

GESTION D'UN PARC DE VEHICULES

par J. DE SMET et G. RENSON
Centre d'Etudes militaires, Bruxelles

La gestion de grands ensembles, pouvant atteindre plusieurs milliers d'unités, est un sujet de préoccupations pour les différents pays OTAN. La question a d'ailleurs été débattue au cours de rencontres internationales.

L'étude qui suit est un des travaux suscités par ce problème.

Son exposé sera divisé en quatre parties :

- genèse du problème et buts poursuivis
- description et caractéristiques du modèle
- justification mathématique du processus d'évolution
- application du modèle à un parc de jeeps.

PREMIERE PARTIE

1. Introduction.

a. *But poursuivi.*

Je voudrais tout d'abord bien définir le sens que nous donnons ici au mot gestion.

Ce n'est pas la gestion financière qui d'abord nous intéresse.

Ce que nous désirons c'est, dans le cadre d'une politique déterminée, rechercher l'évolution au point de vue âge d'un parc de N véhicules et mesurer les répercussions :

- *opérationnelles* tout d'abord, ce qui se traduira par l'efficacité ou disponibilité du matériel mis à la disposition des unités;
- *financières* ensuite, ce qui nous conduira à évaluer les coûts de réparations et de remplacement.

* Conférence faite à la tribune de la Sogesci le 14 juin 1965.

b. *Genèse du problème.*

Il n'est pas sans intérêt de souligner que le problème, tel que je viens de l'énoncer, a été formulé par étapes et en sens inverse, dirais-je, du processus habituel.

Ordinairement, en effet, le chercheur opérationnel se plaint du manque de données statistiques relatives au problème dont il a la charge.

Nous nous sommes trouvés ici dans une situation inverse.

L'Etat-Major de la FT belge applique, depuis la fin de 1962, un système mécanographique de collecte d'informations relatives à l'utilisation de l'ensemble de son charroi. A la fin du mois, le centre de traitement de l'information reçoit, pour chaque véhicule en service dans les unités, la prestation (kilométrique ou horaire) effectuée, les immobilisations en nombre et en durée, ainsi que les consommations.

Sur la base de ces données, ce Centre établit des listings trimestriels (tableau 1) où pour un véhicule d'un type déterminé sont repérés, en fonction de l'âge atteint en fin de trimestre, les moyennes des prestations, immobilisations et consommations de la période écoulée.

Le but premier de ces listings était de doter les EM et le Ministère d'éléments d'information permettant d'établir à bon escient des prévisions budgétaires ou plannings de consommation. Très vite cependant, on s'est rendu compte que l'on pouvait en tirer bien davantage. C'est ainsi qu'est né le projet d'un modèle permettant de prévoir l'évolution du coût et de l'état du parc de véhicules en fonction des politiques que définirait l'EM.

L'élaboration d'un modèle devait simultanément souligner les déficiences du plan de recueil d'informations et fixer ainsi les données complémentaires à relever.

2. Définition des politiques.

Il me faut donc, avant de parler du modèle, vous définir les politiques à la disposition du Commandement. Pour ce faire, rappelons, en deux mots, la structure de l'organisation militaire dans le domaine des véhicules.

a. *Structure.*

Cette organisation peut se schématiser comme suit :

- (1) un ensemble de *clients* ayant des besoins déterminés par une charte d'organisation et soumis à des prestations plus ou moins fixes. Ce

Tableau 1
PRESENTATION DES DONNEES STATISTIQUES EXISTANTES
LISTING RECAPITULATIF TRIMESTRIEL

Grand Cammandement	Numéro code du matériel	Age ou T. V.	Exis- tants	IMMOBILISATIONS MOYENNES			PRESTATIONS MOYENNES		Consommation moyenne aux 100 km
				Nombre	Durée 2 ^e échelon	Durée 3 ^e échelon	km	Heures	
1	2 4021 Z 285	00	164	0,8	6,2	2,4	1981	—	23,9
		01	104	0,9	5,8	1,8	2220	2	22,8
		02	248	1,1	7,3	1,9	1949	1	26,1
		03	252	1,2	8,8	4,2	2038	1	20,3
		04	184	1,2	7,2	4,2	2166	1	23,1
		05	119	1,5	9,1	6,6	2426	—	20,1

sont les unités de différents types, réunies en trois grands sous-ensembles :

- unités d'Allemagne
- unités de Belgique
- unités de réserve.

- (2) un *fournisseur* : le parc
- (3) des *réparateurs* : (ateliers et parcs d'évacuation) travaillant
 - soit pour le compte de clients (3^e échelon)
 - soit pour le compte du parc (5^e échelon).

Dans ce dernier cas, le véhicule, évacué par l'unité et hors service pour un délai assez long, est automatiquement remplacé.

b. *Politiques possibles.*

- (1) *Quantités et prestations*; éléments à citer, mais sur lesquels le Commandement a peu d'action, car ces deux facteurs sont étroitement liés à la politique militaire du pays
- (2) *les priorités de fourniture et la valeur du matériel en dotation*, ce qui se traduit par une efficacité ou disponibilité imposée pour un grand commandement
- (3) *le renouvellement* par achat ou échanges
- (4) *les réparations*, limites entre 3^e et 5^e échelons
- (5) *la réforme.*

Tels sont les paramètres essentiels des politiques possibles; voyons à présent comment le modèle imaginé les prend en charge.

DEUXIEME PARTIE

3. Description du modèle.

a. *Caractéristiques essentielles.*

Nous avons réalisé un modèle déterministe progressant par bonds d'ampleur égale. L'état moyen du parc sera périodiquement calculé à des instants t_i , distants de T.

- A chaque t_i , on calculera, pour les N véhicules du parc, leur âge et leur situation;
- Les éléments moteurs d'évolution entre t_i et t_{i+1} seront les prestations et immobilisations imposées aux véhicules.

- Le résultat de l'évolution sera à chaque étape apprécié ou caractérisé par l'efficacité résultante et le coût de l'ensemble.

Je vais à présent passer brièvement en revue chacun de ces facteurs et je m'efforcerai de mettre en évidence comment l'analyse statistique des informations disponibles nous a permis de définir certaines relations de structure et de fixer les valeurs des paramètres.

b. Age.

L'âge d'un matériel peut se définir :

- soit à partir du moment de sa construction; c'est l'âge temps;
- soit par les prestations antérieures, exprimées, suivant les cas, en heures de fonctionnement, kilomètres parcourus, nombre de coups tirés.

Dans le cas de nos véhicules, l'âge temps avait peu d'influence, car la longévité des véhicules militaires est grande et le critère de remplacement est l'usure suite à l'emploi.

Nous n'avons donc retenu que les prestations antérieures. A tout moment, le matériel est représenté par un « vecteur d'état » à n composantes; chacune de ces composantes correspond à un âge possible ou « tranche de vie » du matériel. Ces « tranches de vie » pour des véhicules banalisés ont par exemple une « étendue » de 10.000 km. Ainsi, dans le vecteur $n_{00}^t, n_{01}^t, n_{02}^t, \dots$, n_{00}^t représente le nombre de véhicules dont les prestations totales antérieures à l'instant t étaient comprises entre 0 et 10.000 km, n_{01}^t , ceux entre 10.000 et 20.000 km, etc.

c. Situations.

Les situations possibles du matériel sont liées à l'organisation des Forces Armées. Dans le cadre de la Force Terrestre Belge, les véhicules peuvent se répartir entre neuf situations de base, schématisées à la figure 1.

Trois situations — correspondant aux véhicules en dotation dans les unités des grands commandements — constituent « l'élément moteur » du modèle.

Les autres figurent les stocks, parcs d'évacuation et ateliers de réparation nécessaires au maintien à jour des dotations d'unité.

C'est dans chacune de ces situations que le matériel est représenté par un vecteur d'état à n composantes, que le modèle calcule après chaque bond.

Au cours du temps, le matériel passe suivant son état d'une situation à l'autre.

Examinons le graphe des mutations possibles au cours d'un bond (fig. 2).

