

S O M M A I R E

S O M M A I R E	1
CHAPITRE I : PROBLEMATIQUE GENERALE DE LA MAINTENANCE	10
I.1 GÉNÉRALITÉS SUR LA MAINTENANCE	10
I.1.1 Définitions (« Terminologie de la maintenance » NF EN 13306 depuis juin 2001) 10	11
I.1.2 Interfaces d'un service maintenance	11
I.1.3 Les niveaux de maintenance	12
I.1.4 Les différents types de maintenance (normes AFNOR X 60 010 et 60 011).....	13
La maintenance préventive SYSTEMATIQUE :	13
La maintenance préventive CONDITIONNELLE :	14
I.1.5 Logique décisionnelle des types de maintenance.....	15
I.2 IDENTIFICATION DES COMPOSANTS D'UN SYSTEME	15
I.2.1 Inventaire et codification du parc matériel	16
Codification α numérique	16
Exemple 1 :	16
Exemple 2 :	16
Le tableau suivant donne un exemple de réalisation de nomenclature.	17
I.2.2 Le dossier machine (ou dossier technique d'équipement ou dossier de maintenance)	17
Le dossier constructeur :	17
Le fichier machine interne :	18
Exemple de rubriques	18
I.2.3 Le fichier historique d'une machine ou « dossier de vie d'une machine »	18
Exemple 1	19
4 mauvais réglage ... 4 origine hydraulique	19
Exemple 2	20
I.3 EXPLOITATION DES RELEVÉS DE DÉFAILLANCES	21
I.3.1 Les temps relatifs à la maintenance (AFNOR X 60 015).....	21
Quelques définitions	21
TA	21
TO = Σ TBF + Σ TTR + Σ TAF	21
TA	21
MTBF = Σ TBFi	21
MTRR = Σ TTRi	21
I.3.2 Exploitation des historiques.....	21
I.3.3 Détermination des éléments prioritaires	22
Application	23
2°. On détermine les pourcentages des coûts cumulés ainsi que les % des pannes cumulés. On utilise le tableau suivant :	23
Pourcentages de coûts cumulés (critère)	23
Interprétation	24
Remarque	24
Graphe en n	26
Graphe en \bar{t}	26
Graphe en $n.t$	26
Exercice	27

$Q_c = K.(d + T_0) - M$	93
V.3.3 Méthode du réapprovisionnement fixe (Quantité fixe, Période fixe)	93
La quantité commandée Q est voisine de la quantité économique optimale Q_c	93
Exemple : 1000 vis tous les 10 du mois	93
Stock	93
Q	93
Stock de	93
V.3.4 Méthode pour pièces de sécurité (Quantité variable, Période variable)	94
Exemple d'utilisation de l'abaque	94
CHAPITRE VI : ORGANISATION DE LA MAINTENANCE PRÉVENTIVE	96
VI.1 MISE EN ŒUVRE	96
VI.2 PRÉPARATION DES VISITES PRÉVENTIVES	97
VI.3 DEROULEMENT D'UNE VISITE PRÉVENTIVE.....	98
VI.4 DOCUMENTS TYPES DE MAINTENANCE	99

Preview from Notesale.co.uk
Page 7 of 102



Figuration de la main-d'oeuvre utilisée dans les procédés de production de conception traditionnelle

Preview from Notesale.co.uk
Page 9 of 102



Figuration de la main-d'oeuvre utilisée dans les procédés de production automatisés

1.1.4.1 La maintenance CORRECTIVE

Maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

C'est une opération de maintenance effectuée après défaillance. Elle consiste en :

- dépannage des machines dont un mauvais état entraîne l'arrêt total ou partiel de la machine,
- réparation de machines au moment où on dispose de suffisamment de temps et de moyens pour faire le travail.

On pratique donc un ENTRETIEN DE DEPANNAGE avec les conséquences suivantes :

- arrêts imprévus des équipements de la production
- forte perturbation avec réduction de la production
- aggravation des risques pour le matériel et le personnel.

1.1.4.2 La maintenance PREVENTIVE

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

Le principe de la maintenance préventive est l'anticipation. Elle se pratique sous deux formes : la maintenance préventive systématique et la maintenance préventive conditionnelle.

La **maintenance préventive SYSTEMATIQUE** :

Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien.

