Les groupes de travail de l'Agesci

par J. M. DOPCHIE.

En vue de diffuser parmi les membres de l'AGESCI les connaissances acquises en matière de méthodes scientifiques de gestion, et de les faire participer à l'activité des groupes de travail, le Comité de Rédaction de la Revue Belge de Statistique et de Recherche Opérationnelle a décidé de publier dans sa Revue des compte rendus assez larges de leurs travaux.

Lorsque les groupes ont été formés, il ne s'agissait pas d'y donner un enseignement postuniversitaire sur l'une ou l'autre technique mais bien d'une prise de conscience des problèmes de gestion en favorisant les échanges d'expériences et en faisant ressortir les difficultés rencontrées dans la résolution de ces problèmes. Plutôt que de faire appel à la méthode des cas, on a préféré demander à chaque participant de faire part de ses préoccupations pour élaborer ensuite sous la direction d'un conseiller qualifié un modèle synthétique abordant les divers aspects sous lesquels les problèmes se posent à l'entreprise.

Afin d'homogénéiser le groupe il a fallu faire quelques exposés de théorie et d'autre part des cas pratiques ont illustré l'intérêt de l'approche scientifique de certains problèmes.

Dans ce numéro, nous commençons par le groupe « Gestion du Matériel » qui a été constitué le premier par l'AGESCI, au mois de mai 1959, et qui a travaillé suivant cette méthode sous la direction de Monsieur A. KAUFMANN.

De nederlandse tekst van het artikel hieronder zal in ons tijdschrift nr 3 verschijnen.

GESTION DU MATERIEL

Introduction : Exposé des problèmes.

Cette rubrique comporte une très grande variété de problèmes : l'usure - la maintenance - le remplacement - les investissements. De plus, l'entreprise, constituant un tout, il est difficile de les traiter sans aborder ceux des stocks, de la programmation et de la prévision. Cependant ceux-ci faisant l'objet de l'activité d'autres groupes, on s'efforça de les négliger pour concentrer les discussions sur la maintenance qui constitue le point primordial d'une gestion de matériel.

Dans une première entreprise il s'agit principalement de la détermination d'une politique de remplacement. L'atelier de production considéré comporte un nombre considérable de machines mises en parallèle ayant un taux de production élevé. Ce parc ayant un âge assez avancé, la direction de cette entreprise désirait mettre en évidence un ordre de priorité de remplacement et la série optimum de mise en fabrication des nouvelles machines. Dès le premier exposé on s'est aperçu qu'il était nécessaire d'avoir un langage commun et qu'il fallait établir quelques définitions.

Par une politique on entend le choix effectué sur un paramètre d'une structure dont on a le contrôle. Lorsque dans un problème de gestion plusieurs politiques sont possibles, le but de la recherche est la détermination de la politique qui optimisera le résultat final de l'opération. Ce résultat se décrit sous la forme d'une fonction dite économique qui est unique. Cette fonction économique comporte dans le cas traité des coûts d'investissements et des coûts d'avarie ; ces derniers comprennent les frais de stockage des pièces de rechange, les pertes de production, les frais de réparation.

Dans une seconde entreprise, on considère des machines mises en série, où tout arrêt de l'une d'elle entraîne l'arrêt de toute la chaîne. Le problème posé est celui d'une politique d'entretien. L'entretien est l'ensemble des opérations que l'on doit réaliser pour maintenir un matériel en état de produire une certaine quantité dans une certaine qualité.

Faire les dépenses qui consistent à réaliser cette performance exactement, c'est de l'entretien juste. Les dépenses que l'on fait au delà, c'est du sur-entretien ; en deçà, c'est

du sous-entretien. Il faut rechercher le moyen de descendre d'un sur-entretien pour se rapprocher autant que possible de l'entretien juste.

La troisième entreprise dispose d'un parc très étendu de véhicules automobiles. Plusieurs problèmes ont été soulevés : l'entretien accidentel - l'entretien systématique - la refonte du véhicule - son remplacement - la localisation et l'importance des ateliers de réparation - le nombre de véhicules mis en service.

Il n'était pas possible d'en examiner tous les aspects soulevés. Ce seront principalement l'entretien et le remplacement qui seront considérés au cours des séances suivantes.

Dans la quatrième entreprise, il existe d'abord un problème de stocks. Le matériel considéré comporte un nombre d'articles de l'ordre de 150.000. Cependant on y trouve également un problème d'investissements pour un matériel dont l'obsolescence est très rapide.

L'exposé de ce cas a fait ressortir les difficultés de mettre au point des critères de sélection auxquelles s'ajoute encore des difficultés psychologiques qui souvent éloignent la décision de l'optimum économique.

La cinquième entreprise dispose d'un nombre étendu de données. Son objectif est de réduire le prix de revient sans augmenter le risque d'avaries. La révision des équipements portant sur plus de 50 % des dépenses relatives au matériel, c'est surtout sur l'entretien préventif et le reconditionnement de certains appareils que s'est penchée cette entreprise.