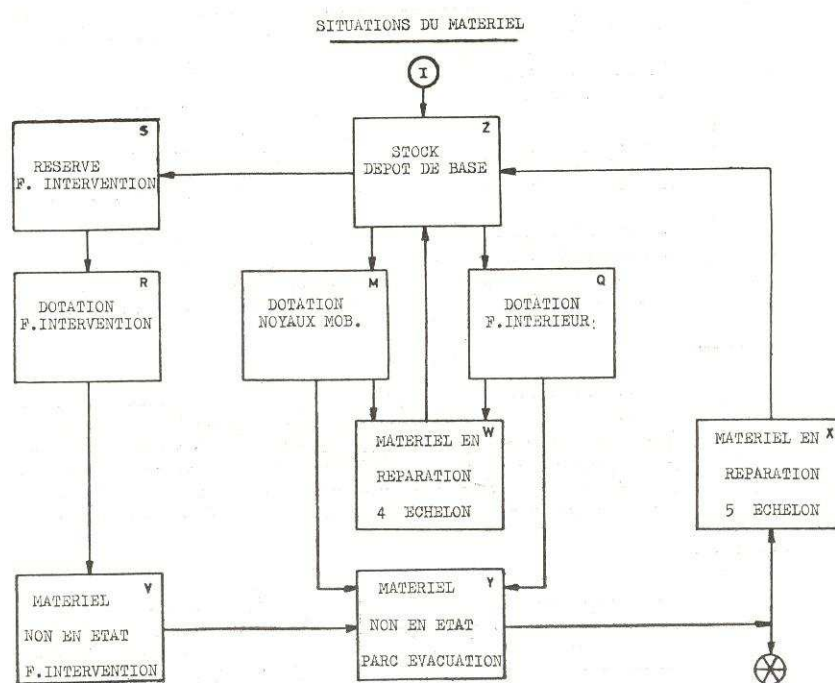


Fig. 1.

On peut y relever :

- un flux d'approvisionnement de véhicules en état, porté par les arêtes ascendantes du schéma;
- un flux d'évacuation de véhicules défectueux, portés par les arêtes descendantes;
- un flux de maintien dans les situations (arêtes horizontales).

Approvisionnements et évacuations peuvent se traduire par de simples « vecteurs d'échange » à n composantes, s'ajoutant ou se retranchant aux « vecteurs d'état ».

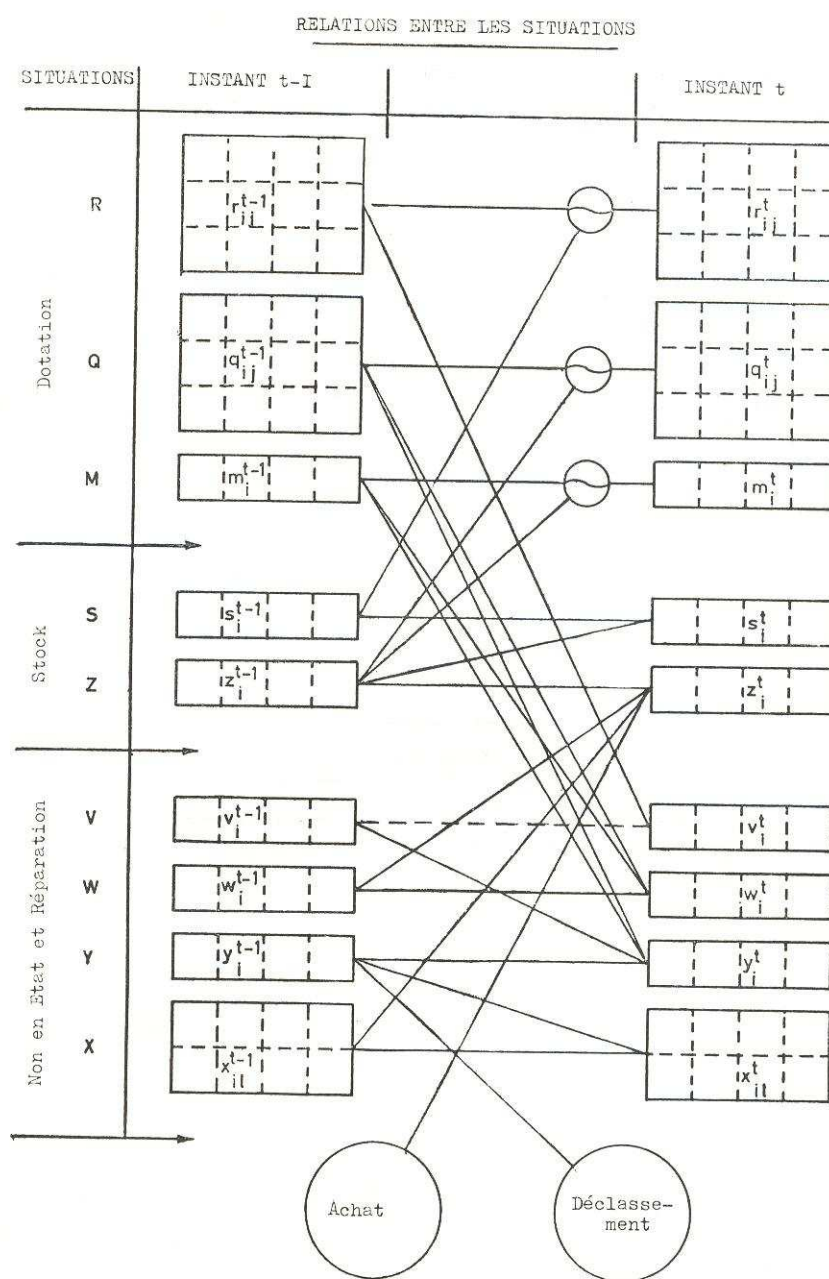


Fig. 2.

Le flux de passage, au contraire, doit tenir compte du « travail » réalisé pendant la période séparant deux instants privilégiés. Il ne suffit plus ici de modifier le vecteur d'état par des vecteurs d'échange, il faut encore lui faire subir une transformation sous l'effet des deux facteurs d'évolution définis plus haut.

C'est ce que met en relief le graphe partiel de la figure 3.

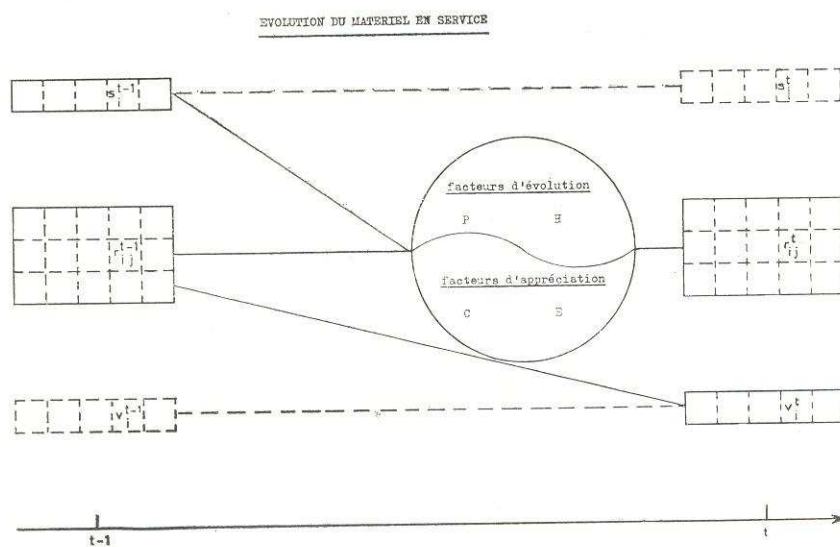


Fig. 3.

Le vecteur d'état — ou plutôt la matrice d'état — nous verrons bientôt le pourquoi de cette représentation — des véhicules en dotation à l'instant t est celui de l'instant $(t-1)$

- diminué d'un vecteur d'échange d'évacuation
- augmenté d'un vecteur d'échange d'approvisionnement, tel que la quantité approvisionnée soit égale à la quantité évacuée, de manière à honorer les dotations prévues
- et transformé par un « processus interne d'évolution », correspondant au travail effectué pendant la période.

Il s'agit à présent, par l'étude des données statistiques relatives aux prestations et immobilisations, de définir le processus interne et la grandeur des vecteurs d'échange.

