces qui permettront d'éviter une propagation du retard au reste de la ligne. Un suivi régulier de l'avancement des opérations, assuré par les agents de maîtrise, et l'expérience et les retours d'information des opérateurs humains permettent de détecter et d'anticiper les éventuels problèmes dans le but de maintenir la synchronisation de l'avancement des véhicules dans la ligne.

La Figure IV. 20 illustre une situation rencontrée lors de la période d'observation. Cette situation correspond à un retard provoqué par une absence de pièces et une impossibilité de montage d'un panneau de garnissage. Ces dysfonctionnements ont bloqué la progression des opérations du poste de montage et, par conséquent, la durée de réalisation de la fonction de montage affectée au groupe autonome, Figure IV. 20.

Le retard accumulé sur le poste de montage a été corrigé au sein du groupe autonome par le déplacement du poste de montage en retard vers le poste de montage suivant. Dans le cas de retards trop importants, une réorganisation temporaire du groupe autonome, voire de la ligne de montage, peut être envisagée. Une telle mesure correspond à une modification de la structure de la ligne de montage, Figure IV. 20.

L'apparition et la détection des dysfonctionnements interviennent au niveau de modélisation *Comportement*. L'absence d'une pièce dans un stock est constatée lors de l'action, consistant à prendre cette pièce dans le stock. L'impossibilité de montage est également constatée lors de l'action de montage ou lors d'un contrôle de conformité de la pièce à monter et des dimensions du véhicule effectué par l'opérateur humain. Ces dysfonctionnements engendrent le basculement du processus d'un mode de fonctionnement normal vers un mode de fonctionnement dégradé qui met en œuvre d'autres processus destinés à récupérer la situation dégradée et à revenir vers le mode de fonctionnement normal, Figure IV. 19.

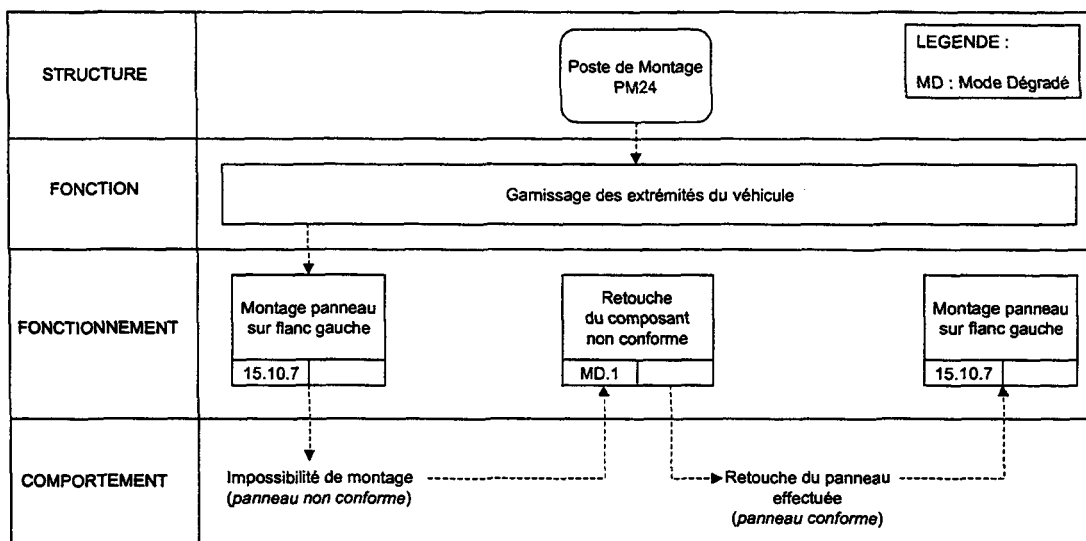


Figure IV. 19 : Exemple d'activation d'un mode de fonctionnement dégradé

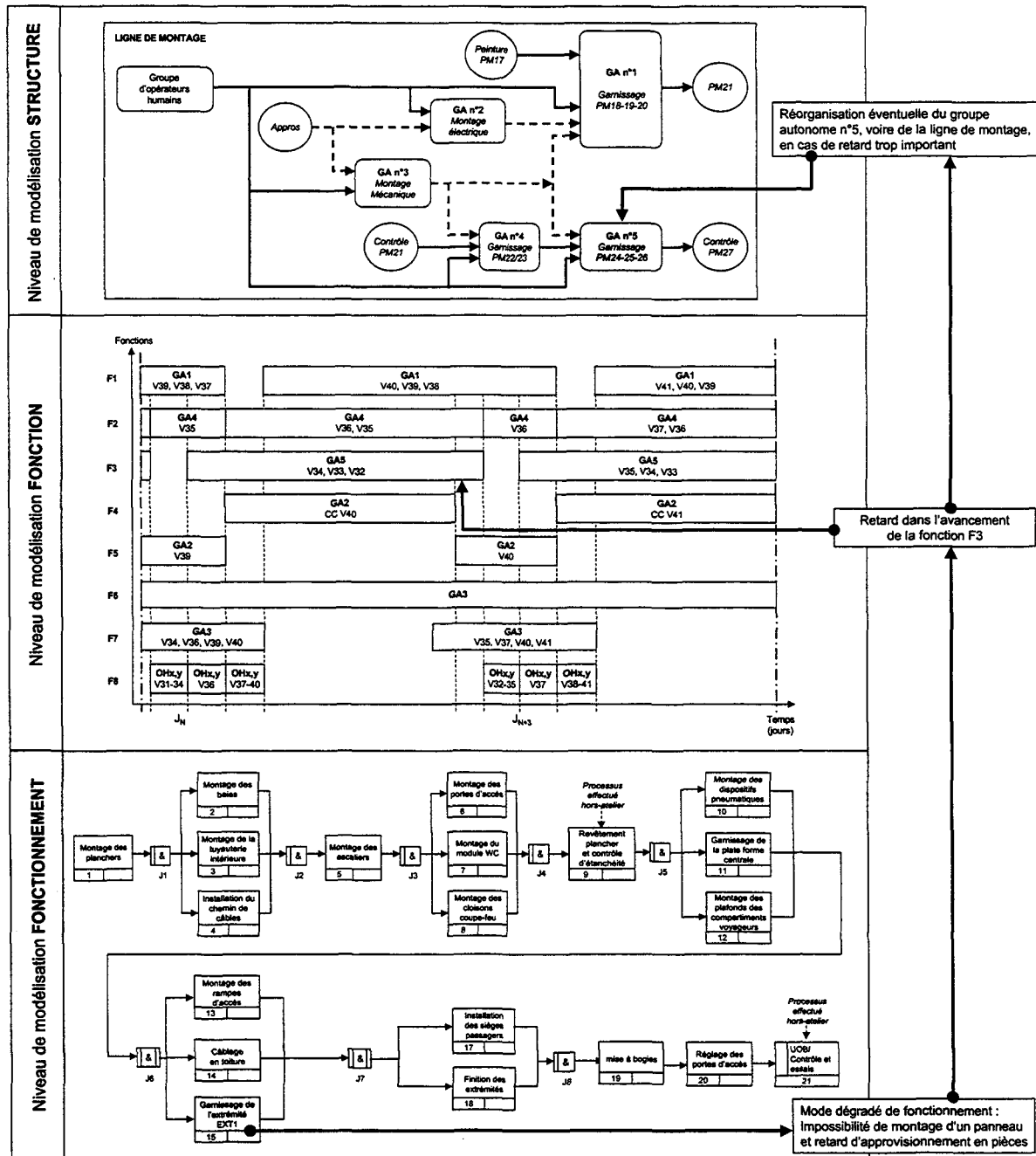


Figure IV. 20 : Interactions entre les niveaux de modélisation dans le cas d'un retard de fabrication

Le niveau de modélisation *Comportement* n'a pas été abordé dans cette partie sur la mise en œuvre des niveaux car il nécessite une modélisation détaillée des composants de l'atelier et des processus de fabrication. Cette modélisation n'ayant pas pu être effectuée, le niveau *Comportement* devra faire l'objet d'approfondissements et d'une application sur un exemple plus simple.

3. APPORTS ET LIMITES DE LA MODELISATION

Les niveaux de modélisation *Structure*, *Fonction*, *Fonctionnement* et *Comportement*, proposés au chapitre 3, permettent d'intégrer les aspects humains présentés chapitre 2.

Cette intégration des aspects humains dans la modélisation des systèmes de fabrication permet d'envisager le rapprochement des fonctions de l'entreprise dédiées à la Production et à la Gestion des Ressources Humaines par l'utilisation d'un modèle commun à ces deux fonctions.

Cette intégration n'est cependant pas exhaustive mais permet néanmoins d'appréhender les principaux facteurs humains intervenant dans les définitions du climat social, de la motivation et des compétences. Les deux paragraphes suivants abordent successivement la contribution des niveaux de modélisation au rapprochement des fonctions Production et GRH puis la pertinence de la proposition par l'analyse des écarts constatés entre les aspects humains intégrés dans les niveaux de modélisation et les observations réalisées sur le cas d'application.

3.1. Rapprochement des fonctions GRH et Production

La Gestion des Ressources Humaines ne fait pas l'objet d'un service dédié dans l'entreprise observée qui justifie uniquement d'un service du personnel chargé des aspects administratifs. Cependant, la GRH constitue une préoccupation importante pour l'équipe de direction de l'atelier qui effectue des **entretiens** annuels avec chaque opérateur humain. Ces entretiens permettent de faire le point sur les formations qu'ils ont suivies, les compétences qu'ils possèdent et d'exprimer leurs souhaits et remarques vis-à-vis de leur travail. La prise en compte de ces informations par l'équipe de direction contribue directement à la Gestion des Ressources Humaines de l'atelier, Figure IV. 21.

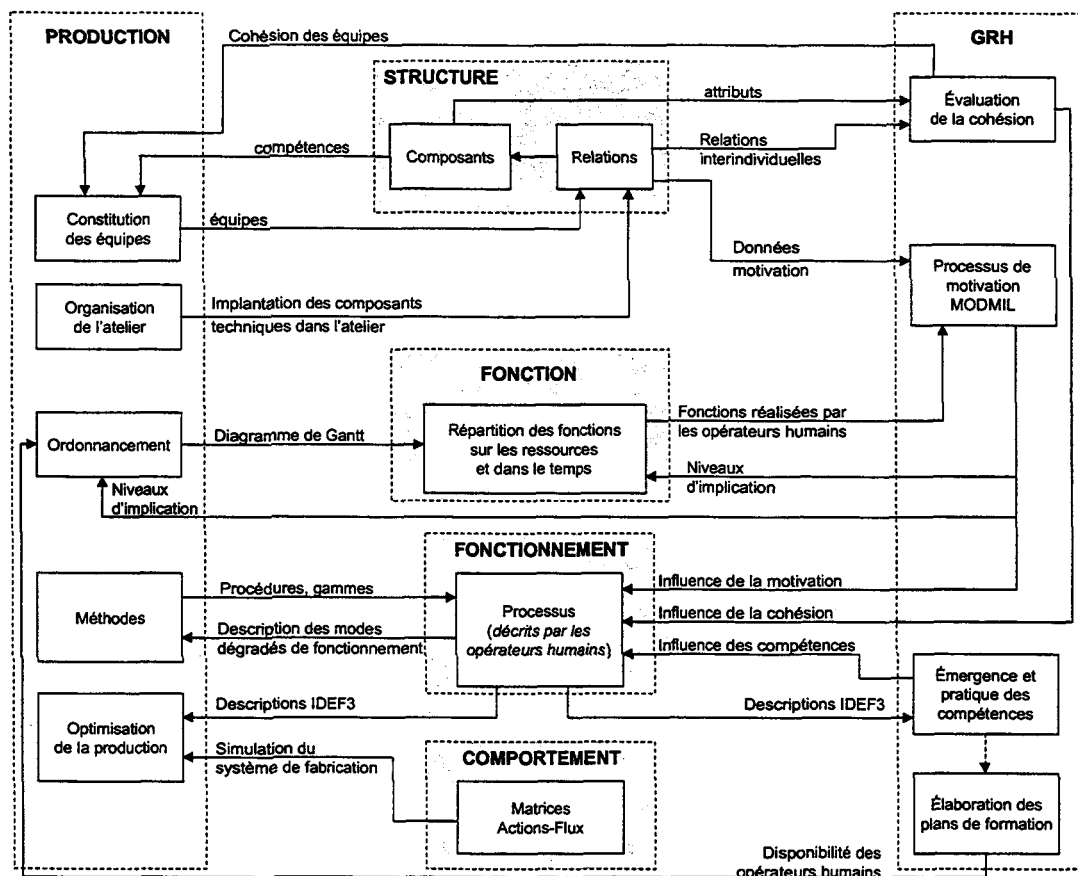


Figure IV. 21 : Intégration des interactions entre Production et GRH dans les niveaux de modélisation

Cependant, la charge de travail inhérente à la gestion de la production est déjà élevée, ce qui ne facilite pas l'intégration de contraintes et critères supplémentaires, liés à la GRH, qui augmente encore la complexité des problèmes.

La mise à disposition d'un outil informatique permettant la mise en œuvre des niveaux de modélisation proposés dans cette thèse faciliterait la prise en compte de critères relatifs à la GRH et à la Production par le biais d'un modèle permettant l'intégration des problématiques relatives aux fonctions Production et GRH de l'entreprise, Figure IV. 21.

Nos travaux n'intègrent cependant pas les aspects administratifs, juridiques et législatifs liés à la Gestion des Ressources Humaines, ni le processus de recrutement des opérateurs humains. Cette intégration constitue une perspective de recherche visant à compléter le modèle proposé qui doit encore faire l'objet d'un approfondissement quant à l'exhaustivité

3.2. Pertinence des aspects humains intégrés et limites de l'intégration

L'observation de l'atelier de montage de véhicules ferroviaires a permis de relever des situations affirmant l'utilité et la nécessité de la prise en compte des aspects humains, tels que la cohésion, la motivation ou encore les normes de fonctionnement des groupes. Elle a également mis en évidence l'importance de certains aspects non pris en compte dans la modélisation proposée et dont l'intégration doit faire l'objet d'une perspective de ce travail.

Ce paragraphe présente les aspects humains observés dans l'atelier, illustrés à partir des situations rencontrées, puis les aspects à prendre en compte pour compléter l'intégration des aspects humains dans la modélisation que nous proposons.

3.2.1. Observation des aspects humains dans l'atelier

Les observations présentées dans ce paragraphe concernent l'importance de la prise en compte des caractéristiques de groupe et des normes de fonctionnement générées par ces groupes, et l'illustration des formes de cognitions utilisées dans le modèle des processus de motivation humaine MODMIL /KARSKY&al.-1996/.

3.2.1.1. Influence des caractéristiques de groupe

L'observation de l'atelier a permis de constater l'importance et l'influence des caractéristiques des groupes. En effet, un groupe autonome présentait des caractéristiques relativement différentes de celles des autres groupes de la ligne de montage :

- un niveau de formation scolaire élevé concrétisé par des diplômes au niveau bac et bac+2 ;
- une moyenne d'âge de 35 ans peu élevée par rapport à la moyenne de 45 ans constatée dans l'atelier.

Ce groupe se distinguait également des autres par les points suivants :

- détention du taux d'absentéisme le plus élevé de l'atelier ;
- une faible quantité d'idées émises dans le plan progrès ;
- meilleurs résultats de l'atelier en termes de productivité.

Contrairement aux autres groupes autonomes, ce groupe n'est pas confronté au problème des retouches fréquentes car les composants assemblés sont standardisés. Cette standardisation favorise l'efficacité du groupe. Néanmoins, ses objectifs de production ne semblent pas suffisamment élevés et peuvent entraîner une démotivation contribuant au taux élevé d'absentéisme.

L'âge des opérateurs humains et leur niveau de qualification semblent intervenir significativement sur la cohésion du groupe. En effet, ce groupe a mis en place des normes de fonctionnement qui lui permettent d'être efficace tout en autorisant des périodes d'absentéisme relativement fréquentes. Une analyse approfondie de ce groupe permettrait de confirmer cette hypothèse.

3.2.1.2. Exemple d'une norme de fonctionnement

L'observation des postes de montage a permis de relever un phénomène d'*ajustement collectif* intervenant sur le fonctionnement et la régularité de l'avancement des opérations réalisées sur le produit. Ce phénomène a été observé sur le poste de montage chargé du garnissage des extrémités du véhicule.

Le garnissage d'une extrémité est réalisé par deux opérateurs humains qui coordonnent leurs activités en fonction des contraintes de montage. Les opérations réalisées sur chaque extrémité sont quasiment identiques et les agents de maîtrise, qui évaluent l'avancement des opérations deux à trois fois par jour, procèdent à une comparaison entre les avancements respectifs des équipes situées à chaque extrémité du véhicule.

Ce comparatif pousse les deux équipes à adapter leur cadence afin de maintenir un avancement similaire sur les deux extrémités. Par exemple, un opérateur humain travaillant sur une extrémité a été sollicité pour participer à des réunions d'une durée d'environ deux heures. Cette absence s'est concrétisée par un ralentissement de l'avancement des opérations sur l'ensemble du poste de montage. Le retard a été comblé facilement par la suite car le temps alloué était suffisamment important pour pallier ce genre de retard.

Cet ajustement de l'avancement constitue une *norme de fonctionnement* consistant à minimiser l'écart d'avancement des opérations entre les deux équipes affectées aux garnissages des extrémités du véhicule. Cette norme influence directement la durée de réalisation des fonctions prises en charge par le poste de montage. L'illustration fournie dans ce paragraphe exprime un ralentissement mais d'autres situations permettraient d'illustrer une accélération de la cadence.

La durée de réalisation des opérations, ainsi que leur qualité, sont directement liées à l'efficacité humaine du groupe qui est définie comme une combinaison du climat social, des compétences et de la motivation. Cette motivation fait intervenir différentes formes de cognitions, présentées dans MODMIL /KARSKY&al.-1996/, qui font l'objet d'une illustration dans le paragraphe suivant sur une situation observée dans l'atelier.

3.2.1.3. Illustration des formes de cognition intégrées dans MODMIL

Les processus de la motivation humaine, décrits dans le §3.1.2 du chapitre 2 sur le modèle MODMIL, font intervenir une entrée principale **A**, correspondant à l'*Action Proposée*, et une Gratification **G** associée à l'*Action Proposée*. La partie cognitive du modèle MODMIL est rappelée Figure IV. 22 pour faciliter la compréhension de ce paragraphe.

La proposition des postes de responsables dans les Groupes Autonomes, présentés dans le paragraphe 1.3 concernant l'*organisation en groupes autonomes*, correspond à une Action Proposée pour laquelle aucune gratification n'est envisagée. Cette proposition des postes de responsables fait intervenir les différentes formes de cognitions intégrées dans MODMIL :

- *Cognitions conjoncturelles* : la période d'observation s'est déroulée dans un contexte particulier de fin de commande et périodes régulières de chômage technique. Ce contexte difficile laissait présager d'éventuels licenciements futurs et les cognitions conjoncturelles des opérateurs humains se limitaient alors principalement aux difficultés économiques et à la crainte de perdre leur emploi.

