

EPISTEMOLOGIE ET DETERMINATION DES POLITIQUES DE MAINTENANCE PREVENTIVE DANS L'INDUSTRIE

Yves PIMOR*

Résumé. - La détermination d'une politique de maintenance préventive ou, ce qui en est très proche, de maintenance améliorative, est toujours délicate dans l'industrie. Trop de maintenance conduit à des dépenses inutiles d'autant plus élevées que la loi des rendements décroissants s'applique aussi aux activités de maintenance. Pas assez de maintenance préventive se traduit par plus de défaillances avec des conséquences directes (réparations, casses, accidents) et indirectes (non-production, non-qualité, assurances, etc.). La recherche d'un équilibre est donc à la base de toute politique de maintenance, équilibre entre des charges certaines (les charges de maintenance) et d'autres plus ou moins probables (les coûts des défaillances).

1. Introduction

On a souvent souligné la complexité de ces choix. Ainsi Hugues Molet dans "Systèmes de production" : "Quelles sont les retombées économiques d'une meilleure disponibilité d'une machine consécutive à une action de progrès ? Une telle évaluation est complexe et souvent conventionnelle car de très nombreux paramètres externes interviennent : cet accroissement de disponibilité entraînera-t-il une augmentation de production générale (ce qui ne serait pas le cas en présence de goulots amonts ou aval) ? Cette production supplémentaire pourra-t-elle être vendue ? On voit que l'arbitrage porte sur la certitude d'une dépense immédiate comparée à de possibles recettes à terme" (Molet, 1995).

Cet accroissement possible des recettes est la face positive de la diminution des défaillances mais il faut prendre garde que certaines défaillances se répètent régulièrement tout au long de l'année si on ne les prévient pas, défaillances dues à l'usure par exemple, alors que d'autres ne se réaliseront probablement pas (grosses casses) ou très probablement pas (catastrophes) dans l'année à venir.

Traditionnellement, les politiques de maintenance résultent de compromis implicites entre des contraintes budgétaires et les besoins exprimés de la production à partir des

* Centre de Recherche en Automatique de Nancy - Ecole Supérieure des Sciences et Technologies de l'Ingénieur de Nancy - Université Henri Poincaré, Nancy - Conseiller logistique à France Telecom

résultats techniques de l'année précédente. La G.M.A.O. (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur) a apporté dans beaucoup d'entreprises un éclairage nouveau en permettant de connaître la répartition des dépenses de maintenance entre les différents équipements et entre les divers types de maintenance (distinction préventif/correctif particulièrement).

La (ou le) T.P.M. (Maintenance Productive Totale ou Management Productif Total) avec l'analyse des T.R.S. (Taux de Rendement Synthétique) et plus généralement les efforts importants entrepris ces dernières années pour disposer dans l'industrie d'indicateurs de productivité et qualité, ont contribué à approcher les coûts directs et indirects résultant des défaillances et autres causes de non-productivité (Pimor, 1992).

Depuis quelques années, on voit se développer au sein de la maintenance industrielle des techniques telles que les "AMDEC Equipements de Production" ou la M.B.F. (Maintenance Basée sur la Fiabilité - Richet et al., 1996). La mise en oeuvre de ces méthodes apparaît souvent délicate et peut conduire à des résultats décevants pour ceux qui n'y verraient que des procédures formalisées applicables systématiquement en faisant l'économie d'une réflexion sur les concepts mêmes qui en sont à la base. C'est pourquoi, il nous a paru intéressant d'esquisser une approche épistémologique des politiques de maintenance et des pratiques correspondantes.

2. L'espérance mathématique

Le concept d'espérance mathématique trouve son application chaque fois qu'une décision est à prendre dans un avenir incertain. Dans sa formulation initiale, il s'agit de calculer le gain moyen (ou la perte moyenne) dans un jeu où les probabilités de succès sont connues. On peut alors calculer si statistiquement on a intérêt ou non à jouer compte tenu du prix d'admission au jeu.

Il n'est pas difficile de montrer qu'un tel raisonnement trouve des applications nombreuses dans la vie économique. Les sociétés d'assurance déterminent le montant des primes à partir de tels calculs en évaluant les probabilités a priori des différents dommages et leurs coûts et en les comparant aux recettes des primes à verser par les assurés, déduction faites des coûts administratifs.