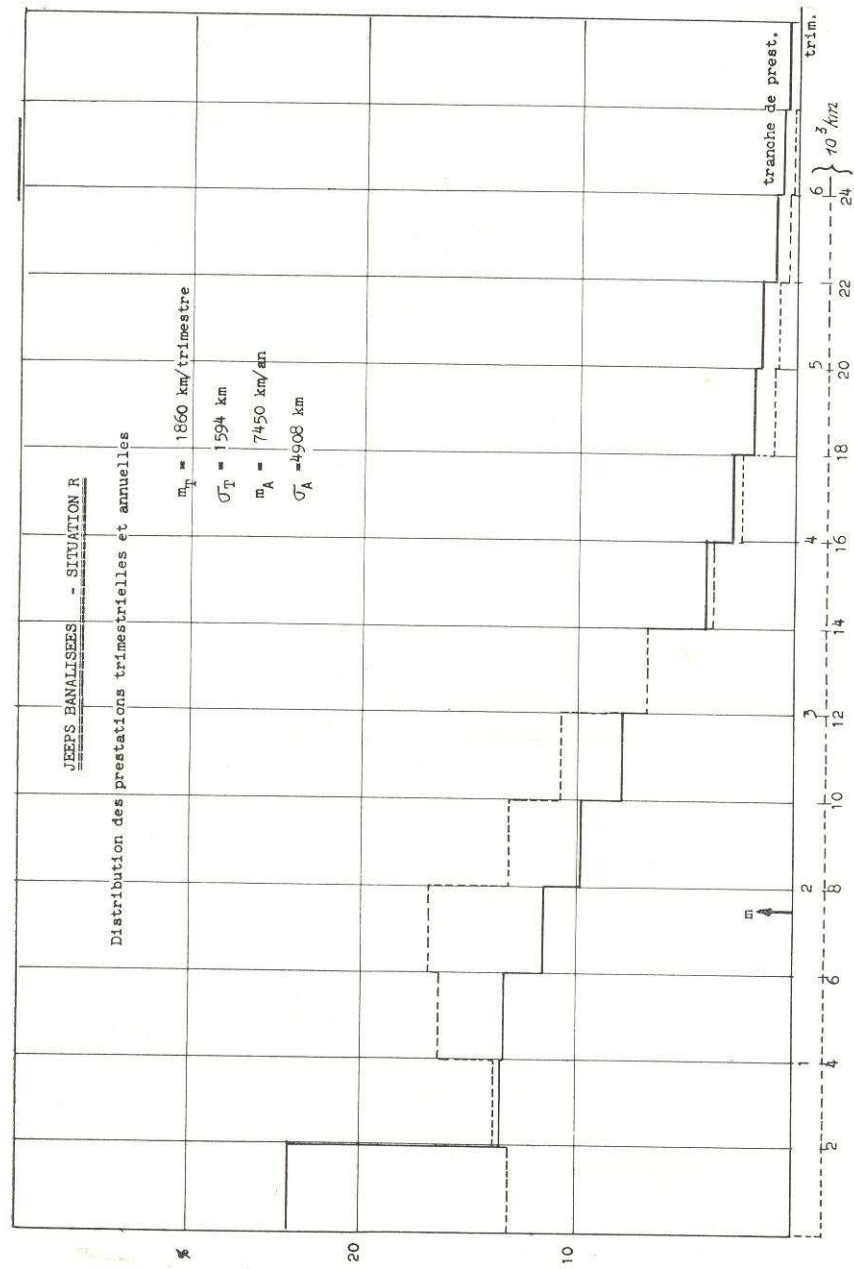


Fig. 4.

d. Prestations.

(1) Examinons tout d'abord les prestations imposées aux véhicules des deux grands commandements actifs. Pour les unités de réserve, le problème se posera différemment et sera, par ailleurs, bien plus simple, car les véhicules entreposés dans les noyaux n'accomplissent que des prestations d'entretien ou de rappel assez constantes.

(2) La figure 4 reproduit un histogramme de répartition des prestations des véhicules actifs.

On constate :

- (i) qu'aux variations saisonnières près, cette répartition au cours d'une période reste sensiblement constante;
 - (ii) que, par contre, la répartition des prestations cumulées sur plusieurs périodes (un an au lieu d'un trimestre, dans le cas de la figure) diffère de la précédente.
- (3) Que traduisent physiquement ces deux constatations ?

Tout d'abord, que la place occupée au T.O. par un véhicule correspond à un niveau d'activité bien déterminé; ensuite, que, pour faire face aux immobilisations occasionnelles, les commandants d'unités modifient les affectations des véhicules, suivant les besoins du moment, sans plan préétabli.

(4) Comment le modèle rend-il cette réalité ?

- (i) La constance des répartitions des prestations au cours d'un bond nous conduira pour les véhicules actifs à envisager, outre le groupement en tranche de vie, un *groupement en tranches de prestation*. Dans ces situations, les véhicules se répartiront donc dans les cases d'un tableau rectangulaire — que nous qualifierons « matrice d'état » (fig. 5). Les différentes lignes de cette matrice correspondront à des niveaux de prestation moyens, fixés par les histogrammes.

Il s'ensuivra :

- (aa) que la répartition marginale en T.P. de cette matrice restera constante dans le temps;
 - (bb) qu'il sera aisé de simuler le travail au cours d'une période. Il suffira, dans chaque ligne, de faire passer d'une colonne à l'autre la fraction $p_j = TP_j / TV$ des véhicules de la case indicée (i, j) .
- (ii) Le passage occasionnel d'un véhicule d'une tranche de prestation à l'autre est figuré en multipliant la matrice d'état par une *matrice*

de transition. Cette matrice est une matrice de probabilité dont les éléments sont calculés en fonction de la corrélation relevée entre les prestations de deux périodes consécutives.

L'étude mathématique du processus ainsi défini fait l'objet de la troisième partie de l'exposé. Disons, dès à présent, que l'obtention d'un état permanent n'est pas à craindre, car la matrice d'état qui subit l'opération de multiplication matricielle est constamment modifiée par le glissement différencié et les vecteurs d'échange.

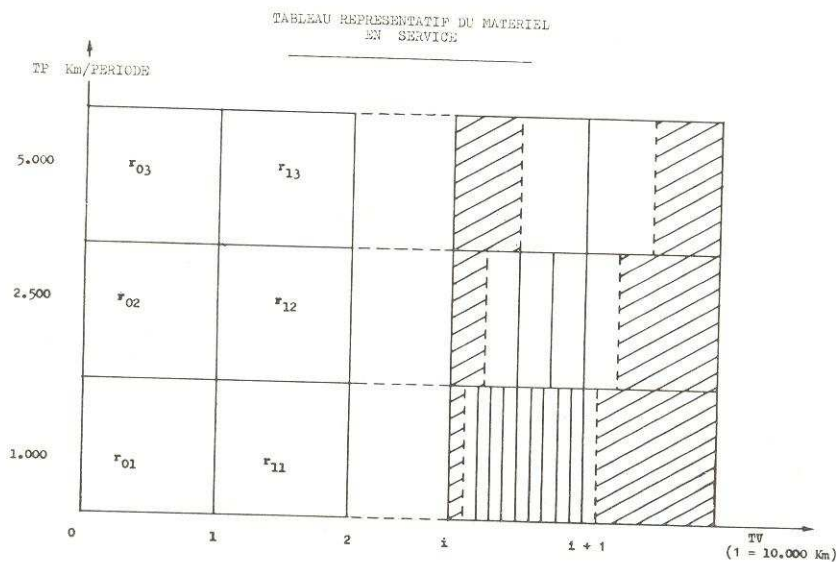


Fig. 5.

c. Immobilisations.

(1) L'étude des prestations fut ainsi la base du processus interne d'évolution. Celle des immobilisations a de son côté permis :

- le calcul des vecteurs d'échange
- l'estimation de l'efficacité ou disponibilité du parc.

(2) Les statistiques ont montré en effet que la fréquence et la durée des immobilisations pouvaient s'exprimer linéairement en fonction de la tranche de vie ou âge *et* de la tranche de prestation.

Les courbes de la figure 6 le prouvent; elles sont relatives aux durées des immobilisations de 2^e et 3^e échelons.