Dans la sixième entreprise, c'est encore le reconditionnement qui constitue le problème étudié. Contrairement au cas précédent, le matériel est de peu de valeur ; le coût du reconditionnement n'atteint que 12 % de la valeur unitaire mais l'opération s'avère rentable pour un équipement comportant près de 625.000 appareils. Il s'agit ici de déterminer la politique de reconditionnement à suivre.

Au contraire dans la dernière entreprise, il s'agit d'un problème d'investissement : qui revient à un choix entre une modification portée à du matériel existant et l'acquisition d'un équipement neuf. Ceci se rapportait à un parc de 120 machines groupées par séries de 3 à 5 unités.

§ 1er. — *Aspects théoriques.*

Tous ces problèmes de gestion du matériel sont liés à la maintenance. Un matériel de production — (dans une compagnie de transport le matériel produit des tonnes/km ou des voyageurs/km) est sujet à des avaries et à l'obsolescence.

Considérant d'abord les avaries, il est intéressant d'établir ce qu'on appelle « la courbe de survie » des pièces, ou éventuellement des machines, sujettes aux avaries. La courbe de survie représente la variation du nombre d'équipements en service en fonction du temps. Si au temps O on part avec un matériel composé de n_o unités, au temps t il n'y aura plus que n unités en opération.

La probabilité pour qu'un matériel atteigne un âge donné t est donné par le rapport n/n_o.

L'allure de la courbe de survie décèle immédiatement le degré d'homogénéité du matériel.

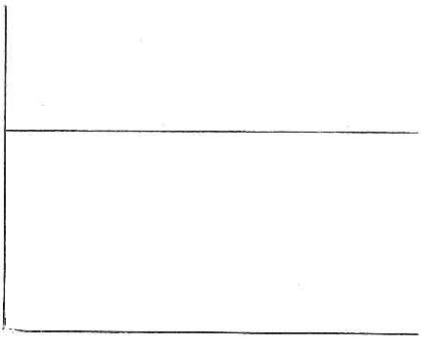

FIG. 1 a.

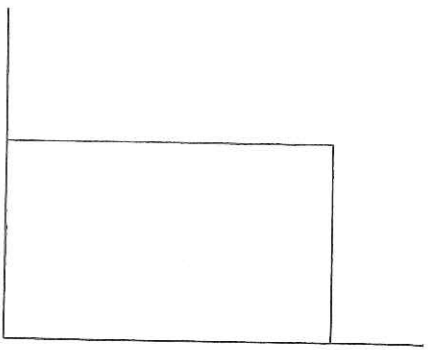

FIG. 1 b.

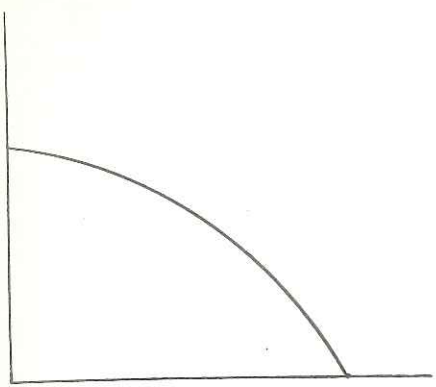

FIG. 1 c.

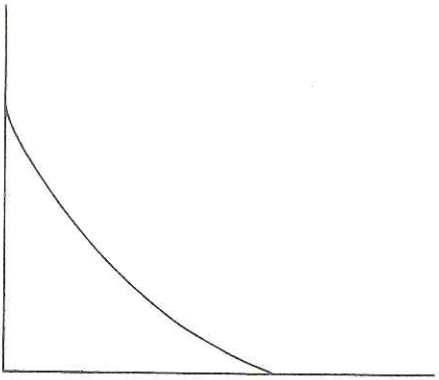

FIG. 1 d.

La courbe 1*a* représente un ensemble d'équipements homogène et inusable.

La courbe 1*b* représente un ensemble d'équipements homogène qui périt en une fois.

La courbe 1*c* appartient à un (matériel) ensemble d'équipements homogène, tandis que la courbe 1*d* est celle d'un matériel peu homogène.

Pour établir la courbe de survie par des moyens statistiques, on doit nécessairement connaître l'histoire du matériel pendant une période de temps, la plus longue possible. On ne dispose pas toujours des données nécessaires bien qu'il apparaît de plus en plus qu'une collecte justicieuse de données valables soit hautement rentable. Si les données manquent on fera une hypothèse basée sur l'examen de quelques cas que l'on a pu recueillir, quitte à traiter le problème par simulation en ajustant la courbe de survie au fur et à mesure.

Dans une étude publiée dans la Revue Française de Recherche Opérationnelle (1959 - premier trimestre), Jacques Kelly examine la justification de l'entretien préventif. Des essais effectués, il semble qu'avec des paramètres différents une répartition lognormale représente assez bien la durée de vie des pièces, telles que lampes, courroies, roulements à bille.