Dans la vie de tous les jours, il n'est pas difficile de démontrer que nous tenons compte de statistiques inconscientes : nous acceptons certains risques soit parce que la probabilité de leur réalisation nous paraît faible (accident grave d'automobile), soit parce que leur gravité nous paraît légère même si leur probabilité n'est pas négligeable : par exemple se fouler la cheville en faisant son jogging. Il nous est même arrivé de démontrer que la jurisprudence civile utilisait implicitement ce concept dans l'analyse du lien de causalité dans les problèmes de responsabilité civile. Le terme "espérance" est d'ailleurs bien mal choisi pour évoquer des possibilités d'accidents ou de défaillance, ce qui explique peut-être que ce concept fondamental de la plupart des décisions économiques soit si mal compris.

Une politique de maintenance doit, elle aussi, s'appuyer sur une analyse implicite ou explicite des probabilités de pannes ou autres dysfonctionnements et de leurs conséquences. Le simple bon sens montre que l'on ne devrait pas effectuer de maintenance préventive sur un équipement pour lequel le risque est très faible et/ou les conséquences d'une défaillance de peu de gravité.

Il y a longtemps que le concept d'espérance mathématique a subi le feu des critiques. L'espérance mathématique suppose que lorsque les probabilités se transforment en fréquences, et réciproquement, le temps soit une valeur homogène. Or sans aller chercher Bergson et sa distinction entre le temps et la durée, l'expérience commune ou le paradoxe de Saint Petersburg montrent que psychologiquement ce n'est pas toujours le cas¹¹. Il appartient probablement à la puissance publique de prendre en compte les événements de très faible probabilité mais de conséquences désastreuses que les industriels auront tendance à négliger dans leurs calculs économiques. C'est un phénomène de même nature qui nous paraît expliquer certaines difficultés actuelles de la prise des décisions en maintenance industrielle et que nous retrouverons avec la notion d' "horizon" d'une décision.

3. Approche économique des politiques de maintenance industrielle

Comme l'a montré le professeur Riveline, la notion de coût d'une décision est par nature ambiguë (Riveline). Tout ce que l'on peut faire est de comparer pour divers hypothèses des flux de charges et de produits. Ces charges et ces produits se réalisant à des moments différents, il est alors nécessaire pour les comparer de faire appel à un facteur correctif, le taux d'actualisation.

On peut envisager deux méthodes de détermination d'une politique de maintenance : l'une descendante et l'autre ascendante. Au niveau de la politique de l'ensemble d'un service de maintenance, ou plus exactement de l'ensemble d'un atelier ou d'une usine, il conviendrait de comparer différentes politiques possibles de maintenance préventive et/ou de maintenance améliorative aux résultats "espérés" en terme de production, ou plus exactement de bénéfices avant impôts, toutes choses égales par ailleurs et particulièrement le marché, les prix de vente et d'achat, etc. C'est la "méthode des coûts de non-efficacité des équipements" souvent appelée "méthode des coûts de non-maintenance" (Boucly, 1988). Si une telle approche est parfois possible pour certains équipements clés ou l'étude d'un programme général d'amélioration de la maintenance, elle est le plus souvent difficile à formaliser. Elle est en outre difficile à décliner équipement par équipement or c'est ce qui intéresserait directement le responsable de maintenance.

On peut alors penser à une politique ascendante au niveau de chacun des équipements. Il convient d'analyser pour un équipement chacune des différentes possibilités de défaillance, d'en évaluer la probabilité d'occurrence et les conséquences sur la production. Cette valeur des conséquences sur la production est difficile à mesurer de façon précise dans la mesure où chaque équipement participe au système complexe de production et de rentabilité de l'entreprise. On peut donc être conduit à l'approcher avec un ou plusieurs critères simples du type "durée d'un arrêt de production engendré par une défaillance" ou "durée équivalente en terme de non-qualité" (temps de réfection ou temps de production si le produit est mis au rebut). On peut tenter de mettre un coût moyen en face de chaque minute perdue ou son équivalent. L'approximation n'est pas nécessairement plus grande que celle que l'on fait sur les probabilités de défaillance.

¹¹On pourrait de la même façon trouver des applications de la théorie des jeux en maintenance où l'expérience commune montre qu'en certaines circonstances, particulièrement face aux gros risques, le tempérament du responsable de maintenance n'est pas sans importance pour choisir implicitement maxi-min, mini-max-regret, critère de Laplace ou tout autre compromis à son goût.