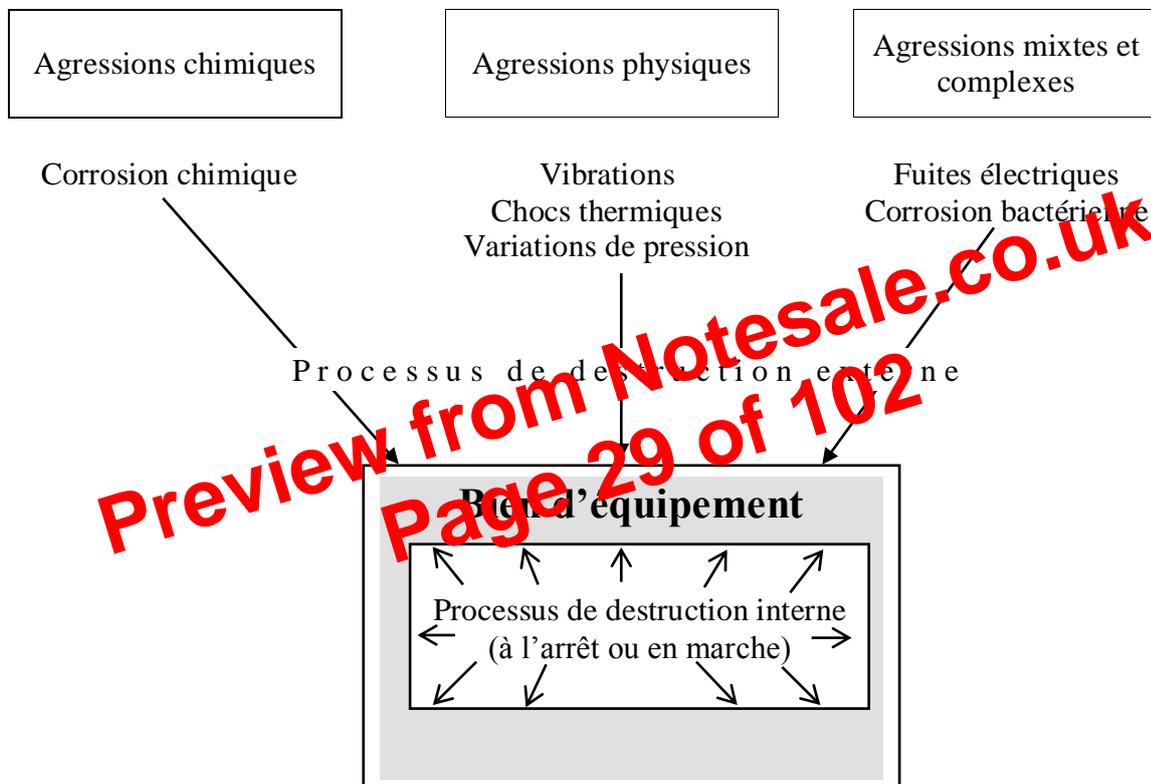
Elle consiste à intervenir à périodes fixes (selon un échéancier) ou sur base d'unité d'utilisation fixée à l'avance (par exemple le nombre d'heures ou le nombre de kilomètres) sur les matériels et infrastructures pour détecter les anomalies ou les usures prématurées et y remédier avant qu'une panne ne se produise. Elle a comme buts :

- de limiter le vieillissement du matériel et des infrastructures;
- d'améliorer l'état du matériel avant qu'il n'entrave la production en qualité, quantité ou prix ;
- d'intervenir avant que les coûts de la réparation ne soient trop élevés ;
- d'éliminer ou de limiter les risques de pannes pour le matériel à fort coût de défaillance (machine pouvant arrêter la production, par exemple) ;
- de diminuer les temps d'arrêt au moment d'une révision ou d'une panne ;
- d'éviter les consommations de pièces et d'énergie exagérées ;
- de diminuer la charge totale de la maintenance.

Cette forme de maintenance préventive implique des travaux qui portent sur :

- l'installation du matériel en fonctionnement : sur la base d'un système de visites pour vérification des conditions de marche selon un programme à échéances fixes ;

- a) défauts pré-existants dans les pièces en service provenant :
- de l'élaboration de la matière
 - de fabrication de la pièce finie (usinage, traitement, soudure....)
 - du montage (roulement, alignement....)
- b) défauts dus au mode des fonctionnements des machines
- chocs
 - surcharge
 - fatigue
 - fatigue thermique
 - fluage
 - usure et corrosion
- c) défauts électriques
- rupture de tension électrique
 - usure des contacts
 - 'claquage' d'un composant (résistance, transistor ...)



II.2 LE TAUX DE DEFAILLANCE

II.2.1 Définition

Le taux de défaillance (ou de panne) $\lambda(t)$ représente la proportion de machines ou de dispositifs survivants (toujours en service) à un instant t .

$$\lambda(t) = \frac{\text{nombre de défaillances}}{\text{durée d'utilisation}}$$

$\lambda(t)$ nous permet d'estimer entre autres la fiabilité d'un système.

