

UTILISATION DE LA MAINTENANCE BASEE SUR LA FIABILITE (MBF) POUR DEVELOPPER ET OPTIMISER LES POLITIQUES DE MAINTENANCE DANS LES SCIERIES

N. COTAINA^{*}, M. GABRIEL^{*}, D. RICHEL^{**} et K. O'REILLY^{***}

Résumé. - Cet article présente le développement d'outils d'aide à la décision pour la définition des stratégies de maintenance. Dix scieries européennes (PME) ont choisi d'adapter l'approche MBF, la simulation de flux de production et des coûts de maintenance à leurs besoins particuliers. La MBF a prouvé son aide à la capitalisation du savoir-faire en maintenance.

Mots clés : Ingénierie de la maintenance, Sûreté de fonctionnement, Systèmes de production, Management de la maintenance.

1. Introduction

Le projet MELISSA (Maintenance Evaluation by Linked and Integrated Simulation in Sawmills - Evaluation de la Maintenance dans les Scieries par Simulation Conjointe et Intégrée) a pour finalité de développer des moyens d'aide à la décision pour optimiser la stratégie maintenance des scieries en vue d'une rentabilité maximale.

2. Contexte

Dans l'Union Européenne (UE), le montant des travaux effectués par les scieries et entreprises spécialisées dans le traitement du bois s'est élevé en 1992 à 5,8 milliards d'ECUs. En prenant en compte l'adhésion en janvier 1995 de l'Autriche, de la Finlande et de la Suède, cette production serait de 12 milliards d'ECUs. Ceci fait de l'industrie des scieries une des plus importantes de l'UE.

^{*} CRAN-IM CNRS URA D 801, ESSTIN-UHP

^{**} ADEPA, Agence de la Productique

^{***} FORBAIRT, Glasnevin, Dublin

Jusqu'à une époque rapprochée, les équipements des scieries étaient de conception relativement simple, fiable et facile à réparer. Par conséquent, les systèmes de maintenance de nombreuses scieries n'étaient conçus que pour remettre en état de marche les équipements à la suite d'une panne (maintenance corrective). Cependant, à mesure que les scieries se mécanisent et que les machines deviennent plus complexes, de nouveaux problèmes potentiels apparaissent.

La nécessité de mieux traiter et si possible d'éviter les pannes a conduit à un large usage de systèmes de maintenance préventive programmée pour effectuer des contrôles complets à intervalles réguliers. C'est le type de maintenance actuellement pratiqué dans la plupart des scieries. Toutefois, le nombre croissant de machines à surveiller impose que les systèmes de maintenance soient informatisés. Ces derniers, largement utilisés, sont destinés aux travaux de bureau et administratifs de la fonction maintenance. Cependant, ces systèmes ne prennent pas en considération la tâche qui consiste à obtenir un équilibre correct entre les interactions des systèmes de production et les diverses options stratégiques des systèmes de maintenance : maintenances prédictive, préventive et corrective. Il n'existe pas de système technologique d'information spécialement conçu pour les besoins des scieries.

2.1 Partenaires impliqués



Organismes (Fonctions) :

ADEPA (R. et D. des systèmes de maintenance) ;

FORBAIRT (R. et D. des systèmes de maintenance) ;

Scieries (Utilisation des équipements - Expérience sectorielle) :

- Balcas Timber Ltd., (U.K.),
- Palfab Ltd. (Ireland) ;
- Murray Timber Products Ltd. (Ireland) ;
- Scieries Réunies d'Abreschviller (SRA) (France) ;
- S.A. Escourçoise des Bois (ESCOBOIS)(France) ;
- Société Forestière Oriol (SFO) (France) ;
- S.A. JEAN MATHIEU (SAJM) (France) ;
- J&L SIAT S.A. (SIAT) (France) ;
- RAUNION SAHA OY (RAUNIO) (Finland) ;
- KAKIKOSKEN SAHA KY (Finland).

Fig. 2 - Emplacement des partenaires industriels

Les sous-traitants du projet sont les suivants:

- **CRAN-IM (Ingénierie de Maintenance)** (Recherche et Développement des systèmes de maintenance)
- **EMP** (Recherche et Développement des systèmes de production)
- **VTT** (Recherche et Développement des systèmes de maintenance)
- **CORIM** (Recherche et Développement de logiciels adaptés).

2.2 Le sciage

Dans le projet, on doit tenir compte d'un certain nombre de spécificités du processus de sciage.

2.2.1 Qualité

Le bois est un matériau vivant et possède de caractéristiques spécifiques (les scieries du consortium travaillent exclusivement avec des résineux). La qualité, en plus des difficultés pour maîtriser l'hétérogénéité de la matière première, comporte notamment les exigences des clients et donc des contraintes de délais, réactivité... La plupart des clients sont des groupes de distribution, des négoce de bois...