On est alors conduit à calculer par équipement une espérance mathématique globale qui somme les produits des probabilités de défaillance par une mesure de leurs conséquences. En supposant que l'on sache donner à cette valeur une expression monétaire, elle représente la limite de ce que l'on pourrait dépenser en maintenance préventive ou améliorative sur cet équipement. Plus raisonnablement, on doit comparer la réduction espérée de cette valeur au coût de la maintenance nécessaire pour obtenir cette réduction. Lorsque le franc marginal de maintenance préventive est égal au franc marginal de réduction des coûts de non-maintenance, il est temps de s'arrêter. Bien entendu, le franc économisé est une espérance, le franc dépensé une certitude : il faut donc se protéger avec un coefficient de prudence.

Une autre approche que l'on retrouvera pourrait consister à classer chaque projet de maintenance en fonction de l'efficacité marginale du capital que l'on y investit et de recenser ainsi les projets à choisir dans la limite d'un budget prédéterminé.

4. L'AMDEC¹² Moyen de Production et l'application de ces principes économiques

Cette approche ascendante d'une politique de maintenance trouve une application naturelle à travers l' "AMDEC moyen de production" encore appelée parfois "AMDEC Machine" par opposition aux "AMDEC Produits" et aux "AMDEC Processus". Dans cette technique en effet, on évalue bien les défaillances possibles d'un équipement à partir d'une analyse fonctionnelle en s'efforçant d'en déterminer les causes et les effets. Le calcul d'une espérance mathématique exprimée en termes financiers est remplacé par la détermination d'un indicateur de "Criticité". Cet indicateur est lui-même le plus souvent le produit de deux indicateurs : l'un de "Fréquence" qui exprime la probabilité de la défaillance par un degré de fréquence mesuré ou estimé et l'autre de "Gravité" qui exprime les conséquences de cette défaillance en termes d'indisponibilité, de pertes de performance, non-conformité de produits, coûts directs de maintenance corrective, accidents, dommages corporels, etc. La probabilité de la défaillance doit être corrigée par une probabilité de non-détection. En effet, il peut être remédié à une défaillance en cours de réalisation par une intervention de l'opérateur à condition qu'il détecte cette défaillance avant qu'elle ne produise ses effets. La probabilité d'occurrence de la défaillance peut donc être remplacée par le produit de la probabilité d'occurrence proprement dite multipliée par la probabilité conditionnelle de non détection de cette défaillance. Le calcul classique de l'indicateur de Criticité résulte alors du produit de l'indicateur de Fréquence par le produit de l'indicateur de Non Détection et de celui de Gravité.

La table 1 ci-après donne un exemple de grille de cotation de ces indicateurs (J.Riout,1996).

¹²Rappelons que l' "AMDEC", "Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités" est une méthode d'analyse qualitative et prévisionnelle de la sûreté de fonctionnement des systèmes industriels. Appliquée aux machines, lors de leur conception ou de leur exploitation, l'AMDEC a pour objectif essentiel l'amélioration de la disponibilité. Le principe en est le suivant :

- identification exhaustive des risques de dysfonctionnement,
- mise en évidence des points critiques,
- définition des actions correctives nécessaires (Riout, 1996)

F	FREQUENCE	N	PROBABILITE DE NON DETECTION	G	GRAVITE
1	Très faible taux d'apparition. Moins de 1 défaillance par an.	1	Détection à coup sûr. Signe avant-coureur évident.	1	Arrêt de la production inférieur à 2 minutes. Aucune dégradation notable du matériel.
2	Faible taux d'apparition. Moins de 1 défaillance par trimestre.	2	Signe avant-coureur facilement décelable mais nécessitant une action particulière de l'opérateur.	2	Arrêt de la production de 2 à 20 minutes. Remise en état de courte durée. Déclassement du produit.
3	Taux d'apparition modéré. Moins de 1 défaillance par semaine.	3	Signe avant-coureur difficilement décelable ou nécessitant des moyens complexes.	3	Arrêt de production de 20 à 60 minutes. Changement du matériel défectueux nécessaire. Retouche du produit nécessaire ou rebut (non-qualité détectée à la production).
4	Taux d'apparition élevé. Plusieurs défaillances par semaine.	4	Détection impossible. Aucun signe avant-coureur.	4	Arrêt de production de 1 à 2 heures. Intervention importante sur sous-ensemble. Production de pièces non-conformes non détectées.
				5	Arrêt de la production supérieur à 2 heures. Intervention lourde nécessitant des moyens coûteux. Problème de sécurité du personnel (production, maintenance) ou d'environnement.