41 défaillances ont été réparées sur 70 véhicules pendant une période allant de 80000 à 90000 km. Quel est le taux de défaillance relatif à cette période ?

$$\lambda(t) = \frac{41}{70 \cdot (90\,000 - 80\,000)} = 0.585 \cdot 10^{-4} \text{ pannes/km}$$

Exemple 2

On teste un lot de 50 électrovannes soumises en continu à 8 impulsions/minute. A la 50^{ème} heure, il en reste 33. A la 60^{ème} heure, il en reste 27. Quel est le taux de défaillance sur cette classe, par heure et par impulsion.

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \frac{33 - 27}{33 \times 10} = 0.018 \text{ défaillances/heure} \\ &= \frac{0.018}{60 \times 8} = 3.79 \cdot 10^{-5} \text{ défaillances/impulsion} \end{aligned}$$

Exercice

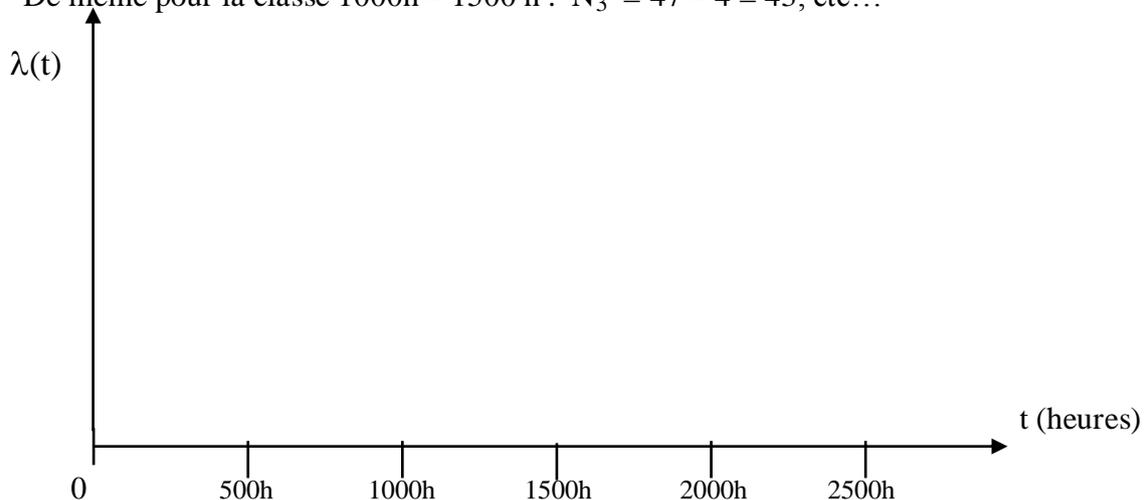
Tracer la courbe du taux de défaillance relative au tableau suivant :

Intervalles de temps (ou classes) $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$	Nombre de défaillances par intervalle n_i	Machines n'ayant pas encore atteint t_{i+1}	Nombre de machines en service à l'instant t_i N_i	Taux de défaillance $\lambda(t_i)$
0-500	5	3	50	
500-1000	3	4	47	
1000-1500	2		43	
1500-2000	2	6	41	
2000-2500	1		35	

Commentaire

- Le nombre de machines au départ est de 50
- Pour la classe 500h - 1000h, on enlève les 3 machines qui n'ont pas un nombre suffisant d'heures de fonctionnement pour appartenir à la classe 500 - 1000h, d'où $N_2 = 50 - 3 = 47$

De même pour la classe 1000h - 1500 h : $N_3 = 47 - 4 = 43$, etc...



On définit la fonction de défaillance cumulée $F(t_i)$ par :

$$F(t_i) = \frac{\sum_0^i n_i}{N_0} = \frac{N_0 - N_i}{N_0} = 1 - \frac{N_i}{N_0}$$

↙ Eléments défaillants non réparables

$F(t_i)$: probabilité pour que le dispositif soit en panne à l'instant t_i

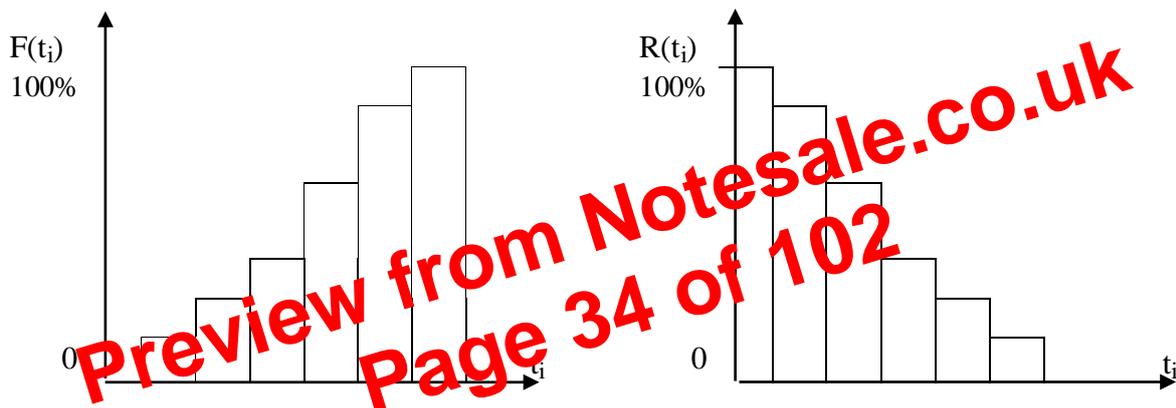
On définit la fonction de fiabilité $R(t_i)$ par :

