

# REVUE FRANÇAISE D'INFORMATIQUE ET DE RE- CHERCHE OPÉRATIONNELLE [SÉRIE VERTE]

J. AGARD

## **Détermination des volants d'équipements révisables par des équipes communes**

*Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle  
[Série verte]*, tome 2, n° V1 (1968), p. 107-111

[http://www.numdam.org/item?id=RO\\_1968\\_\\_2\\_1\\_107\\_0](http://www.numdam.org/item?id=RO_1968__2_1_107_0)

© AFCET, 1968, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle [Série verte] » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme  
Numérisation de documents anciens mathématiques  
<http://www.numdam.org/>

## DETERMINATION DES VOLANTS D'EQUIPEMENTS REVISABLES PAR DES EQUIPES COMMUNES

par J. AGARD <sup>(1)</sup>

---

Certains équipements sont soumis à un entretien poussé qui entraîne des descentes systématiques à potentiel, et des examens imprévus pour réparation et contrôle. Les temps d'immobilisation des équipements en entretien sont aléatoires par suite des durées variables des opérations administratives et des difficultés techniques de détection des pannes et de remise en état. Il faut donc prévoir un volant plancher d'équipements permettant de remplacer les équipements descendus. Le calcul de ce volant est assez classique.

Par contre, dans la mesure où des ouvriers spécialisés concourent à l'entretien de plusieurs types d'équipement, on se trouve confronté à un problème complexe de régulation simultanée de production et de stock. Vaut-il mieux maintenir le stock au plancher avec un nombre d'ouvriers assez excédentaire pour réduire les risques d'attente d'une pièce avant entretien, ou vaut-il mieux accroître le stock pour que la main-d'œuvre chère travaille avec un très haut rendement, même si les pièces en attente d'entretien entraînent une croissance du stock plancher, donc du capital immobilisé ?

Nous présentons ici un mode d'attaque possible du problème en demandant aux lecteurs de communiquer leur expérience et leurs suggestions sur le sujet.

### 1. — DETERMINATION DU VOLANT PLANCHER

Soit un équipement  $i$ . Nous le caractériserons par sa valeur  $P_i$  et par les éléments liés à son entretien :

$C_i$  = consommation (ou descentes pour entretien) par unité de temps,

(1) Chef du Département de R. O. d'Air France

- $m_i$  = durée moyenne d'immobilisation,  
 $\sigma_{m_i}$  = écart type de la durée d'immobilisation,  
 $t_i$  = temps moyen de main-d'œuvre passé en entretien,  
 $\sigma_i$  = écart type du temps de main-d'œuvre.

Ces notions appellent quelques remarques :

— *La consommation* est généralement établie à partir des statistiques. Elle comporte une part prévisible liée aux descentes systématiques et une part aléatoire liée aux pannes. On peut mélanger ces données dans la mesure où la répartition de l'âge des équipements depuis leur dernière révision générale est invariante et de ce fait uniforme.

Sinon, nous ferons des erreurs sur l'estimation des prochaines consommations du fait de la variation de proportion des révisions générales. En outre, il se peut que les consommations de caractère aléatoire subissent un effet saisonnier, ce qui implique la constitution d'un stock basé sur les consommations de la période de pointe et non sur les consommations moyennes dans une période de temps du type de l'année. Les variations des potentiels ont aussi une incidence sur les consommations.

— *La durée d'immobilisation* est constituée de délais d'ordres administratif, et de temps d'entretien. Ces derniers varieront selon qu'il est possible de mettre un ou plusieurs ouvriers sur la pièce. Ils dépendront enfin du pourcentage des réparations et des révisions systématiques, en général plus longues, mais de dispersion plus faible. A la limite, il peut être utile de séparer les deux classes et de prévoir le temps d'entretien futur en fonction des proportions espérées ou calculées de ces opérations.

— *Les temps passés* découlent de la comptabilité industrielle. Nous y retrouvons encore la distinction entre réparation et révision générale.

Lorsqu'on analyse une situation stationnaire, on peut se contenter d'une consommation  $C_i$  et de durées d'entretien  $m_i$  incluant réparations et révisions. En ce cas, supposons qu'une pièce  $i$  soit descendue en entretien. Il s'agit de calculer le nombre aléatoire  $\nu$  de pièces  $i$  qui seront descendues pendant la remise en état de la première.

