

ETUDE D'UN SYSTEME D'APPROVISIONNEMENT A PLUSIEURS ECHELONS

par Guy LOBET

Centre de Recherches pour la Défense.

SOMMAIRE

Cet article concerne l'approvisionnement d'un article à péremption — les piles sèches — dans un système existant, à plusieurs échelons. On se base soit sur un critère économique, soit sur un critère de qualité.

On détermine ensuite une politique de commande pour les piles fraîches et on tente d'améliorer les prévisions de consommation.

1. INTRODUCTION — BUTS DE L'ETUDE

S'il est en général souhaitable d'uniformiser les procédures pour la gestion des stocks au sein d'une même entreprise, il est aussi parfois nécessaire de considérer des cas particuliers et de les traiter comme tels.

C'est ainsi que parmi les articles gérés par la chaîne logistique des Troupes de Transmission, il nous a paru nécessaire d'étudier à part les piles sèches, et ce pour les raisons suivantes :

1) Elles représentent, pour un petit nombre d'articles — une cinquantaine — une part importante des achats annuels, le tiers environ.

2) Leur comportement est différent de celui de la plupart des autres articles : le stockage leur fait perdre une partie de leur capacité, ce qui entraîne une consommation qui s'ajoute à celle résultant des besoins normaux des clients. Cette perte est malaisée à chiffrer : on ne peut la sortir entièrement de la comptabilité. Elle ne se manifeste concrètement que de façon partielle : par les déclassements suite aux tests.

L'estimation complète n'est possible que par la connaissance de la diminution de la capacité en fonction du temps et des conditions de stockage.

3) Les endroits de stockage sont différents : la nécessité de réduire autant que possible les pertes de capacité entraîne, quand c'est possible, l'usage de frigos pour la conservation des piles.

4) Enfin le système d'approvisionnement est aussi différent : ceci est dû à la nécessité de renouveler périodiquement les stocks de réserve détenu dans certains dépôts.

Le but de cette étude est triple :

1) Faire l'étude du système d'approvisionnement, en se référant soit à un critère économique, soit à un critère de qualité (l'âge des piles dans les stocks de réserve).

2) Déterminer une ou plusieurs politiques économiques de commande des piles. L'étude envisage aussi les moyens propres à réduire les fluctuations de consommation qui sont dues à autre chose que les variations dans l'intensité d'emploi des appareils par l'utilisateur. Il en résulterait une meilleure prévision des consommations.

3) Faire des propositions quant au recueil de données sur les piles de façon à mieux connaître leur comportement en stockage, en frigo ou en entrepôt normal.

D'autres propositions seront également faites concernant les tests de déclassement des piles vieilles et la prévision des consommations.

2. GENERALITES SUR LES PILES SECHES

21. Influence de la température.

L'énergie électrique fournie par une pile est produite par des réactions chimiques qui sont activées ou ralenties suivant que la température à laquelle elles se produisent est augmentée ou diminuée. C'est pourquoi on essaie, afin de réduire les pertes de capacités, d'entreposer les piles dans des frigos dont la température est maintenue à une valeur comprise entre -12°C et $+1,5^{\circ}\text{C}$.

L'influence de la réfrigération n'est pas la même sur les différents types de piles. Des essais ont montré que si certains types de piles doivent absolument être réfrigérés, d'autres pourraient être stockés « hors du frigo » sans grand inconvénient.

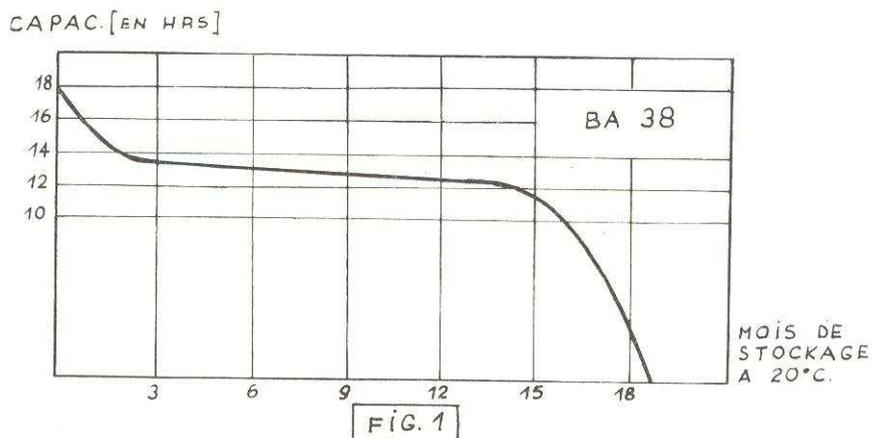
N. B. On appellera « stockage de circonstance » l'entreposage sans frigo.

22. Capacité.

221. Définition

On appelle capacité d'une pile le *temps* qu'elle met à se décharger suivant un *processus donné* (c'est-à-dire un timing de décharge sur une ou plusieurs résistances) jusqu'à une tension donnée appelée *tension d'arrêt*.

222. Représentation graphique



L'allure de la capacité d'une pile en fonction de son âge T est celle de la figure 1. (Il s'agit de la pile BA 38, stockée à 20° C). On constate une chute rapide, mais peu importante de capacité dès le début de la vie de la pile. Ensuite la diminution de capacité est sensiblement linéaire. En fin de vie, la capacité tombe rapidement à zéro. Nous appellerons longueur de vie de la pile la valeur correspondante de T et nous la noterons T_{max} .

223. « Shelf life expiration » :

La « Shelf Life Expiration » (S.L.E.) est la date avant laquelle il n'est pas nécessaire de tester les piles avant de les mettre en consommation (*).

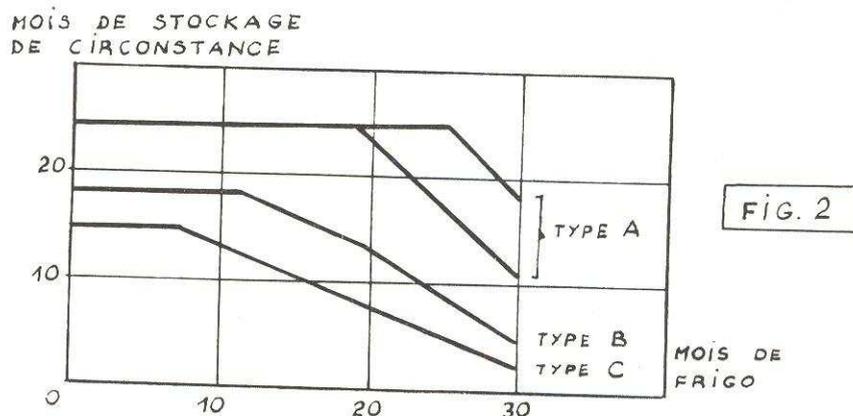
Les différentes piles à gérer se ramènent, du point de vue S.L.E. à trois types A, B, C.