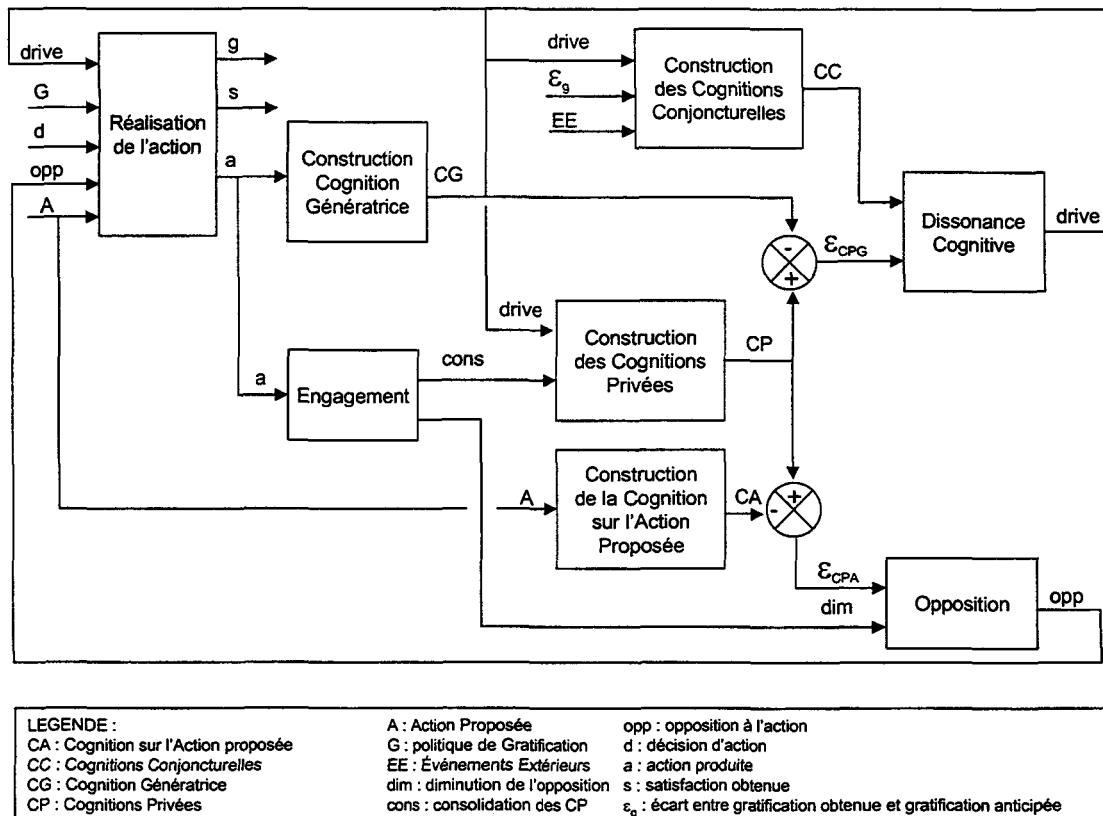


Figure IV. 22 : Rappel des processus de la partie cognitive du modèle MODMIL

- *Cognitions sur l'Action Proposée* : aucune cognition sur l'action proposée n'était disponible puisque les postes de responsables étaient proposés pour la première fois. Les opérateurs humains savaient néanmoins qu'aucune gratification n'accompagnait ces fonctions de responsables et qu'aucun aménagement du temps de travail n'était envisagé pour assurer cette fonction supplémentaire. Il n'y eut, malgré cela, aucun refus mais une implication variable et souvent faible des opérateurs humains dans la réalisation de leurs fonctions de garants.
- *Cognitions Privées* : pour la fonction de responsable de la qualité, les cognitions privées peuvent représenter l'intérêt et l'adhésion de l'opérateur humain pour une forte politique de qualité dans l'entreprise. Pour la fonction de responsable du budget, elles peuvent exprimer l'intérêt ressenti par l'opérateur humain de laisser une indépendance financière limitée aux Groupes Autonomes.
- *Cognitions génératrices* : la réalisation de la fonction de responsable génère de nouvelles cognitions auprès de l'opérateur humain qui peuvent progressivement modifier son implication.

Malgré l'acceptation des postes par chaque opérateur humain sollicité, l'absence de gratification « financière » apparaît comme une source de mécontentement. Les primes et le salaire des opérateurs humains exercent une influence très significative sur leur motivation et n'apparaissent cependant pas suffisamment dans la modélisation proposée.

3.2.2. Aspects humains non pris en compte dans la modélisation

L'intégration des aspects humains proposée dans ce travail est basée sur la considération de catégories liées au climat social, à la motivation et aux compétences. Ces catégories nécessitent un approfondissement car certains aspects humains qui s'y rapportent ne sont pas suffisamment développés et exercent pourtant une influence très significative sur les opérateurs humains.

C'est le cas, par exemple, de l'influence des **syndicats**. Celle-ci a été amoindrie par la mise en place d'une organisation en groupes autonomes qui a permis aux opérateurs humains de défendre leurs intérêts personnels et collectifs directement avec l'équipe de direction lors des réunions du groupe autonome. Cette influence des syndicats fait référence au pouvoir dans l'entreprise mais également aux notions de **Rôle** et d'**autorité** qui ne sont pas abordées dans la modélisation et doivent faire l'objet d'une extension de cette modélisation.

La **rémunération** des opérateurs humains constitue un point important qui n'a été que peu abordé dans le cadre de ce travail. Elle gère cependant de nombreuses contraintes législatives et juridiques qui pourront faire l'objet d'une intégration dans la modélisation.

L'intégration de la motivation dans le modèle se limite à la proposition d'actions effectuées dans le cadre du travail. Le modèle MODMIL ne tient pas compte des motivations générées par l'opérateur humain lui-même. Les **motivations externes à l'entreprise** influencent néanmoins les motivations de l'opérateur humain liées à son activité de production. Le fait de laisser le choix de leurs horaires de travail⁴, par exemple, permet aux opérateurs humains de gérer plus facilement leur temps libre. Lorsque la charge de travail est élevée, les opérateurs humains acceptent volontairement de commencer à 5H depuis la mise en place des arrangements sur la modulation des horaires de travail consentis par l'équipe de direction. Cette modulation des horaires de travail intervient dans le cadre de la motivation des opérateurs humains.

L'enrichissement du modèle par l'intégration d'aspects humains supplémentaires et l'approfondissement des aspects intégrés fait l'objet de perspectives de recherche présentées dans le chapitre suivant.

CONCLUSION

Ce chapitre présente un atelier de montage de véhicules de transport ferroviaire qui a fait l'objet d'une période d'observation et sert de support à la mise en œuvre des niveaux de modélisation *Structure*, *Fonction*, *Fonctionnement* et *Comportement* proposés au chapitre 3.

Cet atelier présente un très faible degré d'automatisation et recourt exclusivement aux activités humaines. Le temps de cycle de fabrication d'un véhicule est de l'ordre de plusieurs mois et une grande partie des composants assemblés ne peuvent pas être standardisés, principalement à cause des variations dimensionnelles constatées sur les chaudrons montés dans les premières étapes du processus de fabrication.

⁴ les horaires proposés correspondent à des postes de huit heures commençant à 5H. ou 8H.

L'atelier a été organisé en groupes autonomes de production. Cette organisation permet d'accroître la **réactivité** du système de fabrication, par une gestion locale des dysfonctionnements, et de réduire la complexité de la gestion de l'atelier par l'autonomie des groupes qui assurent localement la gestion de la qualité, de la sécurité, de la maintenance et du budget.

L'application des niveaux de modélisation est illustrée sur une ligne de montage de l'atelier. Cette application est partielle car les moyens dont nous disposions n'étaient pas suffisants pour le recueil de l'intégralité des données et certaines données font l'objet de clauses de confidentialité. Elle permet néanmoins d'illustrer la démarche de modélisation, la localisation des aspects humains sur les quatre niveaux de modélisation et l'influence de ces aspects humains sur le fonctionnement et le comportement du système de fabrication.

L'intégration des aspects humains dans la modélisation proposée est présentée suivant les catégories liées au climat social, à la motivation et aux compétences. Ces trois catégories font intervenir des aspects humains répartis sur les quatre niveaux de modélisation et contribuent à l'expression de l'efficacité humaine de l'atelier.

Cette intégration des aspects humains dans la modélisation des systèmes de fabrication a pour but de faciliter la coopération entre les fonctions Production et Gestion des Ressources Humaines qui fait partie des perspectives de recherche présentées dans le chapitre suivant.

Chapitre 5

Synthèse et perspectives sur l'intégration des aspects humains dans la modélisation des systèmes de fabrication

1. SYNTHÈSE SUR L'INTÉGRATION DES ASPECTS HUMAINS DANS LA MODÉLISATION	120
2. VALIDATION EXPÉRIMENTALE DES QUATRE NIVEAUX DE MODÉLISATION	121
2.1. RECUEIL DES ASPECTS HUMAINS INDIVIDUELS ET COLLECTIFS.....	122
2.2. SPÉCIFICATION D'UN SYSTÈME D'INDICATEURS LIÉS À LA COMPOSANTE HUMAINE	122
2.3. ÉVALUATION DES EFFETS DES ASPECTS HUMAINS SUR LE SYSTÈME DE FABRICATION	123
3. GESTION CONJOINTE DE LA PRODUCTION ET DES RESSOURCES HUMAINES.....	123
4. EXTENSION DES PRINCIPES DES SYSTÈMES HOMME-MACHINE	124
5. CAPITALISATION DE CONNAISSANCES SUR LE SYSTÈME DE FABRICATION	125
5.1. MODES DE FONCTIONNEMENT DÉGRADÉS	125
5.2. BASE DE DONNÉES DU MODÈLE	126
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	128

CHAPITRE 5 : SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES SUR L'INTEGRATION DES ASPECTS HUMAINS DANS LA MODELISATION DES SYSTEMES DE FABRICATION

1. SYNTHÈSE SUR L'INTEGRATION DES ASPECTS HUMAINS DANS LA MODELISATION

Les deux premiers chapitres de cette thèse présentent respectivement les fonctions Production et Gestion des Ressources Humaines dans l'entreprise. Dans le but de rapprocher ces deux fonctions et de favoriser leurs actions réciproques, le chapitre 3 propose quatre niveaux de modélisation intégrant les aspects humains. L'intégration de ces derniers a pour but d'assurer la convergence et la coopération entre ces deux fonctions de l'entreprise en vue d'une gestion conjointe, appelée Figure V. 1.

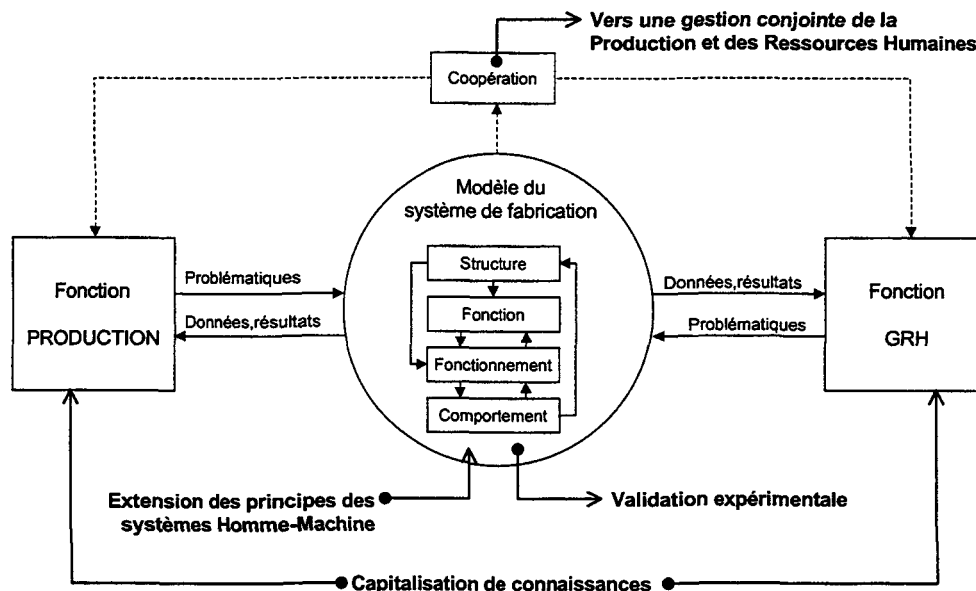


Figure V. 1 : Présentation des perspectives de recherche

L'observation sur une période d'un mois d'un atelier d'assemblage de véhicules de transport ferroviaire, sur lequel les quatre niveaux de modélisation ont été mis en œuvre chapitre 4, a permis de vérifier les éléments suivants :

- les effets significatifs d'aspects humains tels que la cohésion de groupe et la motivation sur les performances de production de l'atelier ;
- la capacité du modèle à fournir un éclairage nouveau sur les dysfonctionnements constatés dans l'atelier par la considération des normes de fonctionnement générées par les groupes et, par exemple, de l'optimisation du processus de fabrication qu'elles autorisent ou de leurs éventuelles conséquences sur les retards de production ;
- les possibilités d'optimisation du processus de fabrication et de capitalisation des connaissances offertes par la formalisation et la confrontation des points de vue des opérateurs humains sur ce processus de fabrication ;
- l'intérêt suscité par un modèle conciliant Production et Gestion des Ressources Humaines dans le cadre de la gestion des systèmes de fabrication nécessitant une importante intervention humaine.

L'observation de ce système de fabrication a permis de valider partiellement la pertinence de notre proposition. Cependant, une validation expérimentale des quatre niveaux de modélisation est nécessaire et constitue une perspective à court terme de notre travail. Cette validation nécessite une phase d'acquisition de données et un retour d'expérience relativement longs, qui n'ont été qu'abordés dans le cadre de cette thèse, et l'approfondissement des points suivants :

- évaluation des dimensions individuelles et collectives des aspects humains ;
- spécification d'un ensemble d'indicateurs et de critères Homme-Machine ;
- évaluation de l'influence des aspects humains sur le système de fabrication ;
- capitalisation des connaissances de l'atelier ;
- extension des principes des Systèmes Homme-Machine au système de fabrication ;
- extension du principe de coopération aux fonctions Production et Gestion des Ressources Humaines

Les paragraphes suivants développent ces perspectives en abordant successivement la validation expérimentale des niveaux de modélisation proposés, la gestion conjointe de la production et des ressources humaines, l'extension des principes des systèmes Homme-Machine et la capitalisation des connaissances sur le système de fabrication.

2. VALIDATION EXPERIMENTALE DES QUATRE NIVEAUX DE MODELISATION

La validation expérimentale sur un cas industriel des quatre niveaux de modélisation proposés chapitre 3 nécessite de mettre en place un protocole expérimental et de mesure des écarts entre les informations fournies par le modèle et celles constatées par les systèmes de gestion de Production et des Ressources Humaines, Figure V. 2.

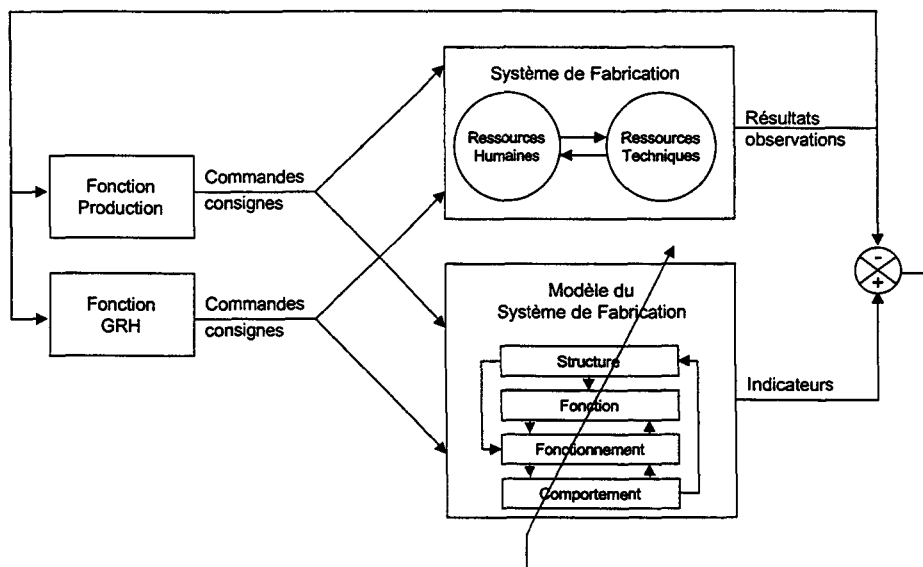


Figure V. 2 : Démarche de validation de la modélisation proposée

Les paragraphes suivants tentent d'aborder les différentes étapes nécessaires à la validation et correspondant au recueil des données, à la spécification d'un système d'indicateurs et à l'évaluation des effets des aspects humains sur le système de fabrication.

2.1. Recueil des aspects humains individuels et collectifs

La phase de recueil des données nécessite une forte collaboration entre spécialistes des sciences humaines et sociales et des sciences de l'ingénieur afin de définir le contenu des questionnaires et de choisir les méthodes à utiliser pour la conduite des interviews, les observations de terrain. L'analyse des données issues des questionnaires, interviews et observations de terrain nécessite également le choix de méthodes qui implique une forte collaboration avec des spécialistes de l'analyse de données.

L'évaluation des aspects humains nécessite une période de recueil des données relativement longue imposée par les conditions de traitement de ces données. Elle est de plus confrontée au problème de la fiabilité des données. Effectivement, la qualité des mesures est influencée par certains facteurs, ainsi que l'ont montré les expérimentations d'Elton MAYO qui ont mené à la considération de « l'effet *Hawthorne* » /MAYO-1933/ suivant lequel le sentiment de valorisation procuré aux opérateurs humains par leur participation à l'expérimentation peut entraîner un biais sur les données mesurées.

C'est pourquoi la logique floue apparaît utile car elle permet de prendre en compte l'imprécision et l'incertitude des informations et mesures fournies par les opérateurs humains. Elle permet également d'envisager l'évaluation d'indicateurs spécifiques qui associent à la fois la composante humaine et les machines de l'atelier. La spécification de ces indicateurs fait l'objet du paragraphe suivant.

2.2. Spécification d'un système d'indicateurs liés à la composante Humaine

La théorie des sous-ensembles flous permet l'agrégation des aspects humains, telle que représentée Figure V. 3.

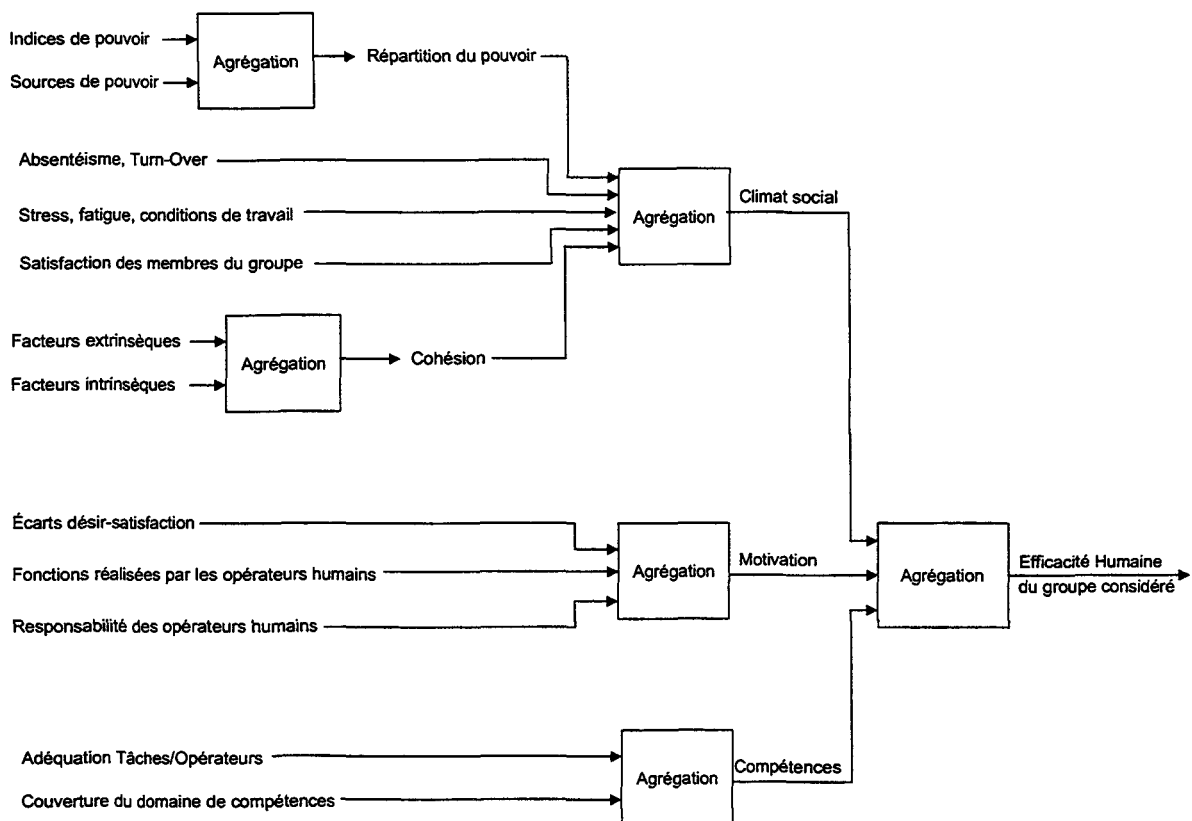


Figure V. 3 : Evaluation d'indicateurs par agrégation d'aspects humains

Cette utilisation des sous-ensembles flous pour l'évaluation d'indicateurs liés aux Hommes a déjà fait l'objet de travaux de recherche relatifs à la gestion des ateliers /DESODT&al.-1996/ et à la capacité d'une organisation à accepter l'intégration de nouvelles technologies /PAUL&al.-1995/.

Notre proposition consiste à spécifier un système d'indicateurs basés sur les catégories d'aspects humains décrites chapitre 2 et correspondant au climat social, à la motivation et aux compétences. L'agrégation des indicateurs associés à ces trois catégories fournit une évaluation de l'efficacité humaine du groupe considéré, Figure V. 3. Une présentation de l'utilisation de la logique floue pour l'évaluation de l'indicateur d'Efficacité Humaine est fournie Annexe 9.