2.2.2 Produits finaux

Dans les différentes scieries du consortium, on tient compte, dans le processus, des besoins de produits finaux recherchés (traitement des produits pour leur deuxième transformation et leur usage futur, besoin de séchage...). La plupart des scieries du consortium intègrent le séchage et le traitement du bois (mais pas pour toute leur production) et font du bois destiné à la construction, à l'ameublement, à l'emballage...

2.2.3 Processus

Le processus se décompose en différentes phases.

- Achat du bois ;
- Gestion des grumes ;
- Premier sciage ;
- Deuxième sciage ;
- Découpe transversale puis conditionnement ;
- Récupération des produits dérivés ;
- Traitement sur les produits finis ;
- Conditionnement final pour expédition.

3. Mise en étude de la démarche MBF

Nous développons actuellement la démarche MBF adaptée aux PME dans les scieries du consortium afin de valider la méthode, remonter les données techniques des équipements et établir le cahier des charges du support logiciel qui permettra l'animation assistée des études et la capitalisation informatique des résultats. La MBF est une approche qui utilise différents outils issus des méthodes déjà bien connues telles que la matrice de criticité, les grilles d'Analyse de Mode de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) et le logigramme de décision [GAB95].

La mise en place de la démarche se fait par une organisation "groupe de projet" dans laquelle différents acteurs sont impliqués (voir Fig. 3).

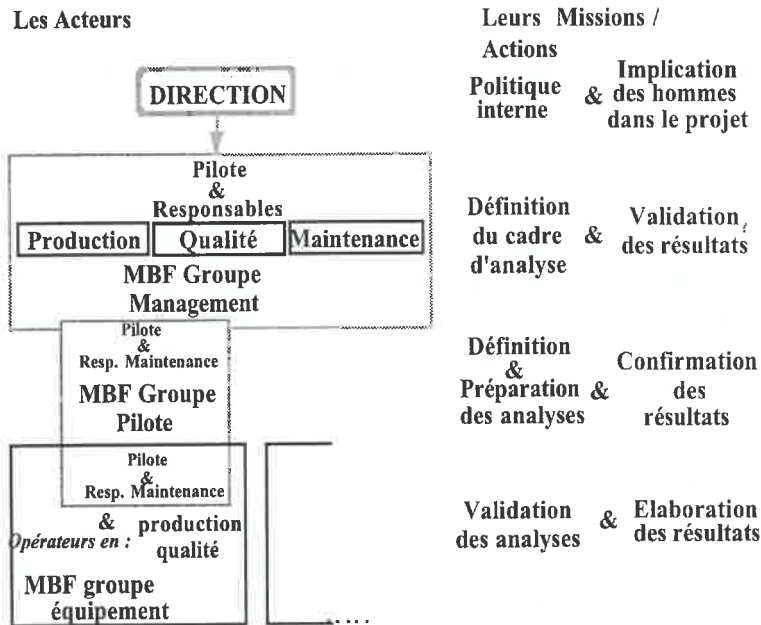
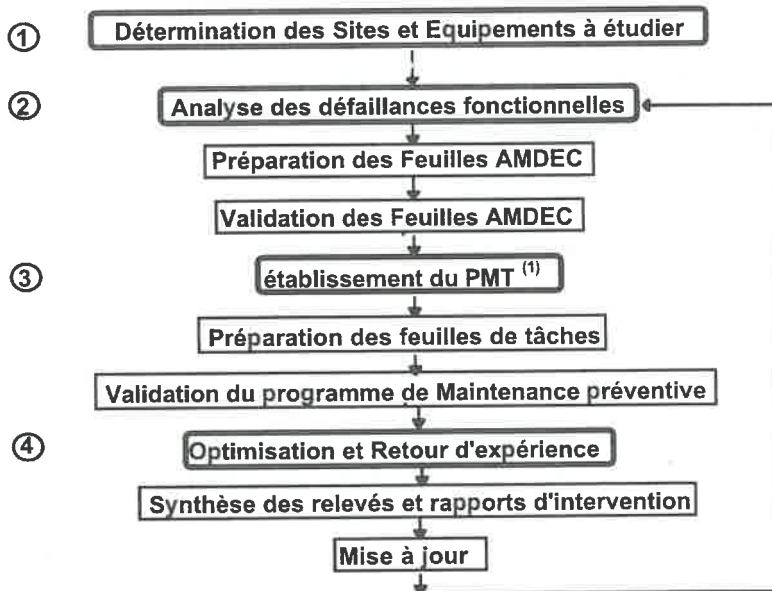


Fig. 3: Les acteurs et leurs missions dans la démarche MBF

La mise en place d'un programme de maintenance planifié se fait en quatre étapes (cf. Fig. 4). Ces étapes utilisent bon nombre d'informations et de supports faisant référence à la production, à la qualité et à la maintenance. Au travers de ces différentes étapes, les groupes impliqués (Fig. 3) doivent en permanence déterminer les objectifs qui sont prioritaires et valider les résultats à toutes les phases pour poursuivre sans dépenser trop d'énergie dans des analyses et éviter une dispersion excessive par rapport au résultat final qui est un plan de maintenance optimisé.