La probabilité $p(t)$ pour qu'une pièce de durée médiane V (l'âge atteint par la moitié des pièces) casse avant l'âge t est donnée par

$$\frac{1}{\sqrt{2\,\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{x^2}{2}}\, dx$$

où x est une variable auxiliaire $= \dfrac{\mathrm{Ln}\,(t/\mathrm{V})}{\lambda}$ (Ln = logarithme népérien)

c.à.d. la courbe de survie est définie par deux paramètres V, la durée médiane de la pièce, et λ, un coefficient de dispersion.

La durée moyenne de vie $\bar{t}$, ou l'abscisse partageant en deux l'aire comprise entre la courbe de survie et l'axe des t est donnée par :

$$\bar{t} = \mathrm{V}\, e^{\frac{\lambda^2}{2}}$$

Lorsque le coefficient de dispersion λ est petit, la distribution lognormale se rapproche de la distribution normale et λ tend vers σ/V, écart type relatif.

Suivant Kelly $\lambda = 0{,}3$ s'applique parfaitement à des pièces mises hors service par usure tandis que $\lambda = 0{,}9$ paraît convenir pour des pièces qui périssent par fatigue, bien que parfois on utilise pour ces pièces, la distribution de Poisson assez voisine.

La rupture d'une pièce, de quelque type qu'elle soit, entraîne deux types de dépenses : le coût de la réparation d et le coût des conséquences D (perte de production, etc.).

Dans une première politique, où l'on ne fait pas d'entretien préventif, le coût horaire dû aux ruptures des pièces considérées s'établit à

$$C_1 = \frac{d_1 + D_1}{\overline{t}}.$$

Dans une deuxième politique, où l'on remplace la pièce à l'âge θ, le coût horaire s'établit à

$$C_2 = \frac{d_2 + [1 - p(\theta)]\, D_2}{\overline{t\,\theta}}$$

où $p(\theta)$ est la probabilité pour que la pièce atteigne le temps θ ou encore ne casse pas avant θ et $[1 - p(\theta)]$, son complément, la probabilité pour que la pièce casse avant θ.

L'entretien préventif sera justifié si $C_2 < C_1$ ou $C_2/C_1 < 1$. Dans ce cas on cherchera l'âge θ qui correspond au minimum de C_2/C_1.

Prenant les dépenses de réparation d et le coût D des conséquences, égaux dans les deux politiques, Kelly détermine une limite pratique d'entretien préventif justifié dans un diagramme $(d/D, \lambda)$. (Fig. 1.5).

On fait de l'entretien préventif pour des pièces d'usure, quand pour un λ variant de 0,3 à 0,6, le rapport d/D ne dépasse pas 0,8 à 0,2. Pour les pièces de fatigue, qui sont souvent très coûteuses, il est très rare que l'entretien préventif se justifie. Ce n'est que pour des valeurs de d/D inférieures à 0,05. D'ailleurs, si l'on devait admettre comme courbe de survie la loi de Poisson, le risque de casse dans la période suivant le remplacement est le même pour la pièce neuve que pour la pièce ayant un certain âge.

Dans la construction d'une machine où interviennent plusieurs pièces d'usure, il y a intérêt à les dimensionner de manière à obtenir des caractéristiques de survie analogues afin de pouvoir fixer une périodicité des révisions.

Souvent les dépenses de réparation et les conséquences de l'arrêt ne sont pas les mêmes dans les deux politiques envisagées.

Il suffit de considérer la valeur de la perte de production. La perte de production est généralement plus coûteuse lors d'une avarie que pendant un arrêt pour un entretien préventif. La valeur d'une perte de production est souvent discutée. On peut prendre comme bases la marge bénéficiaire, la valeur de remplacement du produit fini ou la valeur de la matière première, ces valeurs pouvant être multipliées par un certain taux de pénurie, si doivent intervenir des facteurs commerciaux ou de sécurité civile ou militaire.

Il existe donc plusieurs valeurs et c'est pourquoi il y a intérêt de faire fixer le coût de pénurie par la Direction Générale, ou de commun accord par les participants de l'étude. Comme ceux-ci sont souvent de discipline différente on peut utiliser la méthode du vote pondéré. Chaque participant donne un certain poids à chaque paramètre intervenant dans le problème et l'on admet la moyenne des poids comme représentative de l'ensemble des tendances ; pour l'information des participants de l'étude, une étude analytique paramétrée du coût de pénurie doit souvent être entreprise.

Quant à la dépréciation et à l'obsolescence du matériel, ce sont des notions qui tout en étant bien claires à l'esprit ne se valorisent pas aisément. Se référant aux ouvrages de P. Massé : « Le choix des Investissements » et de J. Lesourne : « Technique économique et Gestion industrielle » on peut facilement appliquer ce qui y est écrit sur les investissements en général au matériel en particulier.

On y retrouve la notion d'actualisation qui consiste à poser l'équivalence entre une suite de revenus (ou de dépenses) $R_0, R_1, R_2 \ldots\ldots R_n$ pour les n années futures et la valeur actuelle qu'ils représentent.

