

## Méthodes de Maintenance



**Nom :**

**Prénom :**

**Classe :**

**Période scolaire :**



# Table des matières

1-	Formes de maintenance .....	3
1-1-	Les différentes formes de maintenance.....	4
1-1-1-	La maintenance .....	4
1-1-2-	La maintenance corrective .....	4
1-1-3-	La défaillance .....	4
1-1-4-	La maintenance préventive .....	4
1-1-5-	Les activités maintenance.....	4
1-2-	Les niveaux de maintenance .....	4
1-2-1-	Application.....	4
1-3-	L'analyse des informations.....	4
1.3.1.	Loi de Pareto / Courbe ABC .....	4
1.3.2.	Lecture des modes de panne : AMPEC .....	4
2-	Comportement du matériel .....	4
2-1-	Analyse des défaillances.....	4
2-1-1-	Définition de la défaillance .....	4
2-1-2-	Les modes principaux de défaillances .....	4
2-1-3-	Les causes de défaillances .....	4
2-1-4-	Le taux de défaillance .....	4
2-2-	Les lois de dégradations .....	4
2-2-2-	Mécanisme et loi de l'usure.....	4
2-2-3-	Les corrosions .....	4
2-2-4-	L'environnement .....	4
2-3-	Notions fondamentales.....	4
2-3-1-	Le CONCEPT DE FIABILITE .....	4
2-3-2-	Le taux de défaillance $\lambda$ : .....	4
2-3-3-	La maintenabilité .....	4
2-3-4-	Taux de réparation $\mu$ : .....	4
2-3-5-	La disponibilité intrinsèque DI : .....	4
2-3-6-	La disponibilité opérationnelle DO : .....	4
2-3-7-	La disponibilité de maintenance DM : .....	4
3-	Analyse des coûts de maintenance .....	4
3-1-	Les ratios de maintenance .....	4
3-1-1-	Définitions .....	4
3-1-2-	Exemples de ratios normalisés .....	4
3-1-3-	La TPM et le TRS. ....	4
3-2-	Les coûts de maintenance .....	4
3-2-1-	Coûts de maintenance, Introduction .....	4
3-2-2-	Coûts d'indisponibilité .....	4
3-2-3-	Coût de défaillance (CD) .....	4
3-2-4-	Coût global d'un équipement .....	4
3-3-	Les formes de production .....	4

# 1-Formes de maintenance

# 1-1- Les différentes formes de maintenance

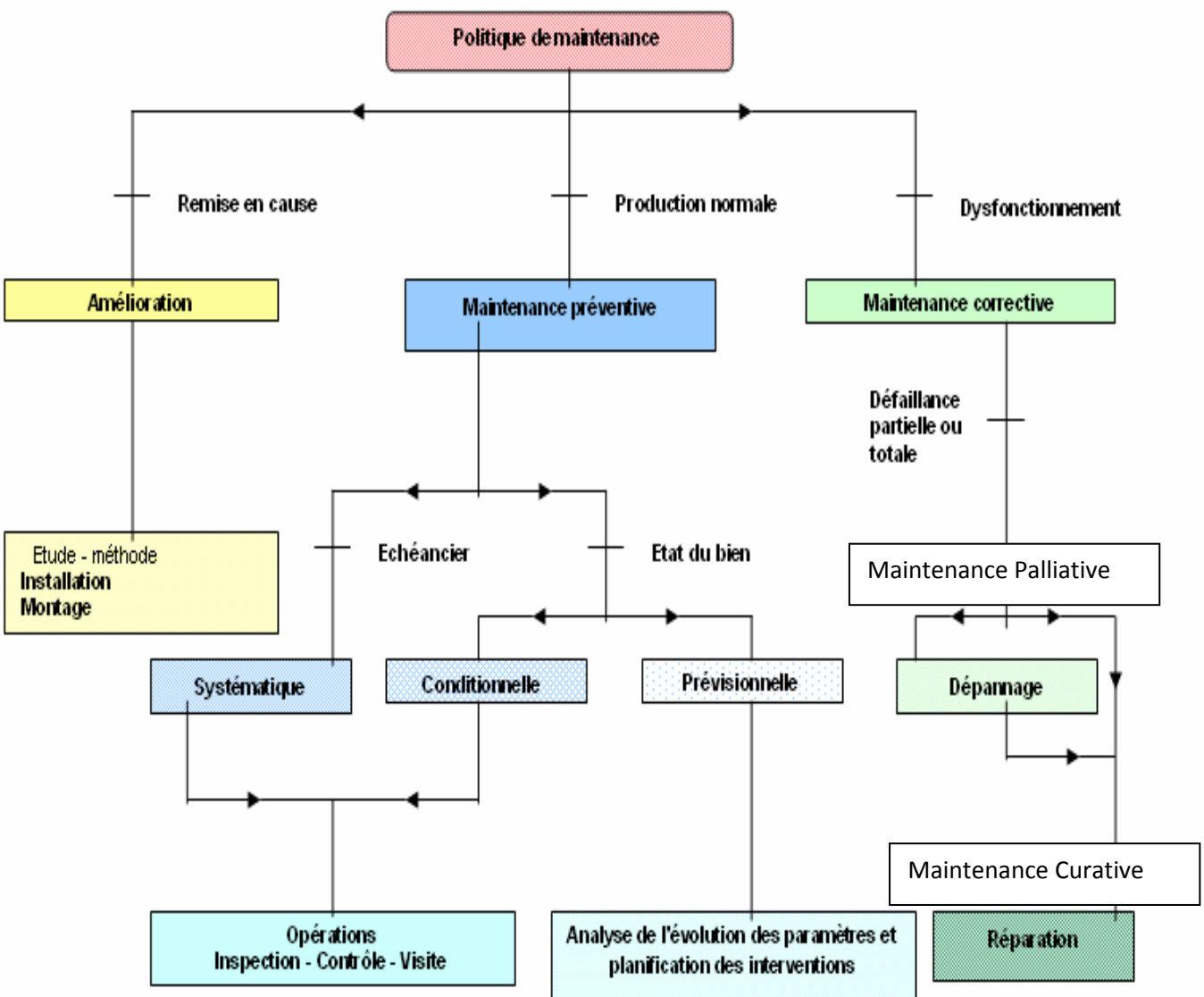
Les diverses options susceptibles d'être mis en œuvre par le service de maintenance relèvent de deux principes fondamentaux :