Le nombre  $V$  tel que  $p(\nu > V) < \varepsilon$  sera le volant plancher des pièces de type  $i$ . On démontre que le volant  $\nu$  de cette pièce suit une loi tendant vers la loi normale avec

$$\bar{\nu} = m_i \cdot C_i$$

$$\sigma_\nu = \sqrt{\sigma_{m_i}^2 C_i^2 + m_i C_i}$$

Cette formule suppose que la consommation suit une loi de Poisson ; l'approximation dans les cas que nous avons analysés apparaissait acceptable. Le volant plancher correspondant à un risque  $p_k$  est donc

$$V_i = m_i C_i + k \sqrt{\sigma_{m_i}^2 C_i^2 + m_i C_i}$$

$k$  étant une variable normée centrée.

Le volant ainsi calculé découle de nombreuses hypothèses, et en particulier des habitudes de l'atelier. Les valeurs  $m_i$  et  $\sigma_{m_i}$  peuvent évoluer selon les méthodes de travail et les procédures administratives. Nous avons en particulier supposé que  $m_i$  et  $\sigma_{m_i}$  avaient été épurés de temps d'attente résultant de la saturation de l'atelier. Sinon  $V_i$  correspond déjà à un arbitrage dans la régulation de la production et du stock.

La réduction des volants aux valeurs  $V_i$  signifie donc que l'atelier dispose d'un volant considérable de main-d'œuvre disponible pour éviter les attentes des pièces.

## 2. — INCIDENCE DES LIMITATIONS DE MAIN-D'ŒUVRE

Supposons de façon plus réaliste que le nombre d'ouvriers spécialisés soit limité, et que la masse de main-d'œuvre  $M$  offerte par unité de temps soit un peu supérieure à  $\sum_{i \in I} t_i \cdot C_i$ , moyenne des heures d'entretien à réaliser sur les équipements de famille  $I$ .

Du fait des fluctuations aléatoires des descentes d'équipements et des masses d'heures à consacrer à leur révision, il est évident que fréquemment, des équipements seront en attente devant l'atelier occupé à 100 %. Le bon rendement d'une main-d'œuvre chère exige même que des pièces attendent. Mais il faut concurremment augmenter le niveau des stocks.

Cependant la banalisation des spécialistes de l'entretien nous permet partiellement de choisir les équipements soumis à l'attente, et c'est le travail du bureau de lancement ou de planning d'optimiser cette régulation.

## 3. — CRITERES DE LANCEMENT

A quels critères de lancement doit-on obéir? Nous ne chercherons pas ici à les énumérer ou à les classer. Il peut exister des séquences de réparations souhaitables, ou des rafales (les réparations ne sont commencées avec un bon rendement que lorsqu'on traite en séquence  $n_i$  pièces  $i$ ). Il y a surtout des urgences liées aux prévisions de consommation prochaine de pièces de type  $i$  et à l'état du stock  $S_i$  de pièces révisées. Lorsque le stock  $S_i$  de la pièce  $i$  tombe au-dessous d'un niveau d'alerte  $A_i$ , le chef d'atelier va accélérer l'entretien de ce type de pièces, en augmentant si possible le nombre d'ouvriers sur ces pièces, et en faisant commencer en priorité l'entretien des pièces de ce type en attente.

Si les critères précédents laissent encore quelque latitude de choix, sur quel nouveau critère décidera-t-on de réparer la pièce  $i$  plutôt qu'une pièce  $j$ ? Nous proposons en ce cas de prendre en compte les paramètres de valeur  $P_i$  et de masse de main-d'œuvre  $t_i$  pour choisir la pièce prioritaire. Nous formerons les rapports  $\frac{P_i}{t_i}$  et nous sélectionnerons les pièces dans l'ordre décroissant de ce rapport. Une heure de main-d'œuvre

employée sur la pièce  $i$  réduit en effet la valeur du stock de régulation dans la proportion de  $K \frac{P_i}{t_i}$ . On traitera donc en priorité les équipements chers et de faible durée d'entretien, pour finir par l'équipement de valeur médiocre exigeant beaucoup de travail.

