

METHODE INTEGREE DE PLANIFICATION DES TACHES DE PRODUCTION ET DE MAINTENANCE

Abdennebi Talbi*, Amar Hammouche** et Christian Tahon***

Résumé. - Après avoir rappelé l'évolution du concept de maintenance durant ces dernières années, nous justifions et situons l'approche d'intégration des fonctions production et maintenance proposée. Nous décrivons ensuite les différentes étapes de la démarche d'intégration. Parmi celles-ci, nous développons plus particulièrement l'étape de planification globale des tâches production et maintenance. Enfin, l'architecture du système de planification et le processus de négociation entre les agents production et maintenance sont présentés.

Mots-clés : Intégration, stratégie, planification globale, production, maintenance.

1. Introduction

Malgré les avancées significatives des technologies de l'information, l'intégration d'entreprise reste un défi à relever pour les organisations, au niveau local (intégration intra-entreprise) et au niveau global (intégration inter-entreprises). La même difficulté apparaît en ce qui concerne la capacité de ces organisations à créer une synergie entre le social, la technologie et les processus pour contribuer à la satisfaction des besoins des clients. L'un des freins à cette intégration est l'absence d'une réelle stratégie d'intégration. Il s'avère donc nécessaire d'élaborer cette stratégie, en tenant compte des environnements interne et externe à l'entreprise et de définir une méthodologie de planification globale des tâches production et maintenance.

* Professeur Assistant à l'Ecole Supérieure de Technologie de Fès, Maroc.

** Professeur à l'Ecole Mohammadia des Ingénieurs, Rabat, Maroc.

*** Professeur à l'Université de Valenciennes, France.

La stratégie d'intégration que nous proposons s'appuie sur une démarche structurée en sept étapes : analyses interne et externe, définition de la stratégie d'intégration, choix du formalisme de modélisation, planification globale des tâches de production et de maintenance, mise en œuvre de la démarche et enfin validation de l'approche proposée.

Le système de planification globale s'articule autour d'une fonction de planification globale et d'un processus de négociation entre les agents de production et de maintenance.

Cette démarche globale d'intégration permet de décrire l'ensemble des phases successives nécessaires à l'intégration des fonctions de l'entreprise. La réussite d'une telle démarche dépend essentiellement du choix de la stratégie d'intégration et de l'implication de l'ensemble du personnel de l'entreprise.

2. Etat de l'art : l'évolution de la maintenance

La maintenance est, par excellence, le domaine où l'intégration est essentielle pour atteindre une efficacité optimale. En effet, cette fonction est, par nature, une activité transversale de l'entreprise au service des autres fonctions dont elle renforce l'efficacité. Toutefois, elle a été, jusqu'aux années 1980, considérée par un grand nombre d'entreprises comme une activité non productive et par conséquent non stratégique.

Cependant, les effets conjugués de la crise économique et de la concurrence internationale sont à l'origine des contraintes draconiennes sur les coûts de production des biens et des services. Aussi, la maintenance a-t-elle considérablement évolué au cours des vingt dernières années. Actuellement, elle constitue l'un des vecteurs essentiels de compétitivité des entreprises.

La compétitivité du secteur industriel passe par la maîtrise de la disponibilité de l'outil de production et par la qualité des produits et des services rendus [Zwingelstein 95].

Plusieurs leviers pour la maîtrise de la disponibilité sont proposés ; ceux qui relèvent de la discipline de sûreté de fonctionnement : fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité (FMDS) ; des méthodes d'analyse telles que l'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance de leur Effet et de leur Criticité), les diagrammes d'Ishikawa, des méthodes de management de la maintenance. Il faut également noter l'apport des outils informatiques, qui ont largement contribué au développement de la maintenance : Maintenance Assistée par Ordinateur (MAO), dans laquelle on distingue la Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO) et les Techniques de la Maintenance Assistées par Ordinateur (TMAO) [Boucly 90].

Les concepts modernes de la maintenance sont donc imprégnés des notions « FMDS » dont le but est l'optimisation d'une politique de maintenance. Ces notions prennent en particulier toute leur importance dans la mise en pratique « scientifique » de la maintenance

préventive [Lyonnet 93]. Parmi ces concepts, nous avons identifié trois grandes orientations en matière de politique de maintenance :

- Une orientation « coût » dans son principe, souvent dénommée « LCC » (*Life Cycle Cost*), prônant l'optimisation du coût global de possession qui comprend tous les postes de dépenses nécessaires pendant le cycle de vie d'un produit (coût de recherche et de développement, coût de conception et de fabrication/production, coûts d'exploitation et de maintenance, coûts de mise au rebut et de déclassement) [Blanchard 91]. Développée initialement au Royaume-Uni dans les années 1970, cette stratégie cherche à considérer l'impératif de maintenance sur l'ensemble du cycle de vie de l'équipement. La défaillance d'un équipement ou une opération de maintenance préventive induisant l'arrêt d'un outil de production, engendrent des dépenses directes liées à la maintenance de l'équipement et indirectes liées à cet arrêt [Fougerousse 92]. L'utilisation du concept LCC dans une politique décisionnelle, pour choisir une politique de maintenance sous la forme d'un budget maximum admissible de maintenance et l'âge de remplacement de l'équipement compte tenu de sa valeur de revente éventuelle, se heurte aux difficultés habituelles de valorisation des coûts cumulés de maintenance sur la durée de vie probable du matériel. Cette approche strictement économique et locale, c'est-à-dire consacrée à équipements particuliers, est évidemment difficilement décomposable en objectifs techniques de maintenance. Elle a fait néanmoins l'objet d'applications dans le domaine de l'aide à la logistique intégrée et à la stratégie de maintenance [Gormand 86].
- Une orientation centrée sur la « fiabilité » et la « maintenabilité » des matériels, désignée par Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF), est également connue sous l'appellation militaire RCM (Reliability Centred Maintenance), ou en France sous le nom d'OMF (Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité). Elle constitue principalement une méthode de maintenance préventive applicable au matériel jugé critique par les différents acteurs de l'entreprise. Cette méthode est largement exploitée par plusieurs constructeurs automobiles tels que Peugeot et Renault. La MBF est fondée sur la compréhension des fonctions de chaque pièce d'un équipement et de l'impact d'une défaillance sur ces fonctions [Zwingelstein 96]. La MBF, au même titre que la Maintenance Productive Totale (TPM) ou le Management de la Qualité Totale (TQM) implique un changement radical de la culture d'entreprise en matière de politique de maintenance. Cette approche, strictement technique dans ses fondements, même si l'aspect économique n'est jamais totalement absent, est née à la fin des années 1960 du besoin des entreprises de transport aérien de développer des programmes d'entretiens préventifs plus rationnels et techniquement fondés.
- Une orientation « productivité » généralement désignée par TPM (Total Productive Maintenance) fondée sur le respect des facultés humaines et la volonté participative de l'ensemble du personnel pour rentabiliser les installations [Nakajima 89]. Née au Japon dans