La pertinence de ces indicateurs doit être validée par des expérimentations sur l'atelier réel. L'analyse de situations identiques observées dans des conditions différentes suivant un protocole expérimental déterminé permettrait d'évaluer l'influence des aspects humains sur la production de ces situations et la reproductibilité des résultats.

2.3. Evaluation des effets des aspects humains sur le système de fabrication

L'objectif de ces expériences consiste alors à mesurer les effets du climat social, de la motivation et des compétences sur les performances de l'atelier. Cet objectif nécessite une évaluation des indicateurs avant la mise en place de toute mesure destinée à améliorer ces catégories d'aspects humains. Cette première évaluation constitue la référence à partir de laquelle seront exprimées les variations des indicateurs en fonction des mesures appliquées.

Les relevés de mesures effectués dans le cadre de ces expériences ont pour but de mettre en évidence les corrélations entre aspects humains mais également de formaliser les conséquences de ces aspects humains sur les niveaux *Structure*, *Fonction*, *Fonctionnement* et *Comportement*. Par exemple, évaluer l'impact d'une motivation forte ou élevée sur la productivité et la qualité de la production par l'analyse des variations des indicateurs de production et des séquences de tâches et des temps passés sur ces tâches formalisés au niveau de modélisation *Fonctionnement*.

L'analyse des effets des aspects humains sur le système de fabrication permet d'envisager l'intégration de ces effets, sous une forme qualitative, dans les niveaux de modélisation *Structure*, *Fonction*, *Fonctionnement* et *Comportement*. La validation du modèle, Figure V. 2, consiste ensuite à appliquer au modèle les consignes fournies par la Production et la GRH afin d'évaluer les écarts entre les sorties du système réel et du modèle, Figure V. 2.

La validation du modèle, basé sur quatre niveaux de modélisation intégrant les aspects humains et leurs effets, permet d'envisager le développement d'un outil logiciel fournissant une aide à la décision pour les fonctions Production et GRH.

3. GESTION CONJOINTE DE LA PRODUCTION ET DES RESSOURCES HUMAINES

La perspective d'une gestion conjointe de la Production et des Ressources Humaines, par le biais d'un modèle commun aux fonctions Production et GRH de l'entreprise, nécessite l'intégration de leurs problématiques respectives dans la modélisation. Notre proposition est focalisée, d'une part, sur l'ordonnancement et le pilotage du système de fabrication et, d'autre part, sur la gestion du climat social, de la motivation et des compétences pour la GRH /FRERE&al.-2000/.

La prise en compte des aspects administratifs et juridiques de la GRH n'est pas réalisée dans la modélisation proposée. Ces aspects sont rencontrés dans les procédures de recrutement, de mutation ou encore de licenciement des employés et dans la gestion de la sécurité et du respect des droits des opérateurs humains. L'intégration de ces aspects administratifs et juridiques pourra faire l'objet d'une perspective de ce travail.

La confrontation des décisions et des objectifs des fonctions Production et GRH sur un support de réflexion commun devrait contribuer à une meilleure compréhension des conséquences de leurs actions réciproques. Cet « *Espace commun de travail* » /JOUGLET-2000/ /PACAU&al.-2000/, qui représente l'état du système de fabrication et permet la capitalisation des connaissances sur les situations antérieures de ce système (cf. paragraphe 5 de ce chapitre), devrait faciliter la coopération des fonctions Production et GRH.

La coopération entre Production et GRH peut également être approfondie en développant les principes des *Systèmes Homme-Machine*. L'extension de ces principes au système de fabrication et aux systèmes de gestion de la Production et des Ressources Humaines fait l'objet du paragraphe suivant.

4. EXTENSION DES PRINCIPES DES SYSTEMES HOMME-MACHINE

Les systèmes de fabrication peuvent être analysés en tant que *Systèmes Hommes-Machines*, Figure V. 4. Les principes et concepts utilisés dans les *Systèmes Homme-Machine*, tels que coopération, répartition de la charge de travail, fiabilité, sécurité, peuvent ainsi faire l'objet d'une extension aux systèmes de fabrication mais également aux systèmes de gestion de Production et de gestion des Ressources Humaines.

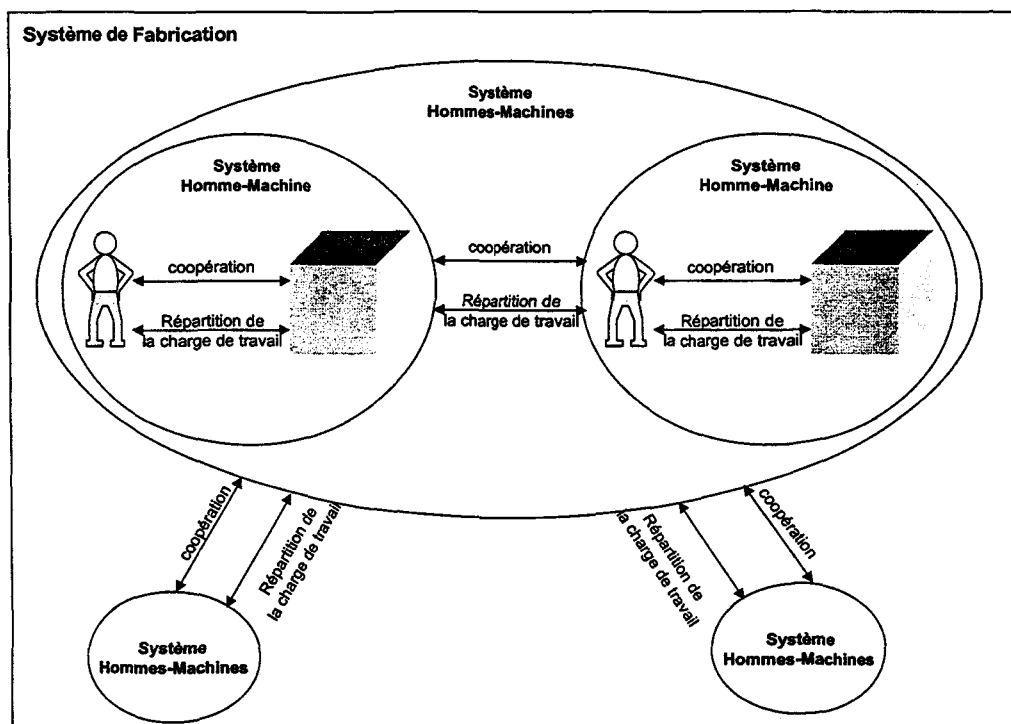


Figure V. 4 : Le système de fabrication vu en tant que système Hommes-Machines

Le modèle proposé constitue, à cet effet, une interface entre les fonctions Production et GRH, Figure V. 1, destinée à améliorer la coopération et à répartir la charge de travail engendrée par la gestion de la production et des ressources humaines entre ces deux fonctions. Effectivement, l'intégration de critères liés à la gestion des compétences dans l'ordonnancement de la production, Annexe 7, ou liés à la recherche d'une cohésion de groupe élevée lors de la phase de constitution des équipes de production contribue simultanément à la gestion de la production et à la gestion des ressources humaines.

Le modèle peut ainsi être envisagé comme une source d'optimisation des gestions de la production et des ressources humaines et un moyen de réduction des charges de travail respectives de ces deux fonctions de l'entreprise. Ce modèle facilite également la capitalisation des connaissances dans l'atelier, qui fait l'objet du paragraphe suivant.

5. CAPITALISATION DE CONNAISSANCES SUR LE SYSTEME DE FABRICATION

Les quatre niveaux de modélisation mettent en œuvre des éléments qui abordent des connaissances spécifiques qui peuvent faire l'objet d'une capitalisation destinée à améliorer les performances de production et la gestion des Ressources Humaines de l'atelier.

Ce paragraphe présente la capitalisation des connaissances relatives aux modes de fonctionnement dégradés et la mise en œuvre de cette capitalisation par la constitution de bibliothèques intégrées au modèle.

5.1. Modes de fonctionnement dégradés

Les véhicules fabriqués dans l'atelier se distinguent par leur **type**, tels que le Transport Grande Vitesse (TGV), le transport régional (TER) ou encore le Transport Interurbain (MI2N). Les différents types sont classés en **familles** parmi lesquelles, par exemple, la famille des véhicules de transport à deux étages.

Les opérations réalisées pour la fabrication des véhicules d'une même famille sont similaires. La capitalisation des connaissances sur le processus de fabrication d'un type particulier de véhicules permet ainsi d'envisager une réutilisation de ces connaissances pour les véhicules de la même famille. Cette capitalisation de connaissances peut recueillir alors les **modes de fonctionnement dégradés** et les **solutions** qui ont été adoptées pour revenir à un mode de fonctionnement normal.

Les modes de fonctionnement dégradés apparaissent principalement lors des **phases de lancement** en fabrication au cours desquelles les problèmes doivent être résolus très rapidement pour répondre aux exigences du client en termes de délais de livraison.

La charge de travail des opérateurs humains et des équipes est élevée lors de ces phases de lancement et l'entreprise recourt largement à une main d'œuvre intérimaire. L'effectif de l'atelier peut doubler lors de ces phases et, après les premiers mois de fabrication, revenir à son effectif initial lorsque les principaux problèmes sont résolus. Quand le processus de fabrication atteint son régime de croisière, les opérateurs humains employés temporairement quittent l'entreprise avec les connaissances qu'ils ont acquises lors de la phase de lancement.

La modélisation des modes de fonctionnement dégradés permet de capitaliser finalement ces connaissances et de les réutiliser pour les futures phases de lancement en fabrication.

Le problème des retards de fabrication, abordé chapitre 4, est une source de perturbation pour le système de fabrication qui pourra être étudié en se référant aux techniques et méthodes utilisées pour les systèmes à grands retards qui constituent un thème de recherche important dans le domaine de l'automatique.

La modélisation proposée permet d'envisager la capitalisation de connaissances sur le fonctionnement du système de fabrication mais également celle de connaissances relatives aux composants de ce système, aux compétences des opérateurs humains ou encore aux fonctions réalisées sur les produits par l'archivage et la possibilité de réutilisation de ces entités modélisées dans des librairies.

5.2. Base de données du modèle

Les éléments intervenant dans les quatre niveaux *Structure*, *Fonction*, *Fonctionnement* et *Comportement* peuvent donner lieu à la définition de librairies utilisées lors de la modélisation. Ces librairies proposent des entités prédéfinies et autorisent le stockage et la réutilisation d'entités modélisées dans le passé, Figure V. 5.

Le composant « *Opérateur Humain* », par exemple, est standardisé dans la librairie de composants du modèle accessible au niveau de modélisation *Structure*, Figure V. 5. Un composant « *Groupe Autonome* », contenant les attributs, relations, tâches et processus de base associés à ces groupes, peut être intégré dans cette même librairie de composants.

L'utilisation des librairies, présentées Figure V. 5, permet de faciliter la modélisation du système de fabrication et de réduire le temps requis par cette modélisation. Ces librairies se rapportent à chaque niveau de modélisation et font référence aux éléments mis en évidence chapitre 3 dans le paragraphe 2.5 concernant les interactions entre niveaux de modélisation.

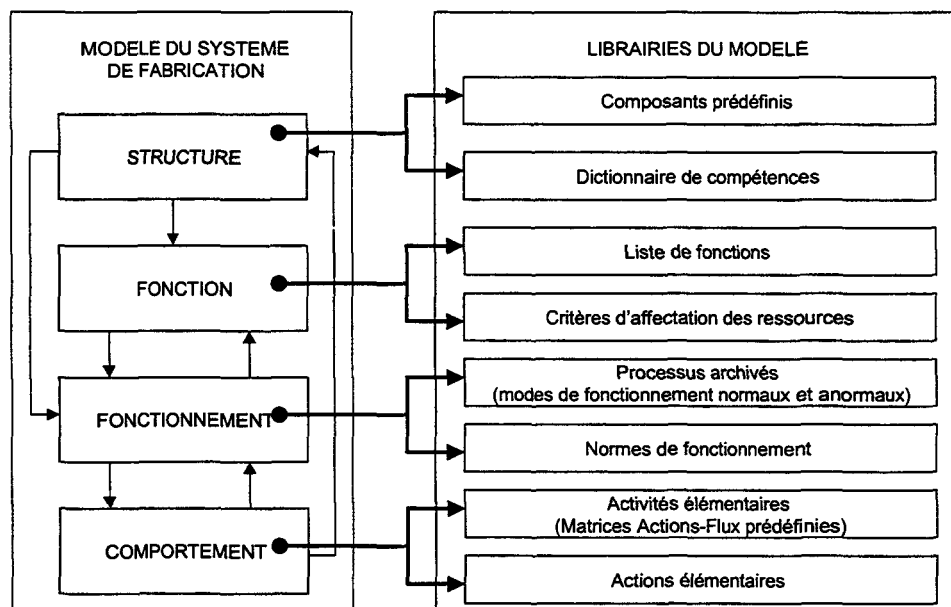


Figure V. 5 : Présentation des librairies associées aux niveaux de modélisation

Le niveau de modélisation *Structure* aborde les compétences acquises par les opérateurs humains, recensées dans un dictionnaire des compétences, et fait intervenir des composants, tels que l'opérateur humain ou encore le groupe autonome, qui peuvent être proposés sous la forme de composants prédéfinis. Ces composants prédéfinis sont ensuite

instanciés lors de la modélisation par le renseignement des valeurs de leurs attributs, de la liste de fonctions qu'ils doivent réaliser et des processus qu'ils mettent en œuvre pour réaliser ces fonctions.

Le niveau de modélisation *Fonction* fait référence à une liste de fonctions dont une grande partie, comme les fonctions de fabrication, peut faire l'objet d'une réutilisation. L'affectation des ressources humaines, intégrée à ce niveau de modélisation, fait intervenir des critères d'affectation, définis par la Production et la GRH, qui peuvent être recensés dans une liste de critères, Figure V. 5, parmi lesquels seront choisis ceux qui permettront de déterminer l'affectation optimale au sens de des critères choisis.

Le niveau de modélisation *Fonctionnement* formalise les processus mis en œuvre dans le cadre de la réalisation des fonctions. Ces processus, archivés sous le formalisme de la méthode IDEF3, permettent d'archiver les modes de fonctionnements normaux et anormaux exprimés suivants les points de vue des opérateurs humains impliqués dans les processus.

Ces processus peuvent également mettre en évidence des variations dans le séquençement des tâches liées aux préférences des opérateurs humains, à leur état psychologique et physiologique ou encore à des normes de fonctionnement générées par le groupe dont ils font partie. Ces normes de fonctionnement peuvent faire l'objet d'une capitalisation par leur archivage au sein d'une liste de normes de fonctionnement observées dans l'atelier et réutilisables lors d'une modélisation ultérieure, Figure V. 5. Ces normes de fonctionnement peuvent être intégrées sous la forme de règles influençant le déroulement des processus.

Le niveau de modélisation *Comportement* met en œuvre des *matrices actions-flux*, présentées chapitre 3, formalisant les activités des opérateurs humains. La modélisation de ce niveau fait intervenir des actions élémentaires, qui font l'objet d'une librairie du modèle, et certaines activités prédéfinies dans le modèle, Figure V. 5. La définition des actions élémentaires peut reposer sur la considération des *prestations* présentées dans /ORTIZ-1995/.

L'observation de l'atelier d'assemblage de véhicules de transport ferroviaire a montré la pertinence du choix des quatre niveaux de modélisation et de l'intégration des aspects humains qu'ils permettent. Cependant, nous n'avons pas pu recueillir toutes les données nécessaires à une mise en œuvre complète de ces niveaux. Leur validation expérimentale constitue donc une perspective à court terme de nos travaux. L'ensemble des perspectives présentées dans ce chapitre a ainsi pour but d'aboutir à un modèle opérationnel permettant d'envisager la mise en place d'une gestion conjointe de la Production et des Ressources Humaines.

Conclusion Générale

L'objectif des travaux présentés dans ce mémoire est de contribuer à l'intégration des aspects humains dans la modélisation des systèmes de fabrication pour faciliter la coopération entre la *Production* et la *Gestion des Ressources Humaines* dans le but de mettre en place une gestion conjointe.

La *Production*, qui fait l'objet du premier chapitre, est réalisée par un *système de fabrication* commandé et régulé par un *système de gestion de production*. Les tâches réalisées au sein du système de fabrication et les moyens de production utilisés sont spécifiés par le bureau des méthodes à partir du cahier des charges du produit émis par le bureau d'études. Les fonctions Méthodes et Etudes constituent ainsi le *système de spécification* des tâches et des moyens de production. Notre proposition consiste à fournir un modèle du système de fabrication aux systèmes de gestion et de spécification de la production dans le but de faciliter et d'optimiser leurs tâches respectives tout en tenant compte des aspects humains gérés par la Gestion des Ressources Humaines.

Cette Gestion des Ressources Humaines, présentée dans le second chapitre, traite de problématiques principalement liées à la gestion du *climat social*, de la *motivation* et des *compétences* des opérateurs humains. L'analyse de ces trois catégories d'aspects humains permet de dégager les principaux facteurs à considérer dans le cadre de leur gestion.

Le climat social fait référence au *bien-être* des individus dans le système de fabrication et fait intervenir les évaluations des conditions de travail, de la cohésion des groupes et de la répartition du pouvoir. Les indicateurs couramment utilisés pour l'évaluation du climat social sont l'absentéisme et le turn-over du personnel.

La motivation est analysée suivant un *modèle systémique* des processus de motivation humaine qui transforment une entrée principale, correspondant à une action proposée, en une sortie traduisant le niveau d'implication de l'opérateur humain dans l'action qui lui est proposée. Ces processus font intervenir de nombreuses variables intermédiaires telles que les cognitions de l'opérateur humain, son opposition à l'action ou encore ses désirs et satisfactions.

Les compétences font référence à des *domaines*, liés au produit, aux processus ou encore à l'organisation, et à trois *composantes* correspondant aux savoirs, savoir-faire et savoir-être. Les *compétences requises* par les tâches confiées aux opérateurs humains donnent lieu à une identification à partir de laquelle sont évalués les niveaux de maîtrise des opérateurs humains, caractérisant leurs *compétences acquises*. Ces phases d'identification et d'évaluation sont facilitées par l'emploi d'un dictionnaire de compétences qui peut être complété progressivement.

Ces trois catégories d'aspects humains constituent une expression de *l'efficacité humaine*. Notre objectif consiste alors à proposer une modélisation du système de fabrication permettant de localiser les aspects humains relatifs au climat social, à la motivation et aux compétences et d'intégrer cette expression de l'efficacité humaine dans le modèle. Pour cela, nous avons analysé, dans le troisième chapitre, le rôle de l'opérateur humain dans le système de fabrication et cette analyse a permis d'aboutir à la proposition de quatre niveaux de modélisation :

- un niveau *Structure*, dans lequel sont représentés les composants de l'atelier et leurs relations ;

-
- un niveau *Fonction*, dans lequel sont répertoriées les tâches à réaliser au sein du système de fabrication, leur répartition sur les ressources de l'atelier et dans le temps et les contraintes et objectifs qui leur sont associés ;
 - un niveau *Fonctionnement*, dans lequel l'opérateur humain intervient en tant qu'acteur effectuant des choix quant à la réalisation des tâches qui lui sont confiées. Ces choix peuvent résulter du contexte dans lequel il évolue, du climat social régnant dans l'atelier ou dans son équipe, de sa motivation ou encore de ses compétences.
 - un niveau *Comportement*, qui formalise les actions élémentaires appliquées par les ressources humaines et techniques sur les objets physiques, informationnels et humains constituant l'atelier.

Ces quatre niveaux de modélisation sont interconnectés et leurs liaisons résultent directement des considérations issues de l'analyse du rôle de l'opérateur humain dans le système de fabrication. Les données relatives à ces niveaux de modélisation sont fournies par les fonctions Production et Gestion des Ressources Humaines mais également par les opérateurs humains du système de fabrication qui participent à la description des processus de fabrication et sont sollicités pour des entretiens individuels et collectifs. Le modèle fournit en retour des indicateurs aux fonctions Production et Gestion des Ressources Humaines.

Ces indicateurs tiennent compte des objectifs et contraintes respectifs de la Production et de la Gestion des Ressources Humaines par l'intégration des aspects humains dans le modèle. Cette intégration des aspects humains, qui fait l'objet du chapitre 4, est répartie suivant les quatre niveaux de modélisation proposés. La mise en œuvre de ces quatre niveaux sur le cas d'un atelier d'assemblage de véhicules de transport ferroviaire permet d'illustrer la prise en compte des aspects humains dans le modèle. Cette application n'est cependant pas complète et nécessite une validation qui constitue une perspective de notre travail.