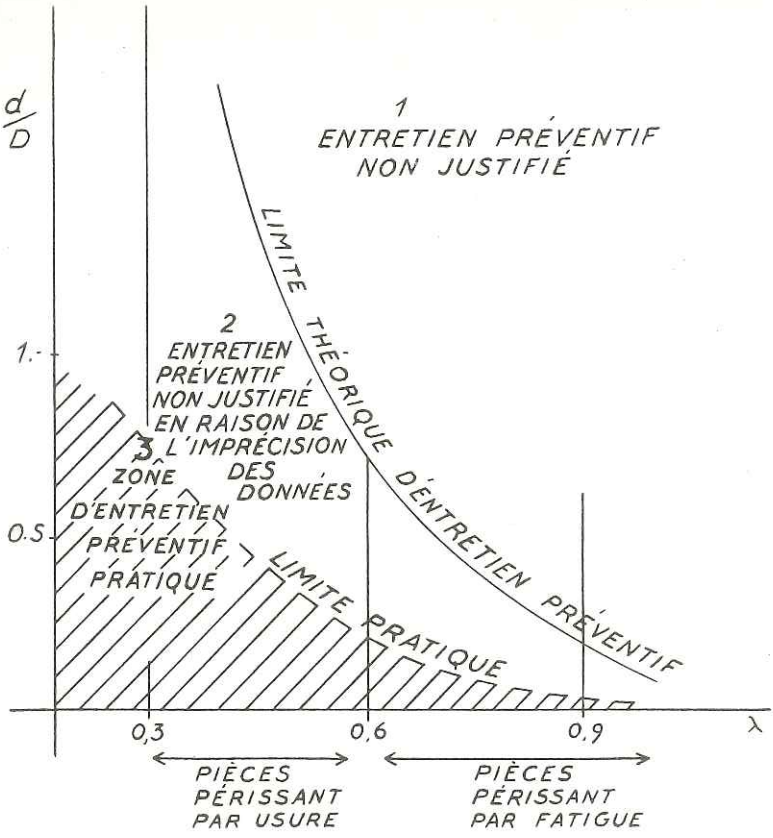

FIG. 1.5.

$$B = R_0 + \frac{R_1}{1+i_1} + \frac{R_2}{(1+i_1)(1+i_2)} + \ldots + \frac{R_n}{(1+i_1)(1+i_2)\ldots(1+i_n)}$$

La valeur d'un matériel est la somme des valeurs actualisées de ses revenus nets futurs. La « juste » dépréciation est ce qu'il faut ajouter à cette valeur du moment pour retrouver la valeur à neuf. Malheureusement cette valeur du moment ou du marché, n'est connue que dans quelques cas particuliers. C'est par exemple celui de l'automobile, où le Moniteur de l'Automobile fournit la valeur désirée. Monsieur Kaufmann a d'ailleurs traité ce problème dans son livre. « Méthodes et Modèles de la Recherche Opérationnelle ». Souvent il faut estimer au lieu de constater. Pour des raisons pratiques on utilise assez souvent comme charge financière d'une année, la somme de la n^{me} partie de la valeur initiale et de l'intérêt de la valeur non encore amortie du matériel.

L'obsolescence peut se décrire sous une forme d'un risque, c'est-à-dire d'une probabilité qu'apparaisse une machine d'un nouveau modèle plus perfectionné. Cette probabilité croît avec le temps, et la courbe a une allure Gaussienne. Dans le modèle synthétique, on admettra que c'est une courbe de Gauss, dont la dispersion constituera un des paramètres du modèle.

Cependant avant d'aborder l'élaboration du modèle, il a été jugé utile de faire un commentaire sur certaines lois des probabilités, lois de distributions et tests de significations.

Il est en effet très important de pouvoir contrôler les hypothèses que souvent on est amené à poser dans l'étude d'un problème.

Ont été traités : Les chaînes de Markov — Les équations de Chapman — Kolmogorov — Les chaînes stochastiques non Markoviennes — Le processus de Poisson — La distribution d'Erlang — La distribution hyperexponentielle ou de Morse — Les tests en X^2 (Pearson) — en t (Student) — en F (Fisher).

§ 2. — ETABLISSEMENT DU MODELE.

Le modèle proposé n'est pas un modèle omnibus permettant l'étude directe des problèmes réels intéressant les membres du groupe, mais il est censé contenir une association des difficultés les plus fréquemment rencontrées et que l'on a cherché à mettre en évidence. Il doit être assez simple pour ne pas exiger des séances de travail trop longues ou trop nombreuses mais il doit éviter d'être caricatural et sa raison d'être est pédagogique ; en fait il prétend constituer un « ensemble de travaux pratiques de gestion scientifique » à l'instar des travaux de physique dans une faculté des Sciences.

2.1. — *Enoncé du modèle.*

Un processus de fabrication comprend 3 chaînes numérotées (1) — (2) — (3) — voir fig. 2.1.