$$R(t_i) = \frac{N_i}{N_0} = 1 - F(t_i)$$

$R(t_i)$: probabilité de bon fonctionnement à l'instant t_i

Remarque : $F(t_i) + R(t_i) = 1$

Représentation graphique



II.3.3 Approximation de la fonction de défaillance $F(t)$

Les données d'études de fiabilité proviennent souvent des historiques de défaillance, parfois de résultats d'essais. La variable prise en compte en fiabilité est le temps (unité d'usage). On enregistre les dates de N défaillances d'un système (historique). On calcule les TBF (temps de bon fonctionnement entre deux défaillances) et on les classe par ordre **croissant**. Ils sont au nombre de N .

- Si $N > 50$, on regroupe les TBF par classes de valeur Δt . Le nombre de classes $k \approx \sqrt{N}$
 Dans ce cas on estime la fonction de défaillance cumulée $F(t_i)$ par :

$$F(t_i) = \frac{\sum n_i}{N} \quad n_i \text{ nombre de défaillances dans la classe considérée } (t_i, t_{i+1}) = \Delta t$$

$$F(t_i) = \frac{\text{nb de défaillances avant } t_i}{\text{nb de défaillances total}}$$

La loi de Weibull remplace les lois précédentes et s'applique aux cas où le taux de défaillances λ est variable (périodes de jeunesse et de vieillesse). La loi de fiabilité de Weibull est une fonction qui s'écrit :

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{loi de Weibull}$$

où :

β est appelé paramètre de forme	$\beta > 0$
η est appelé paramètre d'échelle	$\eta > 0$
γ est appelé paramètre de position	$-\infty < \gamma < \infty$

Remarque

Pour $\gamma = 0$ et $\beta = 1$, on retrouve la loi exponentielle $R(t) = e^{-\frac{t}{\eta}}$

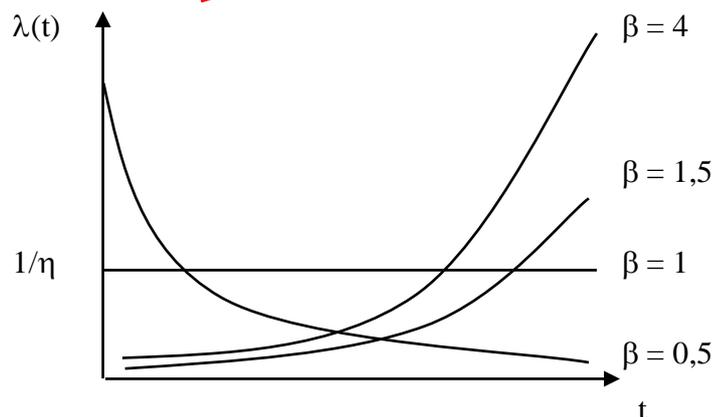
où $\frac{1}{\eta} = \lambda = \frac{1}{MTBF}$

Le taux instantané de défaillance, écrit à partir de la relation $\ln R(t)$ a pour expression :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1}$$

On remarque :

- si $\beta < 1$; $\lambda(t)$ décroît en fonction de t (période de jeunesse)
- si $\beta = 1$; $\lambda(t)$ est constant (indépendance du processus et du temps)
- si $\beta > 1$; $\lambda(t)$ croît en fonction de t (période de vieillissement)
- $1,5 < \beta < 2,5$; phénomène de fatigue
- $3 < \beta < 4$; phénomène d'usure, de dépassement d'un seuil (déformation plastique)



La MTBF a pour expression

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \gamma + \eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = \gamma + A \cdot \eta$$

La fonction Γ (Gamma) est une fonction du paramètre β (voir la table de la loi Gamma).