Cette validation expérimentale de notre proposition, abordée dans le cinquième chapitre, exige le recueil d'une quantité importante de données et une durée d'expérimentation relativement longue pour la modélisation et le retour d'expérience nécessaire à la validation. La phase de recueil des données implique une forte collaboration avec des spécialistes des Sciences Humaines et Sociales pour la conception des questionnaires et la spécification des méthodes d'observation de terrain, de conduite d'entretien et d'analyse des questionnaires. L'évaluation des effets des aspects humains sur les niveaux *Structure*, *Fonction*, *Fonctionnement* et *Comportement* nécessite également un approfondissement et un travail en collaboration avec ces spécialistes.

Les principales perspectives de ce travail consistent à définir les bases d'une *gestion conjointe* de la production et des ressources humaines par l'utilisation d'un modèle commun aux deux fonctions de l'entreprise assurant ces gestions respectives, la *capitalisation de connaissances* sur le système de fabrication, dans l'optique de l'entreprise apprenante, et l'extension des principes des systèmes *Homme-Machine* au système de fabrication.

Le modèle proposé constitue un outil facilitant le dialogue entre psychologues, sociologues, automaticiens et gestionnaires de ressources humaines. Il leur permet d'exposer et de formaliser leurs points de vue sur :

- le rôle et l'importance de l'opérateur humain dans les systèmes de fabrication, généralement négligé dans les approches « classiques » de modélisation ;
- les caractéristiques qui le différencient des machines ;
- les stratégies à adopter afin d'améliorer non seulement l'efficacité économique de l'entreprise mais également son efficacité humaine.

Notre travail constitue ainsi une contribution modeste à l'amélioration des conditions de travail des opérateurs humains dans les systèmes de fabrication.

Références Bibliographiques

- /AGOPIAN&al.-1994/ AGOPIAN, C ; MANICUTA, M. ; SUCIU, D. ; Stress et sécurité des systèmes sociotechniques ; tiré de Ergonomie et Ingénierie ; XXIXème congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française ; vol.1 ; Ed. Eyrolles ; Paris ; pp. 465-471 ; 1994.
- /ALEONARD&al.-1993/ ALEONARD, C. ; DINDELEUX, E. ; SOENEN, R. ; Conduite des systèmes de production ; Techniques de l'ingénieur ; Vol. A8-260 ; 1993.
- /ALLAIN-1998/ ALLAIN, H. ; La fatigue : de la biologie à la pharmacologie ; support de cours ; université de Rennes 1 ; <http://www.med.univ-rennes1.fr/galesne/pharmaco/fatigue.htm> ; Mars 1998.
- /ANZIEU&al.-1982/ ANZIEU, D. ; MARTIN, J.Y. ; La dynamique des groupes restreints ; PUF ; 7ème édition refondue 1982 ; 1ère édition 1968.
- /ARCIMOLES-1994/ ARCIMOLES, C. H. ; Formation des employés et performance de l'entreprise : approches théoriques et étude sur données de panel ; Direction et gestion des entreprises ; n°146 ; Mars-Avril ; 1994.
- /ARSENAULT-1997/ ARSENAULT, L. ; Le dictionnaire des compétences TRIMA ; Production Arsenault-Formation/carrière ; Québec ; 1997.
- /AYRES-1989/ AYRES, R. U. ; Technology Forecast for CIM, Manufacturing Review, Vol. 2, No. 1, 1989, pp. 43-52.
- /BABA&al.-1997/ BABA, M.L. ; MEJABI, O. ; Advances in sociotechnical systems integration : object oriented modeling for joint optimization of social and technical subsystems ; *in* Human Factors and Ergonomics in Manufacturing ; Vol. 7 ; Ed. Wiley ; Winter 1997.
- /BATAL-1997/ BATAL, C. ; La gestion des ressources humaines dans le secteur public : l'analyse des métiers, des emplois et des compétences ; Ed. d'organisation ; Paris ; 1997.
- /BEAUVOIS&al.-1981/ BEAUVOIS, J.L. ; JOULE, R. ; Soumission et idéologies ; PUF ; 1981.
- /BERIO&al.-1999/ BERIO, G. ; VERNADAT, F.B. ; New developments in enterprise modelling using CIMOSA ; Computers in Industry n°2-3 ; Elsevier Science ; 1999.
- /BERRAH&al.-1999/ BERRAH, L. ; HAURAT, A. ; Quelles expressions de la performance pour le pilotage des processus industriels ? ; Actes du 3ème congrès international de génie industriel, pp. 409-418 ; Presses internationales polytechnique ; Montréal ; Québec ; 1999.
- /BLEUX&al.-1996/ BLEUX, J.M. ; FANCHON, J.L ; Génie mécanique, automatismes industriels ; Ed. Nathan ; Paris ; 1996.
- /BOURDICHON-1994/ BOURDICHON, P. ; La modélisation de l'entreprise par son schéma directeur ; *dans* La modélisation en entreprise : CIM-OSA et ingénierie simultanée ; coord. C. FOULARD ; Hermès ; Paris ; 1994.
- /BRAESCH&al.-1995/ BRAESCH, C. ; HAURAT, A. ; La modélisation Systémique en Entreprise ; Ed. Hermès ; 1995.

-
- /BROWNE&al.-1994/ BROWNE, J. ; HARHEN, J. ; SHIVNAN, J. ; Les systèmes de production dans un environnement CIM ; AFNOR ; Paris ; 1994.
- /CARD&al.-1983/ CARD, S ; MORAN, T. ; NEWELL, A. ; The psychology of human-computer interaction ; Lawrence Erlbaum Associates ; Hillsdale ; 1983.
- /CAUFFRIEZ&al.-1997/ CAUFFRIEZ, L. ; WILLAEYS, D. ; DEFRENNE, J. ; Mesure des indicateurs de performance de lignes de production : présentation d'une méthode et retour d'expérience ; RAIRO APII JESA ; Vol. 31 n°8 ; Novembre 1997.
- /CROZIER&al.-1977/ CROZIER, M. ; FRIEDBERG, E. ; L'acteur et le système ; Ed. du Seuil ; Paris ; 1977.
- /DEGENNE&al.-1994/ DEGENNE, A. ; FORSE, M. ; Les réseaux sociaux : une analyse structurale en sociologie ; Ed. Armand Colin ; Paris ; 1994.
- /DESODT&al.-1996/ DESODT, A.M. ; JOLLY, D. ; Contribution à l'introduction de paramètres liés aux hommes dans la gestion d'un atelier ; Actes de la journée d'étude sur l'Ordonnement coopératif ; LAP ; Bordeaux ; 1996.
- /DINDELEUX-1998/ DINDELEUX, R. ; Propilot : une contribution à la modélisation des processus industriels ; Thèse de doctorat ; Université de Savoie ; Annecy ; Décembre 1998.
- /DOLAN&al.-1988/ DOLAN, S.L. ; SCHULER, R.S. ; CHRETIEN, L. ; Gestion des ressources humaines ; Ed. du Trécarré ; Ottawa ; Canada ; 1988.
- /DOUMEINGTS-1984/ DOUMEINGTS, G. ; Méthode GRAI : méthode de conception des systèmes en productique ; thèse d'état en Automatique ; Université Bordeaux I ; Novembre 1984.
- /DOUMEINGTS&al.-1993/ DOUMEINGTS, G. ; VALLESPIR, B. ; Gestion de production : principes ; Techniques de l'ingénieur ; Vol. A8-265 ; 1993.
- /DUBOIS-1982/ DUBOIS, D., FORESTIER, J.P., Productivité et en-cours moyens d'un ensemble de 2 machines séparées par une zone de stockage, RAIRO Automatique, Vol.16, n°2, 1982.
- /DUBOIS-1992/ DUBOIS, P. ; Bilan scientifique 1989-1992 des recherches PIRTTEM (CNRS) sur la technique ; Colloque Travail, recherche et prospective ; Chap. 3 ; Lyon ; 1992.
- /DUBUISSON-1990/ DUBUISSON, B. ; Diagnostic et reconnaissance des formes ; éd. Hermès ; Paris ; France ; p. 28, 30, 213 ; Septembre 1990.
- /EL MHAMED-1990/ EL MHAMED, A. ; Sur l'intégration des aspects humains dans la conduite multi-niveaux d'ateliers de production ; thèse de doctorat ; institut national polytechnique de Grenoble ; Avril 1990.
- /ELMHAMED&al.-1998/ EL MHAMED, A. ; LERCH, C. ; SONNTAG, M. ; Modélisation des processus des systèmes de production : une approche interdisciplinaire ; Ed. Hermès ; RAIRO-APII ; JESA ; Vol. 31, n°4, pp. 669-693 ; 1997.
- /ELMHAMED&al.-1999/ EL MHAMED, A. ; MARIER, S. ; Modélisation et évaluation des performances des processus semi-structurés de l'entreprise ; APII – JESA ; vol.33 ; n°10 ; pp.1153-1183 ; 1999.
- /FEERTCHAK-1996/ FEERTCHAK, H. ; Les motivations et les valeurs en psychosociologie ; Armand Colin ; Paris ; 1996.
- /FELIOT-1997/ FELIOT, C. ; Modélisation des systèmes complexes : intégration et formalisation de modèles ; thèse de doctorat ; Université Lille I ; Décembre 1997.
- /FESTINGER-1957/ FESTINGER, L. ; A theory of cognitive dissonance ; Peterson and Row ; Evanston ; Illinois ; 1957.
- /FRANCHINI&al.-1999/ FRANCHINI, L. ; CAILLAUD, E. ; LACOSTE, G. ; Evaluation des risques d'échec pour la planification des opérateurs en production : application à l'industrie agro-alimentaire ; Actes du 3^{ème} congrès
-

- international de génie industriel, pp. 1393-1402 ; Presses internationales polytechnique ; Montréal ; Québec ; 1999.
- /FRERE&al.-1998a/ FRERE, R. ; MALVACHE, N. ; Contribution à la modélisation socio-technique des systèmes de fabrication manufacturiers ; Actes de la conférence internationale *Complex systems, intelligent systems and interfaces* parus dans *La lettre de l'IA* ; Nîmes ; Mai 1998.
- /FRERE&al.-1998b/ FRERE, R. ; MALVACHE N. ; An activity description introducing skills and human aspects for manufacturing workshops modelling ; 17th European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control, Valenciennes, 15, 16, 17 December 1998.
- /FRERE&al.-2000/ FRERE, R. ; MALVACHE, N. ; Vers une gestion conjointe de la production et des ressources humaines ; 3^{ème} congrès de la société française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision ROADEF'2000 ; Nantes ; Janvier 2000.
- /GERSHWIN-1987/ GERSHWIN, S.B., An efficient decomposition model for the approximate evaluation of tandem queues with finite storage place and blocking, *Operation research*, vol.35, n°2, 1987.
- /GHOSHAL-1998/ GHOSHAL, S. ; BARTLETT, C. ; L'entreprise individualisée : une nouvelle logique de management ; Maxima Laurent du Mesnil ; 1998.
- /GRUNDSTEIN-1995/ GRUNDSTEIN, M. ; La capitalisation des connaissances de l'entreprise, système de production de connaissances ; Symposium *L'entreprise apprenante et sciences de la complexité* ; Aix-en-Provence ; Mai 1995.
- /HARZALLAH&al.-1999/ HARZALLAH, M. ; VERNADAT, F. ; Human resource competency management in enterprise engineering ; Proceedings IFAC World Congress'99 ; Beijing ; July 5-9 ; 1999.
- /HOLLNAGEL&al.-1991/ HOLLNAGEL, E. ; CACCIABUE, P.C. ; Cognitive modelling in system simulation ; in Proceedings of third European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control ; Cardiff ; September 1991.
- /IDEF-1981/ U.S. Air Force ; Integrated Computer Aided Manufacturing (ICAM) ; Architecture Part II ; Vol. V - Information Modeling Manual (IDEF) ; AFWAL-TR-81-4023 ; Wright-Patterson Air Force Base ; Ohio ; 45433 ; June 1981.
- /IFIP IFAC-1997/ IFIP-IFAC Task Force ; GERAM : Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology ; version 1.5 ; 1997.
- /ISDF-1994/ INSTITUT DE SURETE DE FONCTIONNEMENT ; L'état de l'art dans le domaine de la fiabilité humaine ; Octarès éditions ; Toulouse ; 1994.
- /JOLLY&al.-1999/ JOLLY-DESODT, A.M. ; WAWAK, F. ; JOLLY, D. ; Conception d'un système d'aide à la décision basé sur les théories floues et possibilistes ; APII-JESA ; vol.33 n°3 ; Avril 1999.
- /JOUFFROY-1999/ JOUFFROY, D. ; Vers une démarche d'intégration de la sécurité à la conception des machines à bois semi-automatisées. Application au développement d'un système de captage des poussières pour défonceuse à commande numérique ; Thèse de doctorat ; Université Henri Poincaré ; Nancy ; Mars 1999.
- /JOUGLET-2000/ JOUGLET, D. ; Coopération homme-machine pour le diagnostic technique : application aux dérangements téléphoniques ; Thèse de doctorat ; Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis ; Janvier 2000.
- /KANTOWITZ-1983/ KANTOWITZ, B. H. ; SORKIN, R. D. ; Human factors ; John Wiley and Sons ; 1983.

- /KARSKY&al.-1996/ KARSKY, M. ; DONNADIEU, G. ; COPIN, S. ; PITARCH, S. ; FOURCADE, J. ; Un modèle de simulation des comportements dynamiques des processus de motivation ; Revue internationale de systémique ; vol.10 ; n°5 ; pp.447-484 ; 1996.
- /KARUPPAN-1994/ KARUPPAN, C.M. ; Stress management in a highly automated environment ; Production and inventory management journal ; second quarter ; 1994.
- /KBSI-1994/ KBSI ; IDEF5 Method Report ; Wright-Patterson Air Force Base ; Ohio ; 45433 ; September 1994.
- /KBSI-1995/ KBSI ; IDEF3 process description capture method report ; Information Integration for Concurrent Engineering ; Wright-Patterson Air Force Base ; Ohio ; 45433 ; September 1995.
- /KELLERT&al.-1998/ KELLERT, P. ; RUCH, S. ; Méthodologie de modélisation orientée objets de systèmes de production. Un processus de construction/validation du modèle générique orienté objets d'un système de production ; Ed. Hermès ; APII-JESA, vol.32, n°1 ; pp.51-105 ; 1998.
- /KIESLER-1971/ KIESLER, C.A. ; The psychology of commitment, experiments linking behavior to belief ; Academic Press ; New-York ; 1971.
- /LABORIT-1968/ LABORIT, H. ; Biologie et structure ; Ed. Gallimard ; 1968.
- /LABORIT-1979/ LABORIT, H. ; L'inhibition de l'action ; Ed. Masson ; Paris ; 1979.
- /LAMBERT-1999/ LAMBERT, M. ; Conception centrée sur l'Homme d'un système de supervision avancé ; Thèse de Doctorat ; Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis ; Février 1999.
- /LAPRA-1997/ LAPRA, J.P. ; L'évaluation du personnel dans l'entreprise ; Ed. Dunod ; Paris ; 1997.
- /LEBOTERF-1997/ LE BOTERF, G. ; De la compétence à la navigation professionnelle ; Editions d'organisation ; Paris ; 1997.
- /LEBOTERF-1998/ LE BOTERF, G. ; L'ingénierie des connaissances ; Ed. d'organisation ; Paris ; 1998.
- /LEE&al.-1994/ LEE, J. ; YOST, G. ; Pif : process interchange format and framework ; Version 1.0 ; PIF Working Group ; MIT center for coordination science working paper 180 ; December 22 ; 1994.
- /LEGALLOU-1992/ LE GALLOU, F. ; Activités des Systèmes ; dans " Systémique : théorie et application " ; Ed. Lavoisier ; 1992.
- /LEMOIGNE-1977/ LE MOIGNE, J.L. ; La théorie du système général ; P.U.F ; Paris ; 1977.
- /LEMOINE-1998/ LEMOINE-PACAU, M.P. ; Coopération Hommes-Machines dans les procédés complexes : Modèles techniques et cognitifs pour le Contrôle de Trafic Aérien ; thèse de doctorat ; Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis ; 1998.
- /LEPLAT&al.-1983/ LEPLAT, J. ; HOC, J.M. ; Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations ; Cahiers de psychologie cognitive ; 3 ; pp. 49-63 ; 1983.
- /LEVYLEBOYER-1996/ LEVY-LEBOYER, C. ; La gestion des compétences ; Ed. d'Organisation ; Paris ; 1996.
- /LEVYLEBOYER-1998/ LEVY-LEBOYER, C. ; La motivation dans l'entreprise : modèles et stratégies ; Ed. d'Organisation ; Paris ; 1998.
- /LICLIDER-1994/ LICLIDER, J.C.R. ; Pourquoi cette émergence de la compétence ? ; GIP Mutations Industrielles ; Cahiers de Recherche n°70 ; 1994.
- /LORINO-1991/ LORINO, P. ; Le contrôle de gestion stratégique. La gestion par les activités ; ed. Dunod ; 1991.
- /MAISONNEUVE-1976/ MAISONNEUVE, J. ; La dynamique des groupes ; Collection « Que sais-je ? » ; PUF ; Paris ; 1976.

- /MARBACH-1999/ MARBACH, V. ; Evaluer et rémunérer les compétences ; Editions d'organisation ; Paris ; 1999.
- /MARCH&al.-1971/ MARCH, J.G. ; SIMON, H.A. ; Les organisations; Ed. Dunod ; Paris ; 1971.
- /MARRE-1991/ MARRE, J. ; Les structures de l'entreprise ; Techniques de l'ingénieur ; Vol. A6 ; Génie industriel, management de l'entreprise ; 1991.
- /MARTENSSON-1992/ MARTENSSON, L. ; STAHERE, J. ; Operator roles in advanced manufacturing ; in Ergonomics of hybrid automated systems vol.3 ; Elsevier Science Publishers ; 1992.
- /MARTORY&al.-1998/ MARTORY, B ; CROZET, D. ; Gestion des ressources humaines : manuel de pilotage social ; Ed. Nathan ; Paris ; 1998.
- /MASLOW-1954/ MASLOW, A.H. ; Motivation and personality ; Harper and Row ; New-York ; 1954.
- /MAYO-1933/ MAYO, E. ; The human problems of an industrial civilization ; Macmillan ; Cambridge ; 1933.
- /MELESE-1991/ MELESE, J. ; L'Analyse Modulaire des Systèmes (AMS) ; Editions d'Organisation ; 1991.
- /MERCHANT-1988/ MERCHANT, M. E., The Percepts and Sciences of Manufacturing, Robotics & Computer Integrated Manufacturing, Vol. 4, No. 1/2, 1988, pp. 1-6.
- /MILLOT-1988/ MILLOT, P. ; Supervision des procédés automatisés et ergonomie ; Ed. Hermès ; Paris ; 1988.
- /MINTZBERG-1982/ MINTZBERG, H. ; Structure et dynamique des organisations ; Ed. d'organisation ; Paris ; 1982.
- /MORGAN-1989/ MORGAN, G. ; Images de l'Organisation ; PUL ; Ed. Eska ; Laval ; 1989.
- /MORIN-1994/ MORIN, P. ; Approche sociotechnique de l'ingénierie simultanée ; dans La modélisation en entreprise : CIM-OSA et ingénierie simultanée ; ouvrage coordonné par FOULARD, C. ; Hermès ; Paris ; 1994.
- /MTM-1955/ DEUTSCHE MTM, MTM Normzeitwertkarte, Hamburg, 1955.
- /NUTTIN-1980/ NUTTIN, J. ; Théorie de la motivation humaine ; PUF ; Paris ; 1980.
- /ORTIZ-1995/ ORTIZ-HERNANDEZ, J. ; Les systèmes de production automatisés : une approche socio-technique ; UFR Sciences de Franche-Comté ; Thèse de Doctorat; Novembre 1995.
- /PACAUX&al.-2000/ PACAUX, M.P. ; DEBERNARD, S. ; Common work space to support the air traffic control ; IFAC Automated systems based on human skills ; Aix-la-Chapelle ; Germany ; 15-17 June 2000.
- /PATCHONG-1997/ PATCHONG, A. ; Méthodes de modélisation, d'analyse et de diagnostic pour l'amélioration de l'efficacité d'un atelier de production ; Thèse de doctorat ; Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis ; Décembre 1997.
- /PAUL&al.-1995/ PAUL, B.K. ; COCHRAN, J.K. ; Qualitative modeling of the organizational acceptance of advanced manufacturing technologies ; International Journal of Human Factors in Manufacturing ; Vol. 5 ; Ed. John Wiley & sons ; 1995.
- /PIERREVAL-1990/ PIERREVAL, H. ; Les méthodes d'analyse et de conception des systèmes de production ; Ed. Hermès ; Paris ; 1990.
- /POIRIER&al.-1991/ POIRIER, Y. ; CLAUDE BOUCHER, R. ; Fondements conceptuels de l'administration et de l'organisation ; Ed. du Trécarré ; Saint-Laurent ; Québec ; 1991.
- /POLET&al.-2000/ POLET, P. ; VANDERHAEGEN, F. ; Analysis of deviated modes for risk assessment ; in proceedings of the european conference ESREL'2000 ; pp.133-140 ; Edinburgh ; Scotland ; May 2000.