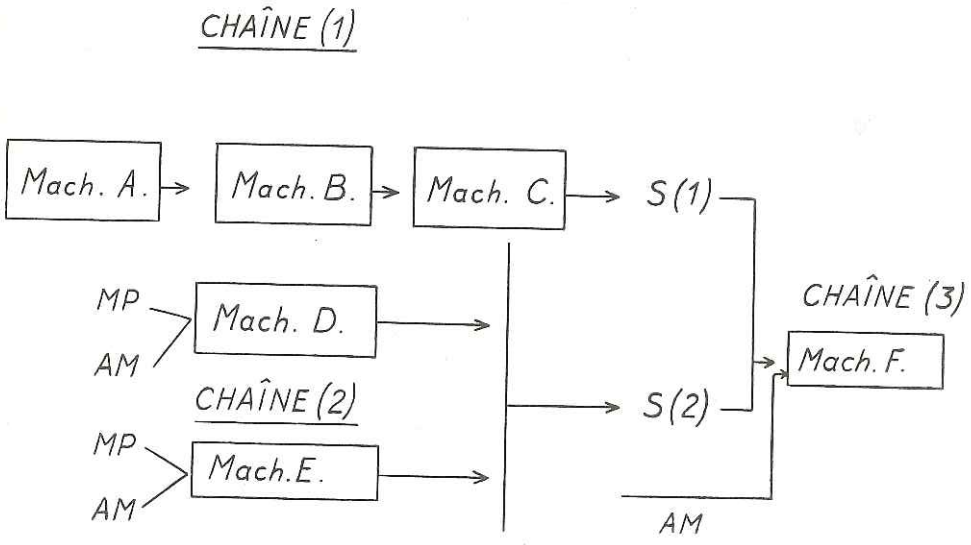

FIG. 2.1.

La chaîne (1) comprend 3 machines A, B. C en cascade, l'arrêt d'une machine entraîne l'arrêt de la chaîne. La chaîne 2 comprend 2 machines D et E en parallèle qui réalisent un même produit ; l'arrêt de D n'entraîne pas l'arrêt de E et réciproquement, mais l'arrêt d'une machine diminue la production de la chaîne (2) de moitié, par unité de temps.

Les produits (1) et (2) sont assemblés dans la chaîne (3) comprenant une machine unique F, on entrevoit des stocks tampons S (1) et S (2) avant F. Les machines A, B et C sont différentes, les machines D et E sont identiques.

2.2. — *Hypothèses générales.*

2.2.1. — Toutes les pannes sont supposées indépendantes les unes des autres. Les machines contiennent différentes pièces sensibles, les unes à la fatigue, les autres à l'usure. On admettra que les unes et les autres de ces pièces ont une courbe de survie selon une loi lognormale de paramètre de dispersion λ ($\lambda = 0{,}3$ pour les pièces d'usure et $\lambda = 0{,}9$ pour les pièces de fatigue).

En plus des pannes principales provoquées par ces pièces, il existe sur chaque machine une source de petites pannes qui se produisent selon une loi de Poisson de taux a.

2.2.2. — On admet que les pannes des machines constituent un phénomène sensiblement non stationnaire en ce qui concerne l'usure et la fatigue. Si $V_m(0)$ est la durée de vie moyenne à $t = 0$, cette durée de vie au temps t n'est plus que $V_m(t) = \varphi(t)\, V_m(0)$.

$\varphi(t)$ représente le vieillissement de la machine et se traduit par une courbe dite de vieillissement fig. 2.2.

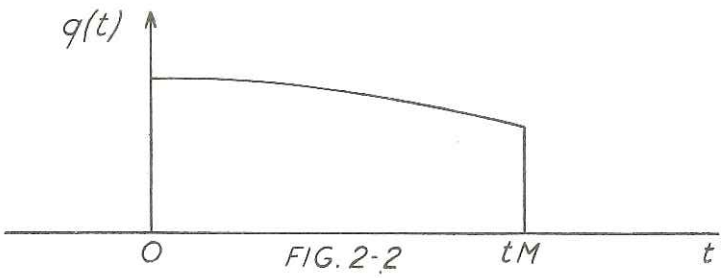

FIG. 2-2

On admet qu'au temps t_M il faut changer impérativement la machine.

2.2.3. — Pour chaque machine on estime une courbe de dépréciation (fig. 2.3).

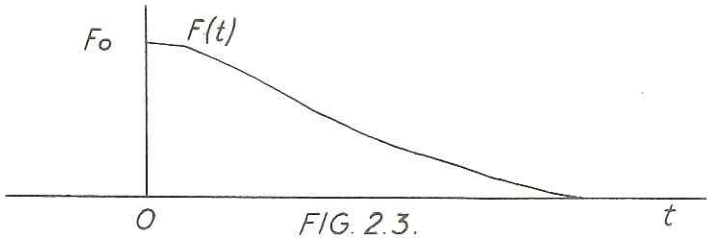

FIG. 2.3.