(1) Plan de Maintenance Technique

Fig. 4 Les quatre étapes principales de la démarche MBF

3.1 Application de la MBF

Dans la plupart des cas, une entreprise manufacturière ou de process n'a pas les contraintes de fiabilité que peuvent avoir des sociétés d'aviation, les militaires ou les utilisateurs d'énergie d'origine nucléaire [COT94]. La sécurité du grand public n'est pas en cause et un optimum technico-économique de la sûreté de fonctionnement de l'outil de production est recherché plutôt qu'une fiabilité maximale.

De ce fait, à chaque étape de la méthode, un classement basé sur la criticité des éléments qui sont analysés est réalisé, et seuls les éléments les plus critiques seront conservés pour la suite de l'étude.

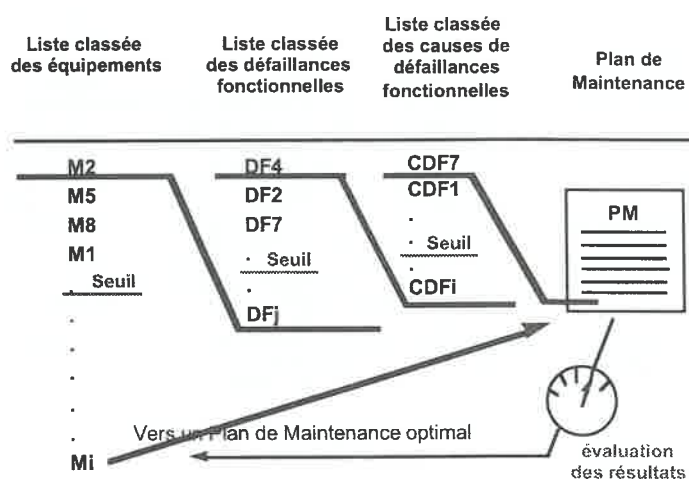


Fig. 5: Le principe de limitation de l'étude de la MBF

Cette démarche doit rassembler une équipe à laquelle tous les acteurs spécialisés doivent participer. Pour cela, une première réunion avec le directeur, le responsable de maintenance et le responsable de production doit avoir lieu, pour définir clairement les objectifs et les moyens à mettre en oeuvre. Au cours de cette réunion, ils doivent tous exprimer leur volonté pour le bon déroulement de la méthode d'une part et pour atteindre les résultats souhaités d'autre part. Les groupes management, pilote et équipement doivent être constitués avant le début des analyses [RIC96]. Les principes de la démarche sont : démarche participative, décomposition topo-fonctionnelle des installations et limitation de l'étude (Fig. 5)

3.2 Détermination des équipements critiques

La démarche a impliqué au départ une décomposition de la scierie en différents sites de production, suivie d'un inventaire exhaustif de l'ensemble des équipements. L'analyse est limitée à l'observation de la criticité qui permet de mesurer les conséquences de chaque équipement sur la sécurité, la disponibilité et la maintenabilité. La criticité CR va se déterminer en multipliant entre elles les valeurs de chaque critère. Ainsi dans l'exemple suivant, sept équipements ont été retenus pour l'analyse.

Criticité des équipements Exemple de notation :

SECURITE (S)		DISPONIBILITE (D)		MAINTENABILITE (M)	
Pas de risques	1	Pas d'incidence	1	Ne nécessite presque pas de maintenance	1
Risques d'acciden	2	Fonctionnement dégradé	2	• Temps faible • Présence des pièces de rechange principales	2
		Arrêt après un délai	3	• Demande un temps moyen • Connaissance sommaire de la machine • Parfois manque d'outillage • Parfois manque pièce rechange	3
		Arrêt de la scierie	4	• Demande beaucoup de temps • Pas de connaissance de la machine • Pas de pièce de rechange	4

Equipements critiques

S	Sites de production	D	S	M	CR	Equipements classés	Remarques
A	Ligne de sciage	4	1	4	16	Scie de tête	Et convoyeurs
A	Ligne de sciage	4	1	3	12	Trimmer	Et convoyeurs
A	Ligne de sciage	3	2	2	12	Bull	Et convoyeurs
A	Ligne de sciage	3	2	2	12	Line bar	Et convoyeurs
B	Parc à grume	3	2	2	12	Ecorceuse	Et convoyeurs
B	Parc à grume	2	2	3	12	Grue	
	Récupération des dosses	4	1	3	12	Broyeur	Et convoyeurs

Fig. 6 : Exemple des machines critiques choisies par l'analyse MBF

3.3 Analyses des défaillances des matériels critiques

L'analyse a commencé par la définition précise des fonctions de la machine et l'identification de tous les modes de défaillances qui s'expriment par la manière dont un équipement vient à ne plus remplir sa fonction [ZWI92]. Puis on effectue une décomposition organique des fonctions pour distinguer les éléments impliqués dans les défaillances fonctionnelles. L'élaboration de la liste des causes est réalisée par une AMDEC simplifiée (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité). Les modes de défaillances et les causes sont hiérarchisés en utilisant une nouvelle grille de criticité (Criticité = Gravité x Fréquence) (Fig. 6 bis).