- la maintenance **CORRECTIVE**, qui correspond à une attitude passive d'attente de la panne ou de l'incident l'action consiste alors à éliminer le défaut, grâce à dépannage ou une réparation.
- La maintenance **PREVENTIVE** qui correspond à la volonté de maîtriser la dégradation d'un équipement afin d'éviter d'être pris au dépourvu par la panne.

Il existe alors deux formes de maintenance préventive :

- la maintenance **PREVENTIVE SYSTEMATIQUE**, qui correspond aux changements ou à la réparation systématique des éléments.
- La maintenance **PREVENTIVE CONDITIONNELLE** qui correspond aux changements ou à la réparation des éléments en fonction de leur état de dégradation.

*Remarque* : la maintenance améliorative, qui est en fait est la troisième voie, correspond à se débarrasser définitivement les défaillances.



### 1-1-1- La maintenance

(EN 13306 : avril 2001)

---

---

---

### 1-1-2- La maintenance corrective

(EN 13306 : avril 2001)

---

---

---

La maintenance corrective consiste, après défaillance, à mettre en état un équipement, et peut donc s'appliquer à tous types d'équipement.

A l'issue d'une intervention de maintenance corrective, l'équipement est en mesure de reprendre sa mission. L'intervention de maintenance corrective peut prendre la forme :

- soit \_\_\_\_\_
- soit \_\_\_\_\_

### 1-1-3- La défaillance

(EN 13306 : avril 2001)

---

---

---

### 1-1-4- La maintenance préventive

(EN 13306 : avril 2001)