les années 1970, la stratégie TPM est fondamentalement un élargissement du rôle de la maintenance à la totalité du personnel. Elle s'inscrit dans les stratégies fondamentales du Juste-à-temps, et, par conséquent, met l'accent sur l'organisation des ressources productives de maintenance (en particulier les hommes) pour améliorer de façon continue la disponibilité des équipements [Shirose 94]. Issu du développement de la TPM, le système Kaizen d'amélioration continue - qui porte le nom de l'institut fondé au Japon par Masaaki Imai et implanté en Europe depuis 1991 - s'appuie sur différents outils et sur différents systèmes afin notamment d'augmenter l'efficacité des équipements et de rationaliser les flux [Imai 89]. Considérant que les besoins des entreprises ont évolué, l'Institut propose une approche dite « améliorée » baptisée MMK pour « Man Machine Kaizen ». Développement européen de la TPM, cette approche en quatre étapes au lieu de sept autorise un déploiement plus rapide. Outre la maintenance autonome de premier niveau, l'opérateur devient le spécialiste de son outil de travail [Montmarin 99]. La TPM est une philosophie de maintenance industrielle adaptée aux entreprises japonaises dont le management est organisé sur la base de petits groupes agissant de leur propre initiative [Nakajima 89]. Elle est relativement lourde dans sa mise en œuvre, elle nécessite un certain niveau de restructuration de l'entreprise, la motivation et l'implication de tout le personnel. Elle demande également un investissement financier et un travail supplémentaire de préparation et de mise en œuvre. En outre, l'organisation de l'implantation de la TPM est une œuvre de longue haleine résultant de la mise en place de douze étapes. Celles-ci doivent recevoir l'adhésion de la direction, de l'encadrement, de la maîtrise et des opérateurs [Zwingelstein 96]. Ces exigences sont fortes, et les petites et moyennes entreprises, et même certaines grandes entreprises, ne peuvent y répondre.

Pour pallier ces difficultés, et apporter des éléments de réponse au besoin des industriels qui cherchent à disposer d'une démarche méthodologique leur permettant d'améliorer la performance du système de production [Berrah 01], nous proposons une méthodologie d'intégration des fonctions de l'entreprise. Celle-ci présente, en terme d'objectifs, des similitudes avec la méthode TPM et débouche sur le concept d'entreprise intégrée.

Afin d'illustrer la démarche d'intégration des fonctions de l'entreprise, le choix des fonctions de production et de maintenance a été retenu. En effet, ces deux fonctions occupent une place stratégique dans toute entreprise manufacturière et nécessitent l'établissement d'un processus de communication et de coordination entre les spécialistes des services concernés. Ainsi, la production n'est possible que si la fabrication et la maintenance se complètent activement. Les objectifs sont atteints plus aisément si les opérateurs de production prennent en charge une partie des tâches de maintenance (en particulier les actions de prévention des dégradations, base même de la maintenance). Cette intervention permet aux agents de maintenance de se consacrer aux tâches spécialisées de maintenance [Nakajima 89]. L'intégration entraînera sans aucun doute

un changement de mentalité en déracinant l'idée préconçue : « Moi je fabrique, toi tu ré pares », et en mobilisant l'ensemble des compétences disponibles.

3. L'intégration

3.1 Définition

Naturellement, plusieurs définitions de l'intégration existent. Nous avons proposé la définition suivante : « intégrer, c'est établir et renforcer les liens qui peuvent exister entre deux ou plusieurs entités de base, afin d'en déduire une et une seule entité qui agrège les entités précédentes et préserve dans son comportement la cohérence intra-entité et inter-entité » [Talbi 97].

Cette définition peut être complétée, en considérant l'intégration comme « une démarche globale de simplification et d'organisation du système de production dans un objectif de décloisonnement des fonctions de l'entreprise et de synchronisation des tâches qui concourent à la réalisation des produits. Elle doit s'inscrire dans une vision globale du plan de développement stratégique de l'entreprise qui prend en compte ses priorités, ses objectifs, ses contraintes, son existant et l'évolution de son environnement » [Vernadat 96].

3.2 La démarche globale d'intégration

La démarche globale d'intégration proposée a pour but de servir de cadre de référence à tout projet d'intégration en entreprise. Elle comporte trois phases : analyse, intégration / modélisation et implémentation [Talbi 00] :

- La phase d'analyse permet la collecte des données nécessaires au déroulement des deux phases suivantes. Elle garantit qu'aucun oubli essentiel n'a été fait en faisant ressortir les principaux dysfonctionnements, les redondances et les tâches inutiles.
- La phase d'intégration / modélisation permet :
 - de définir la stratégie d'intégration traduite en plans d'intégration,
 - de modéliser l'état de l'existant (modèle de l'existant « As Is ») et l'état futur (modèle cible « To Be »),
 - de faire évoluer le modèle de l'existant vers le modèle cible,
 - d'intégrer les plannings de production et de maintenance en synchronisant au mieux le déroulement des tâches correspondantes.
- La phase d'implémentation s'appuie sur deux étapes : l'une, de préparation à l'exécution du planning global, à la personnalisation du planning et à l'adaptation du modèle intégré (mise

en œuvre du modèle), l'autre, de validation de la démarche sur des études de cas industrielles. La démarche proposée se déroule selon les étapes suivantes (figure 1) :