$D_{6,0.05} =$

Exercice cellules solaires

N = 150 cellules solaires

$$R(t) = e^{\left(\frac{t-54,3}{5600}\right)^{0,52}}$$

Δt_i	n_i	$p_i = R(t_i) - R(t_{i+1})$	$N \cdot p_i$	$n_i - N \cdot p_i$
0 – 100	12			
100 – 200	10			
200 – 300	5			
300 – 400	4			
400 – 500	7			

R(0) =

R(100) =

R(200) =

R(300) =

R(400) =

R(500) =

**Preview from Notesale.co.uk
Page 58 of 102**

On détermine la **fiabilité résultante** du système par :

$$\begin{aligned}
 R &= P(S) && \text{probabilité pour que S fonctionne à l'instant t} \\
 &= P(S_1 \cap S_2 \cap S_3 \dots \dots \cap S_n) \\
 &= P(S_1).P(S_2).P(S_3) \dots \dots P(S_n)
 \end{aligned}$$

soit :

$$R(t) = R_1(t) \times R_2(t) \dots \dots \times R_n(t)$$

$$R(t) = \prod_1^n R_i(t)$$

Si $R_i(t) = e^{-\lambda_i t}$ alors $R(t) = \prod_1^n e^{-\lambda_i t} = e^{-\lambda_1 t} e^{-\lambda_2 t} \dots \dots e^{-\lambda_n t}$
 $= e^{-\sum \lambda_i t} = e^{-\lambda_g t}$

Pour le calcul de la **disponibilité résultante**, soit :

$$MTTR_s = \frac{\sum_{i=1}^n MTTR_i \times \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}$$

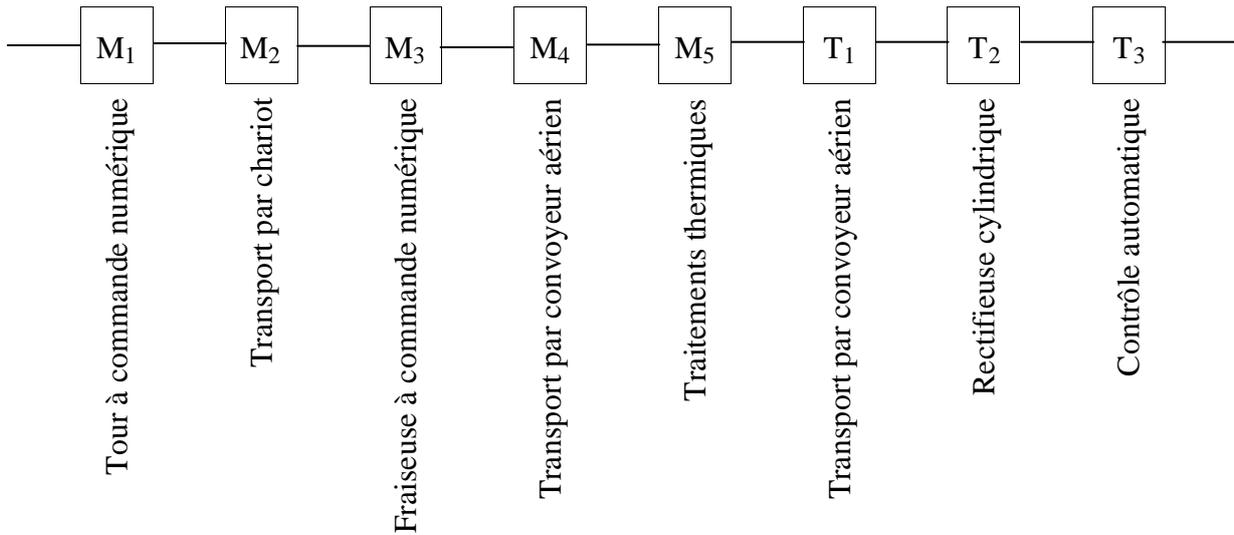
Chaque MTTR est pondéré par son taux de défaillance, $MTTR_i = 1/(\mu_i \text{ d'où})$.

$$MTTR_s = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i}$$

D'autre part, (résultat connu) : $D_s = \frac{\mu_s}{\mu_s + \lambda_s}$

on en déduit : $D_s = \frac{\frac{\sum \lambda_i}{\sum (\frac{\lambda_i}{\mu_i})}}{\sum (\frac{\lambda_i}{\mu_i}) + \sum \lambda_i}$

puis : $D_s = \frac{1}{1 + \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i}} = \frac{1}{1 - n + n + \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i}}$
 $= \frac{1}{-(n-1) + \left[\frac{\lambda_1}{\mu_1} + 1 + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + 1 + \dots + \frac{\lambda_n}{\mu_n} + 1 \right]}$



On prévoit une fiabilité de 0,9. On a pour chaque sous système :