(*) C'est un concept de l'armée américaine. En fait, à l'armée belge, les piles subissent divers tests avant cette date.

Le graphique de la figure 2 caractérise ces trois types.

Il donne la période de stockage de circonstance, après sortie du frigo, avant la fin de laquelle aucun test n'est nécessaire.

La S. L. E. est la somme de ces deux périodes.



224. Utilisation pour la longueur de vie des piles :

Si la S. L. E. caractérise la plus ou moins grande sensibilité des piles au stockage, elle doit aussi être en rapport avec la longueur de vie des différents types de piles. Faute de renseignements plus précis concernant cette longueur de vie, nous admettrons que la S. L. E. est la date à laquelle la capacité de la pile commence à diminuer très vite vers la fin de sa vie (voir 222). La S. L. E. nous semble en effet constituer une limite courte de cette date.

3. ETUDE DU SYSTEME D'APPROVISIONNEMENT

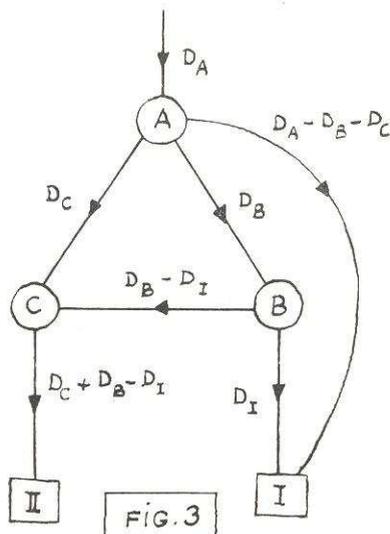
31. Introduction.

Nous allons étudier le système d'approvisionnement tel qu'il existe réellement, en examinant les variations de la consommation totale en piles quand on fait varier le temps de passage dans un des stocks de réserve. Nous montrerons qu'on peut trouver ainsi un minimum pour la consommation.

Nous envisagerons différents modèles possibles pour le système. Pour chacun d'eux nous ferons l'étude de la consommation et de la capacité moyenne gardée dans les stocks de réserve, c'est-à-dire que nous nous proposons de juger suivant l'un des deux critères suivants : la consommation ou la qualité.

32. Description du système.

Un dépôt de base A reçoit les piles fraîches et les distribue directement aux dépôts B et C et aux clients I, après les avoir stockées pendant un temps T_A nécessaire pour maintenir à hauteur un stock de réserve de S_A piles.



Le rôle du dépôt B est uniquement de conserver un stock de réserve de S_B piles, nécessaire pour faire face à une situation d'exception. Ce stock est renouvelé périodiquement, par parties, de sorte que les piles passent là un temps T_B , avant d'être renvoyées en A pour être redistribuées immédiatement à C et I. Nous avons donc le schéma de distribution de la figure 3.

Le dépôt doit également maintenir un stock de réserve de S_C piles qui restent donc là pendant un temps T_C avant d'être distribuées aux clients II.

Les dépôts A et C disposent de frigos pour entreposer leurs piles.

Les consommations D , avec l'indice convenable, sont exprimées en nombre de piles par unité de temps. Les demandes des clients I et II sont des C_I et C_{II} en *capacité* par unité de temps.

33. Etude de la consommation.

331. Hypothèses

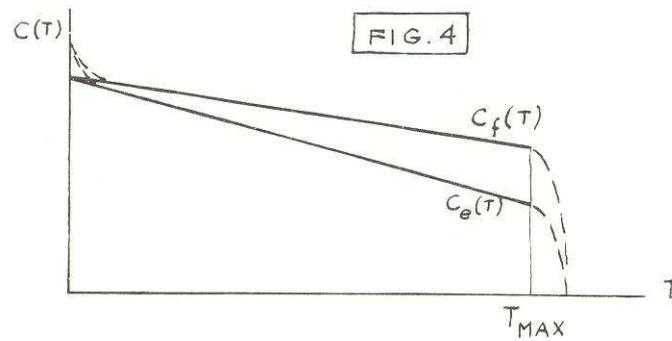
1) Les piles sont fournies de façon continue au système et les échanges à l'intérieur du système se font également en continu.

2) Les déclassements de piles sont négligés.

3) Voir (332).

332. *Choix d'une fonction pour représenter la capacité :*

Etant donné la longue partie linéaire décroissante de la courbe de capacité (voir 222), nous allons, pour simplifier, remplacer la courbe par une droite. Nous aurons donc (fig. 4) :



$$C_f(T) = C_f(0) - aT$$

$$C_e(T) = C_e(0) - bT$$

a et b étant la diminution de capacité par unité de temps, en frigo et à l'extérieur du frigo, avec :

$$b > a > 0$$

Nous admettrons que $C_f(0) = C_e(0) = C$. On peut alors ramener ces deux fonctions à une seule :

$$C(T) = C - aT_f - bT_e = C_f(T_f + bT_e/a)$$

Si T_f et T_e sont les temps totaux passés dans le frigo et à l'extérieur du frigo, et $T = T_f + T_e$.

La fonction $C(T)$ n'est évidemment valable que pour $T < T_{Lim}$, tel que $C(T_{Lim}) = 0$.

333. *Equations de fonctionnement*

3331. *Equation de consommation*

D étant la consommation en piles par unité de temps, on aura la consommation en capacité par unité de temps en faisant le produit de D par la capacité des piles au temps T .

Ainsi, pour des piles ayant passé T_f en frigo et T_e à l'extérieur, on aura :

$$D \cdot C_f (T_f + b T_e/a)$$

3332. Equation des stocks de réserve

Soit S le nombre de piles que doit contenir la réserve. Si on suppose que l'on sort du stock les piles les plus vieilles pour la consommation, chaque pile doit passer en dépôt un temps T tel que :

$$D \cdot T = S$$

D étant le nombre de piles entrant dans le dépôt par unité de temps.

3333. Equation de conservation des flots

En chaque nœud du système, il faut exprimer que, par unité de temps, ce qui entre est égal à ce qui sort.

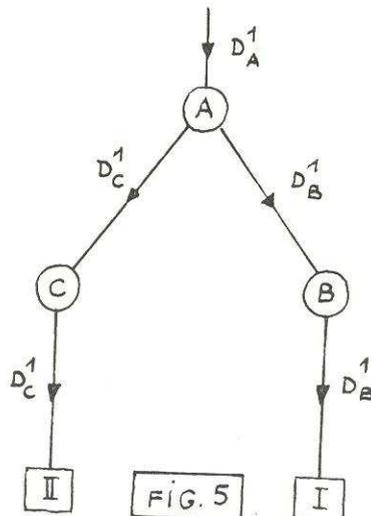
334. Etude des différents modèles

Cette étude va être conduite en prenant comme paramètre T_B , le temps de passage dans le dépôt B. Ce T_B a une grande influence sur le fonctionnement du système. C'est lui qui conditionne, par exemple, l'existence ou l'absence des arcs BC, AI et même AC (fig. 3).