---

---

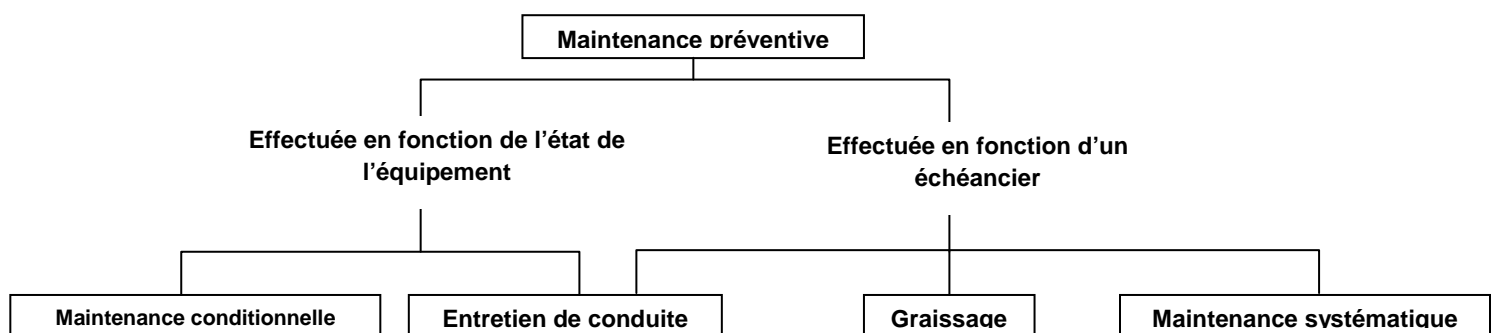
---

La maintenance préventive consiste donc à intervenir sur un équipement avant qu'il ne soit en panne ; cette intervention que prend la forme d'une inspection, d'un contrôle, d'une visite, et inclure certains travaux des titres réglages en remplacement de pièces.

La maintenance préventive peut prendre 2 différentes formes :

- la maintenance préventive \_\_\_\_\_
- la maintenance préventive \_\_\_\_\_

Méthodes de travail résultant de la pratique de la maintenance préventive.



**a- La maintenance préventive systématique**

(EN 13306 : avril 2001)

---

---

---

La maintenance préventive systématique se traduit par l'exécution sur un équipement, à date planifiée, d'intervention dans l'importance de s'échelonner depuis le simple remplacement de quelques pièces, jusqu'à la révision générale.

Les travaux revêtent un caractère systématique, ce qui suppose une parfaite connaissance du comportement de l'équipement, sur ses modes et sa vitesse de dégradation.

*Application :*

Équipement dont la panne risque de provoquer un accident grave :

---

---

Équipement présentant un coût de défaillance est lié du fait des pertes de production :

---

---

Équipement faisant l'objet de mesures de sécurité réglementée :

---

---

Équipement dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps de service :

---

---

---

**b- La maintenance préventive conditionnelle**

(EN 13306 : avril 2001)

---

---

---

La maintenance préventive conditionnelle se traduit par une surveillance des points sensibles équipements, exercée au cours de visite préventive.

Ces visites soigneusement préparées, permettent d'enregistrer :

---

---

---

---

Ou tout autre paramètre qui puisse refléter l'état de l'équipement on décide de travaux de remise en état (changement de pièces, réglage...) Que si les paramètres contrôlés mettent en évidence l'imminence d'une défaillance.

La décision intervention est donc liée aux résultats des visites préventives qui sont réalisées de façon systématique et en fonction d'un planning.

## 1-1-5- Les activités maintenance

### a- Les activités de maintenance corrective

- **Le dépannage**

(EN 13306 : avril 2001)

---

---

---

- *Commentaire :*

Compte-rendu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation par règles de procédure de coût, de qualité et dans ce cas, sera suivie d'une réparation.

- *Cas d'application :*

En dehors des défaillances imprévisibles qui guettent tout équipement, le dépannage est la méthode d'entretiens appropriés pour : les équipements secondaires au fonctionnement sporadique, les équipements à faible coût de défaillance, les équipements pour lesquels une méthode d'entretiens plus élaborée est inadéquate.

- **La réparation**

(EN 13306 : avril 2001)

---

---

---

- *Commentaire :*

la réparation correspond à une action définitive. Équipement réparé doit assurer des performances pour lesquels il était conçu. La réparation est une réparation consécutive à un incident, défaillance, dépannage, visite de maintenance préventive.

- *Cas d'application :*

la réparation concerne tout équipement. Quel que soit la méthode d'entretiens qu'il aurait appliqués, retard, leur état nécessite même réparation.

**b- Les opérations de maintenance préventive**

- **Les inspections**

Définition : \_\_\_\_\_

---

---

---

- *Commentaire :*

pour la maintenance, cette activité peut notamment s'exercer au cours des rondes. Un compte-rendu d'inspection permet de rassembler tous les éléments nécessaires afin de décider du déroulement de l'intervention.

- *Cas d'application : inspection des matériels de lutte contre l'incendie dans une entreprise.*

- **Les contrôles**

Définition : \_\_\_\_\_

---

---

---

- *Commentaire :*

*Le contrôle peut* comporter une activité d'information, inclure une décision (acceptation, rejet, ajournement), déboucher sur des actions correctives.

- *Cas d'application : contrôle d'un niveau d'isolement électrique d'une installation de basse tension par rapport à la norme NF C15-100*

- 

- **Les visites**

Définition : \_\_\_\_\_

---

---

---

- *Commentaire :*

ses interventions correspondent à une liste d'opérations définies au préalable, qui peuvent entraîner des démontages de tout (visite générale) ont parti (visites limitées) les différents éléments de l'équipement pouvant entraîner une immobilisation.