$$C = F*N*G$$

$$C \leq 80$$

Table 1 : exemple de grille de cotation des indicateurs

La Criticité de chaque élément d'une machine peut alors être comparée à un seuil (20 dans l'exemple ci-dessus) à partir duquel on s'efforcera de palier une éventuelle défaillance.

Ce calcul d'un indicateur de Criticité s'éloigne très sensiblement du principe de l'espérance mathématique à ce point que beaucoup d'utilisateurs de l'AMDEC, même ingénieurs, ne savent pas pourquoi l'on multiplie F, N et G au lieu de les additionner. De très nombreuses erreurs résultent de cette incompréhension épistémologique.

L'analyse des grilles de cotation de certains "AMDEC Moyens de production" montre des aberrations logiques qui permettent de mettre en doute la signification du franchissement du seuil. Ce n'est pas le cas du modèle ci-dessus.

L'utilisation d'indicateurs estimés le plus souvent en groupe de travail et non de résultats de mesures peut poser quelques problèmes. On remarquera que la grille de cotation ci-dessus fait appel à une cotation non proportionnelle. Une fréquence de 1 défaillance par an est de l'ordre de grandeur d'1/50ème de la fréquence d'une défaillance par semaine. Or elle est cotée 1/3 environ de la défaillance hebdomadaire et donc sa fréquence est très surévaluée. On risque ainsi de privilégier les défaillances rares et spectaculaires au détriment des micro-défaillances qui peuvent constituer une cause importante de non-productivité lorsqu'on les totalise avec une approche de type T.P.M.

L'utilisation de ce type de cotation est cependant nécessaire car elle permet de classer assez facilement une défaillance, ce qui serait très difficile avec une grille proportionnelle. Nous avons vu un cas où une grille de cotation beaucoup plus proche de la proportionnalité avait conduit à attribuer des criticités très proches à la plupart des sous ensembles analysés. On pourrait bien entendu corriger cette distorsion de la cotation par des facteurs de correction et il y a là probablement une voie d'investigation intéressante.

L'exemple ci-dessus utilise pour la cotation des durées d'indisponibilité une échelle beaucoup plus proche de la proportionnalité, ce qui peut rendre difficile cette cotation. Assez souvent, on utilise une échelle beaucoup moins proportionnelle ce qui entraîne une autre distorsion importante.

On peut également s'interroger sur l'échelle de l'indicateur de probabilité de non-détection. Le simple fait d'intituler "Probabilité" un indicateur supérieur à 1 peut jeter le trouble. La probabilité correspondante devrait être neutre (1) lorsque la détection est impossible ($F*N=1$), et nulle lorsque la détection est certaine ($F*N=0$), les valeurs intermédiaires étant comprises entre 0 et 1.

Cette absence d'homogénéité des valeurs retenues alliée à la difficulté d'évaluer l'espérance mathématique que représente un seuil peut rendre assez difficile le choix d'un seuil pertinent. On peut se rendre compte de ce problème en reprenant le système de cotation de l' "AMDEC Machine" ci-dessus. Il n'est pas très difficile d'évaluer en termes de probabilité, les valeurs des indicateurs de Fréquence et de Probabilité de Non-détection (exprimées en défaillance par jour). On peut de même évaluer en minutes perdues les différentes valeurs de l'Indicateur de gravité. En multipliant les différentes valeurs de ces indicateurs les unes par les autres, on obtient ainsi les valeurs possibles des Espérances Mathématiques exprimées en minutes perdues par jour. C'est ce que montre la table 2 ci-dessous pour laquelle on a légèrement simplifié les grilles de cotation en retenant des probabilités identiques pour les différentes valeurs de F et de N, ce qui rend le produit $F*N$ commutatif sans modifier les ordres de grandeur.