- /PORTER&al.-1968/ PORTER, L.W.; LAWLER, E.E.; Managerial attitudes and performance ; Homewood ; Dorsay Press ; 1968.
- /POYET-1990/ POYET, C. ; L'Homme, agent de Fiabilité dans les systèmes automatisés ; dans Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes ; dir. J. LEPLAT et G. de TERSSAC ; Chapitre 9 ; Ed. Octarès Entreprises ; Marseille ; 1990.
- /PROBST&al.-1997/ PROBST, G.J.B. ; MERCIER, J.Y. ; BRUGGIMANN, O. ; RAKOTOBARISON, A. ; Organisation et management ; Editions d'organisation ; Paris ; 1997.
- /RASMUSSEN-1983/ RASMUSSEN, J. ; Skills, rules and knowledge ; signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models ; IEEE SMC n°3 ; May/June 1983.
- /ROETHLISBERGER&al.-1939/ ROETHLISBERGER, F.J. ; DICKSON, W.J. ; Management and the worker ; Harvard University Press ; Cambridge ; 1939.
- /RUFFIER-1996/ RUFFIER, J. ; L'efficience Productive ; Ed. du CNRS ; 1996.
- /SCHWARTZ&al.-1993/ SCHWARTZ, J. ; JANDORF, L. ; KRUPP, L.B. ; The measurement of fatigue : a new scale ; Journal of Psychosomatic Results ; n°37 ; pp. 753-762. ; 1993.
- /SEVAUX&al.-2000/ SEVAUX, M. ; DAUZERES-PERES, S. ; Building a Genetic Algorithm for a Single Machine Scheduling Problem ; Proceedings of the 18th EURO Winter Institute ; ESWI XVIII ; 2000
- /SEIDMAN&al.-1957/ SEIDMAN, D. ; BENSEN, S.B. ; MILLER, I. ; MEELAND, T. ; Influence of a partner on tolerance for self-administrated electric shock ; Journal of sociology and psychology ; 1957.
- /SENECHAL-1996/ SENECHAL, O. ; Proposition d'une méthodologie pour l'aide à l'estimation des performances physico-économiques des systèmes de production dans une approche concourante ; thèse de doctorat ; Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis ; février 1996.
- /TAOUTAOU &al.-1999/ TAOUTAOU, T. ; EL MHAMED, A. ; Iterative activities and business processes modelling by controlled transfer petri nets ; Ed. Hermès ; APII-JESA ; Vol. 33, n°5-6, pp. 569-592 ; Juillet 1999.
- /TERSSAC&al.-1990/ DE TERSSAC, G. ; CHABAUD, C. ; Référentiel opératif commun et fiabilité ; dans Les Facteurs Humains de la fiabilité dans les systèmes complexes ; sous la direction de LEPLAT, J et de TERSSAC, G. ; Chapitre 4 ; Ed. Octarès Entreprises ; Marseille ; 1990.
- /THAM-1995/ THAM, K.D. ; PERA : entreprise modelling ; Enterprise Integration Laboratory ; <http://www.ie.utoronto.ca/EIL/entmethod/> ; University of Toronto ; July 1995.
- /TRENTESAUX&al.-1998/ TRENTSAUX, D. ; MORAY, N. ; TAHON, C. ; Integration of the human operator into responsive discrete production management systems ; European Journal of Operational Research ; Elsevier Science ; pp.342-361 ; 1998.
- /TRIST-81/ TRIST, E.L. ; The evolution of sociotechnical systems ; occasional paper 2 ; Ontario Quality of Work Life Center ; Ontario ; Canada ; 1981.
- /VERNADAT-1994/ VERNADAT, F. ; CIMOSA : une architecture pour l'intégration dans les entreprises manufacturières ; dans La modélisation en entreprise ; chapitre 2 ; ed. Hermès ; Paris ; 1994.
- /VILLEMEUR-1988/ VILLEMEUR, A. ; Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels ; Ed. Eyrolles ; 1988.
- /VINCENT-1996/ VINCENT, J.D. ; La chair et le diable ; Odile Jacob ; Paris ; 1996.
- /WARNER&al.-1941/ WARNER, W.L. ; LUNT, P.S. ; The social life of a modern community ; Yale University Press ; New Haven ; 1941.

-
- /WAWAK-1996/ WAWAK, F. ; Elaboration d'un système d'aide à la décision pour la supervision en téléopération : approche basée sur les théories des sous-ensembles flous et des possibilités ; Thèse de doctorat ; Université des Sciences et Technologies de Lille ; Mai 1996.
- /WILLIAMS-1992/ Williams, T.J. ; The Purdue Enterprise Reference Architecture ; Purdue Laboratory for Applied Industrial Control ; Purdue University ; West Lafayette ; Indiana ; USA ; March 16 ; 1992.
- /WILLIAMS&al.-1993/ WILLIAMS, T.J. ; BERNUS, P. ; BROSVIC, J., CHEN, D. ; DOUMEINGTS, G. ; NEMES, L. ; NEVINS, J.L. ; VALLESPER, B. ; VLIESTRA, J. ; ZOETEKOUW, D. ; Architectures for integrating manufacturing activities and enterprises ; in Information Infrastructure Systems for Manufacturing ; Elsevier science ; North-Holland ; IFIP ; 1993.

Annexe 1

Evaluation de performances : paramètres, indicateurs et modèle de référence

L'évaluation de la performance d'un système de production a recours à des paramètres caractéristiques des moyens de production mesurés ou évalués directement sur ces moyens de production. Ces paramètres de performance sont ensuite utilisés pour calculer des indicateurs de performance fournissant des points de vue synthétiques sur la performance. Les paramètres et indicateurs de performance sont utilisés pour l'évaluation des performances de lignes de production, réalisée à partir d'un *modèle de référence* ou modèle asynchrone, ou encore d'un modèle approximatif dérivé de ce dernier que l'on appelle modèles déterministe, exponentiel ou continu. Le problème essentiel consiste à trouver les paramètres et indicateurs les plus pertinents et significatifs de la performance, notamment quand il y a présence humaine dans le système de production.

1. PARAMETRES DE PERFORMANCE

Les paramètres de performance sont des quantités mesurables qui peuvent être relevées directement sur le système de production, Tableau A1- 1, et parmi lesquels figurent les caractéristiques fournies par le constructeur du moyen de production.

Paramètre	Description
Temps requis (TR)	Durée pendant laquelle on souhaite que le système produise
Temps d'arrêts propres (TAP)	Temps d'arrêts imputables au moyen de production (pannes)
Temps d'arrêts induits (TAI)	Temps d'arrêts imputables à l'environnement du moyen de production (machine bloquée ou affamée, absence d'énergie)
Temps de fonctionnement (TF)	Temps de travail effectif du moyen de production
Nombre de pièces total (PT)	Nombre de pièces réalisées pendant le temps requis
Nombre de pièces bonnes (PB)	Nombre de pièces bonnes réalisées pendant le temps requis
Nombre d'arrêts propres (NAP)	Nombre d'arrêts propres survenus pendant le temps requis
Temps de cycle réel (TCR)	Temps moyen nécessaire pour réaliser une pièce
Temps de cycle nominal (TCN)	Temps théorique nécessaire pour réaliser une pièce

Tableau A1- 1 : Paramètres de performance d'un moyen de production

2. INDICATEURS DE PERFORMANCE

Les indicateurs de performance, présentés Tableau A1- 2, expriment une vision synthétique sur le fonctionnement d'un moyen de production et permettent de suivre les principales causes de dérive de l'efficacité d'un atelier de production, telles que la fiabilité, la maintenabilité et la qualité /PATCHONG-1997/. Leur calcul nécessite la connaissance de sept paramètres de performance au moins, dont trois paramètres essentiels : le nombre de pièces bonnes PB, le temps de cycle nominal TCN et le nombre d'arrêts propres NAP /CAUFFRIEZ&al.-1997/.

Les paramètres et indicateurs de performance sont utilisés par les principales méthodes de diagnostic de performances rencontrées dans l'industrie et interviennent dans le formalisme du modèle de référence et des méthodes approximatives dérivées.

Indicateur	Description	Formule
Taux d'allure (Tall)	Il quantifie la dérive du <i>temps de cycle</i> du moyen de production.	$Tall = \frac{TCN}{TCR}$
Taux de qualité (TQ)	Il quantifie le niveau de <i>qualité</i> atteint par le moyen de production.	$TQ = \frac{PB}{PT}$
Temps de fonctionnement moyen (TFM)	Il permet de suivre l'évolution de la <i>fiabilité</i> du moyen de production.	$TFM = \frac{TF}{NAP}$
Temps d'arrêts propres moyen (TAPM)	Il permet de suivre l'évolution de la <i>maintenabilité</i> du moyen de production.	$TAPM = \frac{TAP}{NAP}$
Disponibilité propre (DP)	Il permet de suivre l'évolution de la <i>disponibilité</i> du moyen de production.	$DP = \frac{TF}{TF + TAP}$
Disponibilité opérationnelle (DO)	Il permet de suivre l'évolution de la <i>disponibilité et des arrêts induits</i> .	$DO = \frac{TF}{TR}$
Rendement synthétique (RS)	Il mesure la performance globale du moyen de production.	$RS = \frac{TCN * PB}{TR}$

Tableau A1- 2 : Présentation des indicateurs de performance

3. MODELE DE REFERENCE ET MODELES DERIVES

Le modèle de référence, Figure A1- 1, représente le système de production sous la forme d'une succession de zones de travail et de stockage, liées par un flux de matière. Ce modèle est constitué d'un ensemble d'équations utilisant de nombreux paramètres caractérisant ces zones de travail et de stockage. Les paramètres classiques pris en compte sont les taux de panne (λ) et de réparation (μ), le temps d'opération (U) et la capacité des stocks (C). Ceux-ci sont calculés à partir des paramètres de performance présentés dans la partie précédente et peuvent être complétés par l'introduction de paramètres supplémentaires tels que le temps résultant (durée opératoire restante pour la fin de l'opération).

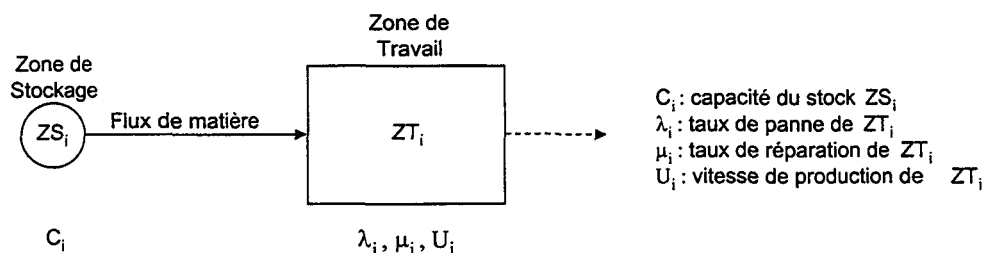


Figure A1- 1 : Formalisme du modèle de référence

Le modèle de référence aboutit sur un ensemble d'équations, qui n'offre pas toujours de solutions. C'est pourquoi des modèles approchés, permettant la résolution de problèmes relatifs à l'amélioration du rendement de lignes de production /PATCHONG-1997/, ont été développés (modèles discrets /GERSHWIN-1987/ ou continus /DUBOIS-1982/). Ces problèmes sont résolus analytiquement ou par simulation.

Annexe 2

Le systémographe SAGACE

En 1989, le CEA lance le programme SAGACE dont l'objectif est de fournir une méthodologie de modélisation systémique des systèmes complexes accompagnée d'un support logiciel pour sa mise en œuvre. Cette méthodologie peut être utilisée à des fins diverses telles que la conception et l'amélioration de procédés, les analyses prévisionnelles de sécurité, l'étude des organisations ou le montage de projet.

SAGACE s'inspire de la *Théorie du Système Général* énoncée par Jean-Louis LE MOIGNE, et repose sur trois éléments fondamentaux :

- une modélisation par **points de vue**,
- un **langage graphique** de représentation inspiré de l'idéographie dynamique de Pierre Lévy,
- un **outil informatique** de conception Objet, nommé Systémographe, qui supporte la méthode.

Suivant SAGACE, tout système peut être perçu à travers trois propriétés principales associées à des critères de mesure :

- L'**activité**, caractérisée par la **performance** qui mesure la réussite de la mission confiée au système ;
- Le **fonctionnement**, caractérisé par la **stabilité** qui traduit le caractère du fonctionnement d'un système apte à résister aux perturbations du milieu de façon reproductible dans le temps ;
- L'**évolution**, caractérisée par l'**intégrité** qui traduit la conformité fonctionnelle du système, sa cohésion structurelle et sa cohérence opérationnelle ;

Les couples ainsi définis, activité-performance, fonctionnement-stabilité et évolution-intégrité, constituent trois **perspectives** de modélisation d'un système. Le modélisateur doit également choisir sa façon d'observer le système suivant le but de son étude et dispose de trois **visions** complémentaires :

- la vision **fonctionnelle** se focalise sur ce que fait le système,
- la vision **organique** explicite ce qu'est le système au travers des ressources opérantes,
- la vision **opérationnelle** exprime ce que décide le système pour remplir sa mission.

La combinaison de ces visions et perspectives définit neuf **points de vue** pour la modélisation, représentés Figure A3- 1, qui sont chacun associés à un modèle particulier. Ces modèles sont appelés systémogrammes et sont représentés suivant une organisation hiérarchique descendante. Ils font référence à trois flux de nature différente :

- les flux de **matière**,
- les flux d'**énergie**,
- les flux d'**informations**.

Les objets véhiculés par ces flux sont associés à des caractéristiques particulières : les informations, par exemple, sont classées en informations de consigne, de commande et

informations régulées. Ces objets peuvent être soumis à trois types d'actions portant sur la **forme**, l'**espace** ou le **temps** /BRAESCH&al.-1995/.

Le regroupement des points de vue autorise la représentation de niveaux de représentation de l'organisation, comme indiqué Figure A3- 1 :

- la **fonction** du système définit « ce à quoi sert une chose dans l'ensemble dont elle fait partie ». Elle est liée à la *mission* puisque c'est elle qui justifie son activité et exprime les relations avec son environnement en terme de services rendus. Le service est, pour sa part, une fonction qui satisfait au profil de la mission et représente la valeur ajoutée du système dans son activité. Ce point de vue est couramment modélisé en ayant recours à l'analyse fonctionnelle ou l'analyse de la valeur.
- la **structure** du système, dont la représentation fait appel à trois points de vue : le *réseau opérant*, dont les éléments permettent ou font l'objet des activités du système, les *programmes d'activités*, qui caractérisent l'agencement d'activités enclenchées au cours d'une période temporelle prédéterminée ou non, et le *dispositif logistique*, qui permet l'exécution de programmes d'activités remplissant une fonction de mémorisation, de communication ou de mise en œuvre.
- le **comportement**, qui rend compte du *changement conjoncturel* dans le système. Sa modélisation fait appel aux cinq points de vue restants.

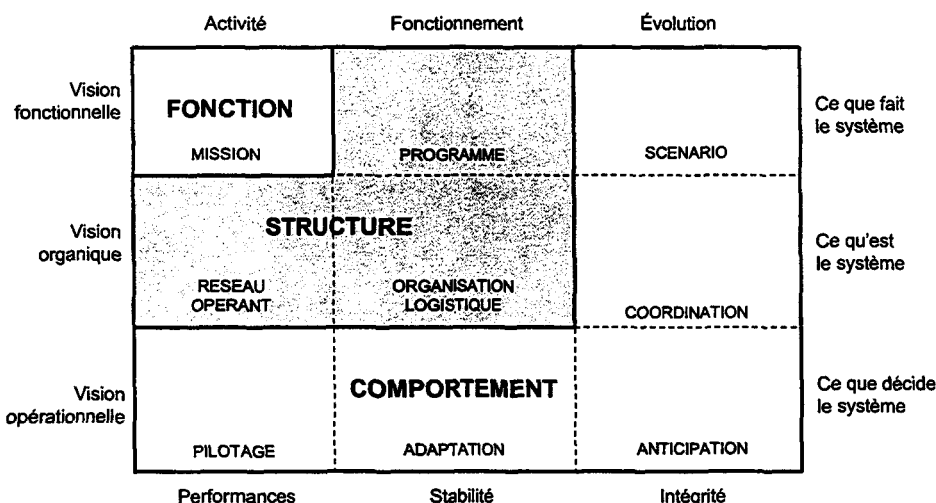


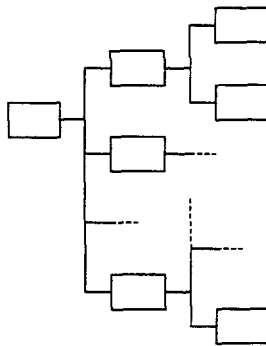
Figure A3- 1 : Matrice des points de vue et niveaux de représentation de l'organisation

Ces niveaux fonction, structure et comportement se retrouvent également dans la modélisation de systèmes complexes proposée dans /FELIOT-1997/, qui combine trois modèles qui leur sont associés, comme présenté Figure A3- 2 :

- le modèle fonctionnel, qui exprime une représentation des fonctions assurées par le système. Cette représentation utilise le formalisme de la méthode SADT.
- le modèle structurel, qui exprime l'existence ou l'absence de liens ou de contraintes entre les variables de description du système.
- le modèle de comportement, qui formalise les contraintes entre variables de description du système.

Modèle FONCTIONNEL

Fonctions obtenues suivant la méthode SADT



Modèle STRUCTUREL

Variables de description

	x_1	x_2	x_3	...	x_k	
F_1	1	0	0	...	0	f_1
	0	1	1	...	.	f_2
	.	.	.	...	0	...
F_2	.	.	.	...	.	...
	.	.	.	...	.	f_j

...
F_m	0	.	.	...	0	...
	0	.	.	...	1	f_n
	0	.	.	...	0	f_n

Modèle COMPORTEMENTAL

Contraintes entre variables de description

$f_1(x_1, \dots, x_k)$
 $f_2(x_1, \dots, x_k)$
 ...
 $f_j(x_1, \dots, x_k)$
 ...
 $f_n(x_1, \dots, x_k)$

Figure A3- 2 : Couplage des modèles fonctionnel, structurel et comportemental /FELIOT-1997/

Cette combinaison de modèles a pour but de pallier les insuffisances des modèles simples. Elle permet effectivement d'accroître les fonctionnalités du modèle et de résoudre, ainsi, une variété plus large de problèmes ; d'étendre le champ d'application du modèle et d'améliorer le niveau de formalisation.

Le modèle des systèmes de fabrication proposée dans le chapitre 3 de cette thèse conserve plusieurs éléments de la méthodologie SAGACE :

- les niveaux de modélisation Structure, Fonction et Comportement, agrémentés d'un niveau supplémentaire correspondant au fonctionnement du système de fabrication.
- les trois types d'actions appliquées sur la forme, l'espace et le temps caractérisant les objets circulant dans le système de fabrication.
- la notion de flux d'objets, regroupés par leurs natures physique, informationnelle et humaine. Cette décomposition en flux diffère de celle retenue dans SAGACE. Effectivement, cette méthodologie a été développée initialement pour le CEA et attache une importance toute particulière au flux d'énergie. Dans le cas des systèmes de fabrication manufacturiers, l'énergie n'est pas le produit de l'installation et sa prise en compte peut être réalisée sous la forme d'informations sur la présence ou l'absence de l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'atelier. L'énergie est alors intégrée au flux informationnel. Par contre, l'objectif de notre étude, consistant à intégrer des aspects humains, justifie la prise en compte d'un flux humain qui pousse le modélisateur à « se pencher de plus près » sur cette composante du système de fabrication.