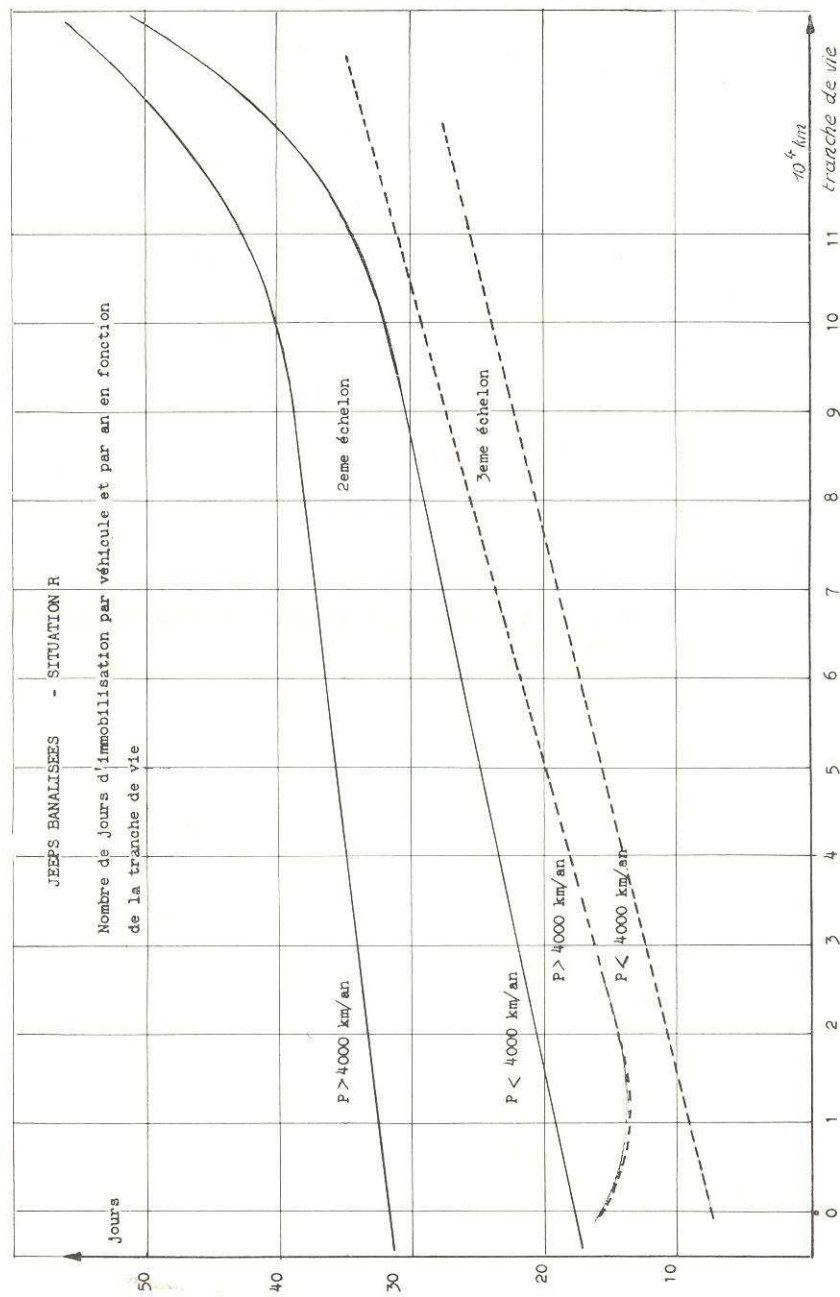


Fig. 6.

(3) Les vecteurs d'évacuation ont été calculés à partir des fréquences d'immobilisations de 5^e échelon. Une matrice des « mises hors service », de mêmes dimensions que la matrice d'état, groupe ces fréquences, calculées pour une période.

La grandeur du vecteur d'évacuation s'obtient par multiplication des éléments correspondants des deux matrices et sommation des résultats pour une même tranche de vie.

(4) Les données relatives aux durées d'immobilisation de 2^e et 3^e échelons ont été utilisées pour le calcul de l'efficacité.

f. *Efficacité.*

Notre ambition était, en effet, d'établir une notion d'efficacité qui tenait compte des prestations que l'on attendait des véhicules.

Vous vous souviendrez qu'un véhicule envoyé dans un atelier de 2^e ou 3^e échelon n'est pas remplacé; il constitue donc un poids mort pour l'unité et en diminue la valeur opérationnelle.

Si k_{ij} est le nombre moyen des jours d'immobilisation de 2^e et 3^e échelons par période pour un véhicule indicé (i, j) , on peut lui attribuer pour la période une efficacité :

$$e_{ij} = \frac{K - k_{ij}}{K} \quad (K = \text{nombre total de jours dans la période}).$$

Les e_{ij} vont constituer la matrice d'efficacité et l'efficacité du parc sera donnée par :

$$E = \frac{\sum \sum e_{ij} n_{ij}}{N}$$

g. *Coût.*

Vous conviendrez qu'un raisonnement analogue peut être tenu pour les coûts. L'étude des données relatives aux coûts permettra l'établissement soit de matrices (C_{ij}) donnant les coûts unitaires d'une période, soit de vecteurs coûts pour les opérations d'alimentation, d'évacuation ou de réparation.

h. *Description complète du processus interne d'évolution.*

Il nous est possible à présent de suivre en détail le processus interne d'évolution des matériels en dotation (ou en service), entre deux instants privilégiés (fig. 7).

Par application des taux de la matrice des mises hors service se détermine le vecteur d'évacuation.

SCHEMA D'EVOLUTION DE MATERIELS EN SERVICE

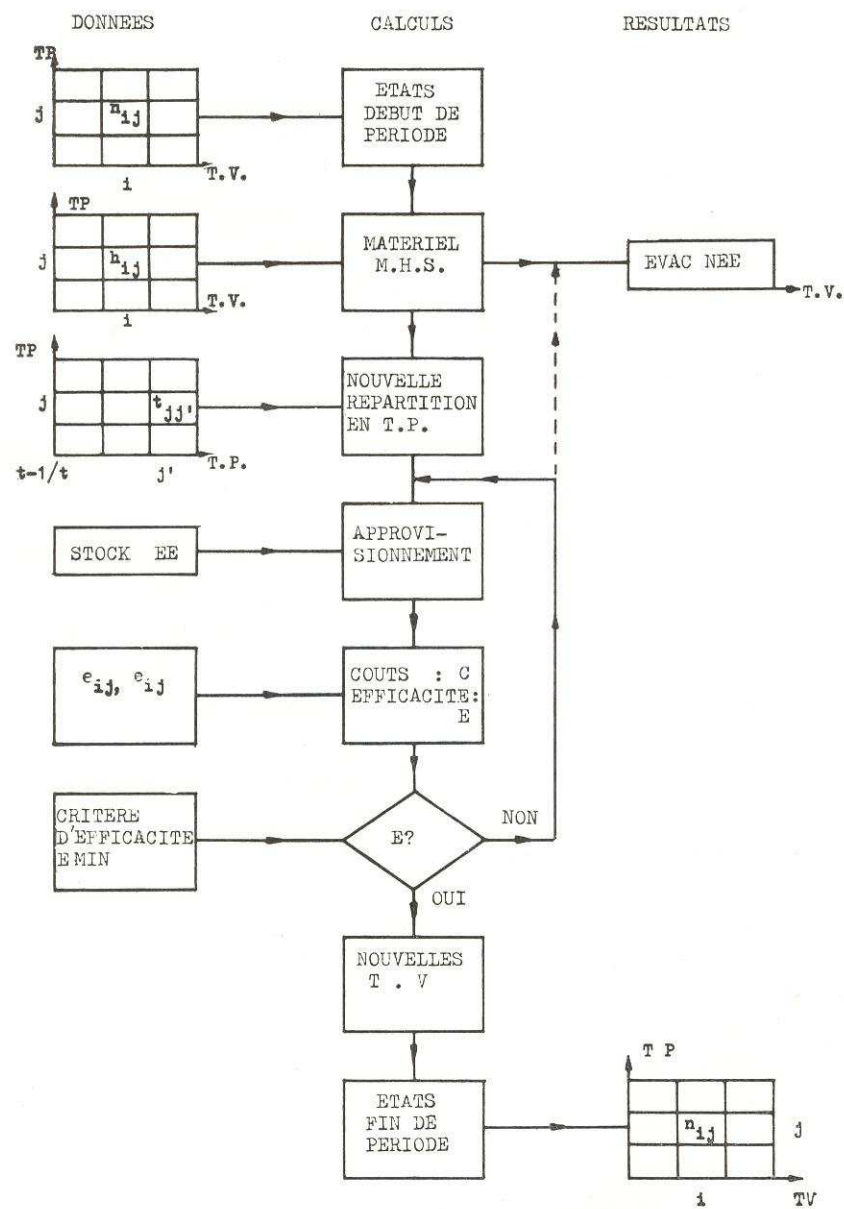


Fig. 7.

L'évacuation faite, la « matrice d'état incomplète » est modifiée par la matrice de transition B. Cette opération donne la nouvelle répartition des véhicules entre les tranches de prestation pour la période considérée.