Nous allons montrer qu'en le choisissant convenablement, on peut minimiser D_A .

Remarque : nous caractérisons les D et les T des différents modèles par un indice supérieur (de 1 à 5).

3341. Modèle N° 1



Ce modèle correspond à un T_B^1 tel que la « consommation » du dépôt B est exactement égale à celle des clients I, pourvu qu'on l'exprime en nombre de piles.

Les équations de fonctionnement sont :

$$\begin{aligned} D_A &= D_B + D_C \\ C_I &= D_B C_I (T_A + b T_B / c) \\ C_{II} &= D_C C_I (T_A + T_C) \\ S_A &= D_A \cdot T_A \\ S_B &= D_B \cdot T_B \\ S_C &= D_C \cdot T_C \end{aligned}$$

On en tire que :

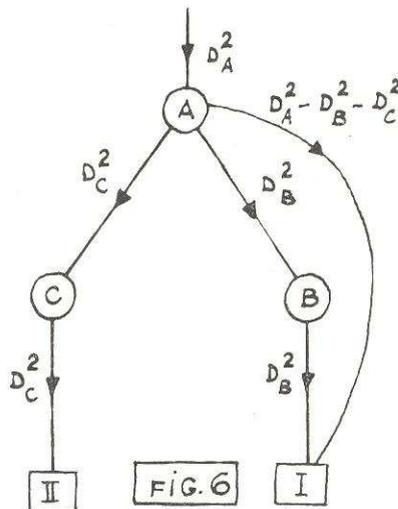
$$D_A^1 = \frac{1}{C} (C_I + C_{II} + a S_A + b S_B + a S_C)$$

Nous désignerons cette quantité par K , sans indices.

Cette formule exprime que, par unité de temps, la quantité de piles neuves à livrer par le fournisseur est égale à la consommation en capacité des clients, plus les pertes de capacité par passage dans les stocks de réserve.

Donc en l'absence d'autres pertes que celles mentionnées ci-dessus, la consommation du système restera la même.

3342. Modèle N° 2



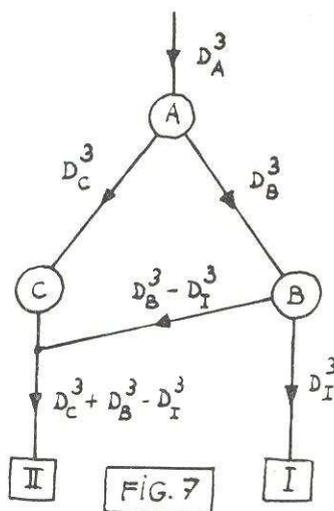
T_B^2 est supérieur à T_B^1 , c'est-à-dire que la « consommation » du dépôt B est inférieure à celle des clients I. Ceux-ci reçoivent donc des piles venant directement du dépôt A.

Suivant ce qui a été dit à la fin du paragraphe précédent, on aura ici aussi :

$$D_A^2 = K$$

Les valeurs possibles de T_B^2 seront limitées vers le haut par la longueur de vie des piles.

3343. Modèle N° 3



La « consommation » du dépôt B est supérieure à celle des clients I. On a donc $T_B^3 < T_B^1$. Une partie des piles sortant de B est alors destinée directement aux clients II, sans passer par le dépôt C; ceci pour éviter un trop grand vieillissement.

Ici encore, la remarque du 3341 est valable, pourvu que T_B^3 reste supérieur à un certain $T_{B \text{ Min}}^3$. Ce T_B^3 est tel que $D_B - D_I$ suffit à la consommation des clients II.

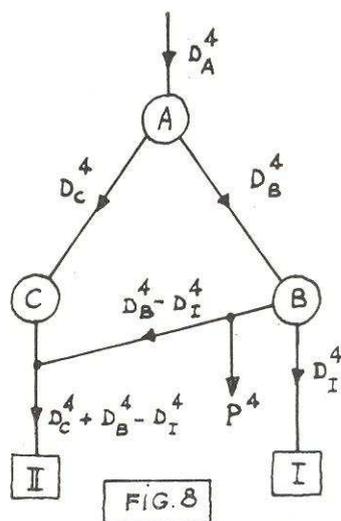
D_C est alors nul et il n'est plus possible d'avoir un stock de réserve en C.

Donc pour $T_{B \text{ Min}}^3 < T_B^3 \leq T_B^2$:

$$D_A^3 = K$$

On peut cependant souhaiter avoir des $T_B < T_{B \text{ Min}}^3$. Il faut alors élaborer d'autres modèles. Nous en envisagerons deux dans les paragraphes suivants.

3344. Modèle N° 4



Ce modèle est analogue au modèle N° 3, mais on impose un temps de passage maximum en C : (T_C ne peut ainsi devenir infini, comme dans le modèle 3, quand T_B^3 tend vers $T_{B \text{ Min}}^3$).

La consommation du système sera :

$$D_A^4 = K$$

tant que T_B reste supérieur à un certain $T_{B \text{ Min}}^4 > T_{B \text{ Min}}^3$.

Pour les valeurs inférieures de T_B , $D_B - D_I$ devient trop grand, II reçoit trop de piles. Cet excès de piles vaut, par unité de temps,

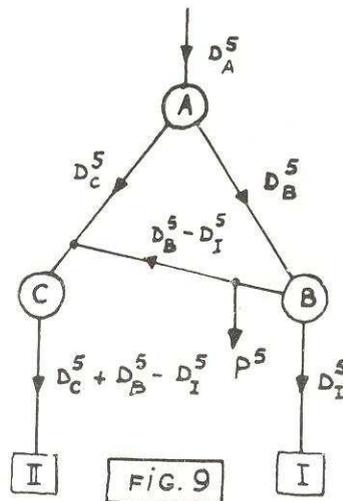
$$P^4 = S_B \left(\frac{1}{T_B^4} - \frac{1}{T_{B \text{ Min}}^4} \right)$$

et donc : $D_A^4 = K + P^4$.

$T_{B \text{ Min}}^4$ dépend du $T_{C \text{ Max}}^4$ fixé. Quand $T_{C \text{ Max}}^4$ augmente, $T_{B \text{ Min}}^4$ diminue, et P^4 augmente assez fort.

En conclusion, il est possible d'envisager des valeurs plus faibles de T_B , au prix d'un excès de consommation P^4 .

3345. Modèle N° 5



Nous imposons maintenant à $D_B - D_I$ de passer par le dépôt C.

Tant que T_B reste supérieur à un certain $T_{B \text{ Min}}^5$, nous avons :

$$D_A^5 = K$$

Pour des valeurs inférieures de T_B :

$$D_A^5 = K + P^5$$

avec

$$P^5 = S_B \left(\frac{1}{T_B} - \frac{1}{T_{B \text{ Min}}^5} \right)$$

Et on peut montrer que :

$$T_{B \text{ Min}}^5 = T_{B \text{ Min}}^3 < T_{B \text{ Min}}^4$$

Dans ce modèle également nous pouvons considérer des valeurs plus faibles de T_B , mais au prix d'une consommation supplémentaire P^5 , et d'une qualité moindre du stock de réserve du dépôt C, ainsi que le montre le calcul de la capacité moyenne stockée.