GRAVITE		1	2	3	4	4	6	8	12	16	F*N
G	Min.	1,00E-0,6	1,00E-0,5	1,00E-0,4	1,00E-0,4	1,00E-0,3	1,00E-0,3	1,00E-0,2	1,00E-0,1	1,00E+00	Pbté.j
1	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,10	1,00	
2	10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,10	1,00	10,00	
3	40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,40	4,00	40,00	
4	60	0,00	0,00	0,01	0,01	0,06	0,06	0,60	6,00	60,00	
5	240	0,00	0,00	0,02	0,02	0,24	0,24	24,00	24,00	240,00	

Nota : les deux colonnes ayant le même produit $F*N = 4$ correspondent aux produits $2*2$ et $4*1$

Table 2 : valeurs possibles des espérances mathématiques

Les cases correspondant à des valeurs de criticité supérieures au seuil de 20 dans cette AMDEC ont été représentées à l'intérieur de la zone délimitée par un trait double. On constate alors que le seuil de criticité retenu n'est pas trop éloigné du seuil d'Espérance Mathématique de 0,1 minute par jour, ce qui paraît faible. Plusieurs valeurs de l'ordre de 1 minute par jour mais à forte probabilité où l'on va retrouver beaucoup de micro-arrêts, sont écartées à tort. Cet AMDEC très voisin de l' "AMDEC Moyen de production" de Renault est cependant particulièrement bien conçu. On serait loin d'un tel résultat avec beaucoup de systèmes d'AMDEC couramment utilisés et peut-être moins bien étudiés.

On a souligné par ailleurs le danger de certaines méthodes de calcul de la Fréquence et de la gravité à partir des valeurs des indicateurs des composants, selon par exemple une loi dite des "sommées confirmatives" (Molet, 1995).

L'étude d'un modèle d'AMDEC et plus encore la détermination du seuil à retenir sont difficiles et souvent peu adaptées à la détermination d'une politique de maintenance. En outre, chaque AMDEC "Moyen de Production" représente un travail considérable auquel on ne saurait envisager de procéder systématiquement pour préparer un plan de maintenance.

Une autre objection est encore plus grave. Lorsque toutes les machines ont la même "essentialité" et par exemple participent à une même ligne de production sans stocks tampons, tout arrêt de l'une d'entre elles entraîne un arrêt de la ligne et la démarche AMDEC est justifiée sur ce point. Mais ceci n'est que rarement le cas. Sur une ligne de production agro-alimentaire, le stérilisateur est souvent la machine critique de la ligne et répond à cette condition mais les autres machines sont souvent dimensionnées plus largement de telle sorte qu'un arrêt de l'une d'entre elles est de moins de conséquences. Les stocks tampons ou Kanbans jouent le même rôle dans les industries manufacturières. On pourrait cependant imaginer de réaliser des AMDEC "Lignes de production" de la même façon qu'il existe des AMDEC "Processus" quant aux problèmes de qualité. Leur mise en oeuvre risquerait cependant d'être trop complexe pour l'élaboration d'un plan de maintenance. C'est la limite nécessaire de toute démarche qui ne concerne qu'une machine à la fois.

Une autre approche est donc nécessaire.

5. La méthode M.B.F. (Maintenance Basée sur la Fiabilité)

La méthode M.B.F. découle d'une autre méthode, appelée R.C.M. (Reliability Centered Maintenance), développée d'abord aux Etats Unis dans les années 60 pour déterminer les programmes de maintenance des avions. Son usage s'est étendu progressivement, particulièrement dans le nucléaire, et une version adaptée appelée M.B.F. a été développée ces dernières années en Europe à travers un programme européen pour promouvoir de nouvelles méthodes de maintenance dans l'industrie et particulièrement les P.M.I. (D. Richet et al., Masson 1996).

La méthode qui aboutit à l'élaboration d'un plan de maintenance peut être considérée comme une méthode d'abord descendante puis ascendante. Dans une première phase en effet, on analyse les équipements et l'on détermine la criticité de chacun d'entre eux à l'aide d'une matrice du type de celle de la table 3:

Si problème de sécurité ou d'environnement, $C=20$, sinon $C=$

Influence sur la qualité		Influence sur la production			
		Négligeable	...	3	importante
négligeable	1	1	2	3	4
	2	2	4	6	8
	3	3	6	9	12
	4	4	8	12	16

Table 3 : exemple de matrice de criticité

Les choix de valeurs s'éloignent encore un peu plus d'une tentative d'évaluation des Espérances Mathématiques. L'objectif n'est plus d'évaluer la criticité de chaque équipement mais de classer les équipements dans l'ordre d'une criticité décroissante. On peut fixer un

seuil de criticité pour déterminer quels équipements on va prendre en considération dans l'étape ultérieure, mais ce seuil n'a qu'une valeur provisoire.