Criticité des défaillances et des causes

GRAVITE (G)		FREQUENCE (F)	
Pas d'incidence	1	Jamais arrivée	1
Fonctionnement dégradé	2	1 fois depuis démarrage	2
Arrêt après un délai	3	Arrive 1 fois / 6 mois	3
Arrêt de la scierie	4	Arrive souvent	4

On emploie les fiches d'analyses telles que :

Analyse des modes de défaillance fonctionnelle

Fonctions de l'équipement		Modes de défaillance		Criticité Détection			
	Evacuer les produits finis		Mauvaise évacuation	4	3	12	Visuel
	Déplacer le chariot		Mauvais déplacement	4	2	8	Visuel
	Scier le billon		Mauvais sciage	2	4	8	Visuel
	Analyser la forme de la grume		Pas d'analyse	2	2	4	Ecran
	Ejecter la grume		Pas d'éjection	2	1	2	Visuel

Décomposition organique des équipements

Fonction de l'équipement	Sous-ensembles	Éléments maintenables	Spécialités
Charger la grume sur le chariot	Demi lune	Vérin	Maintenance
		Lubrificateur	Production
		Filtre	Maintenance
		Distributeur	Production

AMDEC des équipements

Éléments	Modes de défaillance		Causes de défaillance		Effets de la défaillance	Criticité		
	MD		CD			G	F	C
Lame	A	Mauvais sciage	1	Lame usée	Ralentissement	2	2	4
M-Première	A		2	Bois gelé	Ralentissement	2	2	4
Opérateur	A		3	Utilisation	Ralentissement	2	2	4

Fig. 6 bis : Exemple d'analyse d'une machine, avec la feuille « AMDEC » préconisée par la MBF

3.4 Elaboration du plan de maintenance

Cette étape conduit à déterminer les tâches de maintenance préventive. Il est à noter que le choix de la périodicité se fait de manière empirique (la plupart du temps aucune valeur de référence précise n'est connue). Néanmoins, pour la sélection des tâches, trois critères sont pris en compte : le critère économique, l'efficacité et l'applicabilité. Pour chaque tâche, il est indiqué la fréquence, le temps alloué, la personne responsable et les pièces de rechange associées. D'autre part, les opérateurs prennent en charge des actions de maintenance de faible niveau sous forme des checks-listes, ce qui permet d'accroître la disponibilité de l'agent de maintenance, pour d'autres travaux [BOR94].

Elaboration des tâches

MD	CD	Éléments	Tâches proposées	Intervalle	Fait par	Pièces de rechange
A	1	Chaîne	Souffler et nettoyer chenillette	1S	Opér	
A	2	Chaîne	Lubrifier chaîne	1S	Opér	Huile
A	4	Tendeur	Vérifier tension chaîne	1M	Maint	Chaîne
A	6	Rouleaux	Vérifier jeu des rouleaux	2S	Maint	Roulements
A	7	Chaîne	Lubrifier chaîne	1S	Opér	Huile
A	9	Plaqueur	Dégager la sciure et bois du plaqueur	1S	Opér	
C	3	Durits	Déterminer fuite	1S	Opér	Durits
B	6	Compresseur	Purge, niveau huile, filtre à air	1j, 1m, 1s	Maint	Filtre et huile

MACHINES	Temps préventifs								
	Fréquence	jour (mn)	semaine (mn)	mois (mn)	2 mois (mn)	6 mois (mn)	1 an en(mn)	2 ans en(mn)	Total (en mn)
Scie de tête		10	14.66	133.9	20	45	480	480	1183.57
Bull		5	15	60	15	0	5	240	340
Line bar		10	30	90	0	30	15	180	355
Trimmer		1	15	30	210	0	5	0	261
Ecorceuse		10	5	30	5		5		55
Grue		2	5	15				300	322
Broyeur			20	25	10		10		65
Total préventifs									43 h

Fig. 7 Exemple de synthèse des temps de maintenance préventive

Le temps total de la réalisation des tâches proposées par l'étude est estimé à 43h (Fig. 7), en temps masqué hors production. Les modifications et les tâches correctives ne sont pas incluses.

4. Démarche d'intégration de la MBF et de la simulation de flux

La démarche suivie consiste à élaborer un prototype informatique pour guider dans le choix d'une politique de maintenance optimisée et dans l'élaboration de choix budgétaires.

Aujourd'hui, combien coûtent les arrêts et ralentissements induits par les défaillances des machines ? [FOU92]

Nous pouvons décomposer les coûts en 2 catégories :

- Les coûts engendrés par l'allongement du temps de production (ou perte de production).
- Les coûts de maintenance (l'argent dépensé pour les éviter ou pour y remédier).