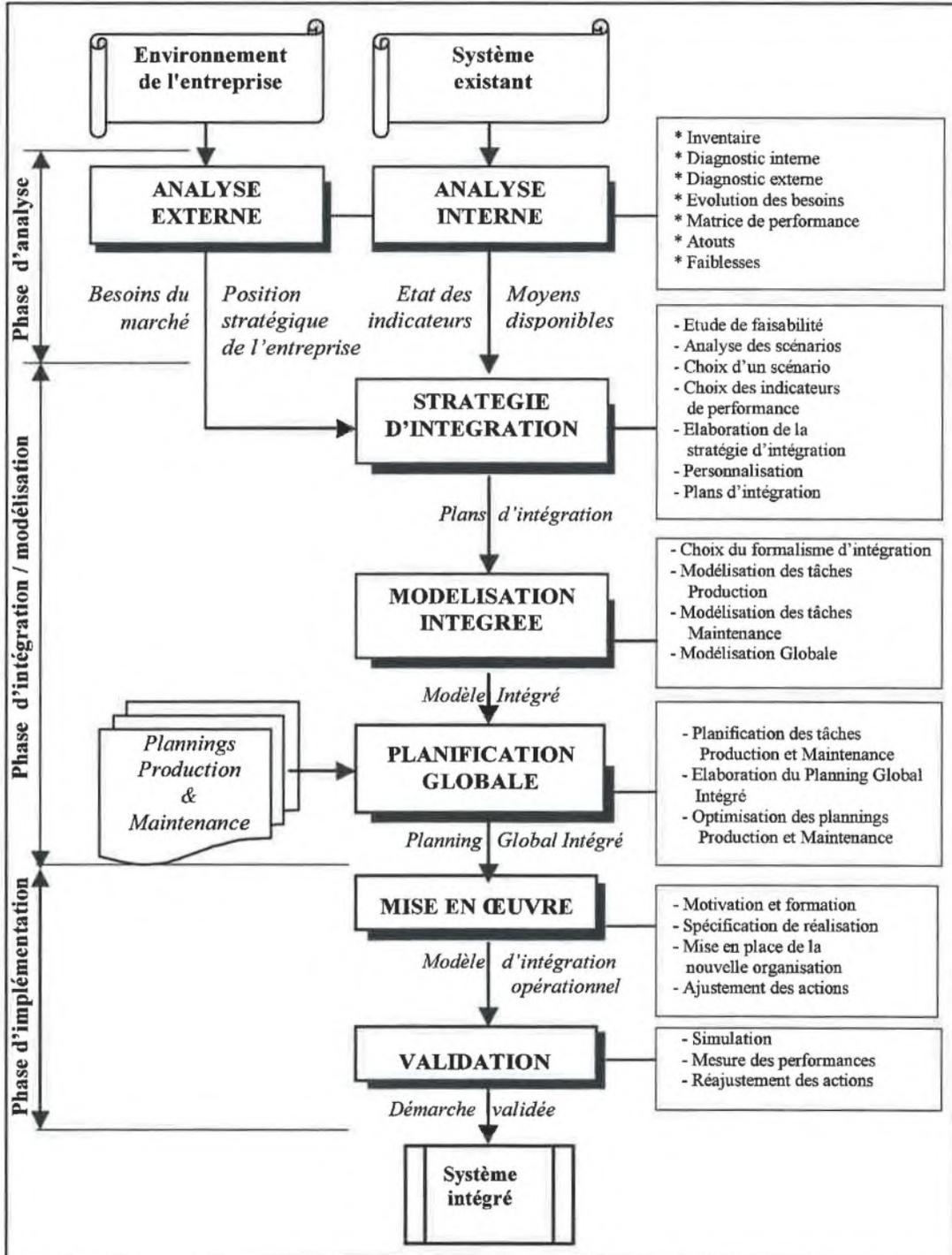


Figure 1 : Les différentes étapes de la démarche globale d'intégration.

3.2.1 L'analyse externe

Une bonne compréhension de l'environnement de l'entreprise reste fondamentale pour assurer son développement. Il importe d'assurer à la fois une bonne maîtrise de l'information et un suivi continu de la concurrence afin de prévoir avec une avance suffisante les mutations par la veille technologique au sens large. Une bonne perception de cet environnement suppose également d'avoir une optique réaliste de l'insertion de l'entreprise dans sa filière. Il faut savoir de quoi l'entreprise dépend, et sur quoi elle peut agir (champ et moyens d'action). Pour cela, il est nécessaire qu'elle soit positionnée par rapport à ses concurrentes afin de mieux identifier ses atouts et ses faiblesses.

Une telle analyse s'appuie sur l'étude des prévisions du marché menée par le service marketing ; elle a pour but de définir les objectifs stratégiques de l'entreprise, de détecter les besoins et les améliorations possibles, les activités à développer et les produits à réaliser. Cette analyse, basée essentiellement sur une étude comparative (*benchmarking*), est déterminante pour la réussite de l'intégration de l'entreprise dans son environnement.

3.2.2 L'analyse interne

Elle a pour but d'identifier, de comprendre et de représenter la structure et les éléments composant les différents processus de l'entreprise, de mieux connaître le potentiel existant (les atouts, mais aussi les faiblesses) par l'analyse des principales fonctions de l'entreprise et de son outil de travail. Il s'agit non seulement de comprendre la situation courante, mais d'identifier et de mettre en évidence les principaux problèmes et les principaux dysfonctionnements qui apparaissent. Pour conduire l'analyse interne, nous proposons une méthode d'auto-diagnostic des fonctions de production et de maintenance qui s'appuie essentiellement sur des questionnaires (production et maintenance). L'auto-diagnostic met en évidence, selon différents axes, le niveau de performance de chacune des fonctions de l'entreprise [Talbi 00].

Ces analyses permettent, entre autres, la mesure du niveau des indicateurs de performance. Le positionnement de ce niveau sur une échelle de progrès permet à l'entreprise de se situer et d'évaluer par la suite le chemin à parcourir en établissant les plans d'action les mieux appropriés.

3.2.3 Le choix de la stratégie d'intégration

Toute entreprise, pour être compétitive, doit nécessairement jouer sur ses points forts en adoptant une stratégie clairement définie. Elle doit constamment renforcer le noyau dur du métier pour pouvoir bénéficier d'une position dominante. En simplifiant, on peut retenir trois stratégies types :

1. *la stratégie de domination par les coûts* : elle est fondée sur la capacité de l'entreprise à contrôler ses coûts opérationnels de façon suffisamment efficace pour qu'elle soit en mesure de

proposer ses produits ou ses services à des prix inférieurs à ceux de la concurrence. Elle possède ainsi un avantage concurrentiel significatif.

2. *la stratégie de différenciation par les produits ou les services* (notoriété ou niche, positionnement de haut de gamme, réseau spécifique) : c'est une stratégie qui consiste à offrir un produit ou un service qui apparaît comme unique lorsqu'il est comparé à l'offre concurrente.

3. *la stratégie de concentration sur le métier* : elle consiste à se concentrer sur un ou plusieurs segments d'un marché dont les besoins ont été parfaitement identifiés, puis à élaborer sur le segment retenu une stratégie de domination par les coûts ou de différenciation.

Une stratégie d'intégration doit en particulier fixer les domaines concernés par l'intégration, les priorités, les exigences d'intégration et les objectifs à atteindre. Elle repose sur les résultats d'une double analyse (interne et externe) et sur une phase préliminaire de préparation à l'intégration comportant deux étapes : la simplification et la réorganisation.

3.2.4 La modélisation intégrée

La modélisation permet de capitaliser et de représenter au mieux les résultats des analyses externes et internes. Elle a pour but de construire une représentation fiable et aussi complète que possible des différents aspects du système à modéliser. La modélisation de l'état actuel de l'entreprise conduit à la génération du « Modèle de l'Existant : (As-Is) », alors que la modélisation de l'état futur se traduit par le « Modèle Cible : (To-Be) ».