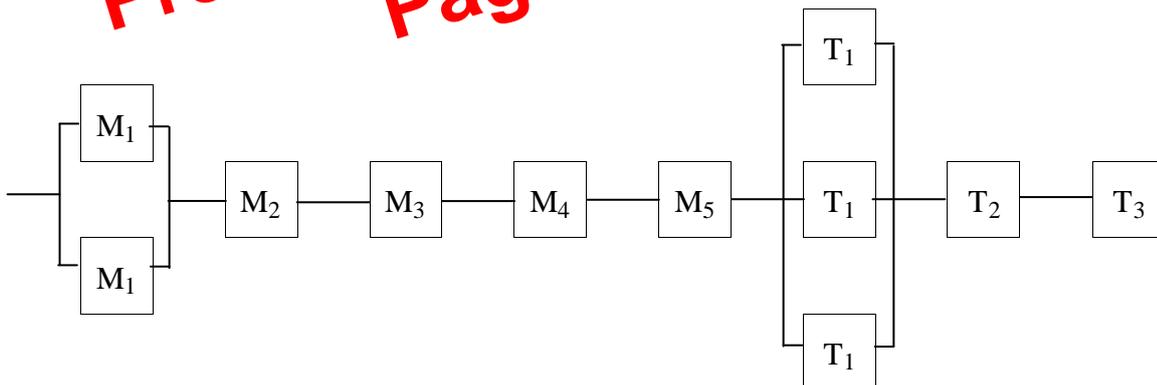
$$R_{M1} = 0,85 \quad R_{M2} = R_{M3} = R_{M4} = R_{M5} = 0,99$$

$$R_{T1} = 0,8 \quad R_{T2} = R_{T3} = 0,99$$

La fiabilité du système est : $R_S = R_{M1} \cdot R_{M2} \cdot R_{M3} \cdot R_{M4} \cdot R_{M5} \cdot R_{T1} \cdot R_{T2} \cdot R_{T3}$

$$R_S = 0,85 \times 0,99^6 \times 0,8 = 0,67$$

On améliore le système en pratique (il y a des redondances sur les sous-systèmes les moins fiables). Par exemple, pour une **redondance active** on peut utiliser 2 sous-systèmes T_1 et 2 sous-systèmes M_1 en redondances.



C'est une solution qui coûte chère mais qui augmente la fiabilité. On obtient $R_S = 0,91$

En utilisant une **redondance passive**, on peut utiliser uniquement 2 sous-systèmes T_1 au lieu de 3, et 2 sous-systèmes M_1 en redondances.

IV.4.2 Maintenance systématique

Au bout d'une période d'usage égale à T on a :

$$\text{Coût direct} = C_M(t)$$

$$\text{Coût indirect} = C_I \times F(t) = C_I \cdot (1 - R(t)) \quad \text{avec } t < 0$$

$$\text{Coût total de la défaillance} = C_M(t) + C_I \cdot (1 - R(t))$$

$$\text{Coût moyen par unité d'usage } m_T = MTB_T = \int_0^T R(t) \cdot dt$$

$$C_2(T) = \frac{C_M(T) + C_I(1 - R(T))}{m_T}$$

- intervention préventive si $C_2(\theta) < C_1$ pour θ donné
- intervention corrective si $C_2(\theta) > C_1$

IV.4.3 Abaques de Noiret

C'est une méthode utilisant 10 abaques et dont la lecture se fait dans l'ordre consécutif :

1. Abaque ÂGE DU MATÉRIEL
2. Abaque INTERDÉPENDANCE DU MATÉRIEL
 - a : Matériel doublé
 - b : Matériel indépendant
 - c : Matériel avec tampon aval ou amont
 - d : Matériel sans tampon
 - e : Matériel important à marche discontinu
 - f : Matériel important à marche semi-continue
 - g : Matériel important à marche continue
3. Abaque COMPLEXITÉ DU MATÉRIEL
 - a : Matériel peu complexe et accessible
 - b : Matériel très complexe et accessible
 - c : Matériel complexe et peu accessible
 - d : Matériel très complexe et peu accessible
4. Abaque COÛT DU MATÉRIEL
 - a : Matériel bon marché
 - b : Matériel peu coûteux
 - c : Matériel coûteux
 - d : Matériel très coûteux
 - e : Matériel spécial
 - f : Matériel très spécial
5. Abaque ORIGINE DU MATÉRIEL
 - a : Matériel du pays – grande série
 - b : Matériel du pays – petite série
 - c : Matériel étranger avec service après vente
 - d : Matériel étranger sans service après vente
 - e : Matériel étranger sans service technique
6. Abaque ROBUSTESSE DU MATÉRIEL
 - a : Matériel très robuste
 - b : Matériel courant
 - c : Matériel de précision robuste
 - d : Matériel peu robuste
 - e : Matériel en surcharge
 - f : Matériel de précision – maniement délicat

CHAPITRE V : CONTITUTION ET GESTION DES STOCKS DE MAINTENANCE

Le problème de la gestion des stocks consiste en la recherche d'un équilibre entre les avantages et les inconvénients de la détermination de matières, de produits ou d'articles en attente de leur utilisation \equiv régulateur entre un flux d'entrée et un flux de sortie.