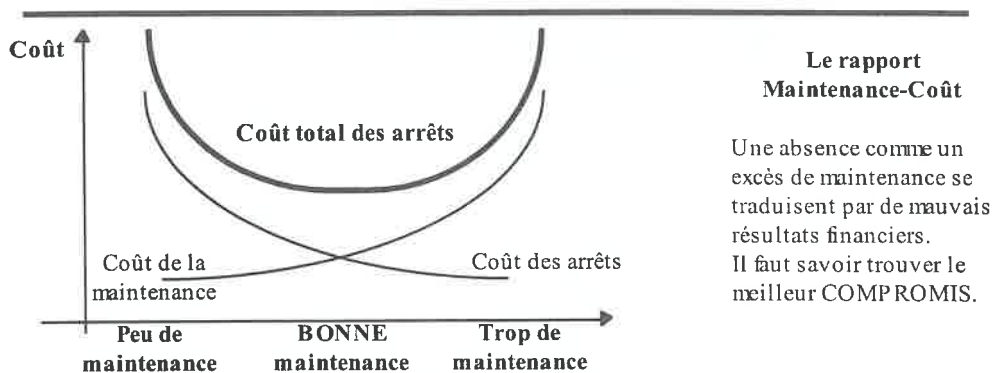


Fig. 8 Le rapport Maintenance-Coût

Le coût direct d'un service maintenance s'évalue à partir des :

- coûts salariaux,
- coûts des pièces, de l'équipement des agents, des consommables et des stocks,
- coûts induits par les arrêts de production nécessaires aux interventions en préventif.

Le coût total des dysfonctionnements (de toutes origines) [BOU 81] s'évalue à partir du nombre d'heures de production qu'il est nécessaire de réaliser pour atteindre la production journalière comparé au temps optimal de production. Il se décompose en :

- coûts salariaux,
- surconsommation d'énergie,
- dévalorisation plus rapide des équipements...

L'objectif est de diminuer les coûts indirects induits par les arrêts dus à des défaillances tout en maîtrisant les coûts directs de la maintenance.

Prenons un exemple parmi les scieries partenaires du projet :

- Coût du service maintenance : 3 000 kF (1 400 en personnel, 1 600 en matériel)
- Coût d'une heure d'arrêt de production: 15 kF/h.

On évalue à 20% du temps de production (soit environ 500 h/an) les pertes engendrées par les défaillances des machines provoquant ainsi leurs arrêts ou leurs ralentissements.

Coût annuel de la maintenance : $3\,000 + 15 \times 500 = 10\,500$ kF/an

(1/3 direct, 2/3 indirects dont environ 5 000kF sont imputables aux pannes des machines, voir grille figure 9)

Causes des temps non productifs	%
Nature du bois	17
Opérateurs	6
Evénements externes	7
Pannes	46
Conception	6
Alimentation	5
Mesure/contrôle	4
Changement d'outil	4
Forçage de l'allure	1

Fig. 9: Causes des temps non productifs

Le rapport entre les valeurs de coût direct et indirect est difficile à déterminer. Comme le montre la figure 8, le rapport Maintenance-Coût n'est absolument pas linéaire. Il est indispensable de trouver le meilleur compromis et l'outil d'aide à la décision doit assister le décideur dans la démarche.

Pour y parvenir, il est nécessaire de mieux cibler les actions de maintenance. Il faut cependant garder à l'esprit que la maintenance ne prétend pas éliminer ce sur-temps de production ; elle permettra de participer à sa réduction.

Il faut donc définir des priorités.

OU AGIR ? Sur quelle machine, sur quelle défaillance ?

Le choix est très -trop- large parmi toutes les machines. Il en est de même pour les défaillances, les agents de maintenance ne peuvent en aucun cas traiter tous les problèmes. Ils doivent connaître et interpréter quelles sont les priorités de production.

COMMENT AGIR ? Quelles actions de maintenance appliquer ?

Plusieurs types d'intervention de maintenance peuvent être envisagés :

- Une maintenance corrective, généralement appelée dépannage,
- Une maintenance préventive (systématique, conditionnelle) qui vise à prévenir la défaillance plutôt qu'à la guérir.

Dans certains cas, une modification de l'installation doit être envisagée. Le choix est difficile car chaque type d'intervention a ses avantages et ses inconvénients. **On doit déterminer une démarche simple afin de pouvoir faire les choix de plans de maintenance.**

4.1 1^{ère} étape : déterminer quelles défaillances traiter en priorité.

Par où commencer, quelle machine traiter ?

La méthode MBF permet le classement des machines successivement par rapport à la sécurité, la disponibilité, la qualité et enfin par rapport à leur maintenabilité [RIC96].

Cette classification s'oriente donc en priorité vers les machines les plus dangereuses, celles qui pénalisent fortement la disponibilité et enfin celles qui détériorent la qualité des produits. En aucun cas ce principe ne doit être remis en cause.

Observons que l'influence relative d'une machine sur la ligne de production n'est pas prise en compte dans cette méthode. Nous nous proposons d'évaluer quantitativement la dégradation de productivité due à la non fiabilité de chaque machine.