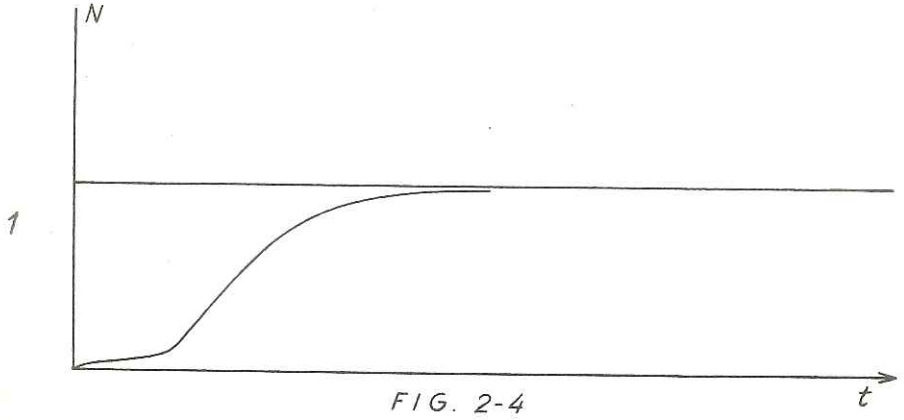

FIG. 2-4

On admet que le prix de revente suit une allure exponentielle ou lognormale. En appelant $F(t)$ la valeur à la période t et F_o la valeur à l'achat on tiendra compte de la valeur instantanée actualisée de chaque machine.

2.2.4. — Cette valeur actuelle est affectée par l'obsolescence provoquée par la création sur le marché d'un type nouveau de machine. L'obsolescence agit sur le prix de revente si une nouvelle machine est découverte, on admet que $F(t)$ doit être multiplié par un coefficient α en %.

La valeur actuelle devient $F'(t) = \alpha F(t)$. La valeur découverte d'une nouvelle machine et sa proposition sur le marché est un phénomène assez rare qui sera obtenu par tirage du sort sur une courbe d'obsolescence à toutes les périodes. Cette courbe d'obsolescence croît avec le temps (fig. 2.4).

Comme on ne connaît pas cette courbe dont l'allure est Gaussienne, on admet que c'est une courbe de Gauss ayant une dispersion qui constitue un des paramètres du modèle.

2.2.5. — Tous les coûts sont actualisés à un taux de l'argent r, supposé constant sur l'ensemble des périodes considérées. L'actualisation est faite en fin d'année. Si l'on se donne un intervalle de description de n périodes et si l'on appelle $f(r)$ les dépenses de fonctionnement et d'entretien pour l'année n, celles-ci interviennent avec leur valeur actualisée

$$\frac{f(r)}{(1+r)^n}.$$

2.3. — *La simulation.*

Le programme des travaux se fait comme devant aboutir à une simulation au moyen d'un calculateur électronique utilisé pour tester les diverses politiques (simulation Machines M). Eventuellement si des décisions intermédiaires devaient intervenir dans les séquences d'une politique, on pourrait concevoir l'étude du problème par une simulation hommes-machines HM destinée à reconstituer avec une certaine fidélité l'atmosphère intime de l'entreprise et à étudier les circuits de décisions ou d'opérations. Il ne s'agirait plus d'un jeu d'entreprises — interentreprise — mais intra-entreprise permettant au groupe d'assister, en temps contracté, à l'évolution, à la mise en service ou à l'obsolescence, aux pannes et autres incidents qui interviennent dans la gestion du matériel d'une entreprise.

2.3.1. — *Le temps.*

On examinera le résultat de chaque politique après 5 ans d'activité ou horizon économique. L'Unité de temps choisie sera l'heure, l'actualisation sera calculée chaque année. L'année comprendra 48 semaines, une interruption de 4 semaines étant admise, la semaine comprendra 5 jours ouvrables de 2 × 8 heures, des heures supplémentaires seront possibles.

La simulation d'un an ou « histoire » sera répétée un certain nombre de fois pour vérifier que les bilans obtenus ne sont pas trop dispersés.

Pour réaliser des échantillons artificiels de toutes les courbes de survie, délais de réparation, et autres valeurs qui sont aléatoires, le tirage peut se faire à partir d'une table de nombres aléatoires équiprobables ou qui sont engendrés directement par le calculateur électronique en sous-programme. On obtient ainsi une suite aléatoire d'intervalles de pannes, ou de délais selon la loi de survie ou de délais considérée (fig. 3.1.).