V.1 TYPES D'ARTICLES UTILISES POUR LA MAINTENANCE

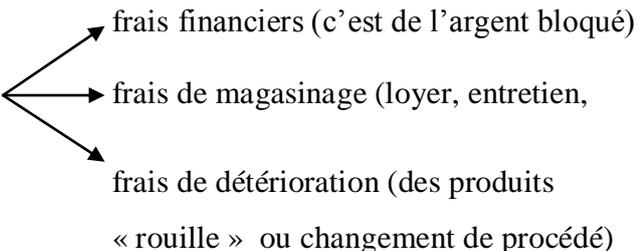
Il existe 3 types d'articles :

- les articles de consommation (huiles, graisses, électrodes de soudure, réactifs, catalyseurs...)
- les articles de réparation (pic et durée de livraison variables)
- les articles de sécurité (très peu utilisés mais dont l'importance en cas d'arrêt est grande – le manque à gagner)

V.2 LA DETERMINATION DES BESOINS

La détermination des besoins dépend de la consommation (passée et avenir) qui permet de limiter les quantités stockées et le moment de commander.

Le stock constitue un coût comprenant :

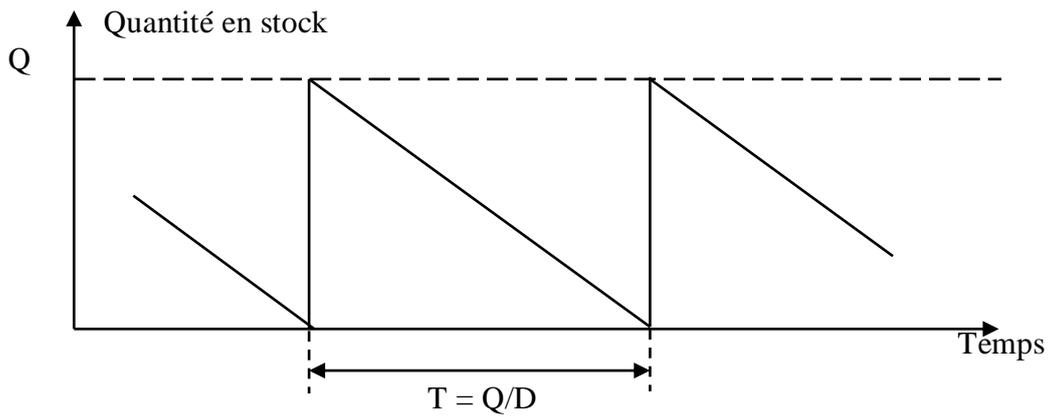
- le coût de lancement d'une commande
- le prix de revient à l'achat (prix du produit + transport + douane +...)
- le coût de stockage (ou de possession) 
 - frais financiers (c'est de l'argent bloqué)
 - frais de magasinage (loyer, entretien, assurance...)
 - frais de détérioration (des produits « rouille » ou changement de procédé)

ALORS :

- quand réapprovisionner ?
- quelle quantité réapprovisionner ?

V.2.1 Détermination des quantités à commander (modèle de Wilson)

Pour une demande régulière d'un article, l'évolution du stock représente l'allure suivante en dents de scie :



Si :

D : consommation annuelle prévisionnelle (en nombre)

p : prix unitaire de l'article

Q : quantité commandée à chaque réapprovisionnement

N : nombre de commandes annuelles

l : le coût de lancement d'une commande

s : le taux annuel de coût de possession ($p.s$ = charge due à la conservation en stock d'un article pendant 1 année)

On peut écrire la fonction du coût annuel d'approvisionnement du stock de maintenance

$$C(Q) = D.p + \frac{l.D}{Q} + s.p \frac{Q}{2}$$

Coût des pièces

Coût de lancement de la commande

Coût de possession de stock

$\frac{D}{Q}$ = fréquence \equiv nombre de réapprovisionnement sur une année

$\frac{Q}{2}$ = stock moyen sur l'année

V.2.2 Représentation graphique des coûts des stocks

$$Q_c = K.(d + T_0) - M$$

M : nombre de pièces restant dans le magasin.

Le stock de sécurité se calcule comme précédemment, mais on doit tenir compte de la périodicité T_0 :

$$S_s = k.\sigma.\sqrt{d + T_0}$$

k est la variable correspondant au risque de rupture des stocks.

La quantité maximale en stock Q_{\max} a pour valeur :

$$Q_{\max} = Q_c + S_s$$

$$Q_{\max} = K.(d + T_0) + k.\sigma.\sqrt{d + T_0}$$

Les avantages de cette méthode :

- faciliter les achats, l'ordonnancement des commandes, le contrôle qualité et le magasinage.