Les dotations sont ensuite complétées par apport de véhicules en réserve et les matériels livrés sont répartis, suivant leur âge, dans les TP de manière à respecter la répartition marginale prévue des prestations.

Par application des matrices coût et efficacité, les valeurs de ces deux facteurs sont alors calculées; si l'efficacité n'atteint pas le seuil imposé, de nouvelles évacuations ont lieu.

Enfin, on fait subir à la matrice d'état le glissement fractionné vers la droite, pour tenir compte des prestations effectuées pendant la période.

4. Quelques remarques.

a. On peut arrêter en ce point la description du modèle; la détermination des vecteurs d'échange entre situations autres que celles « dotations d'unité » n'offre en effet aucune difficulté. Je signalerai uniquement qu'en ce qui concerne les réparations de 5^e échelon le modèle permet de tester différentes politiques : matériel réparé au fur et à mesure de la mise hors service, ou bien délai d'attente au parc d'évacuation, suite à la capacité limitée de l'atelier ou à la planification des réparations en fonction des besoins futurs.

b. En guise de conclusions, voyons si nous avons atteint nos buts.

(1) L'exemple chiffré de la quatrième partie permettra d'apprécier la sensibilité du modèle d'évolution à différentes politiques. Nous sommes ainsi capables de chiffrer pour le commandement les répercussions, sur la durée de vie des matériels, d'une exigence en efficacité, d'une variation des besoins ou prestations imposés.

(2) Le plan de recueil des informations périodiques a été complété en y incorporant les données relatives d'une part aux délais de réparation de 5^e échelon et d'autre part aux coûts divers. L'étude a ainsi provoqué la mise en service d'un nouveau carnet de réparation pour les véhicules.

(3) Enfin, des études connexes ont été menées, pour notamment mesurer les répercussions d'une modification des critères régissant la détermination des échelons de réparation.

c. Le modèle n'est pas limité aux seuls véhicules.

Il peut s'appliquer à d'autres matériels, mais tous les cas doivent satisfaire aux conditions suivantes :

- grand nombre d'unités, pour qu'un « travail en moyenne » ait une signification;
- possibilité d'une mesure concrète et précise de l'« unité d'œuvre », d'où découle la valeur des informations statistiques.

TROISIEME PARTIE

5. Etude mathématique du processus d'évolution.

a. Expression mathématique.

(1) Dans le processus interne d'évolution décrit au paragraphe 3 b ci-avant, considérons les opérations de détermination de la répartition nouvelle en tranches de prestation et de l'augmentation en âge kilométrique (= vieillissement) des véhicules.

(2) Appelons :

t : la période considérée

$D(t)$: la matrice d'état à la fin de la période t ; c'est aussi l'état initial de la période $t + 1$.

Cette matrice est une matrice $(n + 1, 3)$ dont le terme général est d_{ij} :
 i : indice de colonne variant de 0 à n , et correspondant à $(n + 1)$ tranches de vie d'étendue L ;

j : indice de ligne, variant ici de 1 à 3, et correspondant aux tranches de prestation.

On aura donc
$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^3 d_{ij}(t) = N \text{ pour tout } t,$$

si N est le nombre de véhicules de la situation considérée.

— p_1, p_2, p_3 : les rapports des différentes valeurs moyennes de prestation à l'étendue de la tranche de vie (voir 3.d ci-avant).

Nous fixons $0 \leq p_1, p_2, p_3 \leq 1$ et nous formons la matrice diagonale suivante :

$$P = \begin{bmatrix} p_1 & 0 & 0 \\ 0 & p_2 & 0 \\ 0 & 0 & p_3 \end{bmatrix}$$

— a_1, a_2, a_3 : la répartition marginale en tranches de prestation de l'ensemble des N véhicules pour les rapports p_1, p_2, p_3 définis ci-avant.

Le modèle considère cette répartition comme constante dans le temps (voir 3.d ci-avant).

(a) Nous avons évidemment : $a_1 + a_2 + a_3 = 1$
avec : $0 \leq a_i \leq 1$

(b) Nous considérons la matrice :

$$A = \begin{bmatrix} a_1 & a_1 & a_1 \\ a_2 & a_2 & a_2 \\ a_3 & a_3 & a_3 \end{bmatrix}$$

(c) Au temps 0, la matrice d'état de la situation sera alors :

$$D(0) = N \underbrace{\begin{bmatrix} a_1 & 0 & \dots & 0 \\ a_2 & 0 & \dots & 0 \\ a_3 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}}_{n+1}$$

(3) La détermination de la répartition en tranches de prestation pour la période t se fera en multipliant à gauche la matrice d'état $D(t-1)$ par la matrice de transition B .

B est une matrice de probabilité 3×3 définie comme suit :

$$B = \rho U + (1 - \rho) A,$$

où U est la matrice unité (3×3)

ρ est un coefficient compris entre 0 et 1

A est la matrice d'éléments a_1, a_2, a_3 définie ci-avant.

(4) Le vieillissement des véhicules est provoqué par une matrice de vieillissement unitaire V .

Cette matrice est une matrice $[(n+1) \times (n+1)]$, dans laquelle tous les éléments sont nuls, sauf ceux de la ligne diagonale juste au-dessus de la diagonale principale qui valent 1.

$$V = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & & 0 \\ 0 & 0 & 1 & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & & & 0 & 1 \\ 0 & & & & 0 \end{bmatrix}}_{n+1} \Bigg\} n+1$$

(5) Le processus est représenté par l'équation matricielle suivante :

$$D(t) = [U - P] B D(t-1) + P B D(t-1) V$$

(6) On peut alors calculer la « moyenne » et la « variance » de la répartition marginale en âge pour $D(t)$.

On obtient les relations suivantes :

$$m(t) = t \cdot m \cdot L$$

$$\sigma^2(t) = t \cdot m \cdot L (L - m L) + 2 \rho \left[\frac{t}{1 - \rho} - \frac{1 - \rho^t}{(1 - \rho^2)} \right] s^2 L^2$$

où L = étendue de la tranche de vie

$$m = a_1 p_1 + a_2 p_2 + a_3 p_3$$

$$s^2 = a_1 p_1^2 + a_2 p_2^2 + a_3 p_3^2 - m^2.$$

b. Détermination des paramètres.

(1) Les relations qui précèdent montrent que le processus imaginé engendre un vieillissement du parc, fonction notamment :

- du regroupement en trois blocs de l'histogramme des prestations (voir fig. 4)
- des valeurs admises pour ρ et L .

(2) Chaque système de valeurs des a_i , p_i , ρ et L donneront finalement une évolution caractéristique du parc.

Il importe de choisir l'ensemble de ces valeurs pour lequel l'évolution obtenue concorde au mieux avec la réalité observée.

(3) Or, la réalité observée (voir par. 3.d) nous permet de supposer que la prestation imposée à un véhicule est la somme :

- d'une partie constante, corrélée de trimestre en trimestre
- d'une partie aléatoire, due à des perturbations indépendantes entre elles.

Sous ces hypothèses, le vieillissement en âge kilométrique du parc peut être représenté par un modèle probabiliste dont l'étude élémentaire est donnée en annexe et qui conduit à des formes analogues pour la moyenne et la variance pour tout t .

(4) Nous admettrons que les valeurs optimales à donner aux paramètres sont celles qui donnent au vieillissement fourni par le modèle une moyenne et une variance égales à celles engendrées par le processus de l'annexe.

(5) Les valeurs sont alors déterminées par les relations suivantes :

$$m_x = m \cdot L \quad (1)$$

$$\sigma_x^2 = m \cdot L (L - m \cdot L) \quad (2)$$

$$r = \rho \quad (3)$$

$$\sigma_w^2 = \rho^2 \cdot L^2 \quad (4)$$

(a) m_x , σ_x^2 , σ_w^2 et r sont les valeurs fournies par les données statistiques.

(b) (3) donne ρ . C'est le coefficient de corrélation observé.

(c) Par élimination de m entre (1) et (2), on trouve la valeur à adopter pour L , étendue de la tranche de vie.