Annexe 3

Architectures de référence de l'entreprise

Les architectures de référence offrent la possibilité d'acquérir des modèles de l'entreprise et de son système de production intégrés dans un contexte CIM. L'application sur des sites industriels de ces architectures de référence a démontré leur pertinence et l'intérêt qu'elles présentent. Néanmoins, leur implémentation sur un cas réel engendre une charge de travail très conséquente, qui se caractérise par une durée relativement longue pour obtenir des modèles exploitables, et nécessitant une mise à disposition de moyens assez importante.

Les principales méthodologies issues des recherches sur la modélisation des systèmes CIM sont GIM, CIM-OSA et PERA. Une évaluation et une analyse des principes définis dans ces trois architectures de référence, présentées dans les paragraphes suivants, a été réalisée par un groupe de travail de l'IFIP-IFAC et a permis de constater des similarités et des spécificités. Ces dernières ont mené au développement d'une méthodologie et d'une architecture de référence généralisées : **GERAM** (Generalised Enterprise Reference Architecture and Methodology) /IFIP IFAC-1997/.

1. METHODOLOGIE GIM

La méthodologie GIM, qui signifie GRAI Integrated Methodology, a été développée par le Groupe de Recherche en Automatisation Intégrée, sous la direction du professeur G. Doumeingts. Celle-ci couvre les phases d'analyse et de conception des systèmes de production. Elle propose une solution aux entreprises pour faciliter l'amélioration continue de leurs performances de production, la mesure des résultats obtenus et leur comparaison aux meilleures pratiques industrielles. La méthodologie GIM repose sur le **modèle de référence GRAI** (Graphes à Résultats et Activités Inter-reliés /PIERREVAL-1990/) qui représente le système de production comme un ensemble de trois sous-systèmes : le système **physique**, le système d'**information** et le système **décisionnel**, Figure A4- 1. Les décisions prises par le système décisionnel sont transmises au système physique par le biais du système d'information. Le groupement des systèmes d'information et de décision correspond au système de pilotage, le système de production étant ainsi divisé en deux parties :

- le système **physique**, correspondant au sous-système physique (hommes, moyens, matériels, techniques), qui a pour but de transformer des composants en produits finis afin d'ajouter de la valeur au flux matériel.
- le système de **pilotage**, qui doit maîtriser le système physique pour le faire fonctionner selon les objectifs fixés.

La méthodologie GIM met en œuvre plusieurs formalismes, présentés Figure A4- 1. Ces formalismes sont utilisés pour la modélisation respective des trois systèmes composant le système de production : le système physique est représenté avec le formalisme IDEF0, le système d'informations avec MERISE et le système de décision avec les méthodes GRAI /DOUMEINGTS-1984/.

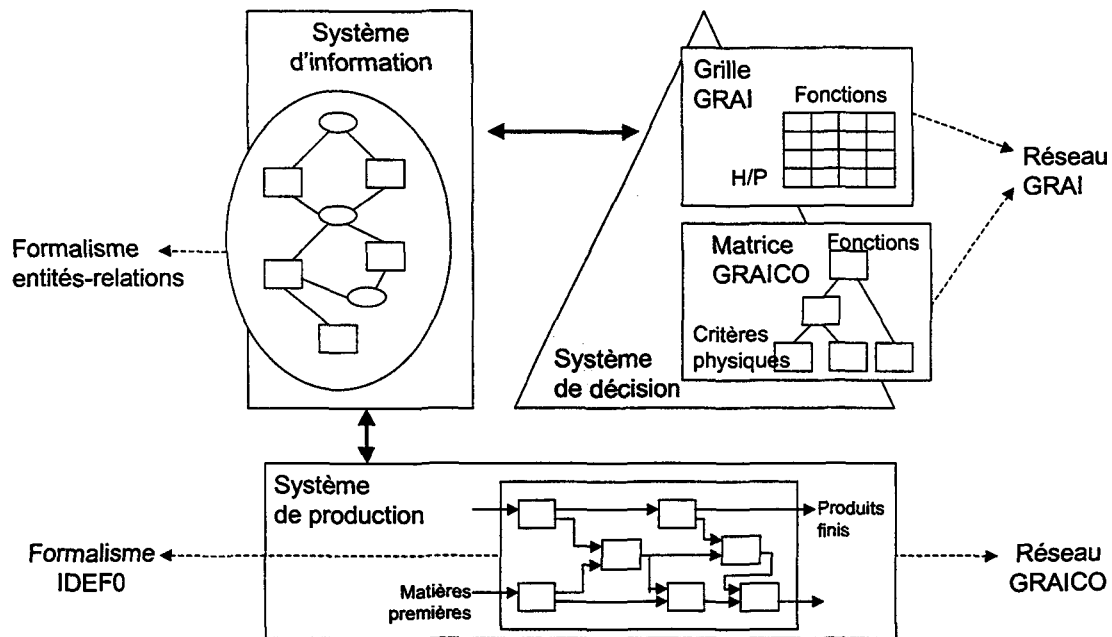


Figure A4- 1 : Formalismes de la méthodologie GIM

La méthodologie GIM fournit une approche structurée qui guide les utilisateurs et les concepteurs et permet la détection des incohérences dans le modèle par le biais des règles GRAI et GRAICO. Elle a fait l'objet du développement d'un outil d'aide informatique dédié, nommé CAGIM pour Computer Aided tool for GIM.

2. LA METHODOLOGIE CIM-OSA

CIM-OSA, acronyme de Computer Integrated Manufacturing–Open Systems Architecture, a été développée par le consortium AMICE et définit une méthodologie intégrée qui couvre toutes les phases du cycle de vie d'un système CIM ; depuis l'expression des besoins, jusqu'à la conception du système, sa mise en place, son exploitation et sa maintenance. Le cadre de modélisation, représenté sous la forme d'un cube, Figure A4- 2, est défini suivant trois axes :

- Un axe de **particularisation**, qui traduit l'évolution de la modélisation de briques génériques à l'obtention de modèles particuliers, en passant par une étape intermédiaire correspondant à des modèles partiels.
- Un axe de **dérivation**, composé de trois étapes correspondant à l'expression des besoins du système, aux spécifications de conception et à la description de son implantation.
- Un axe de **génération**, qui permet l'analyse et la synthèse des quatre vues spécifiques de l'entreprise suivantes :
 - La vue **fonction**, qui décrit la structure fonctionnelle nécessaire pour satisfaire les objectifs de l'entreprise, et la structure de contrôle associée.
 - La vue **information**, qui décrit les informations nécessaires pour chaque fonction.
 - La vue **ressource**, qui décrit les ressources et leurs relations avec les structures fonctionnelles et de contrôle, ainsi qu'avec les structures organisationnelles.

- La vue **organisation**, qui est une description des structures organisationnelles de l'entreprise, traduisant les responsabilités de chaque individu vis-à-vis des structures fonctionnelles et de contrôle et des informations et des ressources.

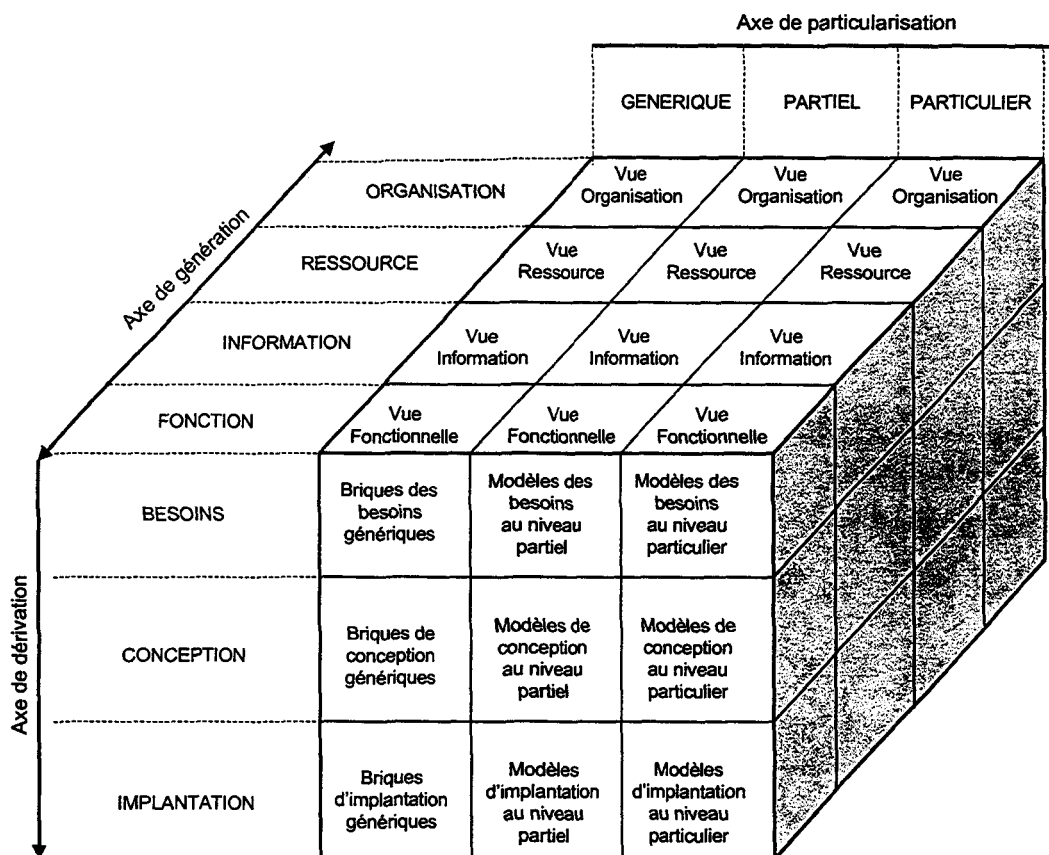


Figure A4- 2 : Cadre de modélisation de CIM-OSA

CIM-OSA se focalise sur les aspects production et information relatifs aux tâches de l'entreprise. En ce qui concerne les aspects humains, un modèle de compétence enrichit désormais la modélisation des opérateurs humains dans la vue Ressources /BERIO&al-1999/. Néanmoins, CIM-OSA ne prend pas en compte le traitement de fonctions implémentées par l'homme dans une entreprise CIM. C'est dans le but de remédier à cette lacune que le développement de l'architecture de référence **PERA** (Purdue Enterprise Reference Architecture) a été initié en décembre 1990 au *Purdue Laboratory for Applied Industrial Control*.

3. METHODOLOGIE PERA

PERA /WILLIAMS-1992/ intègre les fonctions « humaines » comme des entités externes, hors de la sphère du modèle général CIM. Ceci conduit au paradigme de modélisation de PERA qui consiste à définir une représentation générale des tâches, couvrant aussi bien les tâches du système d'information que les tâches de fabrication et les tâches basées sur l'Homme. Cette modélisation des entreprises CIM basée sur trois catégories de tâches était alors, et reste depuis, l'élément de distinction du projet PERA par rapport aux nombreux autres projets de modélisation des entreprises /THAM-1995/. A la différence de CIM-OSA, qui s'accommode de 4 vues (fonctionnelle, informationnelle, ressources et organisationnelle ;

cf. §4.5.2.), PERA se focalise sur deux vues –fonctionnelle et application- qui sont structurées suivant deux flots, Figure A4- 3 :

- le **flot d'informations**, initialisé par les besoins de l'entreprise en matière de gestion des données, de contrôle, d'ordonnancement et de planification. Ce flot combine les classes de fonctions concernant la décision, le contrôle et les données.
- le **flot de fabrication**, ou de services relatifs au client, initialisé par les besoins physiques de l'entreprise relatifs à la production.

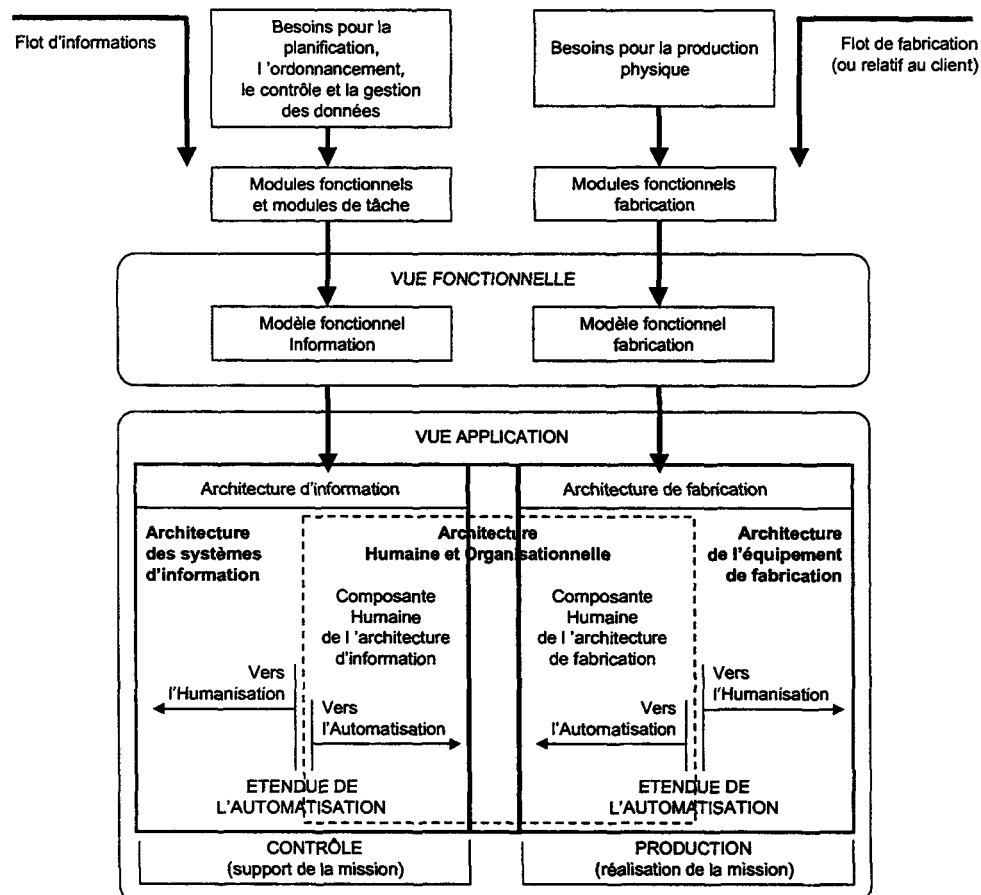


Figure A4- 3 : Vues, flots et architectures de PERA

Ces deux flots sont organisés en trois ensembles d'implémentation de tâches et de fonctions : les activités humaines, les activités du flot d'informations non supportées par l'Homme, et les activités de fabrication (ou services client) non supportées par l'Homme. Ces trois types d'activités sont représentés sous la forme de modules de tâches (cf. Figure A4-4), dont le schéma de représentation des connaissances est très proche de celui utilisé dans l'approche de modélisation IDEF /IDEF-1981/. Le schéma de représentation générique exprime les entrées par le temps, les paramètres de contrôle, les processus de transformation, les sorties et les entités de stockage.

Les trois catégories définies pour les activités se retrouvent également dans la définition des trois sous-architectures composant la vue d'implémentation de PERA (architecture du système d'information, du système de fabrication, et l'architecture humaine et organisationnelle). La répartition des tâches entre ces trois architectures est représentée par une *ligne d'étendue de l'automatisation*, représentée sur la Figure A4- 3, qui témoigne du degré d'automatisation actuel, supporté ou planifié dans le système CIM. La détermination de la position de cette ligne implique des facteurs de nature économique, sociale, technologique, ou encore liée à la clientèle, aux lois, aux directives et aux règlements. Elle

est encadrée par deux autres lignes traduisant les progressions possibles vers l'humanisation ou l'automatisation du système CIM. Le déplacement de ces deux lignes s'effectue suivant des directions opposées, entraînant une modification des frontières de l'architecture humaine et organisationnelle dans la vue d'implémentation.

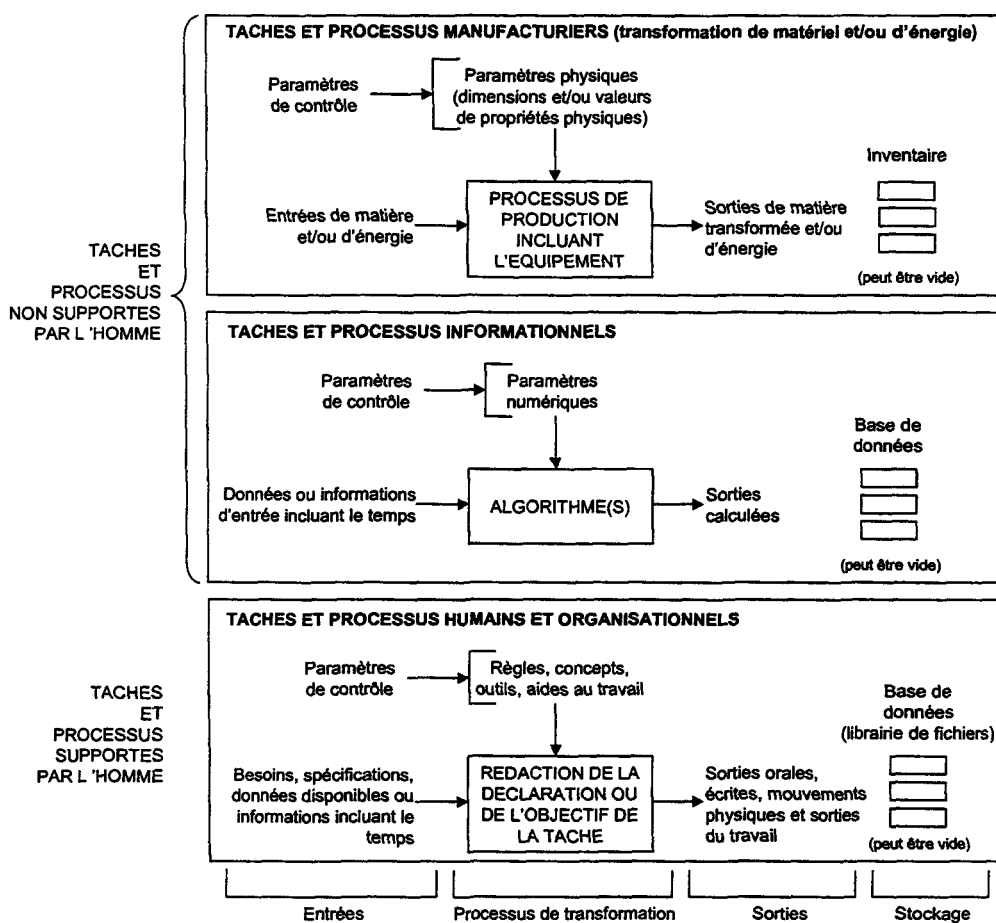


Figure A4- 4 : Schémas de représentation des connaissances pour les modules de tâches

A travers la catégorisation explicite des tâches ou processus suivant trois dimensions intégrant les aspects humains et organisationnels, PERA a établi les bases pour le traitement des fonctions implémentées par l'Homme dans les entreprises CIM.

La distinction de trois types de tâches effectuée dans PERA traduit la nécessité de traiter séparément et spécifiquement les entités physiques, informationnelles et humaines de l'entreprise. Ces catégories s'apparentent aux classes d'objets et de flux pris en compte dans la modélisation des systèmes de fabrication proposée dans le cadre de notre travail. PERA fait apparaître clairement l'importance de la composante humaine de l'entreprise et CIM-OSA s'oriente manifestement vers une prise en compte plus significative des aspects humains dans la modélisation à en juger par les travaux de /HARZALLAH&al.-1999/ et /BERIO&al-1999/ visant à définir un modèle de compétence et à l'intégrer dans la vue « Ressource » de CIM-OSA.

L'utilisation de points de vue dans les architectures de référence est nécessaire pour obtenir une vision plus claire du système modélisé, en l'occurrence l'entreprise qui est un système trop complexe pour être appréhendé dans sa globalité. D'ailleurs, d'après /DINDELEUX-1998/, l'entreprise ne peut pas être entièrement modélisée, ce qui constitue une des raisons pour lesquelles nos travaux se limitent au système de fabrication de l'entreprise.



Annexe 4

IDEF3 : une méthode de recueil de descriptions de processus

La méthode IDEF3 a été développée dans le cadre du projet ICE, acronyme de Information Integration for Concurrent Engineering. Elle fournit un support de représentation pour stocker et manipuler les connaissances recueillies lors d'**interviews** auprès d'experts. Ce recueil de connaissances décrit le contenu et la dynamique des activités qui composent les processus décrits. La nuance entre description et modèle est importante dans le cadre d'IDEF3.