Dans une seconde étape, on analyse les équipements dans l'ordre des criticités décroissantes. On détermine pour chacun d'entre eux les défaillances possibles et pour chaque défaillance sa criticité avec une matrice analogue à la précédente. On peut là encore se fixer un seuil de criticité pour ne retenir que les défaillances dont la criticité est la plus importante. Pour chaque défaillance retenue, on cherche à y remédier par des actions de maintenance préventive ou de maintenance améliorative.

La caractéristique ascendante de la méthode résulte de ce que l'on ne prend pas en charge la totalité des équipements de production ni la totalité des défaillances. Dans une optique budgétaire, la fixation des seuils dépend du budget de maintenance disponible et des coûts des actions de maintenance progressivement envisagées. Il est donc utile que les deux tables de criticité soient identiques pour pouvoir comparer des défaillances d'équipements différents.

La méthode M.B.F. présente un certain nombre d'avantages par rapport à l'AMDEC "Moyens de Production" pour la détermination d'un plan de maintenance.

Elle s'applique successivement aux deux niveaux des Equipements puis des Modes de défaillance alors que l'AMDEC "Equipements de production" n'est prévu que pour s'appliquer au niveau d'une seule machine.

Les matrices de la méthode M.B.F. permettent de distinguer Qualité, Productivité et Sécurité, ce que fait mal l'A.M.D.E.C. même si l'on tente de plus en plus souvent de prendre en compte Qualité et Productivité dans les grilles de cotation des indicateurs. Pour être rigoureux, il conviendrait de prendre en compte toutes les causes de non productivité homme et machine et non seulement les pannes ou dysfonctionnements : micro-arrêts, temps de changement de formats et de mise en route, etc.

La méthode M.B.F. corrige le caractère artificiel des indicateurs de Gravité, Fréquence et Probabilité de non-détection et l'absence d'homogénéité des valeurs de Criticité qui en résultent. La détermination de la Criticité reste cependant teintée d'une part importante de subjectivité. Par rapport à la méthode AMDEC, elle renonce à évaluer Fréquence et Gravité ce qui ne veut pas dire que le classement des machines puis des modes de défaillance ne tient pas compte des statistiques issues de la G.M.A.O. ou des systèmes de contrôle de qualité en ligne par exemple.

On remarquera en outre que l'une et l'autre méthode présentent l'avantage d'être des méthodes participatives à travers des groupes de travail. Avec plusieurs niveaux de groupes de travail, la méthode M.B.F. s'adapte bien à une démarche participative associant opérateurs de production, techniciens méthodes et agents de maintenance au premier niveau, responsables de production et de maintenance au second niveau. Un troisième niveau peut s'imaginer et c'est ce que nous voudrions montrer.

6. Vers un infléchissement progressif de la méthode M.B.F. avec le développement d'autres méthodes (T.P.M., G.M.A.O., etc.)

Pour essayer de tenir compte de toutes les remarques précédentes, pour la prise des décisions de politique de maintenance préventive, on peut, comme le fait la méthode des coûts de non efficacité des équipements (Boucly, 1988), revenir à la définition des "coûts d'une décision" du Professeur Riveline :

"Le coût d'une décision est, pour un observateur déterminé, l'échéancier des différences entre toutes les dépenses effectives prises en compte par cet observateur si la décision est appliquée, et les dépenses effectives¹³ prises en compte par le même observateur dans un scénario de référence à préciser" (Riveline).

La notion d'observateur est importante. Elle implique un niveau d'observation et un horizon.

Par exemple dans un service de maintenance, on risque de ne pas prendre en compte les en-cours de production. Ces stocks d'en-cours de production, de même que bien souvent les stocks de produits intermédiaires et de produits finis, permettent de remédier aux défaillances de la production particulièrement pour les machines situées sur le chemin critique mais ont un coût qui doit pouvoir éventuellement être réduit grâce à une meilleure disponibilité des équipements.