(d) Si l'on se fixe p_1 , p_2 et p_3 , on peut calculer a_1 , a_2 et a_3 par résolution du système des trois équations linéaires suivantes :

$$m = \frac{m_x}{L} \quad \text{ou} \quad a_1 p_1 + a_2 p_2 + a_3 p_3 = \frac{m_x}{L}$$

$$s_w^2 = s^2 L^2 \quad \text{ou} \quad a_1 p_1^2 + a_2 p_2^2 + a_3 p_3^2 = \frac{\sigma_w^2 + m_x^2}{L^2}$$

$$a_1 + a_2 + a_3 = 1$$

c. Application au cas des jeeps.

(1) Dans le cas des jeeps banalisées, par exemple, les valeurs suivantes ont été observées pour les véhicules des situations R (1500 unités) et Q (900 unités) de la figure 1 :

		Situation R	Situation Q	Unités de mesure
Moyenne semestrielle	m_s	3,72	4,20	10^3 KM
Variance trimestrielle	σ_T^2	2,4	3,1	10^6 KM ²
Variance semestrielle	σ_S^2	7,6	9,4	10^6 KM ²
Variance annuelle	σ_A^2	25	29,9	10^6 KM ²

Au vu de ces chiffres, on remarque qu'il existe certainement une corrélation entre les prestations des périodes successives.

(2) Par application du modèle de l'annexe aux valeurs observées, et en prenant le semestre comme période de base, on obtient les valeurs suivantes :

Symboles	Situation R	Situation Q	Unités de mesure
r	0,76	0,74	—
σ_x^2	7,6	9,4	10^6 KM^2
σ_w^2	6,5	7,5	10^6 KM^2
σ_e^2	1,1	1,9	10^6 KM^2

(3) En résolvant, sur la base de ces dernières valeurs, le système d'équation du par. 5.b (5) et en se fixant $p_1 = 0,1$; $p_2 = 0,75$; $p_3 = 1$; on obtient :

	LKM	ρ	a_1	a_2	a_3
Situation Q	6500	0,74	0,37	0,10	0,53
Situation R	6500	0,76	0,39	0,3	0,31

QUATRIEME PARTIE

6. Application du modèle au parc des jeeps.

a. But.

Dans une première application, on désire mettre en évidence les répercussions de différentes politiques *d'emploi* sur l'évolution du parc des jeeps, sans tenir compte ni des politiques de réparations, ni du renouvellement du parc par un matériel nouveau.

b. Simplification.

(1) Coûts :

Les coûts n'ont pas été introduits, car :

- ils ne sont pas encore tous connus (ils le seront mieux dès que les carnets de réparation seront exploités);
- la capacité de l'ordinateur disponible ne permettait pas de les introduire.

(2) Situations :

Le nombre de situations a été réduit à cinq : les situations « Dotation » R, Q et M, une situation « Parc » et une situation « Réparations ».

En effet, compte tenu du but de l'application :

- (a) les stocks du dépôt de base et du dépôt avancé pouvaient être regroupés. La cadence de réapprovisionnement du dépôt avancé est, en effet, bien inférieure à la durée de la période unitaire du modèle (6 mois);
- (b) toutes les situations de matériels non en état ou en réparation pouvaient également être fusionnées, sous la condition d'admettre que les matériels non en état étaient réparés au fur et à mesure de leur mise hors service (délai de réparation : loi exponentielle de moyenne 6 mois).

(3) *Renouvellement* :

Il n'y a pas de renouvellement de matériels. On ne tient pas compte des besoins d'une réserve de guerre et du fait de la réforme de matériel, un déficit s'établira après un certain temps.

(4) *Priorité* :

Un ordre de priorité a été imposé tant en ce qui concerne la quantité que la qualité du matériel approvisionné.

Cet ordre est le suivant : Situation R, situation Q et, en dernier lieu, situation M.

c. *Cas envisagés.*

- (1) Trois politiques ont été simulées.

Elles se différencient par la disponibilité ou efficacité (voir 3.f) du matériel, exigée dans les trois situations de dotation.

Les valeurs minima de E seront :

	Situation R	Situation Q	Situation M
1 ^{re} simulation	0,86	0,83	0,77
2 ^{me} simulation	0,875	0,86	0,86
3 ^{me} simulation	MAX	MAX	—

- (2) L'état du parc au début de la simulation est celui du 1^{er} janvier 1964 (4.920 véhicules en tout).

Les quantités en dotation ont été maintenues constantes et égales aux quantités prévues au 1^{er} janvier 1964

soit 1500 pour la situation R
 700 pour la situation Q
 1780 pour la situation M.

(3) Quand la disponibilité imposée n'est plus atteinte dans la situation M, on fait l'échange avec le stock, si ce dernier existe.

Tableau 2
 APPLICATION AU PARC DE JEEPS
 COMPARAISON DES RESULTATS

	Valeurs des disponibilités exigées suivant le cas		
	0,86/0,83/0,77	0,875/0,86/0,86	Max/Max/—
Dispersion finale en tranches de vie	élevée	moyenne	faible
Echanges totaux pendant l'année 10	très faibles 90	moyens 225	très élevés 430
Quantités en réparation à l'âge 10	260	220	240
Epuisement du stock à	9,3 ans	11,5 ans	12,3 ans
Remplacement futur du parc	étalé	délai de 4 à 5 ans	délai très restreint 2 à 3 ans
<i>Disponibilité</i> — apparciation d'ensemble — maintien des taux 0,875/0,86/0,86 pendant	faible —	moyenne 10,5 ans	très élevée au début 8 ans

(4) Tout matériel atteignant 200.000 km est réformé.

d. *Analyse des résultats.*

(1) *Evolution de l'âge des matériels.*

Les graphiques aux figures 8 donnent la répartition en âge du matériel à différentes époques et pour les trois situations.

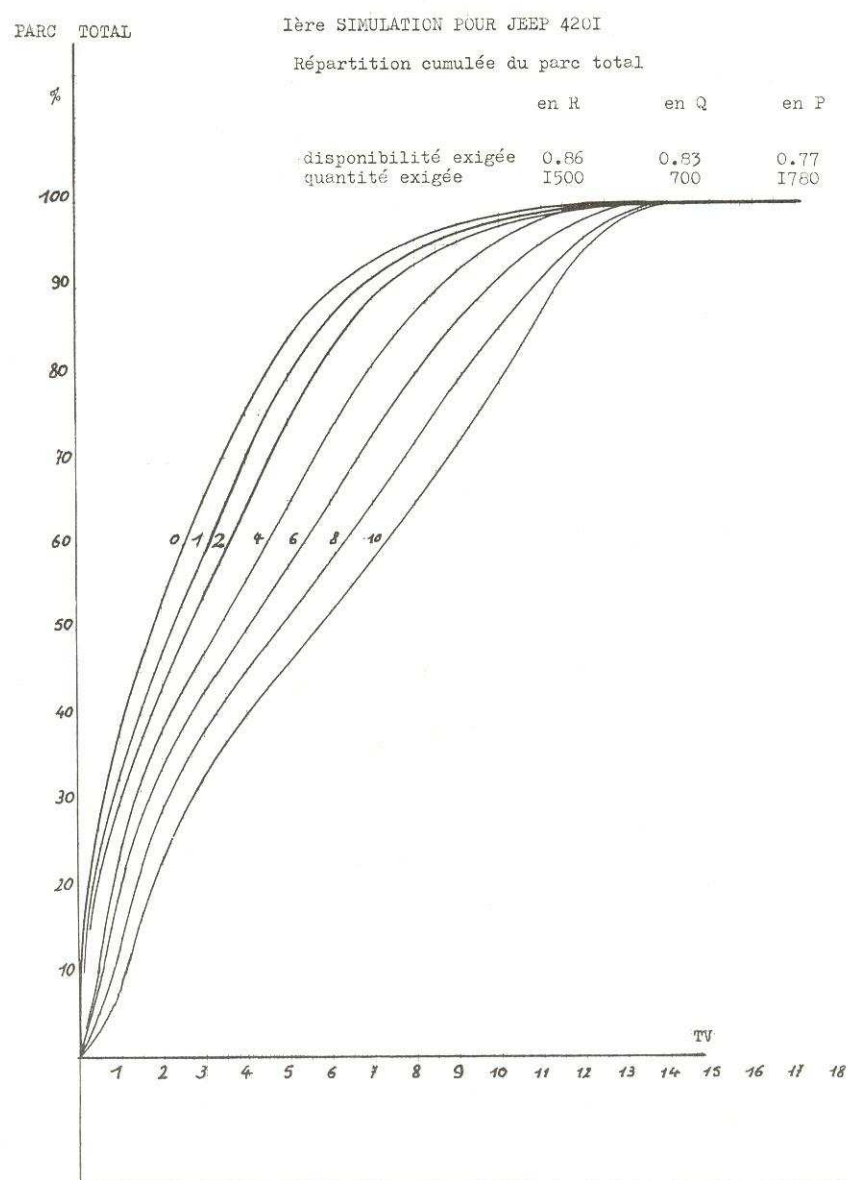


Fig. 8 a.