Effectivement, le terme **modèle** est utilisé pour exprimer l'idéal d'une entité ou d'une situation. Ainsi, un modèle constitue un système idéalisé d'objets, de propriétés et de relations en respectant certains aspects du monde réel. Les avions sans frottement ou les corps parfaitement rigides sont des exemples représentatifs de modèles qui simplifient le système réel pour visualiser, analyser, comprendre ou même prédire certains faits le concernant.

Le terme **description**, quant à lui, est utilisé pour exprimer un enregistrement d'observations humaines de nature empirique. Une description est ainsi un enregistrement de faits, de connaissances ou de croyances indissociables de l'expérience individuelle. De telles descriptions peuvent néanmoins être incomplètes, voire imprécises, car les personnes effectuant ces descriptions peuvent omettre des faits qu'elles estiment insignifiants ou qui ont été oubliés lors de la phase de description du système. De plus, ces descriptions peuvent également être inconsistantes ou illogiques si on considère comment d'autres ont observé les mêmes situations. IDEF3 accommode ces possibilités en fournissant un cadre spécifique permettant le recueil et l'organisation de **descriptions alternatives** du même processus sous forme de scénarii qui proviennent de différents acteurs intervenant dans ces processus.

IDEF3 a recours à deux vues graphiques complémentaires pour formaliser ces descriptions de processus : les **vues** centrées sur les **processus** et sur les **objets**.

Les **vues Objet** contiennent des représentations dont les éléments de base sont les symboles de type et d'état d'objet. La syntaxe et la sémantique des concepts utilisés dans les vues Objet sont abordées plus en détail dans le rapport concernant la méthode IDEF5 /KBSI-1994/. Le concept le plus élémentaire est celui du schéma de transition d'état, nommé schéma de transition, dans lequel les objets sont connectés entre eux par des liens de transition qui expriment une modification de l'objet à la source du lien, menant vers l'objet situé à l'extrémité de ce lien.

Les **vues Processus** sont très proches des graphes obtenus avec la méthode SADT : elles utilisent une représentation hiérarchique descendante composée d'**Unités de Comportement** (*Units Of Behavior*) connectées entre elles par des liens. Cependant, chaque *Unité de Comportement* est associée à des références permettant sa propre identification mais également celles de son « Unité mère » dans l'arborescence et du

scénario auquel elle se rapporte. De plus, trois types de liens sont définis dans IDEF3 pour connecter les *Unités de Comportement* :

- les liens de **précédence simple**.
- les liens de **précédence sous contraintes**, qui expriment des contraintes entre les UOB connectées comme une précédence stricte, une succession stricte ou une contrainte particulière définie par l'utilisateur.
- les liens **relationnels**, qui permettent d'exprimer des sémantiques non prédéfinies comme la réservation par un processus A d'une ressource R qui ne peut pas être impliquée simultanément dans un autre processus B.

IDEF3 ajoute également, par rapport aux graphes SADT et IDEF0, la logique d'enchaînement entre les processus à l'aide de **jonctions**, de type ET et OU, qui permettent de représenter des exécutions parallèles ou alternatives. Ces types de jonctions, représentés Figure A5- 1, sont également associés à la nature synchrone ou asynchrone des événements caractérisant l'activation ou l'achèvement des processus. Leur activation dans le temps est représentée sous la forme de repères d'activation.

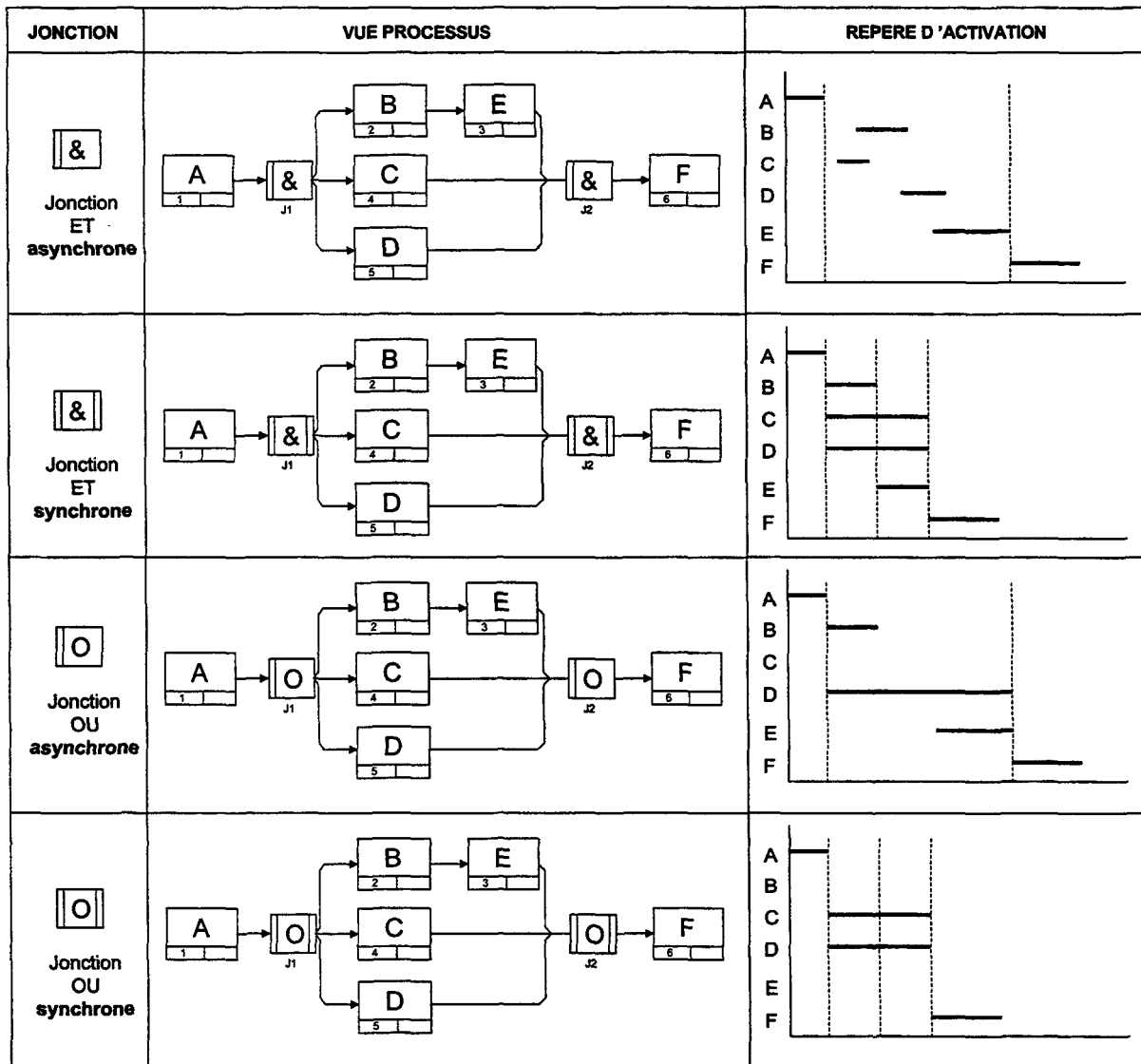


Figure A5- 1 : Types de jonctions définies dans IDEF3

La méthode IDEF3 présente de nombreux avantages dans le cadre de la formalisation d'activités humaines :

- elle permet d'exprimer des **points de vue** complémentaires provenant des différents acteurs impliqués dans un même processus. Les descriptions obtenues permettent de confronter ces points de vue et de les interpréter pour détecter des incompréhensions éventuelles, améliorer le processus observé ou mettre en évidence le savoir-faire des opérateurs humains mis à contribution dans la réalisation d'un processus de fabrication.
- l'acquisition des descriptions par la technique de l'interview ne nécessite pas de **formation** particulière pour les opérateurs humains impliqués dans les processus décrits. Les entretiens individuels, les réunions d'équipes ou encore les cercles de qualité peuvent être des occasions pour réaliser ces interviews
- la définition de catégories de liens permet de formaliser des **contraintes** et des relations particulières entre activités correspondant, par exemple, à des contraintes organisationnelles.
- les jonctions permettent de rendre compte de la **dynamique des processus** et de plusieurs possibilités pour réaliser une même tâche en fonction du contexte par exemple.

De plus, les vues processus IDEF3 peuvent être traduites sous la forme de Réseaux de Petri Stochastiques Généralisés, ce qui permet d'envisager l'évaluation des performances des processus décrits /ELMHAMEDI&al.-1999/.

Les processus IDEF3 peuvent également être exprimés dans le format d'échange de processus PIF /LEE&al.-1994/ qui fait l'objet de l'annexe 5.

Annexe 5

PIF : Process Interchange Format

PIF, acronyme de *Process Interchange Format* /LEE&al.-1994/, est un format d'échange de processus qui utilise la notion de classes et permet l'archivage et l'interconnexion des processus observés dans les entreprises. Il est particulièrement adapté pour exprimer les processus obtenus par l'application des méthodes SADT ou IDEF. Les principales classes qu'il propose sont les activités, les relations et les ressources. Celles-ci héritent de la classe de base entité et sont subdivisées en sous-classes, Figure A6- 1, que l'utilisateur peut enrichir à son gré.

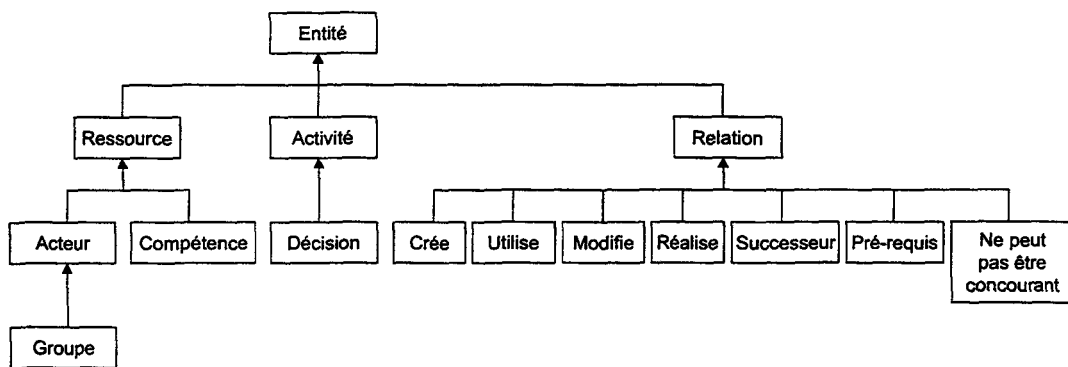


Figure A6- 1 : Hiérarchie des classes PIF

Ces classes et les liens qui les connectent, Figure A6- 2, sont codées sous la forme de fichiers texte et permettent une mise en forme informatique relativement aisée. Ce codage constitue une base solide pour capitaliser les connaissances et le savoir-faire des opérateurs humains tels qu'ils peuvent être mis en évidence dans les descriptions des processus de fabrication qu'ils réalisent.

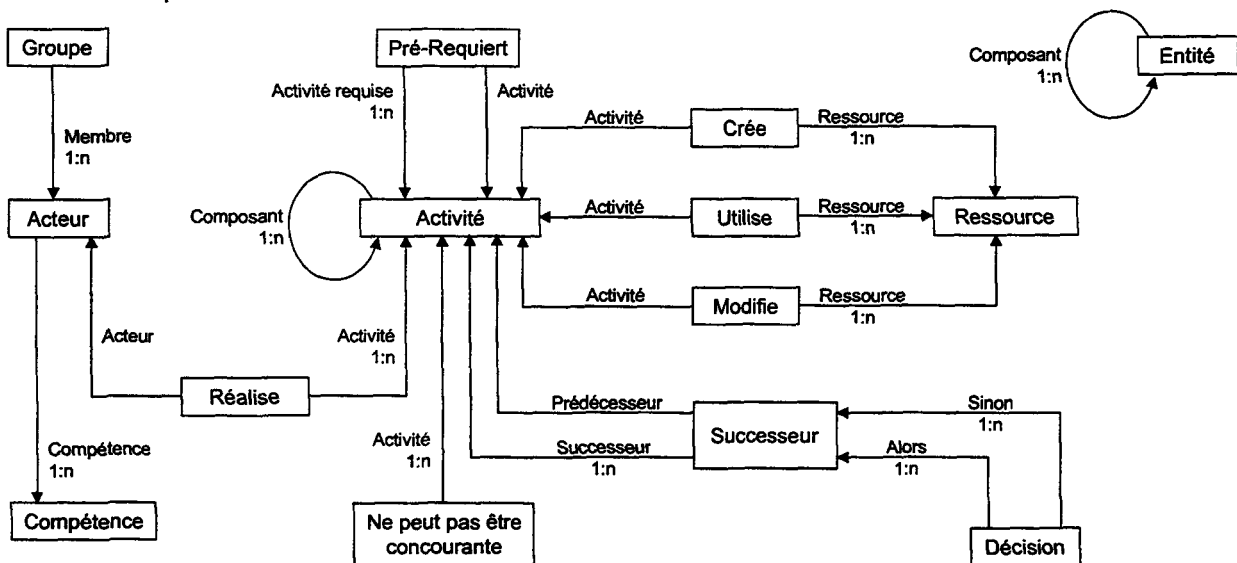


Figure A6- 2 : Relations entre les classes PIF

Annexe 6

Techniques et méthodes d'évaluation du rendement

Les principales techniques d'évaluation du rendement, présentées ci-après, sont les normes comparatives, les normes absolues, la gestion par objectifs et les indices directs /DOLAN&al.-1988/.

1. LES NORMES COMPARATIVES

Le principe des normes comparatives consiste à comparer le rendement d'un employé à celui des autres. Cette évaluation repose sur une méthode choisie parmi les suivantes :

- La **méthode du rangement** : le supérieur établit un classement des employés par rapport à la performance générale.
- La **méthode du rangement alternatif** : elle se réalise par étapes successives de classement. Dans un premier temps, le supérieur et les employés déterminent le meilleur et le moins bon élément. Cette procédure est appliquée jusqu'à ce que la liste des personnes évaluées soit vide. La position moyenne apparaît à la dernière étape pour la position de la dernière personne ou du dernier couple.
- La **méthode de comparaison par paires** : chaque employé est comparé à chacun des autres suivant un critère ou suivant la performance générale. Le classement final est établi en fonction du nombre de comparaisons favorables obtenues par chacun des employés.
- La **méthode de la distribution imposée** : elle a pour but de remédier à l'unicité du classement proposé par les trois méthodes précédentes. Pour cela, elle introduit plusieurs facteurs, ou dimensions, dans le processus de rangement et des catégories sont définies pour chaque dimension. Les personnes évaluées doivent être réparties parmi les catégories de chaque dimension suivant une distribution imposée, généralement une loi normale.

2. LES NORMES ABSOLUES

Le principe des normes absolues consiste à évaluer le rendement d'un employé indépendamment du rendement des autres et suivant plusieurs dimensions. Les techniques utilisant ce principe sont de nature **qualitative**, comme le rapport d'évaluation, la technique des incidents critiques et la liste pondérée des comportements ; ou **quantitative** et basées sur une mesure à partir d'échelles.

- Le **rapport d'évaluation** : l'évaluateur décrit les forces et les faiblesses de la personne évaluée et suggère des moyens d'améliorer le rendement de l'employé. Les rapports d'évaluation ne sont pas structurés : leur longueur et leur contenu varient

d'un individu à un autre. Ils ne permettent donc pas la comparaison de la personne évaluée avec d'autres employés.

- **La technique des incidents critiques** : le supérieur observe et relève les actions particulièrement efficaces ou non des personnes évaluées dans le cadre de l'accomplissement de leurs tâches. Les incidents observés peuvent être positifs ou négatifs pour le bon déroulement de la tâche. Les incidents critiques ainsi relevés peuvent être classés par ordre de gravité. Ce classement permet d'établir une **liste pondérée des comportements** suivant laquelle chaque employé peut être évalué par le biais d'un formulaire exprimant la fréquence d'occurrence de chaque incident critique pour chaque employé.
- **L'échelle de notation conventionnelle** : c'est la méthode d'évaluation du rendement la plus utilisée. Elle se concrétise par des formulaires qui recueillent des informations sur la production et les traits de personnalité de la personne évaluée. Les principaux problèmes engendrés par cette méthode résident dans les différences d'interprétation de concepts tels que la *motivation*, la *coopération* ou encore le *sens des responsabilités* ; et dans la difficulté à associer ces concepts à des termes tels que *médiocre*, *moyen* ou *excellent*.
- **L'échelle graduée des comportements** : elle a pour but d'obtenir des résultats utilisables afin d'améliorer le rendement. Elle consiste tout d'abord à recueillir les incidents caractérisant des comportements satisfaisants, moyens et insatisfaisants. Ces incidents sont ensuite classés dans des catégories, ou dimensions d'évaluation du rendement, qui se rapportent par exemple à l'aptitude d'organisation, la capacité de relations interpersonnelles ou encore la gestion des situations dégradées de fonctionnement. Chaque dimension est représentée par une échelle graduée sur laquelle sont positionnés les incidents associés, classés du plus mauvais en bas de l'échelle au meilleur en haut de l'échelle. Cette échelle est ainsi ponctuée d'incidents caractérisant des comportements s'étalant du comportement insatisfaisant pour la dimension considérée à un comportement satisfaisant. La position de l'individu sur l'échelle correspond à la position indiquant les incidents constatés dans le comportement de l'individu.
- **L'échelle d'observation des comportements** : elle se rapproche énormément de l'échelle précédente car elle est également basée sur le recueil des incidents caractérisant des comportements satisfaisants, moyens et insatisfaisants au sens du rendement. Le formulaire présente des comportements observés associés à un incident, par exemple : *L'opérateur nettoie sa machine sans qu'on lui dise de le faire*. La réponse à fournir exprime la fréquence de ce comportement codée, par exemple, sur cinq valeurs allant de « *presque jamais* » à « *presque toujours* ».

3. LA GESTION PAR OBJECTIFS

Les méthodes de gestion du rendement par les objectifs impliquent beaucoup plus les personnes évaluées que ne le font les techniques citées précédemment. Dans ce sens, elles contribuent à la motivation des employés mais peuvent également engendrer une concurrence indésirable entre ces derniers pour atteindre les normes et les objectifs.

- **La direction par objectifs** : cette méthode consiste, tout d'abord, à déterminer les objectifs que chaque employé doit atteindre et à fixer le temps nécessaire pour les atteindre, en accord avec l'employé concerné. Ensuite, le niveau atteint par l'employé est comparé aux objectifs initiaux et les écarts constatés mènent à établir de

nouveaux objectifs et les stratégies à mettre en place pour atteindre les objectifs qui n'ont pas été respectés.

- **Les normes de travail** : cette méthode est identique à la direction par objectifs à la différence que les objectifs ne sont pas fixés par l'employé mais correspondent à la norme constatée par expérience. Les différentes tâches nécessitent, par exemple, un temps requis pour leur réalisation, qui constitue alors la norme à respecter. Des objectifs sont ensuite fixés par rapport à ces normes, prenant éventuellement compte du contexte de réalisation des tâches et de leur complexité. La définition des normes nécessite une certaine répétitivité des tâches et de disposer des valeurs des indicateurs sur une période et un échantillon d'employés suffisamment conséquent pour établir des normes pertinentes. Cette méthode est utilisée, par exemple, pour l'évaluation des groupes autonomes de production dont les objectifs sont déclinés en termes de production, de qualité, de sécurité, de budget consommé ou encore de propreté des postes de travail.

4. LES INDICES DIRECTS

Cette méthode s'affranchit de toute subjectivité et mesure le rendement des employés par le biais de critères objectifs et impersonnels tels que la productivité, l'absentéisme et le roulement. La performance d'un responsable d'atelier est ainsi évaluée par les taux d'absentéisme et de roulement des employés sous sa direction, par exemple. Pour les employés de fabrication, les quantités et qualité de la production constituent des indices directs.

Annexe 7

Exemple de critère d'affectation des ressources humaines intégrant l'évaluation des compétences acquises

Cette annexe a pour but d'illustrer l'intégration des données relatives aux compétences humaines lors de l'affectation de fonctions sur un ensemble d'opérateurs humains.

L'exemple considéré distingue trois fonctions, F1, F2 et F3 ; dont la réalisation requiert les compétences C1 et C2, Figure A7- 1. Trois opérateurs humains, dont les niveaux de maîtrise des compétences C1 et C2 sont indiqués Figure A7- 1, peuvent être chargés de la réalisation de ces fonctions.