Le but de notre démarche est de faire évoluer, au cours du temps, le modèle de l'existant vers le Modèle cible. Cette évolution est représentée par le Modèle Global d'Intégration (M.G.I.). Ce modèle présente un niveau d'intégration intermédiaire qui se situe entre le modèle de l'existant et le modèle cible. Les modèles (As-Is) et (To-Be) constituent des modèles de référence pour la construction du M.G.I.

Cette modélisation couvre les aspects fonctionnel, informationnel, organisationnel et physique.

3.2.5 La planification globale

Elle s'appuie sur les plannings des services de production et de maintenance. Elle a pour but d'éliminer, pour chaque type d'équipement, tout chevauchement des tâches de production et de maintenance et de garantir une meilleure synchronisation de ces différentes tâches en générant un seul planning : le Planning Global Intégré.

La planification dynamique des tâches de production et de maintenance est une méthode de planification intégrée qui peut être ajustée et adaptée en temps réel à tout événement inattendu causé par une panne de machine, une charge insuffisante, le besoin de changer le type de produit, la rupture de la matière première... Ce type de dynamique est surtout exigé au

niveau court terme de la planification (ordonnancement) où les ruptures et les problèmes d'allocation des ressources apparaissent fréquemment.

3.2.6 La mise en œuvre de la démarche d'intégration

Elle repose essentiellement sur l'exécution du planning global. Elle est soumise à des contraintes concernant l'implémentation et l'exploitation des connaissances des différents intervenants. Pour mettre en œuvre cette démarche, notre approche consiste à construire une représentation structurée des activités de production et de maintenance sur laquelle différents traitements peuvent avoir lieu.

La mise en œuvre du planning global s'étend du planning général des activités de l'entreprise, jusqu'au planning d'engagement d'une section d'atelier, et, si nécessaire, d'une simple machine. Les procédures adoptées dépendent de l'importance et du degré de décentralisation de l'activité.

3.2.7 La validation de la démarche globale d'intégration

Cette étape se traduit par la validation du modèle global puis du planning global. La validation du modèle global est obtenue en exploitant les indicateurs de performance du processus modélisé. Les activités critiques sont examinées sous l'angle de la caractérisation des paramètres de performance bien déterminées (quantité, délai, coût, retouches, rebuts...).

La validation du planning global se fait dans un premier temps par simulation pour analyser le flux physique. L'objectif est, dans un premier temps, d'obtenir un lissage des charges ; dans un second temps, elle s'effectue sur le terrain par mesure des écarts entre les tâches planifiées et les résultats de leur exécution.

3.3 L'intégration des fonctions production et maintenance

La nécessité de faire partager les ressources entre les fonctions de production et de maintenance est généralement une source de conflits et traduit l'existence d'un lien fort entre ces fonctions. Ce lien se renforce et se concrétise à chaque niveau du processus de préparation à la fabrication.

En effet, trop souvent, les séquences d'opérations de maintenance et de production sont perçues comme antagonistes. Les périodes d'immobilisation des équipements nécessaires aux interventions des agents de maintenance sont considérées comme des perturbations réduisant les périodes d'utilisation des ressources et non comme un facteur favorisant leur bon déroulement. Ce type de conflit entraîne naturellement des querelles qui nuisent à la productivité globale de l'entreprise. Ainsi, l'intégration de ces deux fonctions s'impose et vise les objectifs suivants :

- simplifier les flux physiques et informationnels entre les services de maintenance et de production ;
- augmenter la disponibilité des équipements (planification et gestion des interventions) ;
- maîtriser les procédés (réduction des dysfonctionnements ...) ;
- mieux gérer les ressources en planifiant l'ensemble des activités liées aux processus de l'entreprise ;
- mieux orienter la stratégie d'achat (choix des fournisseurs et des méthodes d'approvisionnement) ;
- diminuer le niveau des stocks (méthodes de gestion des stocks, gestion à flux tendu) ;
- simplifier et accélérer les flux physiques et informationnels liés aux ressources et aux produits ;
- décloisonner l'organisation (définir et coordonner tout type d'échange entre services) ;
- justifier et orienter au mieux les investissements futurs (définir les besoins et les priorités, élaborer une stratégie d'achat...).

L'intégration des fonctions de production et de maintenance est basée essentiellement sur l'élaboration d'un planning global qui intègre le planning de la production, destiné à satisfaire les besoins du client (coût, délai, qualité, quantité...) et le planning de la maintenance ayant pour but d'optimiser la disponibilité des ressources en réduisant, sous des contraintes de coûts, les arrêts de production.

La réalisation du planning global est menée de la façon suivante :

- définition des tâches de maintenance et de production à intégrer selon les différents horizons temporels ;
- gestion des tâches prioritaires et allocation des ressources ;
- identification des règles de décision et de leurs périmètres de validité pour la planification des tâches de production et de maintenance ;
- prise en compte des contraintes et des aléas de production et de maintenance ;
- évaluation du niveau de performance du nouveau planning.

Afin d'intégrer les différents aléas du système de production, un réajustement du planning doit être réalisé lors de l'élaboration du programme d'ordonnement.

La méthode de planification intégrée a pour but non seulement d'éviter sur un même équipement le chevauchement des tâches de production et de maintenance, mais d'optimiser

aussi leur synchronisation par l'insertion des tâches de maintenance dans le planning de la production.

4. La planification intégrée

4.1 Introduction

L'élaboration d'un planning global dans une structure hiérarchisée se heurte au problème de cohérence (décomposition, agrégation) et de coordination entre les différents niveaux. En effet, les problèmes associés à chacun des niveaux ne sont pas indépendants. Des mécanismes de coordination entre les différents niveaux doivent être mis en place pour assurer la cohérence globale des décisions prises localement. Les décisions prises à un niveau limitent les degrés de liberté (ou l'autonomie) du niveau immédiatement inférieur.

L'élaboration d'un planning global nécessite ainsi la mise en place de certaines formes de coopération entre, d'une part, les acteurs d'un même niveau de décision, et, d'autre part, les acteurs de niveaux adjacents.

4.2 Les démarches de planification intégrée

Les travaux ayant traité les liens entre la production et la maintenance, et plus particulièrement leur ordonnancement conjoint, sont assez peu nombreux et relativement récents. [Qi 99 ; Graves 99 ; Brandolese 96 ; Lee 00 ; Rishel 96 et Weinstein 99] ont résolu un problème statique en utilisant une approche intégrée. Ils considèrent les opérations de maintenance et de production simultanément, et les caractéristiques de l'ensemble des tâches à exécuter (date de disponibilité, durée ...) sont supposées connues à l'avance.