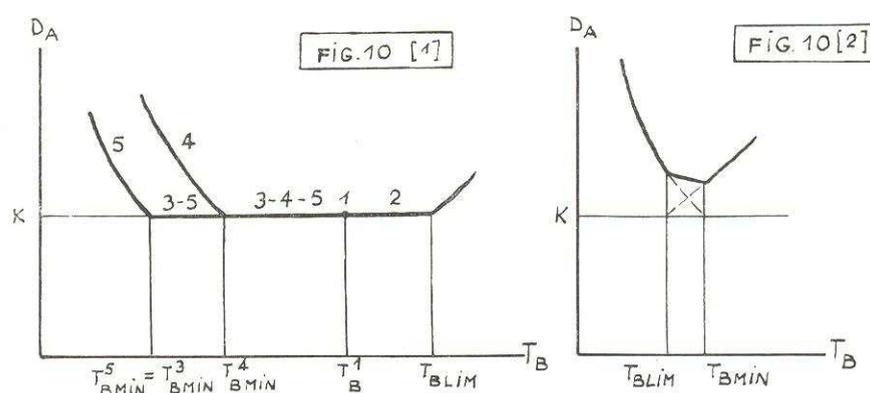
335. Limite supérieure de T_B

Revenons à la courbe qui donne la capacité d'une pile en fonction du temps (voir 222). Nous avons vu qu'au-delà d'une certaine valeur T_{Max} la

capacité tombe brusquement à zéro. Il doit donc exister un $T_{B \text{ MIN}}$ au-delà duquel la consommation D_A va augmenter d'une façon appréciable.

Comme nous l'avons vu au paragraphe 224, ce $T_{B \text{ LIM}}$ pourra être déterminé à partir de T_A , sur le graphique de la S. L.E. (fig. 2).

336. Représentation graphique



La fig. 10 donne l'allure de la consommation en fonction de T_B , pour les différents modèles envisagés.

Remarques :

1) La plage des valeurs de T_B pour lesquelles D_A est minimum va dépendre :

- pour sa limite inférieure : des caractéristiques du système (C_I , C_{II} , S_A , S_B , S_C) et de la pile (a , b)
- pour sa limite supérieure ($T_{B \text{ LIM}}$) de la longueur de vie de la pile.

Le cas de la figure 10 [2] peut donc se présenter.

2) Enfin, si nous tenons compte des déclassements, la courbe de la figure 10 [1] doit être modifiée suivant le tracé en traits interrompus; ce tracé est difficile à déterminer exactement. Mais seule son allure ascendante est à retenir.

337. Capacité des piles des dépôts B et C

Pour pouvoir choisir entre les modèles 4 et 5, il faut passer par l'étude de la capacité moyenne par pile stockée dans les dépôts B et C.

Cette capacité moyenne par pile s'obtient en exprimant que toute pile de ces stocks a une capacité qui correspond à un temps de séjour de $T_B/2$ ou $T_C/2$.

Par exemple, pour le modèle 1, on aurait :

$$C_B^1 = C_I (T_A^1 + b T_B^1/2 a)$$

$$C_C^1 = C_I (T_A^1 + T_C^1/2)$$

en désignant par C , avec l'indice convenable, la capacité totale moyenne par pile dans les dépôts B et C.

En remplaçant T_A et T_C par leurs valeurs en fonction des données et de T_B (tirées de l'étude du modèle 1), nous obtenons les capacités moyennes en fonction de T_B .

338. Application à la pile BA 38

A titre d'illustration des paragraphes précédents, nous avons traité complètement le cas de la pile BA 38, qui est la seule dont nous connaissons la courbe de capacité.

Les données sont les suivantes :

$$\left. \begin{array}{l} a : 0,05 \\ b : 0,20 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{unités de capacité/an (on prend 1 comme capacité d'une pile} \\ \text{neuve)} \end{array}$$

$$C_I = C_{II} = 750$$

$$S_A = 716 \text{ piles}$$

$$S_B = 1\,575 \text{ piles}$$

$$S_C = 200 \text{ piles}$$

Temps de passage maximum au dépôt C : 12 mois

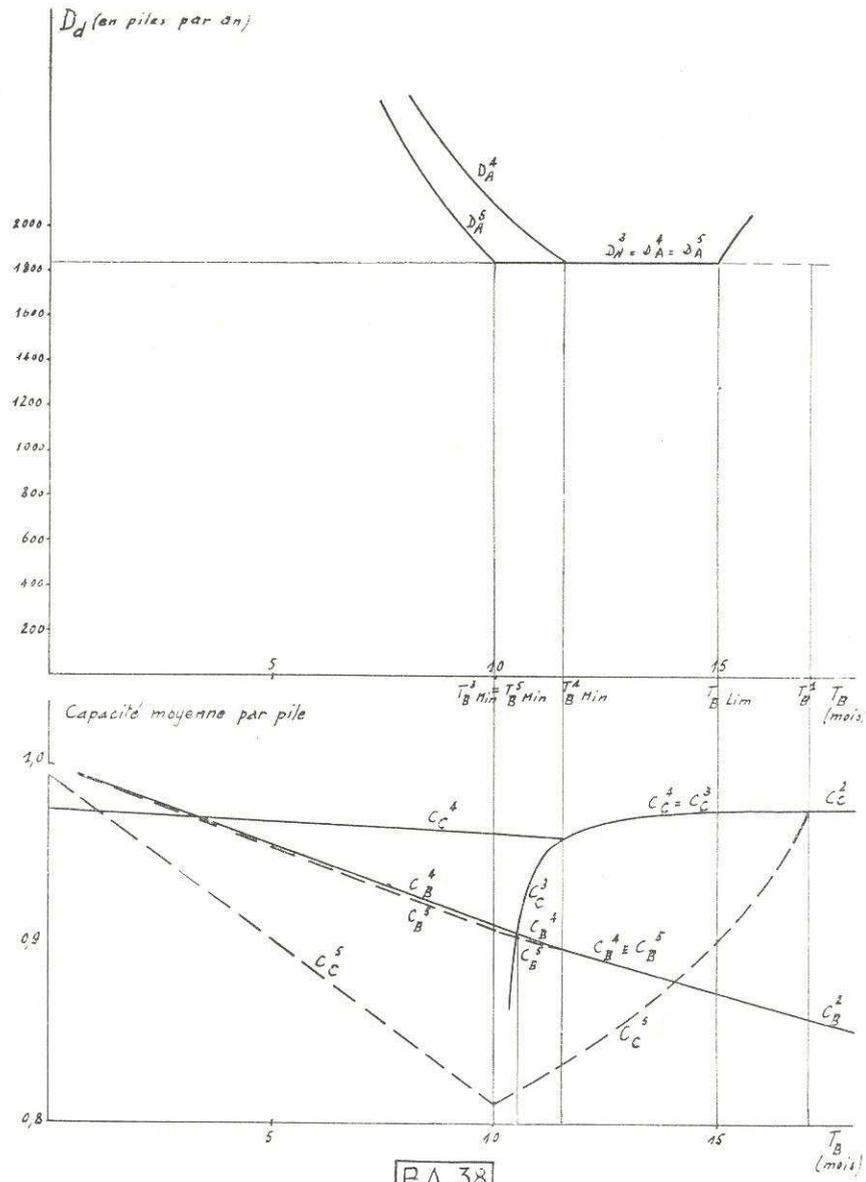
La figure 11 résume les résultats des calculs. Elle met en évidence l'existence d'une plage (de 5 mois pour le mod. 5 et de 3,5 mois pour le mod. 4) de valeurs de T_B pour lesquelles la consommation est minimum et vaut 1 861 piles/an.