- *Cas d'application : visite périodiques des ascenseurs dans les immeubles d'habitation.*

### *c- Les autres opérations de maintenance*

- **Les révisions**

Définition : \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- *Commentaire :*

il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération, les révisions partielles, des révisions générales. La révision implique la dépose des différents sous-ensembles et ne doit pas être confondu avec visites, contrôle et inspection.

- *Cas d'application : révisions générales d'un compresseur, révisions générales de la chaufferie d'une usine.*

- **Les échanges standard**

Définition : \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Note : la soulte est une somme d'argent, qui dans un échange ou un partage, compense l'inégalité de valeur des biens échangés.

- *Commentaire :*

afin d'accélérer les procédures et de déterminer les coûts, le recouvrement de la soulte doit faire l'objet d'un forfait.

- *Cas d'application : cardan, moteur, etc.*

### *d- Les opérations annexes de la maintenance*

- **La rénovation**

Définition : \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

- *Commentaire :*

La rénovation apparaît donc comme l'une des suites logique d'une vision générale.

- *Cas d'application :*

Rénovation d'une ligne de conditionnement de flacons pour améliorer son degré d'automatisation.

- **La reconstruction**

Définition :

---

---

---

- *Commentaire :*

la reconstruction peut être assortie d'une modélisation ou des modifications, et peuvent concerner, en plus de la durabilité, la capacité de production, l'efficacité, la sécurité,...

- **La modernisation**

Définition :

---

---

---

*Commentaire :* cette opération peut aussi bien être exécutée dans le cas d'une rénovation, dans celui d'une reconstruction.

*e- Application*

Maintenance d'une automobile.	Maintenance Corrective		Maintenance Préventive		D'amélioration
	Dépannage	Réparation	Systématique	Conditionnelle	
Faire le plein d'essence.					
Vidanger tous les 10 000 KM					
Changer les plaquettes de frein (Témoin d'usure)					
Echanger une roue crevée.					
Faire réparer cette roue crevée.					
Changer la courroie de distribution à 100 000 km.					
Vérifier le niveau d'huile tous les mois.					
Changer un pot d'échappement HS.					
Changer un cardan.					
Poser un autoradio.					
Changer le train de pneus.					
Changer de batterie d'accumulateurs.					
Refaire le joint de culasse.					
Changer les disques de frein.					
Faire rénover des amortisseurs.					
Faire le plein d'essence.					
Donner un aspect « tuning ».					
Changer les bougies (ou changer les injecteurs).					
Changer le filtre à air et le filtre à huile.					
La faire repeindre.					

## 1-2- Les niveaux de maintenance

La norme NFX 60-010 propose, à titre indicatif, les cinq niveaux suivants. Leur utilisation pratique, après définition précise dépendant du bien maintenir, suppose l'accord des parties en présence.

Niveaux de maintenance définie par rapport :

- à la nature de l'intervention
- à la qualification de l'intervenant
- aux moyens mis en œuvre

<b>Niveaux</b>	<b>Nature de l'intervention</b>	<b>Compétence de l'intervenant</b>	<b>Lieu de l'intervention</b>	<b>Outillage nécessaire à l'intervention</b>	<b>Stock des pièces de rechange</b>
1 <sup>e</sup>		Exploitant du bien	Sur place	Instructions d'utilisation sans outillage	Très faible en pièces consommables
2 <sup>e</sup>		Technicien habilité de qualification (pouvant travailler en sécurité sur une machine présentant certains risques potentiels)	Sur place	Instructions d'utilisation. Outillage portable défini par les instructions de maintenance.	Pièces de rechange nécessaire transportables sans délai et à proximité du lieu d'exploitation
3 <sup>e</sup>		Technicien spécialisé	Sur place ou Local de maintenance	Outillage prévu dans les instructions de maintenance. Appareils de mesure et de réglage. Bancs d'essais et de contrôle des équipements	Pièces approvisionnées par le magasin
4 <sup>e</sup>		Equipe comprenant un encadrement très spécialisé	Atelier spécialisé	Outillage général. Bancs de mesure et étalons. Toute documentation.	
5 <sup>e</sup>		Constructeur ou Reconstructeur	Atelier central ou Unité extérieure	Moyens proches de la fabrication.	