Certains auteurs proposent de réaliser les tâches de maintenance durant les arrêts des machines programmées pour d'autres activités. C'est le cas notamment de Ben-Daya et Makhdoum qui coordonnent les opérations de maintenance avec les inspections du contrôle qualité [Ben-daya 98]. D'autres travaux traitent de la planification et déterminent un planning des activités de maintenance et de production [Rishel 96 ; Weinstein 99]. Mais les conflits potentiels sur une machine donnée ne sont pas pris en compte. D'autres travaux traitent des problèmes d'ordonnancement sur une machine [Qi 99 ; Graves 99], sur des machines parallèles [Brandolese 96 ; Lee 00] et de *flow shop* [Sanmarti 97]. Ces auteurs ont introduit un ordonnancement respectant toutes les contraintes et optimisant un critère donné. L'affectation des opérations aux ressources et la synchronisation des opérations sur les ressources sont traitées séparément.

4.3 La démarche proposée

La démarche de planification proposée prend en compte simultanément les exigences des services de production et de maintenance. Un planning de maintenance préventive a pour but d'ordonner et d'affecter les ressources aux tâches de maintenance et, d'autre part, de permettre l'optimisation des coûts de maintenance.

Il existe cependant différents types de tâches de maintenance préventives qui peuvent être classées en deux catégories :

- *les tâches critiques* : ce sont des tâches qui ont une marge libre nulle et qui induisent des coûts de retard si elles sont reportées ;
- *les tâches non critiques* : ce sont des tâches qui peuvent être reportées dans la limite de leur marge totale sans induire de coûts ;
- *les tâches bloquantes* : leur durée d'exécution est supérieure à toutes les périodes d'inactivité des machines sur lesquelles elles s'exécutent ;
- *les tâches non bloquantes* : leur durée d'exécution est inférieure à une ou plusieurs périodes d'inactivités des machines sur lesquelles elles s'exécutent.

Pour chaque ressource, on peut établir les dates d'intervention de maintenance et la marge d'exécution de ces interventions. A une date t , l'existence de n tâches de maintenance peut donner naissance à des conflits sur l'utilisation des ressources. Chaque machine de production peut avoir une ou plusieurs périodes d'inactivité au cours du cycle de production.

Cependant, l'exécution d'un planning de maintenance prévisionnelle qui respecte simultanément les délais et l'enchaînement des tâches entraîne souvent un arrêt de production sur certains équipements. Il est donc nécessaire de planifier ces tâches sans perturber le programme de production.

La figure 2 représente l'architecture du système de planification globale. Ce système se compose de trois niveaux indépendants mais qui communiquent entre eux :

- le premier permet de générer les plannings des tâches de production et de maintenance à partir des données techniques correspondantes tout en respectant les objectifs stratégiques de l'entreprise ;
- le deuxième constitue le module de planification globale qui a pour but d'analyser les plannings élaborés par les services de production et de maintenance ;
- le troisième est un module d'ordonnement des tâches de production et de maintenance.

Le module de planification globale constitue un outil d'aide à la décision pour la planification des tâches de production et de maintenance. A partir des plannings élaborés par les

services de production et de maintenance, il génère le planning des tâches propres à chaque équipement. Un examen de la compatibilité des deux plannings est réalisé afin de détecter puis d'éliminer les conflits de partage des ressources.

Pour éliminer un conflit, un processus de négociation est enclenché afin d'aboutir à un compromis satisfaisant les exigences des services de production et de maintenance et respectant les contraintes et les objectifs mutuels. Le problème des tâches conflictuelles étant résolu, le planning global doit être approuvé par les agents de production et de maintenance. Un nouvel ordonnancement est élaboré et permet de réaffecter aux tâches les ressources nécessaires compte tenu de leur disponibilité. A ce niveau, le planning global intégré est validé, il est transmis au service responsable du lancement qui, lui, affecte une date d'exécution. L'ensemble de la planification globale et de l'ordonnancement constitue le système intégré de planification.

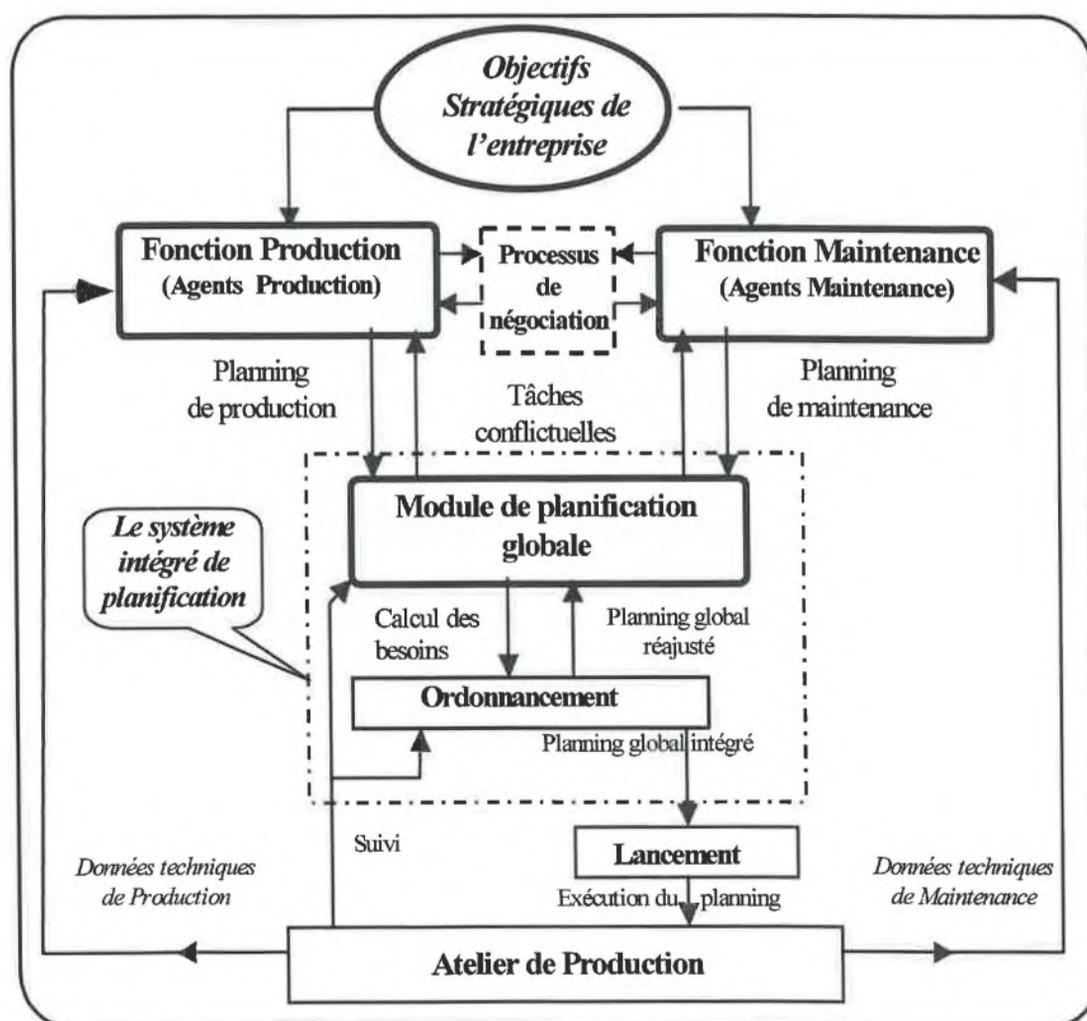


Figure 2 : L'architecture du système de planification globale.