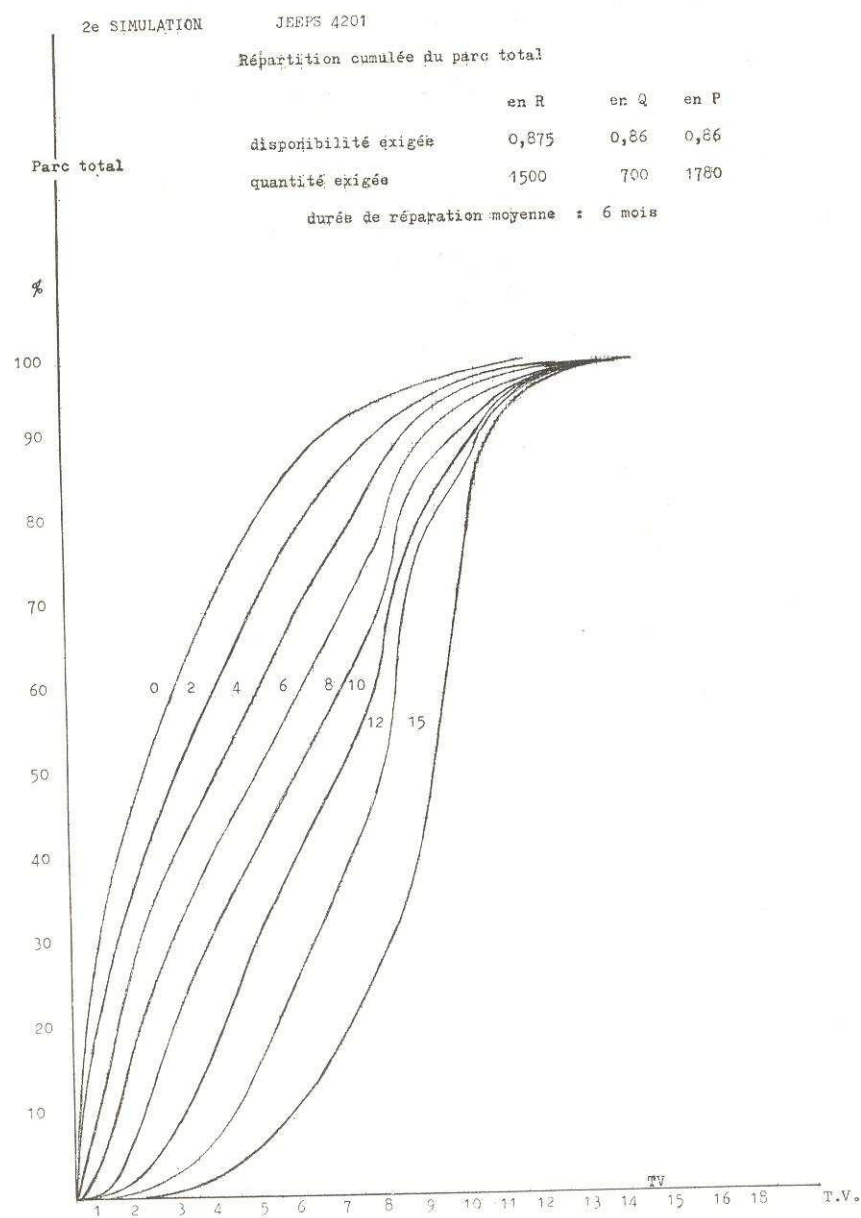


Fig. 8 b.

Les courbes sont numérotées d'après le nombre d'années écoulées depuis le 1^{er} janvier 1964.

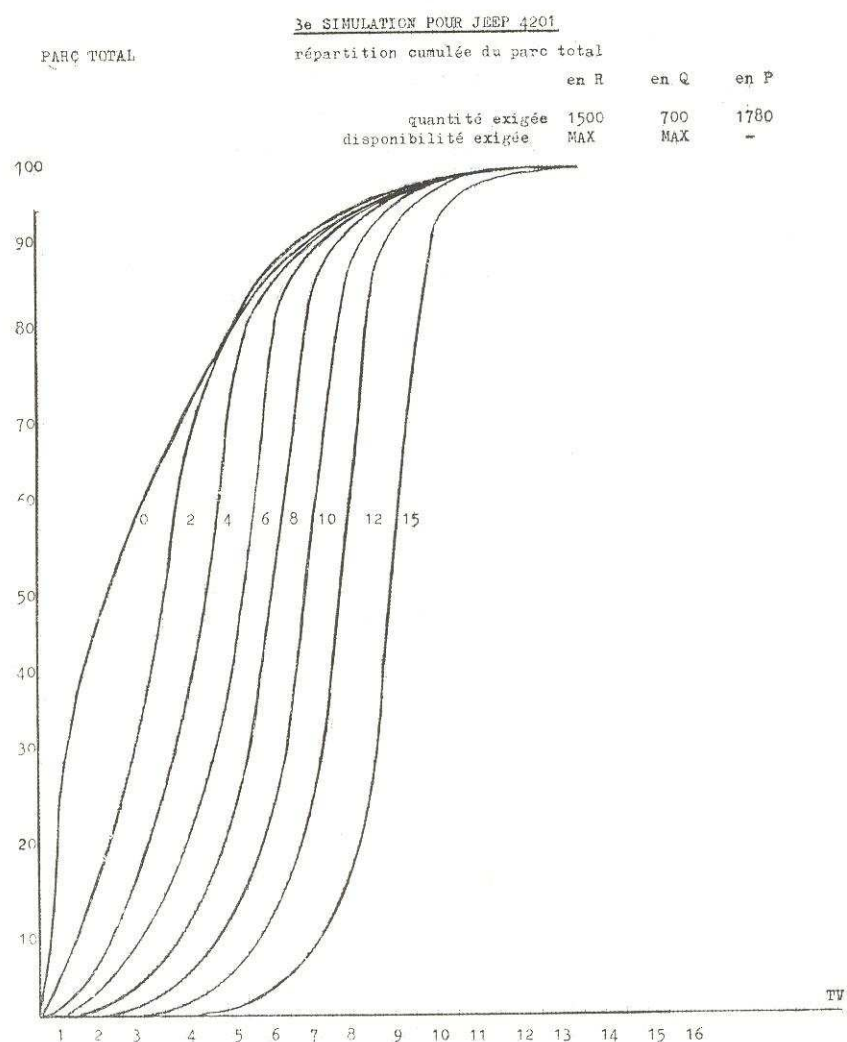


Fig. 8 c.

On remarque la différence des pentes des courbes qui donne une idée de la dispersion des âges :

— grande dispersion pour la 1^{re} simulation

- dispersion moyenne pour la 2^{me} simulation
- faible dispersion pour la 3^{me} simulation.

(2) *Tableau comparatif des résultats* (tableau 2).

Ce tableau reprend les résultats les plus marquants des trois simulations.

(a) *Echanges.*

Quantité de matériels échangés par an entre les forces et les noyaux mobilisateurs.

(b) *Déclassement.*

Quantité de matériels réformés depuis le 1^{er} janvier 1964.

(c) *Réparation.*

Quantité de matériels en réparation après dix ans.

(d) *Stock nul.*

L'instant auquel on peut s'attendre à n'avoir plus de matériels en état au stock.

(e) *Disponibilité.*

- Evaluation de la disponibilité de matériel au sein des forces.
- Durée pendant laquelle la disponibilité 0,875; 0,86; 0,86 peut être maintenue.

(f) *Remplacement.*

Evaluation de la durée *minimum* de remplacement du parc de jeeps par un parc *neuf*.

7. Conclusions de l'application du modèle au parc des jeeps.

Les trois simulations englobent un éventail assez large de politiques concernant l'emploi des jeeps et leurs rotations intercommandement.

a. *La première politique* n'assure qu'une faible disponibilité du matériel. De plus, du fait de l'emploi prolongé de matériels âgés, la décroissance du parc total est la plus forte. Cette politique d'emploi peut être envisagée sous deux conditions :

- (i) une disponibilité moyenne aussi basse du matériel en *service* suffit au commandement;
- (ii) le remplacement futur du matériel peut se faire d'une façon presque continue.