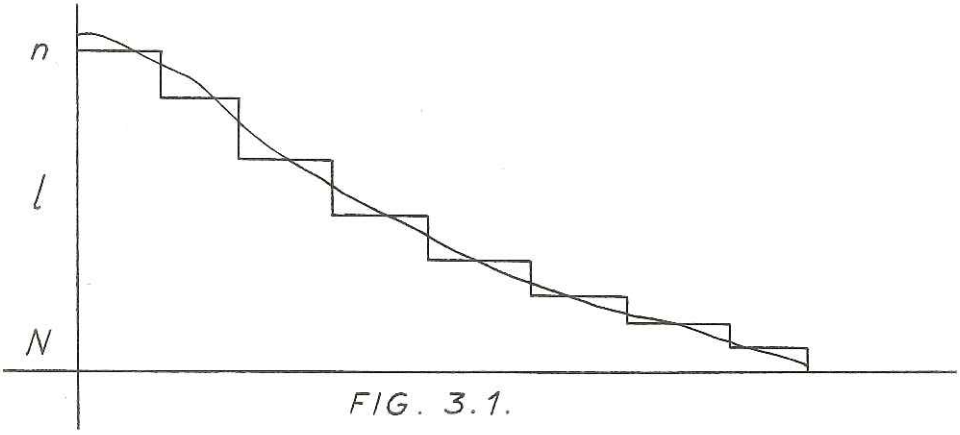

FIG. 3.1.

Les semaines de réparation sont calculées en heures. Quand le total dépasse 40 heures, on répartira le temps d'immobilisation sur la semaine suivante, où il viendra s'accumuler aux heures de cette semaine.

2.3.4. — *Dossier technique.*

Caractéristiques pièces / Machines	Vm^o en h	$\overline{\tau}$ en h	en j^r	$\overline{n}$	pour $t = 1$ an $e^{-\lambda t}$	Λ	λ
A. 1. pièce d'usure1. — ex. bague en bronze	1.000	20	50	2	0,9	—	0,3
2. pièce fatigue — ex. axe	600	2	2.000	3	0,9	—	0,9
3. petites pièces	—	1	5	2	0,85	1/50	—
B. 1. pièce usure (came)	800	4	600	2	0,9	—	0,3
2. pièce fatigue (support moteur)	600	2	110	2	1 ($\alpha = 0$)	—	0,9
3. pièce fatigue	750	13	200	3	1	—	0,9
4. petites pièces		2	10	2	0,8	1/79	—
C. 1. pièce usure (roulement)	2.000	4	400	2	0,95	—	0,3
2. pièce usure (train de pignons)	3.800	8	4.500	3	1	—	0,3
3. pièce fatigue (bielle)	5.400	20	400	3	1	—	0,9
4. petites pièces	—	2	90	2	0,85	1/90	—
D/E. 1. pièce usure (app. électr.)	1.200	18	300	1	0,80	—	0,3
2. petites pièces	—	0,3	5	2	0,85	1/55	—
F. 1. pièce usure (embrayage)	800	12	500	3	0,9	—	0,3
2. pièce fatigue (broche)	1.100	21	10.000	5	1	—	0,9
3. pièce fatigue (contacteur-interrupteur)	400	6	30	1	1	—	0,9
4. pièce fatigue	1.700	0,3	150	1	1	—	0,9
5. petites pièces	—	1	15	2	0,75	1/68	—

La production a lieu en deux équipes de 8 heures soit 16 heures ininterrompues. Quand une machine est en panne, on continue la réparation dans les 8 heures qui suivent, mais il faut doubler le coût horaire d'un ouvrier lorsqu'il travaille en heures supplémentaires.

Les stocks seront évalués toutes les semaines en tenant compte de la production ; celle-ci est évidemment aléatoire à cause des pannes.

2.3.2. — *Notations.*

Nous utilisons les notations suivantes :

λ — indice de dispersion de la loi lognormale.

V_m — durée de vie moyenne pour une loi lognormale.

r — durée de l'indisponibilité à la suite d'une panne.

$\wedge$ — taux de pannes petites pièces par unité de temps (celles-ci suivent une loi exponentielle).

k — taux de production d'une chaîne ou quantité produite par unité de temps.

j_1 — coût de la pièce à remplacer (grandeur fixe).

j_2 — coût moyen de démontage, remontage et réglage (grandeur aléatoire Gaussienne à faible écart type).

n — nombre moyen.

$S'(r)$ — stock à l'entrée de la chaîne à la date (r).

j_3 — coût de stockage d'une matière première, article manufacturé ou produit fini par unité de pièce et unité de temps.

j_4 — coût de pénurie du produit fini par unité de pièce et unité de temps.

α — coefficient caractérisant l'usure générale, tel que $V_m(t) = (1 - \alpha)^n V_m(0)$.
Pour le calcul on admettra la formule limite continue :
$V_m(t) = c^{-\alpha t} V_m(0)$ où α est ajusté de manière qu'il y ait diminution de valeur d'un certain pourcentage pour $t = 1$ an.

Toutes ces variables seront munies d'une indication supplémentaire pour chaque machine.

Par exemple : La durée de vie moyenne pour la pièce d'usure de la machine A : V_m (A).