4.4 Le processus de négociation

Un protocole de négociation efficace nécessite une modélisation commune des degrés de liberté des différentes tâches à planifier sur un horizon temporel donné. Les fenêtres temporelles associées à ces tâches décrivent les degrés de liberté dans leur positionnement temporel. Elles peuvent être attachées aux tâches de production et de maintenance préventives. Si un conflit de partage de ressources est détecté par le module de planification globale, les agents de production et de maintenance sont aussitôt informés et un processus de coopération / négociation est lancé (figure 3).

L'agent de maintenance vérifie s'il est possible de déplacer le début de la tâche de maintenance à l'intérieur de sa fenêtre temporelle. Si le début de la tâche reste dans la fenêtre, l'agent de maintenance accepte ce changement et la tâche est repositionnée puis validée. Dans le cas contraire, l'agent de maintenance demande à l'agent de production s'il est possible de déplacer le début de la tâche de production à l'intérieur de sa propre fenêtre temporelle. Il suggère une date de fin compatible avec la fenêtre temporelle de la tâche de maintenance en conflit ; si cette proposition est possible, la tâche de production est repositionnée et le planning est validé.

Sinon, il est nécessaire de trouver un compromis en relâchant la contrainte sur l'une des tâches conflictuelles (maintenance ou production) ou sur les deux à la fois. La résolution d'un conflit sur une tâche peut entraîner un ou plusieurs conflits qui se répercutent sur les autres tâches. Une remise en cause de l'ensemble des tâches nécessite une bonne coordination des agents de production et de maintenance.

A ce niveau, plusieurs solutions peuvent être envisagées. Les scénarios correspondants seront examinés en considérant les indicateurs de performance associés à chaque planning. Un tel processus de négociation s'applique à toutes les tâches en conflit.

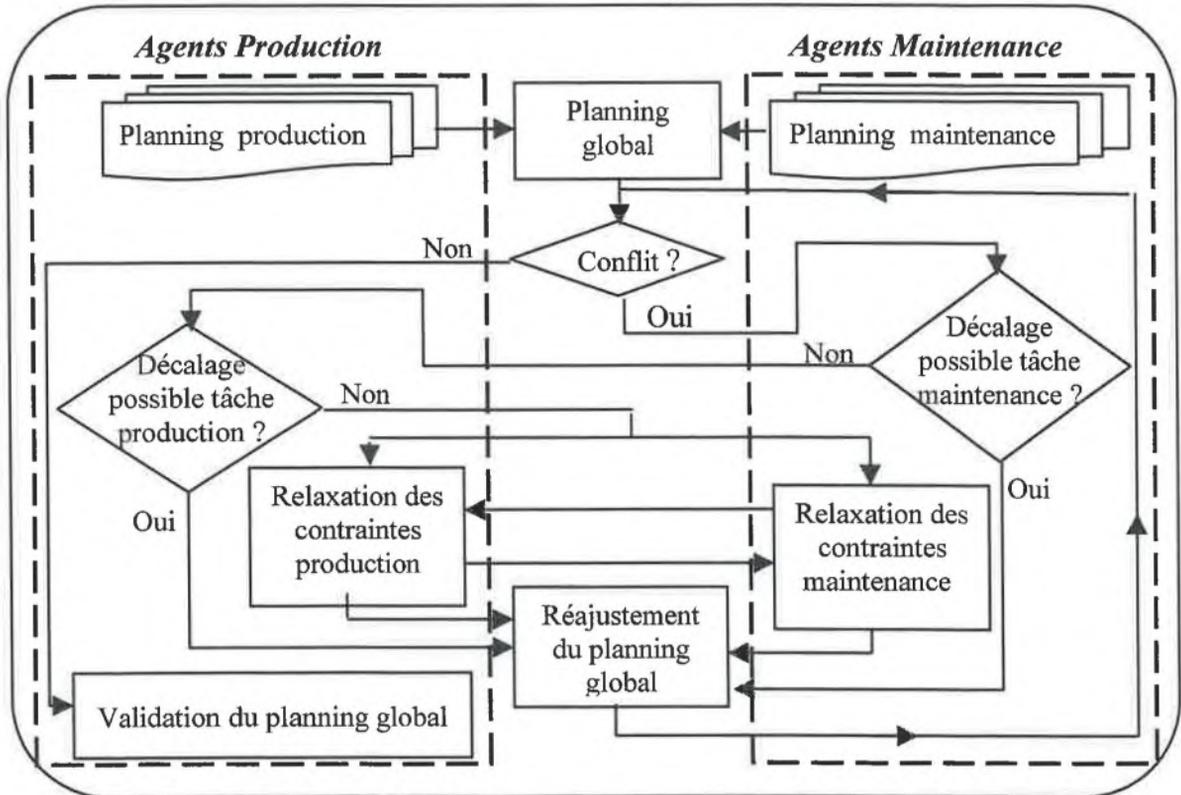


Figure 3 : Le processus de négociation entre les agents production et maintenance.

4.5 Apport des outils de management de projets

Afin de valider l'approche proposée, nous préconisons l'utilisation d'outils de gestion de projets pour la planification conjointe les tâches de production et de maintenance. Ces outils, couplés éventuellement à des applications spécifiques, permettent d'instrumenter le module de planification globale en apportant une aide à la décision dans la réalisation des fonctions suivantes [Project 00] :

- optimisation de l'utilisation des ressources humaines et matérielles par l'identification de celles qui sont en surcharge et en sous-charge ;
- génération des scénarios possibles à la suite des changements d'un ou plusieurs paramètres (simulation des scénarios) ;
- mémorisation des données et des résultats des différents scénarios pour d'autres utilisations ;
- élaboration d'un compromis (consensus) en respectant, dans la mesure du possible, les dates d'exécution des tâches de production et de maintenance ;
- génération des coûts de production et de maintenance par simulation des scénarios possibles, pour ne retenir que le planning global le plus pertinent ;

- gestion fiable des documents, permettant d'assurer le suivi et le respect de l'exécution des différentes tâches de production et de maintenance.