Pour les capacités moyennes par pile, on constate que la valeur de C_C^4 est sensiblement constante quel que soit T_B .

Pour le modèle 5, C_B^5 est pratiquement confondue avec C_C^4 .

Mais C_C^5 peut prendre, pour T_B voisin de $T_{B \text{ Min}}^5$, une valeur qui ne vaut plus que 88 % de la valeur initiale, alors que la valeur minimum de C_C^4 vaut environ 96 % de la valeur initiale.

En résumé, le modèle 4 est plus favorable pour les capacités moyennes, mais la plage des valeurs possibles de T_B est plus large pour le modèle 5.



BA 38

FIG. 11

339. Cas où le dépôt B est alimenté en piles fraîches :

Dans ce cas, les piles destinées au dépôt B ne participent pas au maintien du stock S_A . L'influence de cette disposition sur les modèles envisagés est double :

1) quel que soit le type (A, B ou C) auquel appartient la pile, le nouveau $T_{B \text{ Lim}}$ sera supérieur ou égal à l'ancien. Pour les piles du type C, il sera certainement supérieur.

2) les piles passant par le stock du dépôt A ne servent plus à alimenter le dépôt B. Par conséquent T_A va augmenter.

Donc, si cette disposition présente l'avantage de donner des piles de meilleure qualité au dépôt B, elle a l'inconvénient d'allonger T_A , de telle sorte que certaines piles (celles du type C, par ex.) n'auront presque plus de capacité quand on les utilisera après leur passage successif aux dépôts A et C.

Faute de données exactes concernant la durée de vie des piles, une étude précise de l'opportunité d'alimenter le dépôt B en piles fraîches n'a pas été tentée.

34. Conclusions.

Nous avons montré que, lorsque le temps de passage des piles dans le dépôt B varie, il existe des valeurs de T_B pour lesquelles la consommation du système, en piles par an, est minimum.

Cette consommation minimum est égale à la consommation en capacité des clients, augmentées des pertes de capacité par stockage, dues à l'existence des stocks de réserve.

Il reste à choisir un modèle (4 ou 5) et un $T_{B \text{ opt}}$. Nous avons déjà discuté du choix du modèle lors de l'exemple calculé pour la BA 38. Ce qui a été dit dans ce cas particulier est valable pour toutes les piles : le modèle 5 est plus favorable en ce qui concerne la largeur de la plage des valeurs de $T_{B \text{ opt}}$, mais le modèle 4 assure toujours une qualité plus grande ou égale pour les piles du dépôt C, tout en gardant la même qualité aux piles du dépôt B.

En résumé, le modèle 4 est préférable du point de vue de la qualité des stocks de réserve, le modèle 5 du point de vue économique.

Le choix du $T_{B \text{ opt}}$ est assez simple : il faut le choisir vers la gauche de la plage des valeurs possibles de T_B (voir figure 10) de façon à assurer la plus grande longueur de vie restante possible aux piles.

4. L'APPROVISIONNEMENT DU DEPOT DE BASE EN PILES FRAICHES

41. Introduction.

Nous avons exposé le moyen d'obtenir une consommation minimum pour le système d'approvisionnement des piles : il suffit de choisir convenablement T_B . C'était la première étape de l'étude du système.

La seconde étape sera la recherche d'une politique optimale pour la gestion des stocks du dépôt de base, en se basant sur un critère économique, et en supposant que nous nous sommes placés au $T_{B\text{ opt}}$ de la première étape.

Une donnée essentielle est la connaissance de la consommation par unité de temps. Elle doit servir à la prévision de la consommation future sur la période que va couvrir la commande. Aussi nous attacherons-nous tout spécialement à l'analyse des consommations passées, non seulement en vue de la détermination des consommations futures, mais aussi pour décider si certaines mesures ne seraient pas à prendre pour faciliter les prévisions ultérieures.

42. Analyse du stock du dépôt de base.

421. La valeur de consommation

Nous appelons ainsi, pour chaque pile, le produit du prix de la pile par la quantité consommée annuellement. Si nous classons les piles suivant leur valeur de consommation décroissante, nous constatons :

1) que 90 % de la valeur totale de consommation est atteinte avec 10 piles. Ce sont des piles chères (sauf une) et consommées en grande quantité.

2) Parmi ces 10 piles, 7 sont de type B ou C, c'est-à-dire qu'il y a avantage à les stocker en frigo.

Pour rappel, le stock se compose d'une cinquantaine de piles.

422. Les quantités consommées

Si nous classons les piles suivant les quantités consommées décroissantes, nous observons que plus de 90 % des quantités totales sont atteints avec 10 piles, parmi lesquelles 9 figurent également dans les 10 qui ont la plus grande valeur de consommation.

43. Analyse de la consommation.

Nous allons analyser les statistiques de consommation conjointement aux statistiques de stocks et aux livraisons pour en dégager des règles qui permettraient de faire plus facilement les prévisions, et de gérer plus économiquement les stocks de piles, par la réduction des déclassements principalement.

431. Statistiques cumulées de consommation, de stock, de livraison :

Les statistiques dont nous disposons ont été relevées, par trimestre, pendant 5 ans, et pour tous les types de piles.

Nous allons cumuler ces statistiques pour les 10 types de piles principaux, et ce de la façon suivante : on ramène, pour chaque pile, la valeur trimestrielle à la moyenne des valeurs pour 5 ans, puis on additionne, par trimestre, les valeurs obtenues pour les 10 piles.

Cette manière de procéder a pour avantage de mettre en évidence les *variations* dans le temps des caractéristiques (consommation, hauteur du stock, livraisons) de la plus grosse partie du stock.

Le résultat est présenté à la figure 12.