Pour élaborer une politique annuelle, on fait parfois l'impasse sur le cycle de vie total des machines. Le plus souvent, ce n'est que si une machine est "à bout de course" qu'on envisage parfois son changement au lieu d'une maintenance préventive ou améliorative. Sous un autre aspect, chacun sait qu'en maintenance une politique de réduction exceptionnelle des coûts de maintenance une année, a un prix sur les années suivantes. La difficulté est de l'évaluer.

De plus le manque à gagner que représente une non production peut cacher des revenus ultérieurs. Ainsi la non-extraction de charbon dans une mine peut, beaucoup plus tard, prolonger la durée d'exploitation de cette mine (Riveline). Plus simplement, les liens entre les politiques commerciales, la production et la maintenance sont rarement explicités, au moins dans un programme de maintenance...

Avec la diffusion des idées liées au T.P.M., on peut admettre que les politiques de maintenance résulteront de plus en plus souvent d'un travail en commun mené entre production et maintenance. C'est déjà le cas de la M.B.F.

Dans l'idéal, il faut aller plus loin et le Management Productif Total consiste aussi à faire travailler les principaux cadres d'une usine ou d'une entreprise, y compris les hommes de marketing, les commerciaux et le financier, sur un programme général dont la maintenance n'est qu'un élément.

¹³La notion de "dépense effective" du Professeur Riveline est caractérisée par un montant et une date. "Le montant de la dépense effective est égal au prix qui serait payé pour le bien ou le service si ce paiement intervenait intégralement à l'instant de l'acquisition". La date est celle de l'acquisition du bien ou service.

Pour les décisions de maintenance, le scénario de référence sera le plus souvent une extrapolation des pratiques des années précédentes en tenant compte des prévisions de commercialisation et d'achats.

Une fois déterminé le niveau d'observation et l'horizon, les tâches suivantes pourraient être effectuées :

1. analyser les divers modes de défaillance de chaque machine et leurs causes,
2. déterminer pour chaque machine les effets de chaque mode de défaillance sur la productivité et la qualité de l'usine et les coûts de non productivité qui en résultent,
3. déterminer pour chaque machine les coûts directs de remise en état pour chaque défaillance,
4. déterminer pour chaque machine et chaque cause de mode de défaillance les mesures de maintenance préventive ou améliorative qui permettraient d'éviter la défaillance ou ses effets,
5. déterminer le coût des mesures de maintenance précédentes en tenant compte des frais fixes et des frais variables du service de maintenance ou de la sous traitance et des liens entre les opérations,
6. comparer les coûts de ces activités de maintenance aux coûts totaux induits par ces défaillances pour déterminer s'ils sont acceptables ou non, en tenant compte des taux d'actualisation nécessaires à la comparaison de charges à échéances différentes dans le temps.

Le point 1 est déjà irréalisable à court terme car on ne saurait analyser chacune des machines d'une usine, procéder à son analyse fonctionnelle puis à l'analyse des modes de défaillance et de leurs causes. C'est seulement avec le temps que l'on peut espérer parvenir à un tel résultat en commençant par les machines qui posent le plus de problèmes et l'approche M.B.F. très progressive paraît parfaitement raisonnable à cet égard. On prendra garde également que l'on ne devra pas se limiter aux défaillances techniques de la machine mais prendre en compte aussi bien les dysfonctionnements humains, les effets des matériaux ou de l'environnement, bref les cinq "M" classiques.

Le point 2 pose des problèmes difficiles. Il suppose tout d'abord que l'on soit capable de suivre en permanence les indicateurs classiques du T.P.M. sur chacune des machines concernées de façon à analyser toutes les conséquences d'un des dysfonctionnements évoqués ci-dessus. Il faut ensuite déterminer l'incidence de chacune des ces défaillances sur la production globale de l'usine. Avec les délicats problèmes de criticité fluctuante des machines, que l'on connaît souvent aujourd'hui, le problème est souvent très complexe (Pimor, 1992). Il faut ensuite déterminer l'incidence de cette non-efficacité sur les résultats de l'entreprise en tenant compte des aspects commerciaux, financiers, sociaux et fiscaux, ce qui est une toute autre affaire...

Les analyses du point 3 (Coûts de remise en état) se trouvent facilitées par l'utilisation généralisée de G.M.A.O. au cours de ces dernières années.