Cas des ressources en surcharge:

Plusieurs possibilités sont offertes par la plupart des outils actuels et permettent de gérer les problèmes de surcharges en permettant d'évaluer plusieurs modes d'action :

- retarder une tâche ;
- diviser les tâches de longue durée en sous-tâches afin de procéder à des affectations plus précises des ressources ;
- préemption de tâches ;
- sous-traitance de tâches ;
- retarder l'engagement d'une ressource ;
- augmenter la disponibilité des ressources par ajustement des calendriers des ressources avec l'autorisation d'heures supplémentaires ;
- augmenter la capacité par ajout de ressources afin de diminuer la durée des tâches ;
- ré-affecter les ressources (en utilisant d'autres ressources plus disponibles).

4.6 Les critères du choix d'un scénario

Plusieurs paramètres peuvent être modifiés pour la simulation des plannings. L'appréciation de chaque planning peut se faire en s'appuyant sur les indicateurs de performances suivants :

1- Le coût global de maintenance

Il représente la somme des coûts des ressources employées, des pertes de production (non disponibilité des équipements de production), des reports de l'exécution des tâches de maintenance (conséquences des pannes de machines ou de la non-qualité des produits résultant du non respect du planning de maintenance), du coût lié au non respect des délais de livraison des commandes. Les simulations ont pour but d'identifier la combinaison des paramètres qui minimise le coût global.

2- Le taux d'occupation du personnel

Le lissage des charges permet d'équilibrer la charge de travail périodique du personnel affecté à l'exécution des tâches de production et de maintenance en tenant compte de sa disponibilité et celle des ressources matérielles. Le but est de maximiser le taux d'occupation du personnel tout en minimisant le nombre d'heures supplémentaires.

3- Le taux de report

La périodicité de maintenance de chaque machine étant fixée, une marge sur la localisation temporelle de la (ou des) tâches correspondantes est autorisée pour chaque tâche, ce qui apporte une flexibilité supplémentaire dans l'élaboration du planning. Le taux de retard (ou d'avancement) sur l'ensemble des tâches est un des indicateurs possibles pour juger de l'efficacité d'une solution.

4.7 Application industrielle

Afin de valider les approches proposées, nous avons traité plus particulièrement la phase d'analyse. Celle-ci a été effectuée au sein d'une entreprise manufacturière. Elle concerne les aspects suivants :

- la typologie des produits fabriqués ;
- les processus de production ;
- la typologie des équipements de production ;
- le bilan de la production ;
- le diagnostic de la fonction de production ;
- le diagnostic de la fonction de maintenance ;
- la gestion des compétences et des ressources humaines.

Faute de place, seuls les résultats des diagnostics de production (figure 4) et de maintenance (figure 5) seront présentés, puis traités. En nous basant sur deux questionnaires, l'un comportant neuf axes de progrès pour le diagnostic de production, l'autre sept axes pour le diagnostic de maintenance, nous avons pu mesurer le niveau de performance sur chacun de ces axes.

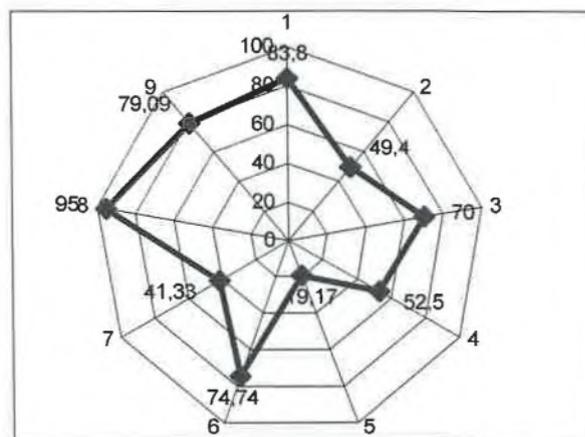


Figure 4 : Positionnement en performance de la fonction de production.

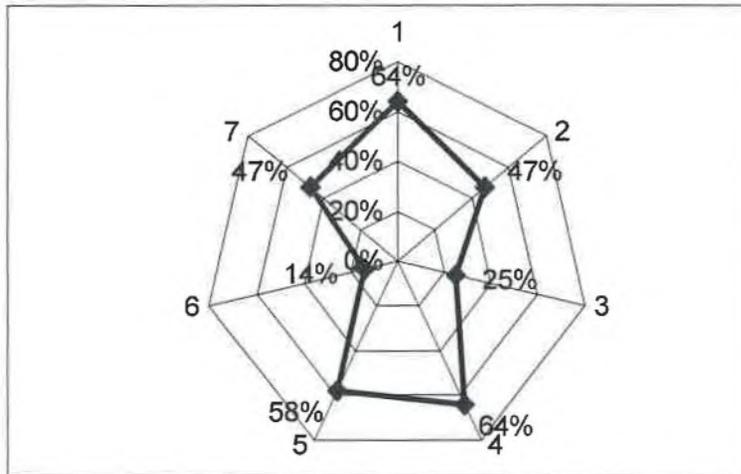


Figure 5 : Positionnement en performance de la fonction de maintenance.

Nous avons identifié les axes d'amélioration prioritaires aussi bien en production (tableau 1) qu'en maintenance (tableau 2).

<i>Niveaux de priorité</i>	<i>Axes de progrès</i>	<i>Niveaux de performance</i>
1	Axe 5 : L'informatisation	19,17 %
2	Axe 7 : La communication et le décloisonnement	41,33 %
3	Axe 2 : La gestion de production	49,40 %
4	Axe 4 : La gestion des approvisionnements et des stocks	52,50 %
5	Axe 3 : L'environnement de travail	70 %
6	Axe 6 : La gestion des compétences et des ressources humaines	74,74 %
7	Axe 9 : La conception et le développement	79,09 %
8	Axe 1 : Les méthodes de fabrication	83,80 %
9	Axe 8 : La gestion de la qualité	95 %

Tableau 1 : Les axes d'amélioration prioritaires en production.

En production, le niveau global de performance selon les neuf axes de progrès est de 62,78 %. Les trois premiers axes dont le niveau de performance reste inférieur à 50 % représentent les axes d'amélioration prioritaires.

<i>Niveaux de priorité</i>	<i>Axes de progrès</i>	<i>Niveaux de performance</i>
1	Axe 6 : L'informatisation de la fonction de maintenance	14 %
2	Axe 3 : La gestion des stocks et des pièces de rechange	25 %
3	Axe 2 : La gestion des équipements	47 %
4	Axe 7 : L'intégration de la fonction de maintenance ...	47 %
5	Axe 5 : La gestion des ressources humaines	58 %
6	Axe 1 : La planification des tâches	64 %
7	Axe 4 : La gestion des travaux	64 %

Tableau 2 : Les axes d'amélioration prioritaires en maintenance.

En maintenance, le niveau global de performance selon les sept axes de progrès est de 45,57 %. Les quatre premiers axes dont le niveau de performance reste inférieur à 50 % constituent les axes d'amélioration prioritaires.