Examinons brièvement ce graphique. Si nous prenons la période de fin 1961 à fin 1962, la consommation, *en nombre de piles* ne cesse d'augmenter. Pourtant, pendant cette période, le nombre d'appareils en service est resté sensiblement constant.

Cette augmentation n'est donc due qu'à une diminution de la capacité des piles par suite de leur vieillissement, qui entraîne, non seulement une consommation plus forte, mais encore une augmentation des déclassements.

Il en résulte :

1) qu'il est difficile de faire des prévisions de consommation en piles fraîches au vu des statistiques de consommation existantes.

2) que les consommations en nombre de piles allant en s'accroissant, le stock diminue très vite à partir d'un certain moment. Les livraisons devraient alors augmenter. Mais le budget alloué aux piles variant peu d'une année à l'autre, il devient presque impossible de garder aux stocks un niveau moyen égal au stock de réserve.

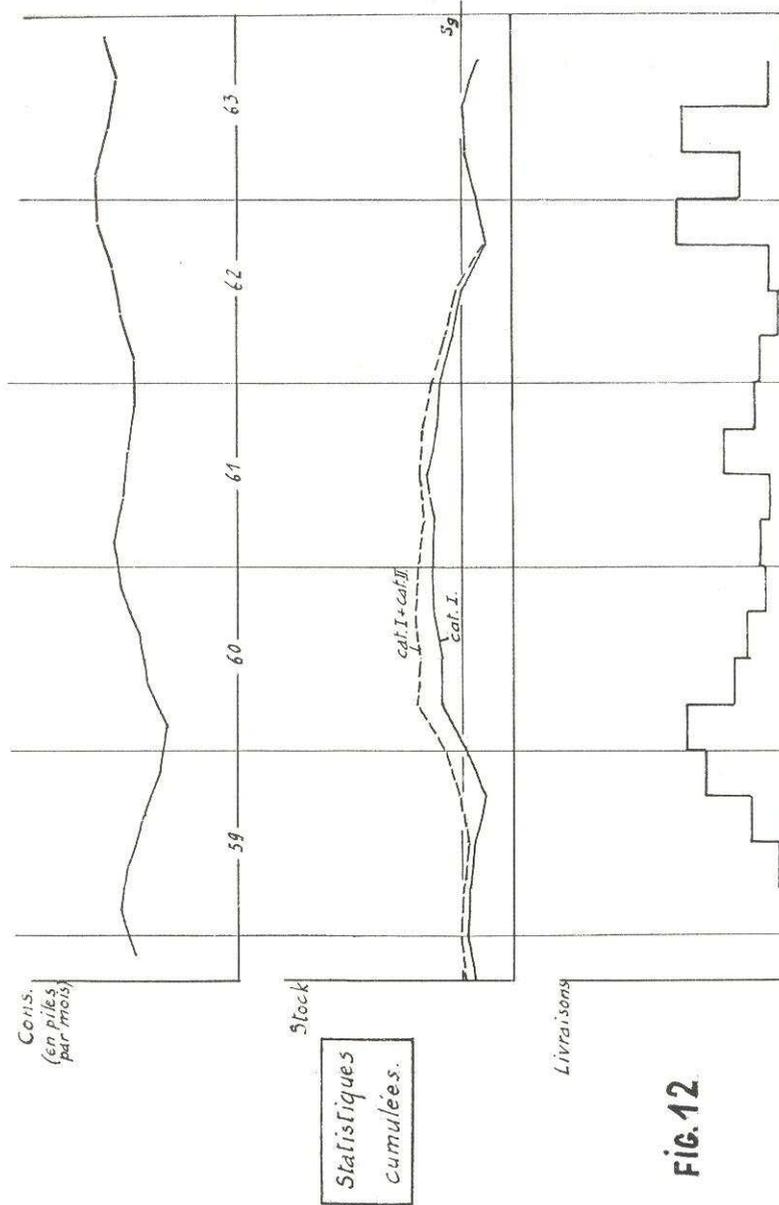


FIG. 12

On doit donc essayer d'éviter les variations de consommation en nombre de piles dus au vieillissement. Pour empêcher ce vieillissement, il faut observer la règle suivante : *si la demande de piles est constante, le volume des livraisons par unité de temps doit être constant, et il faut éviter que la période entre deux livraisons successives soit supérieure à une certaine valeur.*

432. *Influence du passage en catégorie II :*

Après la fin de la période de garantie d'usine, les piles sont testées périodiquement par échantillonnage. Suite à ce test, si le lot vérifié présente moins de 1 % de piles défectueuses, on garde les piles en catégorie I, sinon, le lot est déclaré de catégorie II, et les piles sont livrées à raison de deux pour une demandée.

En examinant les tableaux d'échantillonnage employés, nous avons constaté que le test était beaucoup trop sévère. Par exemple, un lot de 1000 piles, dont 10 sont défectueuses a 6 chances sur 10 de passer en catégorie II.

Les conséquences de cette sévérité sont les suivantes :

1) un client qui est servi par prélèvement sur un lot catégorie II, risque, *très souvent*, de recevoir beaucoup plus de capacité que n'en exigent ses besoins.

Dans le cas des 1000 piles ci dessus, pratiquement, pour N demandées, il en recevra 2 N. Ce qui a deux conséquences.

D'une part, la perte par stockage sera de $2bN$ au lieu de $(a + b)N$, si le client n'a pas de frigo. D'autre part, une partie de ces 2 N piles risque fort d'arriver en fin de vie sans être utilisée.

2) il y a perturbation des statistiques de consommation en fonction du temps, d'où difficulté de faire des prévisions convenables.

En conclusion, il serait bon de modifier la politique de déclassement de piles : il conviendrait de changer à la fois les conditions de passage dans une catégorie inférieure et le traitement des piles déclassées.

44. Analyse des coûts.

Puisque nous envisageons une politique *économique* de commande, il faut déterminer les coûts à mettre en balance pour trouver un optimum.

Nous considérerons ici deux sortes de coûts : des coûts de commande et des coûts dus au stockage. Les coûts de rupture de stock ne seront pas pris en considération : nous fixerons plutôt un taux de rupture admissible.

441. *Coût de commande*

Ce coût se décompose en coût de passation de commande et coût des opérations de réception.

Ce coût de passation de commande comprend l'ensemble des opérations qui aboutissent à la passation d'un contrat de fourniture des piles avec une firme. Une étude du Centre d'Etudes Economiques de la Défense nationale a estimé ce coût à environ 1 500 F.

Les coûts de réception, soit sont fixes, soit dépendent du type de pile, soit encore varient avec le type et le nombre de piles. Ces deux premières sortes de coûts peuvent cependant être estimées, quel que soit le type, à environ 300 F.

Mais les coûts de la troisième sorte dépendent très étroitement à la fois du prix des piles et de la taille du lot à réceptionner car ils résultent d'*essais destructifs* effectués sur un échantillon dont l'importance est fonction de la taille du lot. La table ci-dessous donne la correspondance entre les tailles du lot (q) et de l'échantillon [$e(q)$] à tester :

q	$e(q)$
0 à 600	6
601 à 1 200	12
1 201 à ∞	16

Le coût résultant de ces essais de réception peut être de loin le plus élevé.