Nous ne réparerons ces équipements que lorsque les autres seront traités. Leur stock plancher considérablement accru jouera, de ce fait, le rôle de volant régulateur pour les autres équipements et absorbera les attentes dues à la limitation de main-d'œuvre.

#### 4. — DETERMINATION DES VOLANTS REGULATEURS

Nous nous trouvons en présence d'un système dans lequel des clients (les pièces) se présentent selon une loi de Poisson <sup>(1)</sup>. Nous pouvons simuler ces arrivées de pièces. A l'arrivée d'une pièce  $i$ , nous simulons également la masse  $t$  de main-d'œuvre qu'elle exige, et éventuellement les délais administratifs. En outre, nous réduisons le stock de pièces  $i$  réparées d'une unité. Si ce nombre était nul, nous compterions une défaillance.

S'il n'y a pas de pièces en attente et si des ouvriers sont libres, ils répareront les pièces dans l'ordre de leur arrivée. C'est là une situation rare compte tenu du coût élevé de la main-d'œuvre. Lorsqu'il y a des pièces en concurrence avant l'atelier, il faudra choisir celle qui sera prise par le premier ouvrier libre.

Pour cela, on pourra simuler diverses règles logiques de choix :

— comparaison des stocks réparés aux niveaux d'alerte pour les pièces en concurrence,

— comparaison du nombre de pièces d'un même type en attente, si ces pièces passent en atelier en rafales de  $n$ ,

— ...

— comparaison des rapports  $\frac{P_i}{t_i}$  lorsque d'autres critères n'ont pas déterminé les pièces prioritaires.

Lorsqu'une pièce sera lancée en entretien, elle fixera un ouvrier (ou plusieurs si elle en exige plusieurs) pour la durée  $t_i$  simulée.

A cette échéance, elle retournera au stock réparé qu'elle augmentera d'une unité tandis que la main-d'œuvre disponible remontera d'un cran. On pourra travailler dans un temps comprimé aux seules heures ouvrables. Il serait également facile de tenir compte de vacations de niveaux différents dans le temps.

---

(1) C'est le cas simplifié. Nous avons étudié en Simulation le problème de réacteurs dont les arrivées dépendent de l'âge en heures de vol et du potentiel avant révision.

La simulation de l'entretien peut être réalisée de deux façons. La première consiste à partir de niveaux de stocks et d'un état de l'atelier et des réparations donnés. On simule alors une longue période en notant les défaillances par type de pièce. Puis, on pourra simuler une nouvelle période en changeant la politique des priorités et les niveaux du stock et de la main-d'œuvre.

Une autre méthode consiste à partir d'un état donné de l'atelier, avec des stocks réparés nuls. Lorsqu'un équipement  $i$  est descendu, on ne retranchera une pièce du stock réparé que si ce stock n'est pas nul.

A l'issue de la simulation, le total des pièces en attente, en réparation et réparées, donnera le niveau de stocks qu'il aurait fallu avoir pour éviter toute défaillance, avec la politique de priorités et de niveau de main-d'œuvre simulée. On pourra faire un nouveau passage en changeant ces priorités et le niveau de la main-d'œuvre pour faire la balance entre le capital immobilisé et les frais de personnel.

## 5. — OBTENTION DES DONNEES

Si les principes de simulation sont simples et peuvent aisément être compliqués pour mieux prendre en compte la réalité, l'obtention des données correctes et complètes par équipement est beaucoup plus difficile. Même avec des hypothèses simplificatrices sur la stationnarité des consommations et des lois de durée de réparation, le rassemblement des paramètres cités au § 1 pour une centaine ou plus d'équipements réparés dans le même atelier est assez difficile.

Ces méthodes sont, d'autre part, rentables lorsqu'un accroissement important des stocks se révèle utile pour pallier la croissance de l'activité, la réduction des potentiels ou le renouvellement de pièces anciennes. Lorsque le stock existe déjà, il est trop tard de constater qu'il aurait mieux valu le réduire au prix d'un léger accroissement de personnel, ou qu'il aurait mieux valu réduire le stock de telle pièce en accroissant le volant régulateur de pièces bien moins chères. C'est la raison pour laquelle la mise en œuvre de ces méthodes est en général longue, en dépit de leur intérêt certain pour le gestionnaire.