Analysons de plus près cette seconde condition. Après neuf ans, on décide d'acheter annuellement une certaine quantité de jeeps et ceci pendant une période très longue qui couvre environ la durée de vie du matériel. C'est une politique d'achat continu.

A première vue, ce système a des avantages budgétaires et opérationnels. En effet, chaque année il y aura une imputation peu variable au budget pour l'achat de ces jeeps et l'on parviendra facilement à assurer la disponibilité exigée du matériel dans chaque situation, d'une façon constante. Cette politique permet d'éviter des bonds importants tant dans le budget que dans le niveau opérationnel, sans beaucoup d'effort de planification.

Il existe pourtant des inconvénients, le principal étant que le hasard de résultats d'adjudications annuelles peut éventuellement engendrer une hétérogénéité dans la composition du parc.

b. *La deuxième politique* a pour résultat élégant que le moment où le stock s'annule suit de peu le moment où les exigences supposées du commandement ne peuvent plus être respectées.

Comme on ne peut prendre le risque de se retrouver sans stock, on voit que les premiers matériels de remplacement doivent être livrés à dix ans.

Ce remplacement s'effectuera pendant une période de quatre à cinq ans. Les unités seront dotées de ce matériel nouveau dans l'ordre de leur importance opérationnelle. La réforme définitive du matériel ancien pourrait être effectuée cinq ans après le premier achat de matériel nouveau. On aura toutefois soin de laisser en service, dans des unités ayant des prestations importantes en kilomètres mais banales du point de vue opérationnel, les matériels du type ancien mais encore jeunes en tranches de vie.

Soit un schéma de remplacement :

- d'abord certaines unités de grande importance opérationnelle;
- puis les noyaux mobilisateurs pour permettre de reformer les matériels âgés;
- enfin les dernières unités à forte utilisation;
- et simultanément la remise au niveau haut du stock.

La planification devant intervenir dans ce processus sera importante. L'à-coup budgétaire pour l'achat des jeeps le sera également. L'influence de cet à-coup peut être limitée par une planification du renouvellement de tout le matériel en faisant se succéder des « années grasses » en jeeps et en camions, par exemple, par des années de renouvellement d'avions ou d'engins balis-

tiques. Il faut donc faire des prévisions d'imputation budgétaire à moyen terme pour essayer d'égaliser l'ensemble des dépenses extraordinaires.

La valeur opérationnelle et la quantité totale de matériels dans l'ensemble du parc des matériels d'un certain type varieront au cours de la vie du parc.

c. *La troisième politique* conduit à une solution extrême. On désire doter dès maintenant les unités d'active du meilleur matériel disponible. Ceci a pour résultat qu'après huit ans la disponibilité du matériel au sein de celles-ci passe en dessous de la limite admise dans la deuxième simulation, là où cette même limite était respectée jusqu'à dix ans et demi.

Par contre, il y a un léger avantage en ce qui concerne la décroissance du parc.

Si l'on décide de ne pas s'alarmer de ce manque de disponibilité en fin de vie, on peut encore attendre quatre ans avant de renouveler le matériel, mais alors sur une période très courte (deux-trois ans).

Les directives concernant les échanges de matériels seront très strictes et on verra passer une même jeep successivement et assez fréquemment des noyaux mobilisateurs aux forces d'active et vice versa, d'où un grand effort administratif à fournir et de grandes quantités de matériels échangés.

Quelle que soit la politique de renouvellement adoptée dans ce cas, les remarques concernant le budget, faites pour la deuxième simulation, restent valables et seront encore amplifiées.

d. *En conclusion*, les politiques d'emploi définies ci-dessus conduisent à des politiques économiques de renouvellement du matériel. Ces politiques de renouvellement sont, nous allons le voir, liées à la durée d'utilisation du matériel :

- (1) s'il s'agit d'un matériel peu sensible au progrès technologique — c'est-à-dire dont on prévoit l'emploi pour un délai assez long — la politique 1 est à suivre :
 - elle permet une planification simple des dépenses de renouvellement et les maintient à un niveau sensiblement constant
 - elle engendre un minimum d'échanges, c'est-à-dire de mouvements administratifs
 - à la longue, elle maintiendra à un niveau constant la disponibilité globale du parc;
- (2) s'il s'agit au contraire d'un matériel sujet au vieillissement — dont la durée d'utilisation est limitée — la politique 3 est préférable.

Elle a rendu le service le meilleur sur un temps très court — ici jusqu'à huit ans — tout en vieillissant le parc d'une façon harmonieuse.

Ou exprimé autrement : si l'on est décidé à remplacer le parc dans huit ans ou moins, il faut employer la politique 3.

- (3) si l'on est disposé à remplacer le parc le plus tard possible, sans trop s'en faire de la valeur opérationnelle du matériel pendant les dernières années d'emploi, c'est encore la politique 3 qui doit être choisie. En effet, ce n'est qu'à partir de l'an 12 qu'il y a un déficit;
- (4) par contre, si l'on a pour objectif de remplacer le parc le plus tard possible, mais si l'on veut éviter, dans les dernières années, une valeur opérationnelle trop basse, c'est à la politique 2 qu'on aura recours. Dans ce cas, le remplacement s'effectue sur une période plus étendue et les mutations seront moins nombreuses que pour la politique 3.

ANNEXE

ETABLISSEMENT D'UN MODELE PROBABILISTE DES PRESTATIONS

1. Soit X_i la variable aléatoire représentant la prestation des véhicules pendant la i ème période.
 Z la variable aléatoire représentant la prestation des véhicules pendant t périodes consécutives.

On admet que les X_i suivent une même loi pour tout i , de densité de probabilité $f(x)$.

On peut écrire
$$Z = \sum_{i=1}^t X_i.$$

2. Posons $X_i = W_i + \varepsilon_i$

où W_i et ε_i sont des variables aléatoires indépendantes

- ε_i est la variation de prestation due à des causes propres à la i ème période uniquement (immobilisation, prestations exceptionnelles); les ε_i et ε_j sont donc supposées indépendantes

- W_i est la partie permanente des prestations, c'est-à-dire corrélée de trimestre en trimestre, correspondant à la mission propre du véhicule

avec $E(\varepsilon_i) = 0$ (E = espérance mathématique)

$E(W_i) = E(X_i)$ (moyenne des prestations trimestrielles).

3. Supposons que les prestations constituent un processus markovien, c'est-à-dire que la prestation d'une période ne dépend en probabilité *que* de la prestation de la période précédente.

On peut alors écrire :

$$W_i = r W_{i-1} + W_i'$$

où W_i' est une séquence de variables indépendantes

r est le coefficient de corrélation entre W_{i-1} et W_i .

De plus, il faut que la distribution des prestations soit constante quelle que soit la période considérée :

$$m_x = E(W_i) = r E(W_{i-1}) + E(W_i')$$

$$\text{et donc } E(W_i') = (1 - r) m_x$$

$$\sigma^2(W_i) = r^2 \sigma^2(W_{i-1}) + \sigma^2(W_i') = \sigma^2_w$$

$$\text{et donc } \sigma^2(W_i') = (1 - r^2) \sigma^2_w$$

et

$$\begin{aligned} E[W_i(W_{i-1} - m_x)] &= r E[(W_{i-1} - m_x) W_{i-1}] + E[(W_{i-1} - m_x) W_i'] \\ &= r \sigma^2_w + 0 \end{aligned}$$

où la covariance de $(W_i, W_{i-1}) = r \sigma^2_w$

$$\text{covar}(W_i, W_{i-1}) = r \sigma^2_w$$

4. Puisque l'on a posé $Z = \sum_{i=1}^t X_i$, on a :

$$E(Z) = t m_x$$

$$\sigma^2_Z = t \sigma^2_w + 2 \sum_{j=1}^{t-1} (t-j) r^j \sigma^2_w + t \sigma^2_\varepsilon$$

$$= \sigma^2_w \frac{t(1-r^2) - 2r(1-r^t)}{(1-r^2)} + t \sigma^2_\varepsilon$$

$$\sigma^2_Z = t \sigma^2_x + 2r \left[\frac{t}{1-r} - \frac{1-r^t}{(1-r)^2} \right] \sigma^2_w$$

$$\text{car } \sigma^2_x = \sigma^2_w + \sigma^2_\varepsilon$$