Ainsi, pour un lot de 1 500 piles BA 70, dont le prix unitaire est de 600 F, ce coût sera de 9 600 F.

Remarque :

Parmi les coûts de réception, certains sont inclus dans le coût de passation de commande. Ce sont le coût de la réception quantitative et le coût des opérations de prise en charge et de paiement.

442. *Coût de stockage*

Nous pouvons distinguer 3 sortes de coûts :

1) Un coût comportant l'intérêt du capital immobilisé, l'amortissement des locaux, les frais de personnel, etc. On estime ce coût à 0,06 franc par an et par franc de valeur moyenne du stock.

2) Un coût qui résulte de la perte de capacité des piles par stockage *au dépôt de base*. En frigo, cette perte de capacité est de a par an. Si nous prenons 1 comme capacité de la pile neuve, le coût par an sera de a franc par an et par franc de valeur moyenne du stock.

3) Un coût résultant des déclassements exigés par le vieillissement des piles. Il est difficile à chiffrer.

45. Délais de livraison.

Il faut faire d'abord une remarque : les commandes sont faites par deux organismes : soit directement par le dépôt de base lui-même, soit par la Direction des Troupes de Transmission (GDTr).

Venons-en au délai de livraison. Il peut se décomposer en délai administratif et délai de livraison proprement dit.

Pour les commandes, aussi bien par GDTr que par le dépôt, les dates de livraison sont spécifiées dans le cahier des charges *qui stipule en outre que l'on se réserve le droit de modifier ces dates, moyennant un préavis de 2 mois*.

En général les dates de livraison imposées par le cahier des charges (avec ou sans modification ultérieure) sont respectées par le fournisseur, à peu de jours près.

Comme les dates de livraison sont déterminées pratiquement au moment où l'on décide de commander, on peut considérer qu'il n'y a aucune incertitude sur le délai de livraison.

Toutefois le délai administratif nécessaire impose une limite inférieure au délai de livraison total. Le délai administratif minimum est de 1,5 mois pour le dépôt de base, et de 4 mois pour GDTr. En y ajoutant le délai minimum de livraison proprement dit, environ 1 mois, il vient 2,5 et 5 mois.

46. Définition de politiques économiques de commande.

461. Introduction

Lors de l'analyse des caractéristiques du stock, nous avons vu que dix des piles à gérer représentaient 90 % de la valeur de consommation annuelle. Ces dix piles, en raison de leur importance, sont commandées par GDTr et non par le dépôt, à qui sont confiées les commandes des autres piles.

Nous sommes ainsi amenés à définir deux politiques de commande, respectivement valables pour ces deux organismes.

Ces deux politiques seront du type « gestion continue » ou « à niveau de commande ». Mais tandis que la politique du dépôt sera du type « classique », celle de GDT_r sera raffinée, permettant ainsi une gestion plus attentive et plus économique.

Nous avons choisi la gestion continue pour deux raisons.

D'abord, elle présente l'avantage de répondre immédiatement par une commande à une fluctuation anormale de la demande ce qui n'est pas rare avec les piles, tout un lot pouvant être défectueux. Ensuite, elle exige un stock de sécurité moindre, pour un taux de rupture donné, que la gestion périodique, et ceci est très important pour des articles aussi sensibles au stockage.

462. Commandes par le dépôt de base

4621. La détermination de la quantité optimale à commander se fera par balance entre les coûts de commande et de stockage, problème dont la réponse est donnée par la formule de Wilson. Ici, cependant, cette réponse ne sera pas obtenue immédiatement, étant donné qu'intervient un coût — celui des essais destructifs — qui est une fonction en escaliers de la quantité à commander (voir 441). On travaillera donc de la manière suivante :

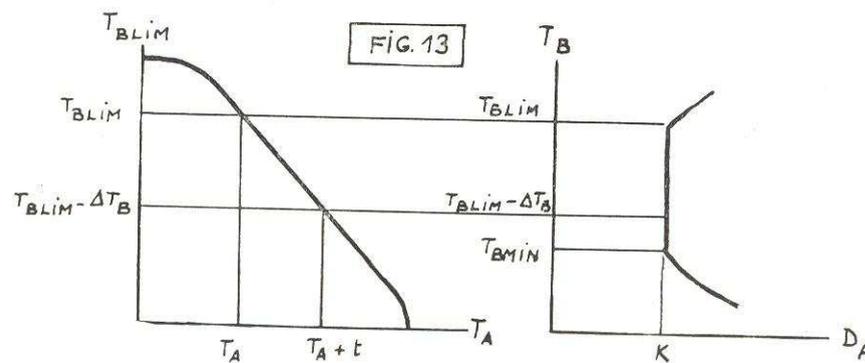
- on choisit $e(q) = 12$.
- on calcule la quantité à commande q par la formule de Wilson.
- si q est compris entre 600 et 1 200, c'est le q_{opt} cherché.
- si q est inférieur à 600, le q_{opt} est obtenu par la formule de Wilson avec $e(q) = 6$.
- si q est supérieur à 1 200, idem, avec $e(q) = 16$.

Cette façon de procéder nous donne q_{opt} , quantité optimale à commander, en deux itérations au maximum.

4622. Remarque importante

L'étude qui a conduit à la détermination d'un $T_{B\ opt}$, a été faite dans l'hypothèse d'un écoulement continu. Ici, la politique de commande amène à envisager l'approvisionnement du dépôt de base par quantités discrètes, de taille q_{opt} .

En moyenne, l'intervalle entre deux approvisionnements sera égal à un certain t .



Par conséquent, le temps de passage des piles dans le dépôt de base variera entre T_A et $T_A + t$, et $T_{B\text{Lim}}$ variera de $T_{B\text{Lim}}$ à $T_{B\text{Lim}} - \Delta T_B$ (fig. 13).

Par conséquent, la quantité q_{opt} obtenue par le calcul ci-dessus ne peut être telle que la périodicité moyenne correspondante t fasse passer ($T_{B\text{Min}} - \Delta T_B$) en-deçà de $T_{B\text{opt}}$.

Il en résultera peut-être une augmentation du coût de la gestion, mais nous estimons qu'il vaut mieux supporter cette perte éventuelle que de se placer dans une situation où le comportement des piles devient incertain.

Il faut donc que :

$$q < D_A (T_{B\text{Min}} - T_{B\text{opt}})$$

Il faut noter de plus, dans le cas des commandes faites par le dépôt, qu'une autre limitation peut intervenir : il faut que la valeur de la quantité commandée soit inférieure à 100 000 F. Cette limitation n'existe pas pour GDT_r.