Le point 4 est techniquement le plus difficile mais le plus important pour les machines et les modes de défaillance à forte criticité. On disposera assez souvent de plusieurs méthodes possibles : maintenances préventives systématiques ou conditionnelles avec beaucoup de techniques différentes, surveillance par le personnel de production et/ou par

instrumentation, redondance structurelle, etc. En principe, il faudrait étudier chacune des méthodes utilisables. Il va de soi que c'est impossible et la technique M.B.F. d'un organigramme de choix paraît raisonnable. Par ailleurs, on n'introduit pas une technique "pointue" du jour au lendemain. La mise en place de l'analyse vibratoire suppose par exemple une approche progressive avec expérimentation et formation. On notera en outre que si l'on peut essayer d'allonger le M.T.B.F., il peut être parfois plus simple de réduire le M.T.T.R. à une valeur moins coûteuse en confiant le dépannage aux agents de production, en mettant en place à proximité les moyens de dépannage, en rationalisant les changements de pièce, etc.

Le point 5 découle du point 4 mais il n'est pas toujours facile de déterminer à l'avance ce que va coûter une série d'actions de maintenance préventive et quelle en sera l'efficacité. Depuis la mise en place des G.M.A.O., une méthode est assez souvent utilisée consistant à tester une technique de maintenance préventive sur une installation à l'intérieur d'un parc de machines semblables. Les résultats obtenus peuvent aider à résoudre cette difficulté pour autant que l'échantillon soit suffisamment représentatif et la durée d'expérimentation suffisante.

Le point 6 paraît simple d'un point de vue théorique. Cependant les décisions peuvent être relativement difficiles dans la mesure où elles sont à prendre au sein d'un service de maintenance qui existe déjà avec ses charges fixes, ses effectifs, son budget (que l'on ne peut faire varier que modérément d'une année sur l'autre) et les interactions entre les différentes mesures proposées. Par exemple, une opération de maintenance préventive peut coûter plus ou moins cher selon qu'elle s'inscrit dans le cadre d'une révision des machines ou non. Les opérations de nettoyage ou de maintenance préventive de 1er niveau s'effectuent d'une certaine façon au détriment du temps de production même si leur rentabilité peut être aussi importante que difficile à démontrer a priori.

En réalité le point 6 conduira à élaborer un projet de politique de maintenance préventive à un certain horizon (1 an, 3 ans ?) que l'on comparera au scénario de référence qui ne sera que la prorogation de la politique actuelle de maintenance. On pourra réintroduire certains effets indirects de la politique proposée tels que des réductions de kanbans ou autres stocks intermédiaires. Il s'en suivra nécessairement des aller et retour entre les points 4, 5 et 6 mais l'on sait depuis longtemps qu'il n'y a pas de procédure uniquement ascendante ou descendante possible pour déterminer une politique d'entreprise.

Il ne nous semble donc pas que l'on doive parvenir facilement à une méthode simple et parfaitement déterministe de préparation des plans de maintenance préventive. Il n'existe pas de progiciel miraculeux en ce domaine. L'approche participative de la M.B.F. est certainement une des plus recommandables dans l'univers incertain des services de maintenance. On peut donc penser à un infléchissement plus qu'à une transformation profonde dans les prochaines années au fur et à mesure que se mettent en place les outils classiques de la G.M.A.O. et de la maintenance conditionnelle ou prédictive, etc. Plus encore, le Management Productif Total conduira de plus en plus à intégrer les politiques de maintenance à l'ensemble des politiques de l'entreprise afin d'éviter les risques graves de sous-optimisation auxquels peuvent conduire les procédures actuelles.

7. Bibliographie

1. BOUCLY (Francis), *Les coûts de non-efficacité des équipements*, AFNOR, Paris, 1988
2. MOLET (Hugues), *Systèmes de production*, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1995
3. PIMOR (Yves), *La maintenance productive*, Masson, Paris, 1992
4. RICHEL (D), GABRIEL (M), MALON (D) et BLAISON (G), *M.B.F. - Maintenance Basée sur la Fiabilité*, Masson, Paris, 1996
5. RIOUT (J.), *AMDEC Machine - Mémento pratique*, CETIM Senlis, 1996
6. RIVELINE (C.), *Evaluation des coûts - Eléments d'une théorie de la gestion*, Cours de 2ème année de l'Ecole nationale Supérieure des Mines de Paris, Paris, 1987