On entend par machine critique, une machine dont le fonctionnement joue un rôle déterminant sur le comportement global de la ligne de production qu'elle intègre.

L'expérience et à la connaissance de la ligne de production permettent au « scieur » de situer les machines les plus **critiques** de sa scierie, intégrant également les moins sollicitées d'entre elles. Cet expérience est indispensable pour la première étape de la démarche MBF (choix des équipements à traiter).

Seule la **simulation de production** [SIE95] nous a permis d'y parvenir sans avoir à intervenir sur la production (test in situ). En se basant sur le modèle d'une scierie, un classement a été dressé pour chaque type de production (dans les scieries où plusieurs types existent). En effet, les schémas de coupe varient en fonction de l'alimentation de la ligne et les machines ne sont pas sollicitées de la même manière.

Exemple d'une scierie, classement non exhaustif des principaux équipements obtenu sur la base d'une production mixte

1. CANTER
2. Convoyeur du carrousel (BT2)
3. Scie KV1
4. Scie && PS
5. Convoyeur d'entrée (BT1)
6. Conditionneur/Trieur
7. Grue...

Machines à suivre en priorité

En considérant chaque machine, quelle défaillance traiter ?

L'analyse MBF doit aboutir à une **liste exhaustive de toutes les défaillances**, notamment celles provoquant des arrêts des machines les plus critiques de l'usine.

Pour chacune d'elles, nous obtenons :

- les effets estimés :
 - un arrêt, un report, un ralentissement
 - un risque (sécurité),
 - une perte de qualité,
 - une usure prématurée de la machine.
- les causes probables :
 - une défaillance d'un composant, usure,
 - la matière première est hors normes,
 - une mauvaise conception,
 - une erreur humaine.
- la fréquence

- la détectabilité :
 - mesurable,
 - intempestive.

La méthode MBF propose sa propre hiérarchisation des machines. Il en est de même pour ce qui est des défaillances. Les critères de base sont la gravité et la fréquence des défaillances. La méthode ne nous permet pas de définir les priorités d'action intégrant l'aspect économique. **Nous proposons d'introduire une notion de pénalisation** du temps de production dans la démarche de classement.

Pour déterminer l'impact économique de chaque type de défaillance, on évalue notamment son effet sur l'allongement de temps de production. Peut-on considérer qu'un arrêt de 10 minutes de la *déligneuse* conduit nécessairement à la perte de 10 minutes de production ? Non ! La présence d'importants stocks intermédiaires joue un effet tampon et conduit à l'atténuation des effets de l'arrêt. Pour ces raisons, il est difficile de juger de l'impact d'un arrêt.

La simulation de production nous permet d'évaluer la valeur du "**temps de rémission**" de chaque machine. Le "temps de rémission" correspond à la durée maximale que peut avoir un arrêt sans avoir de répercussion sur la production finale (la défaillance est "absorbée" par le système).

En reconsidérant l'exemple précédemment cité, la simulation nous apprend que l'arrêt de 10 minutes de la *déligneuse* a conduit à une perte de 7 minutes de production. Le temps de rémission de cette machine est de 3 minutes (pour un type de production donné). Ainsi, le volume de production n'est pas altéré par une défaillance de moins de 3 minutes.

Les graphiques suivants (Fig. 10 et 11) présentent les résultats obtenus sur la ligne d'une scierie. On voit ici que si le *métier de tête* s'arrête, la répercussion sur la production est quasi totale (30s de temps de rémission). Par contre, un arrêt du *déchargeur* ne se répercute que s'il dépasse 7 minutes.

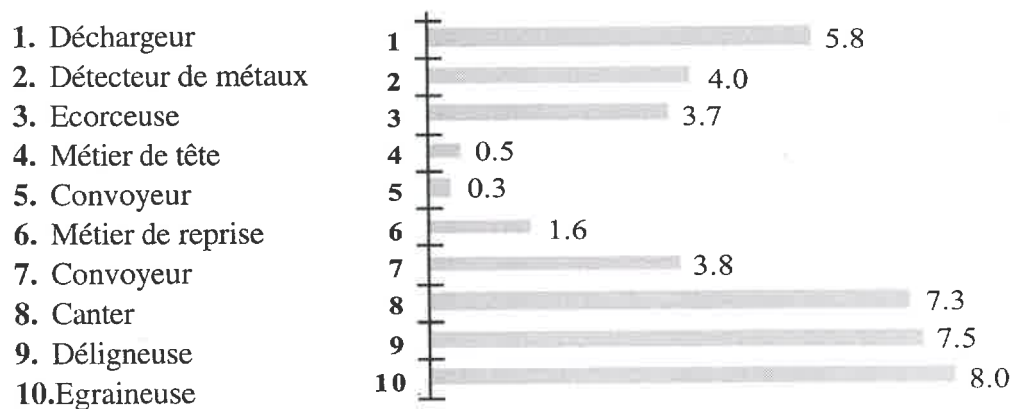


Fig. 10: Machines-clefs et temps de rémission (en minutes)

Machine\Production	MIXTE	Schéma de coupe "D"
Déchargement	6	17
2 Quais	Non Significatif (NS)	NS
Métier de tête	1	4
Métier de reprise	2	3
Déligneuse	2	1
Canter	8	20
Egreneuse	NS	25

Fig. 11: Variation du temps de rémission en fonction du type de production (sur la base d'une production mélangée ou d'une production comportant en majorité des billons avec un même schéma de coupe).