Les résultats de classement des axes de progrès en production (tableau 1) et en maintenance (tableau 2), ainsi que les réponses aux questions associées à chaque axe de progrès, ont été exploitées lors de l'élaboration du plan d'action. Ce plan comporte les sept axes d'amélioration suivants : informatisation des services de production et de maintenance, gestion de production et d'approvisionnement, maîtrise des processus, restructuration des services et des ateliers de production et de maintenance, logistique intégrée et gestion des compétences.

Actuellement, le plan d'action est en cours d'exécution et un planning de maintenance préventive de l'ensemble des équipements est en phase finale d'élaboration.

Une fois que les services de production et de maintenance seront informatisés (exploitation des logiciels de Gestion de Production Assistée par Ordinateur et Gestion de maintenance Assistée par Ordinateur), nous serons en mesure de passer à la phase de planification intégrée. En effet, nous jugeons nécessaire d'améliorer d'abord le niveau de performance de ces deux fonctions avant de favoriser leur intégration. Néanmoins, après avoir échantillonné, sur un horizon d'un mois, un planning de production et un planning de maintenance pour six machines de production, nous avons traité ces deux plannings à l'aide du logiciel MS Project 2000. Nous avons procédé d'abord à l'optimisation de ces plannings séparément, puis nous les avons fusionnés en générant six plannings, chacun propre à une machine. Pour ces six plannings, deux cas de chevauchement des tâches de production et de maintenance ont été identifiés. Ces tâches ont été repositionnées sans avoir recours à la relaxation des contraintes. Les résultats obtenus confirment bien la pertinence des approches proposées.

5. Conclusion

Une démarche globale d'intégration des fonctions de l'entreprise a été présentée. Au sein de cette démarche, l'étape de planification globale des tâches de production et de maintenance et le mécanisme d'intégration correspondant ont été décrits en détail. Une architecture du système de planification et un processus de négociation ont également été proposés. Nous avons montré l'intérêt des outils de gestion de projets pour l'aide à la décision : ces derniers permettent d'optimiser le planning global en générant des scénarios de simulation qui combinent les tâches et les ressources de production et de maintenance. Des indicateurs de performance pour le choix du planning global ont été proposés.

Ordonnancer simultanément les tâches de production et de maintenance préventives permettra certainement d'améliorer la productivité de l'entreprise et d'éliminer les conflits inhérents à la nature et aux objectifs de ces deux fonctions.

La validation des approches proposées à travers une étude industrielle montre la pertinence de la méthode d'intégration proposée.

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'action intégrée n° 227 / SI / 2000. Nous remercions le comité mixte franco-marocain pour l'appui qu'il nous a apporté et pour son soutien.

6. Bibliographie

- [Ben-daya 98] M. Ben-daya, M. Makhdoum, Integrated production and quality model under various maintenance policies. *Journal of the operational Research Society*, 49(8), pp. 840-853., 1998.
- [Berrah 01] L. Berrah., V. Cliville, M. Harzallah, A. Haurat, F. Vernadat, Une démarche cyclique d'amélioration permanente pour la réorganisation de systèmes industriels. *Congrès International de Génie Industriel*, Aix-Marseille, 12-15 juin 2001.
- [Blanchard 91] B.S. Blanchard, *System Engineering Management*, John Wiley & Sons, New York, 1991.
- [Boucly 90] F. Boucly, *Le management de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO)*, Afnor gestion, 1990.
- [Brandolese 96] M. Brandolese, M. Franci, A. Pozzetti, Production and maintenance integrated planning. *International Journal of Production Research*, 34(7), pp.2059-2075., 1996.
- [Fougerousse 92] S. Fougerousse, J. Germain, *Pratique de la maintenance industrielle par le coût global*, Afnor gestion, 1992.
- [Gormand 86] C. Gormand, *Le coût global (Life Cycle Cost) pour investir plus rationnellement*, Afnor gestion, 1986.
- [Gravas 99] G.-H. Gravas and C.-Y. Lee, Scheduling maintenance and semiresumable jobs on single machine, *Naval Research Logistics*, 46, pp.845-862, 1999.
- [Imai 89] M. Imai, *Kaizen : la clé de la compétitivité japonaise*, Eyrolles, 1989.
- [Lee 00] C.-Y. Lee, Z.-L. Chen., Scheduling jobs and maintenance activities on parallel machines. *Naval Research Logistics*, 47, pp.145-165, 2000.
- [Montmarin 99] F. Montmarin, *Le système Kaizen : La maintenance productive du nouvel âge*. *Revue Maintenance*, juin – juillet 1999.
- [Nakajima 89] S Nakajima, : *La Maintenance Productive Totale (TPM)*. Afnor Gestion 1989.
- [Qi 99] X. Qi., T. Chen, F. Tu, Scheduling the maintenance on single machine. *Journal of the operational Research Society*, 50(10), pp.1071-1078, 1999.
- [Rishel 96] T.-D. Rishel, D.-P. Christy, Incorporating maintenance activities into production planning : Integration at the master schedule versus material requirement level. *International Journal of Production Research*, 34(2), pp.421-446, 1996.
- [Sanmarti 97] E. Sanmarti, A. Espuna and L. Puigjaner, Batch production and preventive maintenance scheduling under equipment failure uncertainty, *Computer Chemical Engineering*, 21(10), pp.1157-1168, 1997.

- [Shirose 94] K. Shirose, Le guide TPM de l'unité de travail : conduite et maintenance de l'unité industrielle. Collection : les réalités de l'entreprise, Dunod, 1994.
- [Talbi 97] A. Talbi, A. Hammouche, C. Tahon, Stratégie et modèle d'intégration des fonctions production et maintenance. 2^{ème} Colloque National de Productique. Casablanca, 13 et 14 novembre 1997.
- [Talbi 00] A. Talbi, A. Hammouche, C. Tahon, Towards Automation of integration Steps of Manufacturing Functions based on Group Technology. The 4th International Conference on Engineering Design and Automation (EDA'2000), Orlando, Florida, USA, July 30 - August 2, 2000, CD - ROM.
- [Vernadat 96] F. Vernadat, Enterprise Modeling and Integration : Principles and applications. CHAPMAN & HALL, 1996.
- [Zwingelstein 95] G. Zwingelstein, Diagnostic des défaillances : théorie et pratique pour les systèmes industriels. Edition Hermès, 1996.
- [Zwingelstein 96] G. Zwingelstein, La maintenance basée sur la fiabilité, guide pratique d'application de la RCM. Edition Hermès, 1996.
- [Weinstein 99] L. Weinstein, C.-H. Chung, Integrated maintenance and production decisions in a hierarchical production planning environment, Computer & Operations Research 26, p. 1059-1074, 1999.