4623. Stock de sécurité

Le stock de sécurité sera donné par :

$$S_s = k \cdot \sigma(d)$$

si on suppose que la consommation sur le délai de livraison d suit une loi normale d'écart type $\sigma(d)$.

Le paramètre k dépend du risque de rupture qu'on veut bien accepter.

Le stock de sécurité ainsi calculé ne sera pris comme stock de sécurité réel que si S_s est supérieur à S_A . Dans le cas contraire, c'est le stock de réserve S_A qui sert en même temps de stock de sécurité.

463. *Commandes par GDTr*

4631. GDTr a la possibilité de faire de grosses commandes, dont le montant n'est limité que par le budget qui lui est octroyé pour l'année en cours. L'avantage de ceci est qu'il peut pratiquer une méthode de commande qui s'apparente au marché ouvert : il commande de grosses quantités qui devront être livrées par petits lots, à des dates déterminées lors de la passation du contrat.

Nous avons vu (45) que ces dates pouvaient être modifiées moyennant un préavis de deux mois, ce qui donne une grande souplesse à la méthode.

4632. *Politique de passation de commande*

Cette politique vient d'être esquissée. L'idéal serait de commander une fois pour toutes, la seule chose qui resterait à faire serait alors de modifier, si nécessaire, les dates de livraison. Cependant le budget imparti limite le volume des commandes.

En pratique, on pourra donc adopter la politique suivante :

- 1) commander le maximum compatible avec les contraintes budgétaires;
- 2) passer cette commande à la date où il reste pour cinq mois de consommation (en stock et en livraisons à venir), plus $k \cdot \sigma(d)$, pour pallier les variations de consommation sur le délai de livraison d (cinq mois, pour rappel — voir 45).

Il faut remarquer qu'ici $k \cdot \sigma(d)$ n'est pas le stock de sécurité : (voir paragraphe suivant pour la détermination de ce dernier).

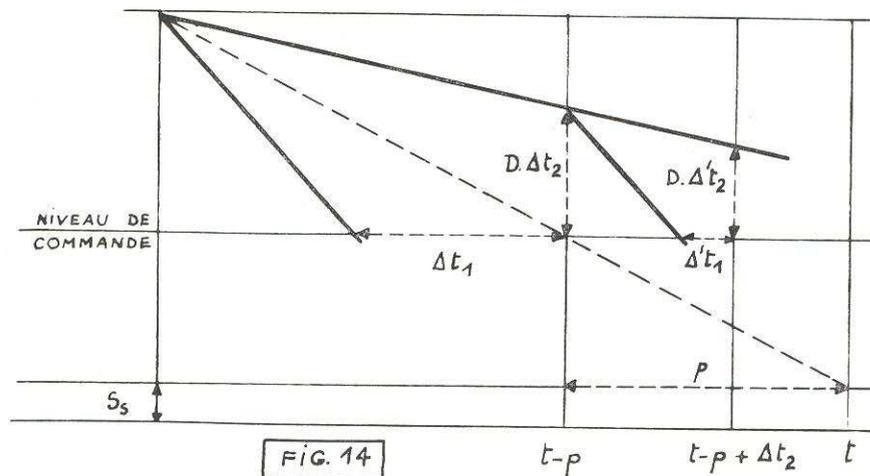
4633. *Politique optimale de livraison*

Le calcul de la taille optimale q_{opt} des livraisons partielles se fait par la formule de Wilson, et par itération, de la même manière qu'en 4621.

A q_{opt} correspond un intervalle moyen entre livraisons t qui sert à déterminer, dans le contrat, les dates de livraisons partielles.

En fait, ce que nous faisons ainsi, c'est une gestion à quantités et intervalles de temps *fixes*. Nous allons la transformer en une sorte de gestion continue qui nous permettra d'utiliser au mieux la possibilité de modification des dates de livraison.

Soit un stock qui évolue comme indiqué à la figure 14.



Soit p le préavis de 2 mois et D la consommation par mois. En $(t - p)$, on *retarde* la prochaine livraison de Δt_2 . On définit ainsi une date de préavis modifiée : $(t + \Delta t_2 - p)$. Si le niveau de commande est franchi avant $(t - p)$ on *avance* la date de livraison de Δt_1 . Si en $(t + \Delta t_2 - p)$ le stock est supérieur au niveau de commande, on *retarde* à nouveau la livraison de $\Delta' t_2$; d'où nouvelle date de préavis modifiée $(t + \Delta t_2 + \Delta' t_2 - p)$. Et si on atteint le niveau de commande avant $(t + \Delta t_2 - p)$, on *avance* la livraison de $\Delta' t_1$. Et ainsi de suite.

Il faut remarquer qu'aux points 2, 4, 6... correspondent des dates de livraison *provisoires*; aux points 1, 3, 5... des dates de livraison *définitives*. Par conséquent, le stock de sécurité nécessaire sera : $S_s = k \cdot \sigma(p)$.

En pratique, on peut se borner à deux itérations maximum. Après la deuxième, on ne change plus la date de livraison que si on coupe d'abord le niveau d'alerte.

La politique proposée peut sembler difficile à appliquer. Mais il ne faut pas oublier qu'elle ne porte que sur dix types de piles, qui représentent une valeur de consommation très importante.

5. CONCLUSIONS

Il résulte de cette étude qu'on peut améliorer le système en vue de réduire les consommations. On peut d'abord régler le temps de passage au dépôt B, de façon à se trouver dans la plage des valeurs de T_B qui rendent la consom-

mation du système minimum. On peut ensuite, après s'être placé en une valeur optimale de T_B , essayer de réduire encore la consommation en modifiant une des données : b . C'est possible, il suffit de généraliser l'emploi d'installations frigorifiques. Dans une optique économique, le prix entraîné pour ces installations serait bien entendu à mettre en balance avec le gain réalisé en consommation. Si on ne vise qu'à la qualité des stocks de réserve, et à donner au client des piles ayant encore une longueur de vie convenable, l'emploi de frigos, s'impose sans conteste.

Mais la détermination de $T_{B\text{ opt}}$ et la justification économique de l'emploi de frigos ne sont possibles que si on connaît bien les caractéristiques des piles : a , b , longueur de vie.

Ces caractéristiques sont peu ou pas connues. Il serait nécessaire de les déterminer, avec précision, pour les 10 types de piles principaux; de manière approchée ou par comparaison pour les autres.

Venons-en enfin à l'approvisionnement en piles fraîches du dépôt de base. Nous avons indiqué à cet effet des méthodes possibles de commande et de livraison. La qualité de ces méthodes est en relation avec la possibilité de bonnes prévisions de consommation.

Pour améliorer celles-ci nous avons donné une règle de régularité d'approvisionnement, et nous avons proposé de revoir les tests de passage en catégorie II, à la fois quant à leur exécution, et quant au traitement réservé aux piles qui n'y satisfont pas. Nous avons en outre montré que cette règle, et cette révision des tests, pouvaient amener une réduction des déclassements de piles, et donc une économie de consommation.