Partant du principe que la rémission est obtenue grâce aux effets de flux/stocks d'encours, il est alors envisageable "d'immuniser" une machine goulot en redimensionnant (à la hausse) ces stocks.

Néanmoins, l'impact d'une défaillance n'est pas suffisant pour déterminer les priorités d'action, la fréquence de la défaillance est tout aussi primordiale. Elle permet en outre de déterminer le coût global d'un type de défaillance, caractéristique bien plus intéressante.

Les causes de défaillance font également l'objet d'un classement dans la MBF. Les critères sont identiques à ceux des effets de défaillances, appelés modes de défaillance par la méthode. Prenons un exemple tiré d'une scierie, les défaillances ont été observées depuis Août 1996. Concentrons nous sur la scie de tête, machine goulot de la ligne. Une simplification de l'historique des pannes tiré de l'analyse MBF nous donne :

<i>Élément</i>	<i>Durée moyenne</i>	<i>Fréquence</i>
Lame(pb)	20min d'arrêt	28% des pannes
Bornes(pb)	30min ``	19% ``
Rouleaux(pb)	30min ``	13% ``
Tapis(pb)	55min ``	13% ``
Alimentation en air(pb)	40min ``	9% ``
Codeur(pb)	35min ``	9% ``

En 10 mois, cette machine accuse 17h30 d'arrêts cumulés engendrés par des défaillances qui lui sont propres (seuls les arrêts de plus de 10 minutes ont été recensés, pourtant les arrêts courts et répétitifs sont très nombreux, ce chiffre est donc bien au delà de la réalité).

Le temps de rémission de cette machine est quasiment nul, au dessus de 30s, l'arrêt de cette machine se répercute quasi intégralement sur la production de la scierie. Avec un coût horaire d'arrêt de la ligne de 4 kF, les défaillances de cette machine, à elles seules, coûtent 70 kF à cette entreprise (0,7% de son chiffre d'affaires !) pour les 10 derniers mois.

On constate que ces pannes sont de longue durée et que certaines d'entre elles sont très répétitives. La MBF nous permet de définir des plans de maintenance appropriés. L'évaluation économique de l'effet de chaque défaillance nous permet de tenir compte d'un critère de classement supplémentaire.

En dernier recours, si la maintenance ne permettait pas de pallier certaines défaillances répétitives et de courtes durées, on peut alors envisager d'accroître les stocks tampon en aval et en amont de cette machine. Cette mesure, destinée à accroître le temps de rémission, immunise la ligne contre les arrêts courts.

Il paraît évident, dans cet exemple, que le "métier de tête" est la machine prioritaire. Les agents de maintenance doivent concentrer tous leurs efforts sur cet équipement plutôt que sur une empileuse, par exemple, dont le temps de rémission, bien supérieur, autorise des arrêts plus importants sans pénaliser la production.

4.2 2^{ème} étape : proposer les différentes solutions

Après avoir sélectionné les défaillances les plus pénalisantes, il est bien entendu nécessaire de dresser des plans de maintenance.

De la même manière que pour classer des machines et défaillances, une équipe d'opérateurs et d'agents de maintenance dresse une liste d'actions de maintenance appropriées aux triplets machine-défaillance-cause définis par les classements.

4.3 3^{ème} étape : choisir le meilleur plan de maintenance proposé

Chaque action de maintenance a deux caractéristiques : ce qu'elle coûte et ce qu'elle fait gagner. Bien qu'évidente, cette notion est peu intégrée dans le choix d'une politique de maintenance. Elle peut intervenir au moment du choix d'un plan de maintenance.

4.3.1 Estimer les gains possibles

Evaluer l'impact de la mise en place de chaque politique de maintenance sur les temps d'arrêt en tenant compte du temps de rémission et faire une évaluation économique.

4.3.2 Evaluer le coût de la politique de maintenance

Chiffrer le coût direct de chaque opération de maintenance : pièce de rechange, main d'oeuvre, arrêt de production si nécessaire...

4.3.3 Faire un choix en fonction des priorités fixées par le responsable.

Illustrons cette démarche par un exemple réel :

Sur la scie Multirip d'une scierie irlandaise, on observe des micro-arrêts dus à un mauvais positionnement de la matière première :

<u>effet:</u>	arrêt de la machine goulot , la Multirip
<u>cause :</u>	mauvais positionnement matière première
<u>déteçtabilité :</u>	visuel
<u>fréquence :</u>	4 fois/jour
<u>durée :</u>	4 minute

Le temps de rémission de cette machine est de 30s et le coût horaire d'arrêt de production est estimé à 2,1 kF.