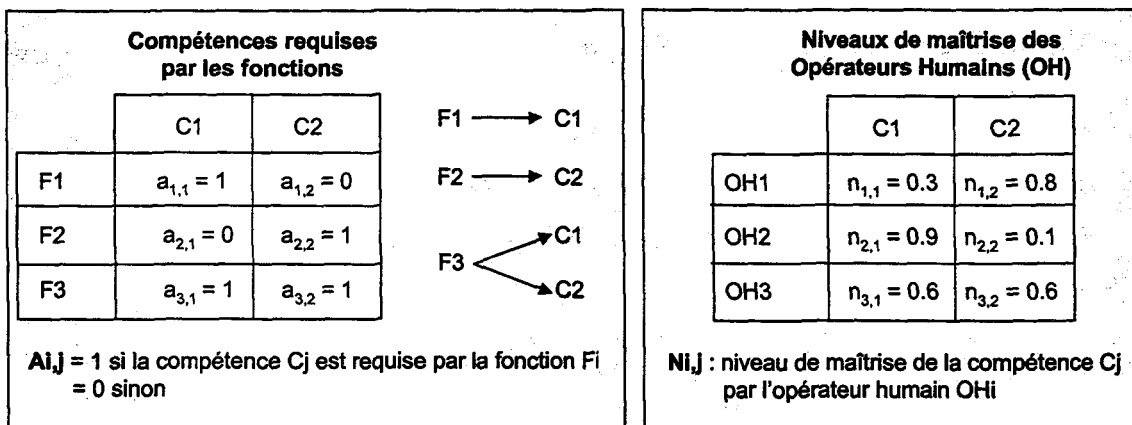


Figure A7- 1 : Présentation des données du problème

↳ Cas d'une charge de travail élevée

Si la charge de travail est élevée, la démarche consiste à affecter les opérateurs humains les plus compétents pour chaque fonction à réaliser. Cette démarche peut être formalisée de la manière suivante :

Le nombre d'affectations possibles pour 3 opérateurs humains et 3 fonctions est 6, suivant la

formule suivante :

$$NAFF = A_{NH}^{NF} = \frac{NH!}{(NH - NF)!}$$

où

- NAFF = nombre d'affectations possibles
- NH = nombre d'opérateurs humains
- NF = nombre de fonctions à affecter

On considère dans cette formule que $NH > NF$, c'est-à-dire que l'atelier dispose de suffisamment de ressources humaines pour réaliser les opérations prévues sur une période donnée.

Les affectations possibles, détaillées Tableau A7- 1, peuvent être traduites sous la forme de séquences dont les termes correspondent aux indices associés aux opérateurs humains. Par exemple : $SEQ_4 = (2, 3, 1)$ et $S_{4,2} = 2$, où $S_{i,j}$ correspond au $j^{ème}$ indice de la séquence i .

	F1	F2	F3
Affectation 1	OH1	OH2	OH3
Affectation 2	OH1	OH3	OH2
Affectation 3	OH2	OH1	OH3
Affectation 4	OH2	OH3	OH1
Affectation 5	OH3	OH1	OH2
Affectation 6	OH3	OH2	OH1

Tableau A7- 1 : Affectations possibles

A partir de ces données, il est possible d'exprimer le **niveau de maîtrise N d'une fonction F_i par un opérateur humain OH_j** :

$$N(F_i, OH_j) = \sum_{k=1}^K \left(\frac{n_{j,k} * a_{i,k}}{K} \right) ; \text{ où } K \text{ est le nombre de compétences (} K=2 \text{ dans notre cas)}$$

Ce niveau de maîtrise est calculé entre 0 et 1, comme les $n_{j,k}$. Il exprime effectivement la maîtrise d'un opérateur humain donné, ce qui n'est pas le cas de l'évaluation de la maîtrise globale M des fonctions pour une affectation donnée correspondant à la séquence SEQ_i :

$$M_{SEQ_i} = \sum_{j=1}^{NF} \left(N(F_j, OH_{S_{i,j}}) \right)$$

L'affectation optimale correspond à la séquence SEQ_i qui maximise le critère M . Pour cet exemple, l'affectation optimale est $\{(F1, OH2), (F2, OH1), (F3, OH3)\}$, Tableau A7- 2.

Séquence	Valeur de M
$SEQ_1 = (1, 2, 3)$	0.8
$SEQ_2 = (1, 3, 2)$	0.95
$SEQ_3 = (2, 1, 3)$	1.45
$SEQ_4 = (2, 3, 1)$	1.3
$SEQ_5 = (3, 1, 2)$	1.2
$SEQ_6 = (3, 2, 1)$	0.9

Tableau A7- 2 : Evaluation de la maîtrise pour chaque séquence

Cette présentation sous la forme de séquences permet d'envisager la résolution de cas réels par l'utilisation d'algorithmes « classiques », dans le cas des problèmes de petite dimension, ou d'algorithmes génétiques /SEVAUX&al.-2000/ dans le cas de problèmes considérant une quantité élevée d'opérateurs humains et de fonctions à réaliser. Cette résolution par les algorithmes génétiques considère des chromosomes correspondant à des affectations de ressources, c'est-à-dire les séquences de l'exemple présenté dans cette annexe. L'utilisation des algorithmes génétiques permet d'envisager une résolution plus rapide des problématiques d'affectation de ressources de grande dimension.

☞ Cas d'une charge de travail faible ou moyenne

Le principe d'affectation pour des charges de travail faibles ou moyennes consiste à affecter des opérateurs humains à des fonctions qui nécessitent des compétences qu'ils ne maîtrisent pas parfaitement. Ce principe a pour but de leur faire pratiquer ces compétences et d'améliorer leurs niveaux de maîtrise sans pour autant engendrer de variations significatives sur les temps de production et la qualité de la production. Il est associé à des stratégies d'affectation dont une illustration est fournie Figure A7- 2.

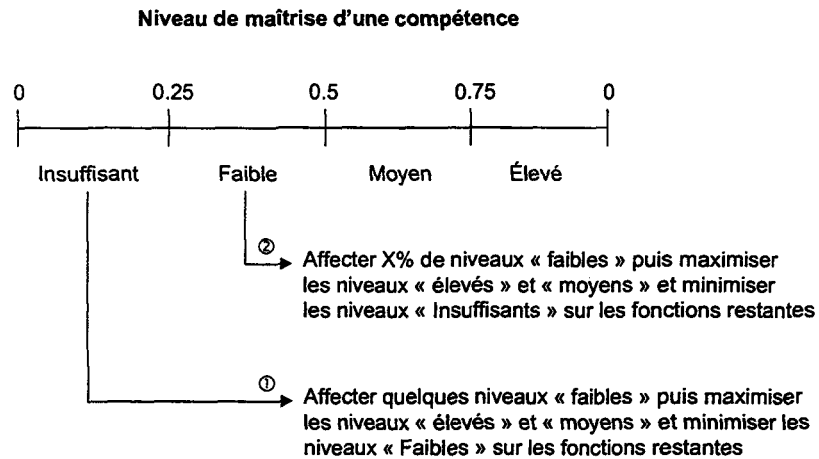
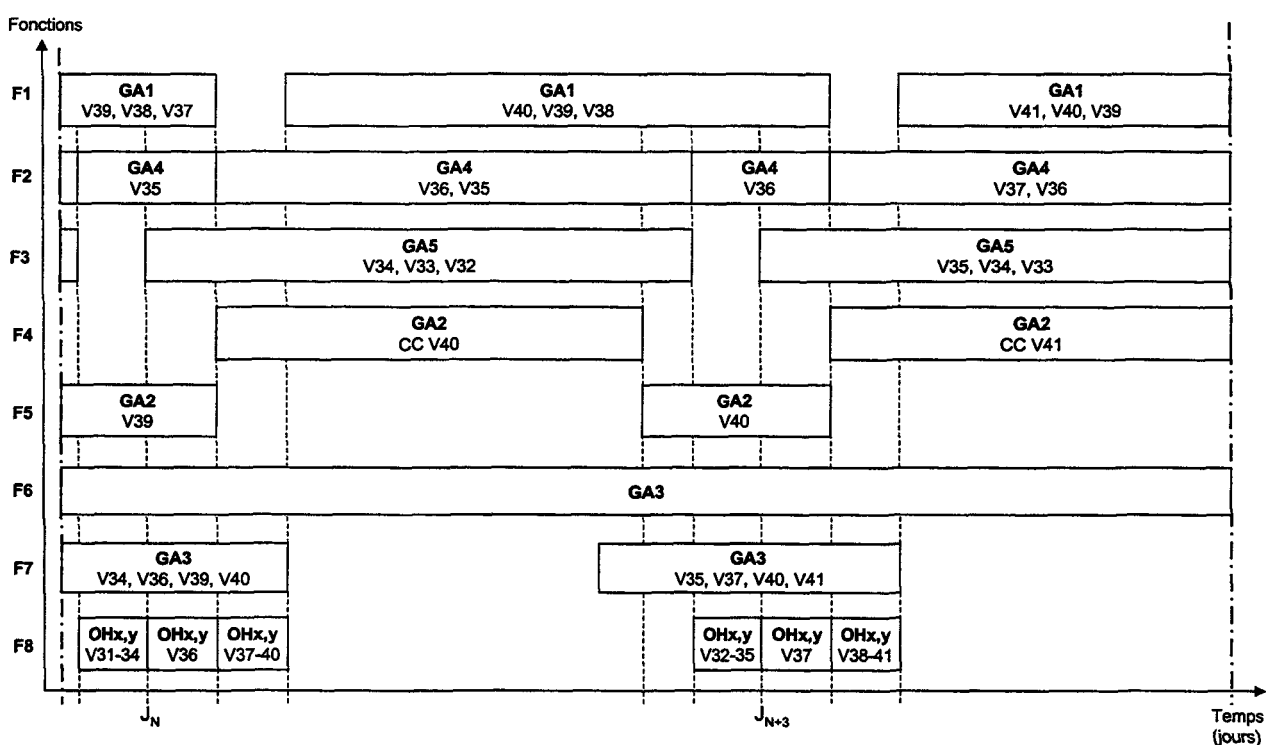


Figure A7- 2 : Stratégies d'affectation pour une charge de travail faible et moyenne

Les notions qualitatives telles que « Affecter *quelques* niveaux de maîtrise insuffisants » laissent présager de l'utilisation de la logique floue dans l'algorithme de résolution.

Annexe 8

Ordonnancement des fonctions d'une ligne de montage



LEGENDE :

F1 : Montage des planchers, baies, escaliers, portes d'accès, de la tuyauterie intérieure, du module WC et des cloisons coupe-feu
 F2 : Montage des dispositifs pneumatique et garnissage de la plate forme centrale et des compartiments voyageurs
 F3 : Garnissage des extrémités, câblage toiture, installation des sièges, mise à bogies et réglage des portes d'accès
 F4 : Montage électrique (préparation du chemin de câbles)
 F5 : Installation du chemin de câbles dans le véhicule
 F6 : Préparation des composants mécaniques
 F7 : Approvisionnement des GA en composants mécaniques
 F8 : Déplacement des véhicules

V x : Véhicule n°x
 OH : Opérateur Humain
 CC : Chemin de Câbles
 PM : Poste de Montage
 GA : Groupe Autonome

Annexe 9

Utilisation de la logique floue pour l'évaluation de l'efficacité humaine

Cette annexe a pour but d'illustrer l'évaluation d'indicateurs humains par le biais de la théorie des sous-ensembles flous.

Un exemple de règles floues intervenant dans l'évaluation du niveau d'efficacité humaine est proposé Tableau A9- 1. Cette proposition considère arbitrairement trois classes d'appartenance pour les évaluations du climat social, de la motivation, des compétences et de l'efficacité humaine. Le choix de ces classes d'appartenance devra être validé expérimentalement à partir de l'expertise de spécialistes en Sciences Humaines et Sociales et en fonction de la précision requise pour l'indicateur d'Efficacité Humaine dans le cadre de la GRH.

Climat social	Motivation	Compétence	Efficacité Humaine	Règle	
Bon	Elevé	Elevé	Elevé	R1	
		Moyen	Elevé	R2	
		Faible	Moyen	R3	
	Moyen	Moyen	Elevé	Elevé	R4
			Moyen	Moyen	R5
			Faible	Faible	R6
	Faible	Faible	Elevé	Moyen	R7
			Moyen	Faible	R8
			Faible	Faible	R9
Neutre	Elevé	Elevé	Elevé	R10	
		Moyen	Moyen	R11	
		Faible	Moyen	R12	
	Moyen	Moyen	Elevé	Moyen	R13
			Moyen	Moyen	R14
			Faible	Faible	R15
	Faible	Faible	Elevé	Moyen	R16
			Moyen	Faible	R17
			Faible	Faible	R18
Mauvais	Elevé	Elevé	Moyen	R19	
		Moyen	Moyen	R20	
		Faible	Faible	R21	
	Moyen	Moyen	Elevé	Moyen	R22
			Moyen	Faible	R23
			Faible	Faible	R24
	Faible	Faible	Elevé	Faible	R25
			Moyen	Faible	R26
			Faible	Faible	R27

Tableau A9- 1 : Exemple de règles floues pour l'évaluation de l'efficacité humaine

Les indicateurs de climat social, motivation et compétence pourront faire l'objet d'une pondération traduisant l'importance de leur influence sur l'efficacité humaine. Le classement

des règles peut également donner lieu à une extension de la méthode SWATT. Cette méthode permet aux opérateurs humains et aux spécialistes des sciences humaines et sociales d'exprimer l'importance relative du climat social, de la motivation et des compétences sur l'efficacité humaine par le classement de cartes représentant chaque règle du Tableau A9- 1.

La Figure A9- 1 présente la méthode de calcul de l'indicateur d'Efficacité Humaine, à partir des règles floues du Tableau A9- 1, qui permet d'obtenir une valeur numérique ou un ensemble flou correspondant à l'évaluation de l'efficacité humaine à partir des évaluations du climat social, de la motivation et de la compétence.

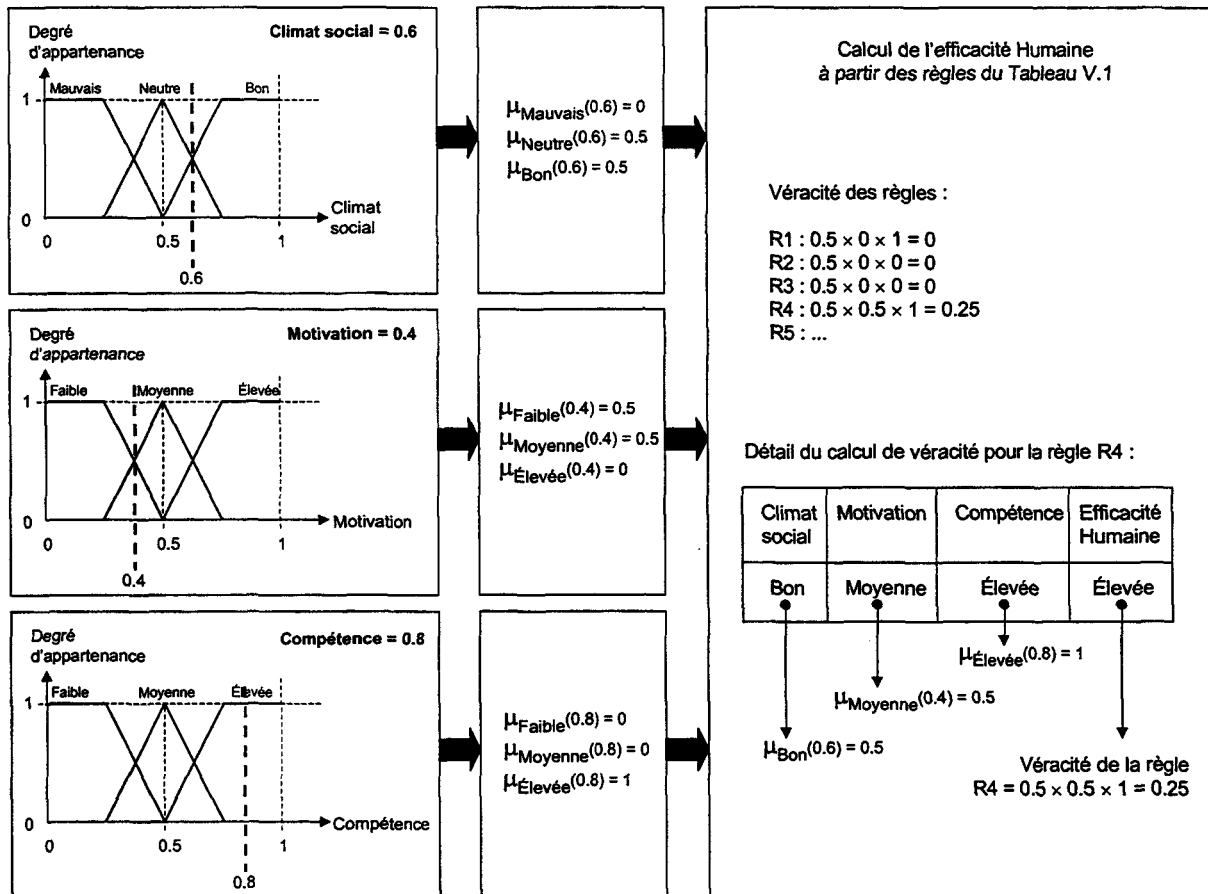


Figure A9- 1 : Calcul de l'indicateur d'efficacité humaine par la théorie des sous-ensembles flous

La technique de *fusion des données* peut également être utilisée pour le calcul de ces indicateurs. Elle consiste à exprimer des données hétérogènes, telles que celles intervenant dans l'expression de la cohésion des groupes, suivant un référentiel commun à partir duquel les données peuvent être fusionnées.

CONTRIBUTION A L'INTEGRATION D'ASPECTS HUMAINS DANS LA MODELISATION DES SYSTEMES DE FABRICATION : VERS UNE GESTION CONJOINTE DE LA PRODUCTION ET DES RESSOURCES HUMAINES

RESUME

L'optimisation des gestions de la Production et des Ressources Humaines nécessite des données à la fois objectives et subjectives et le respect de leurs contraintes respectives.

Un modèle du système de fabrication, intégrant les aspects humains et techniques et composé de quatre niveaux dédiés respectivement à la modélisation de la *structure*, des *fonctions*, des *fonctionnements* et des *comportements* des composants du système de fabrication, est proposé. Le choix de ces niveaux de modélisation est justifié par une analyse des modèles existants, des besoins en informations des fonctions *Production* et *Gestion des Ressources Humaines* et du rôle de l'opérateur humain dans le système de fabrication. Ce mémoire développe ces quatre niveaux de modélisation, leurs interactions et les aspects humains et sociaux qu'ils peuvent intégrer.

Ces niveaux sont mis en œuvre sur un atelier faiblement automatisé réalisant l'assemblage de véhicules de transport ferroviaire. Cette application permet d'illustrer notre contribution à l'intégration des aspects humains et sociaux dans la modélisation de ces systèmes et l'importance de ces aspects humains correspondant au climat social, à la motivation et aux compétences des opérateurs humains.

Les principales perspectives de ce travail concernent la définition d'un système d'indicateurs humains et sociaux, dont l'évaluation peut recourir à la théorie des sous-ensembles flous, à la capitalisation des connaissances sur le système de fabrication et à la mise en place d'une gestion conjointe de la Production et des Ressources Humaines.

MOTS CLES : Facteurs humains, systèmes de fabrication, modélisation, gestion de production, gestion des ressources humaines, climat social, motivation, compétences

A CONTRIBUTION TO HUMAN ASPECTS INTEGRATION IN MANUFACTURING SYSTEMS MODELLING : TOWARDS A JOINT MANAGEMENT OF PRODUCTION AND HUMAN RESOURCES

ABSTRACT

The optimization of Production and Human Resources management needs objective and subjective data and to respect their respective constraints.

A model is suggested which allows the integration of both human and technical aspects. That model is based on four levels respectively relevant to the modelling of *structure*, *functions*, *processes* and *behaviour* of the manufacturing systems components. Those four modelling levels result from analysis of existing models, informational needs of *Production* and *Human Resources Management* and human operator's role in manufacturing systems. That document presents each of the four modelling levels, their interactions and integration of human and social aspects they allow.

These levels are applied on a low automated Passenger rail vehicles manufacturing system. That implementation gives an illustration of our contribution to human aspects integration in manufacturing systems modelling and stresses on the importance of these human aspects relevant to social background, motivation and skills of human operators.

The main issues of this work deal with the definition of human and social indicators, which can be assessed by the way of fuzzy logic, knowledge management and joint management of both Production and Human Resources.

KEYWORDS : Human factors, manufacturing systems, modelling, Production management, Human Resources management, social background, motivation, skills

Bibliothèque Universitaire de Valenciennes



00904912