Les inconvénients :

- le risque d'avoir une rupture de stock en cas d'augmentation brutale des demandes.

Son champ d'application concerne 10% de la gestion des pièces de rechange, en particulier pour les articles très banalisés.

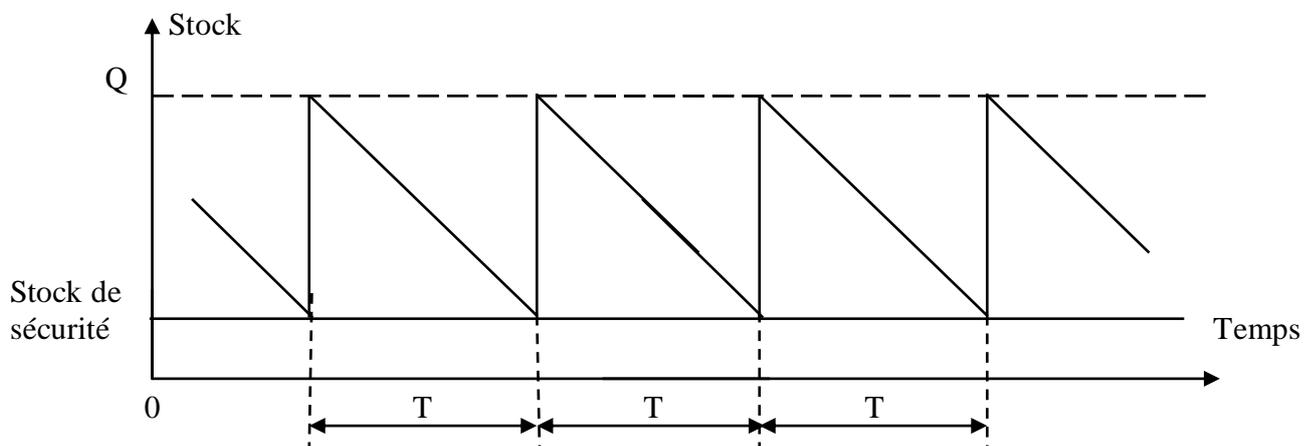
V.3.3 Méthode du réapprovisionnement fixe (Quantité fixe / Période fixe)

Elle consiste à passer une commande d'une quantité fixe à période fixe. La périodicité est :

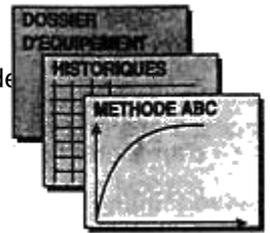
$$T_0 = 12.\sqrt{\frac{2.I}{D.p.s}}$$

La quantité commandée Q est voisine de la quantité économique optimale Q_c .

Exemple : 1000 vis tous les 10 du mois



1. Parmi les équipements d'un atelier, les responsables de la maintenance et de la production déterminent ceux à passer en maintenance conditionnelle.



2. Pour chacun des équipements retenus, ils font l'inventaire des sous ensembles, pièces et organes à surveiller.

3. Ils obtiennent ainsi la liste des points clés devant faire l'objet de contrôles.



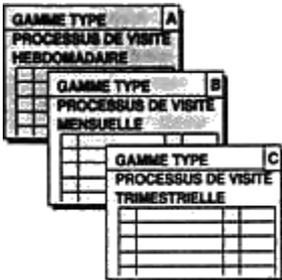
4. Ils détectent les défauts possibles, précisent les conditions de visite, les paramètres à contrôler, les valeurs limites, et ils fixent la périodicité des visites.

5. Les opérations de même périodicité, regroupées en listes distinctes, permettront d'établir les gammes types, ou processus de visites préventives.



Ceux-ci sont complétés par:

- la liste des outillages;
- la liste des instruments de contrôle;
- la liste des petites fournitures;
- les huiles éventuelles;
- les temps nécessaires.



6. Il est alors possible de dresser le planning des visites préventives.



VI.3 DÉROULEMENT D'UNE VISITE PREVENTIVE

Une fois mise en place, la maintenance conditionnelle va se traduire par la pratique régulière de visites préventives selon le déroulement proposé figure 7.

Le résultat des contrôles effectués permettra au préparateur :

- de juger de l'opportunité qu'il y a à engager des travaux;
- d'estimer le temps résiduel de bon fonctionnement, en fonction de la vitesse de dégradation d'un organe (par extrapolation à partir des données connues) afin de déterminer la date de réparation «au plus tard».
- de décider du rapprochement des visites préventives si le renforcement de la surveillance d'un organe se révèle nécessaire (passage du paramètre suivi au-dessus du seuil d'alerte); il peut alors s'agir de visites simplifiées ne portant que sur l'organe incriminé.

Preview from Notesale.co.uk
Page 102 of 102