2.3.3. — *Inventaire des sources de pannes.*

Les machines A, B, C, D, E et F contiennent comme sources de pannes les pièces suivantes :

Machine	Nombre de pièces d'usure	Nombre de pièces de fatigue	Source de pannes dues à de petites pièces
A	1	1	1
B	1	2 distinctes	1
C	2 distinctes	1	1
D	1	0	1
E	1	0	1
F	1	3 distinctes	1

2.3.4. — *Production.*

La chaîne (1) produit la pièce P_1 au taux horaire maximum de $k_1 = 550$; chaque machine de chaîne (2) produit la pièce P_2 au taux horaire maximum de $k_2 = 275$.

La machine F assemble P_1 et P_2 pour former P_3 au taux horaire maximum de 550.

Pour exécuter une pièce P_1 — il faut 48 F. de matière première MP 1
2 F. d'article manufacturé AM 1 (1)
6 F. d'article manufacturé AM 2 (3)
15 F. d'article manufacturé AM 3 (1)

Pour exécuter une pièce P_2 — il faut 25 F. de matière première MP 2
3 F. de matière première MP 3
2 F. d'article manufacturé AM 4
5 F. d'article manufacturé AM 5

Pour exécuter une pièce P_3 — il faut 11 F. de AM 6
6 F. de AM 7

2.3.5. — *Coûts.*

Les coûts proportionnels unitaires en dehors de MP et AM sont pour $P_1 = 9$ F., $P_2 = 16$ F., $P_3 = 21$ F.

Les coûts fixes sont pour la chaîne (1) = 220 F.
(2) = 112 F.
(3) = 115 F.

Le taux de l'argent est de 6 %, pris constant durant toute la période considérée.

Les machines ont un certain âge au temps $t = 0$. Les valeurs sont données dans le tableau suivant.

Machine	Valeur initiale en millions de F.	Age au temps $t = 0$	Valeurs au temps $t = 0$ en millions de F.
A	2,5	2	2
B	2	1	1,8
C	3,5	2	2,8
D	1,5	1	1,35
E	1,5	1	1,35
F	4	3	2,9

Le coût horaire d'un ouvrier chargé de la réparation est de 60 F. (valeur dans laquelle on fait rentrer les coûts fixes). Il est de même quelque soit la réparation, mais est doublé lorsque le travail se fait en heures supplémentaires.

Le nombre des ouvriers charges des réparations est limité à 7. A chaque pièce correspond un nombre moyen n d'ouvriers la distribution des n ouvriers répondant à une distribution binominale.

Les stocks sont évalués à leur coûts de fabrication (valeur de remplacement). Les coûts de stockage sont évalués par l'intérêt du capital investi. Les dépenses de magasinage ne doivent pas intervenir, ces dépenses étant jugées indépendantes du volume. Par contre les stocks doivent intervenir sous forme de contraintes, en spécifiant les limites admissibles.

2.3.6. — *Demande commerciale.*

La demande dans ce cas est considérée comme constante.

2.3.7. — *Fonction économique.*

La fonction économique qui constitue le critère dans la prise de décision entre les diverses politiques possibles est une fonction de coûts à rendre minimum, constituée par la somme des pertes de production — des dépenses de réparation et d'entretien, des amortissements, tenant compte de l'obsolescence aléatoire, des dépenses de stockage. Ces dépenses sont actualisées.

2.3.8. — *Politiques à tester.*

Les diverses politiques sont relatives à l'entretien préventif, la première politique étant celle où l'on ne fait pas d'entretien préventif. L'entretien préventif n'est à considérer que pour les pièces d'usure.

On peut déposer systématiquement à 0,8 $Vm^{(r)}$ où $Vm^{(r)}$ est la durée de vie moyenne au début de l'année (r), alors $\overline{\tau}$ devient $a\overline{\tau}$ avec une certaine valeur de a. On peut également n'appliquer la substitution préventive que pour les pièces ayant un $r\tau > h$ heures.

Pour les machines D et E on peut admettre le remplacement par groupe. Si l'une des pièces de ces machines atteint un âge 0,7 $Vm^{(n)}$ pendant que l'autre a un âge compris entre 0,7 $Vm^{(n)}$ et $Vm^{(n)}$, on remplace les deux pièces, le temps total τ_D et τ_E sont alors réduits de 40 %. On admettra dans ce cas que lors d'un remplacement préventif, les temps τ ne sont plus aléatoires mais ont pour valeur τ.

§ 3. MISE EN MACHINE D'UNE SIMULATION.

Pour résoudre ce problème synthétique de gestion dont la complication voulue est assez grande, il faut utiliser la simulation. Celle-ci est assez coûteuse étant donné le temps de préparation du programme machine ; elle n'a pas été réalisée effectivement sauf les organigrammes. Le modèle synthétique a été construit dans le but de faire apparaître les principales données qui interviennent dans ce genre de problèmes et de comprendre les implications qui les lient.

Une deuxième phase des travaux du « groupe de travail sur l'entretien et la gestion du matériel » consistera en l'étude d'un ou plusieurs cas réels qui seront menés jusqu'à la simulation machine incluse. Un compte-rendu de l'activité du groupe dans cette deuxième phase sera publié ultérieurement.