Le coût journalier engendré par cette défaillance est : $(240s - 30s) \times 4 \times 2 \times 100/60 = 490 \text{ F}$.

La pénalisation annuelle est : $490 \times 235 = 115 \text{ kF}$.

Deux politiques de maintenance peuvent être appliquées :

4.3.4 La maintenance corrective

L'opérateur de la machine sort le billon mal positionné de la machine manuellement. Ce type d'intervention qui nécessite 4 minutes est déjà appliqué aujourd'hui.

Coût annuel de pénalisation: 115 kF.

4.3.5 La maintenance préventive

En surveillant le passage du billon en entrée de la scie, l'opérateur bloquera ou retardera son entrée dans la machine en cas de mauvais positionnement. Dans le cas le plus défavorable, l'intervention de repositionnement nécessite 1 minute.

Comme cela se pratique déjà beaucoup dans certaines scieries, l'installation d'une caméra en amont de la Multirip permet de contrôler cette entrée au moyen d'un moniteur placé dans le pupitre de commande de l'opérateur.

Cette opération engendre des frais d'environ 12 kF (achat plus installation) et on estime à 0.5 kF annuel les frais supplémentaires de maintenance engendrés par ce nouvel équipement. Elle permet de réduire le temps d'arrêt de la machine à 1 min (soit une répercussion de 30s sur la production).

Coût annuel : 12 kF la première année + 15 kF de pénalisation + 0.5 kF = 27.5 kF (15.5 kF les années suivantes)

4.3.6 Choix de la politique à suivre

La caméra est rentabilisée 4 mois après son installation. Elle permet une économie annuelle de plus de 85 kF. Logiquement, la solution de maintenance préventive s'impose [MOL94].

5. Retour d'expérience

L'objectif est d'optimiser les plans de maintenance préétablis. La mise en place d'un retour d'expérience démarre par une sensibilisation du personnel, la mise en place et le suivi d'un ensemble de fiches et d'indicateurs [SUH96]. Le retour d'expérience doit donner lieu à des traitements d'analyse de données.

5.1 Les documents testés actuellement dans les scieries

- **Rapport d'intervention de maintenance** (rédigé par l'agent de maintenance après toute action, quelle soit interne ou sous-traitée, afin de réaliser un document de suivi des interventions relatif à chaque équipement et d'obtenir les principales informations tel que MTBF, MTTR, nombre d'arrêts...).

- **Demande d'intervention** (les interventions de maintenance sont déclenchées par les opérateurs, mieux placés pour déceler les premiers symptômes des défaillances).
- **Bons de sortie magasin** (permet au moins la ventilation des coûts de pièces par machine).
- **Fiche d'intervention d'opérateur** (les ralentissements et les interventions mineures nombreuses ne sont pas signalées. Ils sont dus généralement au problèmes de convoyages. Il est donc indispensable d'avoir un document rempli par les opérateurs, pour mettre en évidence les micro-défaillances pénalisant la production)

5.2 Mise en place d'indicateurs

5.2.1 Indicateur global (Taux de Rendement Synthétique : TRS)

Il est certain que le TRS [PIM91] est le meilleur indicateur pour cibler les actions prioritaires permettant de faire face aux points faibles de la productivité (voir exemple de calcul du TRS dans une scierie du consortium MELISSA Fig. 9).

Semaine	Disponibilité%		Taux de performance%		Taux de qualité%		TRS%	
	Réalisé	Objectif	Réalisé	Objectif	Réalisé	Objectif	Réalisé	Objectif
S11	98.13	100	84.06	91.67	94.38	100	77.85	91.67
S12	96.25	100	93.25	91.67	94.38	100	84.71	91.67
S13	95.63	100	90.54	91.67	94.38	100	81.71	91.67
S14	100	100	91.95	91.67	94.96	100	87.31	91.67
S15	98.3	100	93.98	91.67	94.96	100	87.71	91.67
S16	98.75	100	88.56	91.67	94.96	100	83.04	91.67
S17	98.13	100	88.03	91.67	94.96	100	82.02	91.67
S18	93.75	100	89.14	91.67	94.96	100	79.35	91.67

Fig. 9 Exemple de suivi du TRS

5.2.2 Indicateurs de maintenance

Les indicateurs doivent permettre l'établissement des diagrammes et l'exploitation des historiques propres à chaque machine, afin de valider et d'optimiser les actions préventives préétablie. Par exemple nous pouvons d'abord faire la mise en évidence de la répartition des pannes en terme de fiabilité, disponibilité et maintenabilité et ensuite la répartition des activités de maintenance par nature de travaux (Fig.10).

- **Indicateur de fiabilité** (représentation en fonction du nombre d'interventions),
- **Indicateur de maintenabilité** (représentation en fonction du temps moyen d'intervention),
- **Indicateur de disponibilité** (représentation en fonction du temps total d'intervention).