## 1-2-1- Application

### Objectif :

Classer dans chaque groupe, par niveaux de maintenance (1 à 5) les différentes interventions :

#### Premier groupe :

- \_\_\_ \_\_\_ \_\_\_ Graissage d'une machine
- \_\_\_ \_\_\_ \_\_\_ Démontage d'un manomètre donnant des indications erronées,  
L'étalonnage sur un banc de contrôle remontage la machine.
- \_\_\_ \_\_\_ \_\_\_ Échange d'un fusible
- \_\_\_ \_\_\_ \_\_\_ Rénovation d'une ligne de conditionnement de flacons pour améliorer  
son degré d'automatisation
- \_\_\_ \_\_\_ \_\_\_ Remplacement du coffre équipement électrique de démarrage d'une  
machine

#### Deuxième groupe

- \_\_\_ \_\_\_ \_\_\_ Démontage, réparations, remontage, réglage d'un travail de levage
- \_\_\_ \_\_\_ \_\_\_ Contrôle du bon fonctionnement d'un four de traitement thermique
- \_\_\_ \_\_\_ \_\_\_ Échange de voyants
- \_\_\_ \_\_\_ \_\_\_ Remplacement d'une clavette cisailée nécessitant l'ajustage d'une  
nouvelle clavette.
- \_\_\_ \_\_\_ \_\_\_ Révisions générales de la chaufferie d'une usine

# 1-3- L'analyse des informations

## 1.3.1. Loi de Pareto / Courbe ABC

### Décider c'est choisir.

Cela impose que plusieurs choix options s'offrent à la décision.

Deux étapes peuvent se dégager :

- **L'observation** ; exemple : les historiques de pannes
- **L'analyse** ; exemple : lois mathématiques.

**L'observation** dégage ----- qui sont analysés.

**L'analyse** correspondant à la ----- des observations.

*Décider entre la maintenance corrective et la maintenance préventive systématique par les calculs*

Caractère économique.

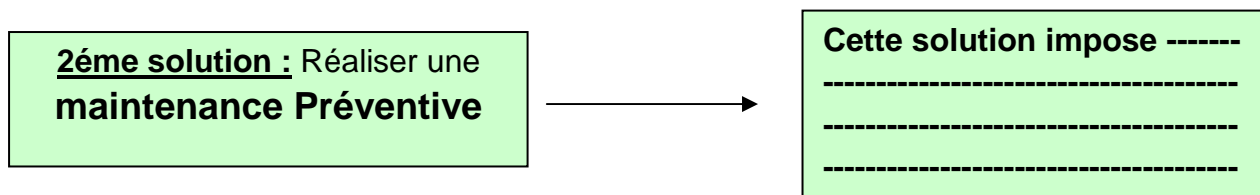
**Coût de défaillance = -----**

Caractère technique.

- **Fiabilité**
- **Maintenabilité**



- Le coût sera = Coût de perte de production + coût de réparation



**Le coût sera = -----**  
**(Pouvant survenir malgré tout).**

## a- Introduction.

Un économiste italien, **Vilfredo Pareto**, en étudiant la répartition des impôts constata que **20 % des contribuables payaient 80 % de la recette de ces impôts**. D'autres répartitions analogiques ont pu être constatées, ce qui a permis d'en tirer **la loi des 20-80 ou la loi de Pareto**. Cette loi peut s'appliquer à beaucoup de problèmes, c'est un **outil efficace pour le choix et l'aide à la décision**.

### 1) Exemple de répartition appliquée à la maintenance.

20 % des systèmes représentent 80 % des pannes.

20 % des interventions représentent 80 % des coûts de maintenance.

20 % des composants représentent 80 % de la valeur des stocks.

### 2) Mise en application de la loi.

L'exploitation de cette loi permet de déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en diminuer leurs effets :

- Diminuer les coûts de maintenance.
- Améliorer la fiabilité des systèmes.
- Justifier la mise en place d'une politique de maintenance.

## b- Fonction.

Suggérer objectivement **un choix**, c'est-à-dire **classer par ordre d'importance** des éléments (produits, machines, pièces...) à partir d'une base de connaissance d'une période antérieure (historique de pannes par exemple). Les **résultats se présentent sous la forme d'une courbe appelée courbe ABC** dont l'exploitation permet de **détecter les éléments les plus significatifs** du problème à résoudre et de prendre les **décisions permettant sa résolution**.

## c- Méthode.

L'étude suppose obligatoirement que l'on est :

Un historique

Des prévisions

Pour un secteur ou un système donné l'application de la **loi de Pareto** impose plusieurs étapes :



Ces éléments peuvent être :

- Des matériels.
- Des causes de pannes.
- Des natures de pannes...



Organiser le classement selon les critères de valeurs retenus (les coûts, les temps, les rebuts...).



Ce graphe fera apparaître les constituants sur la situation étudiée.

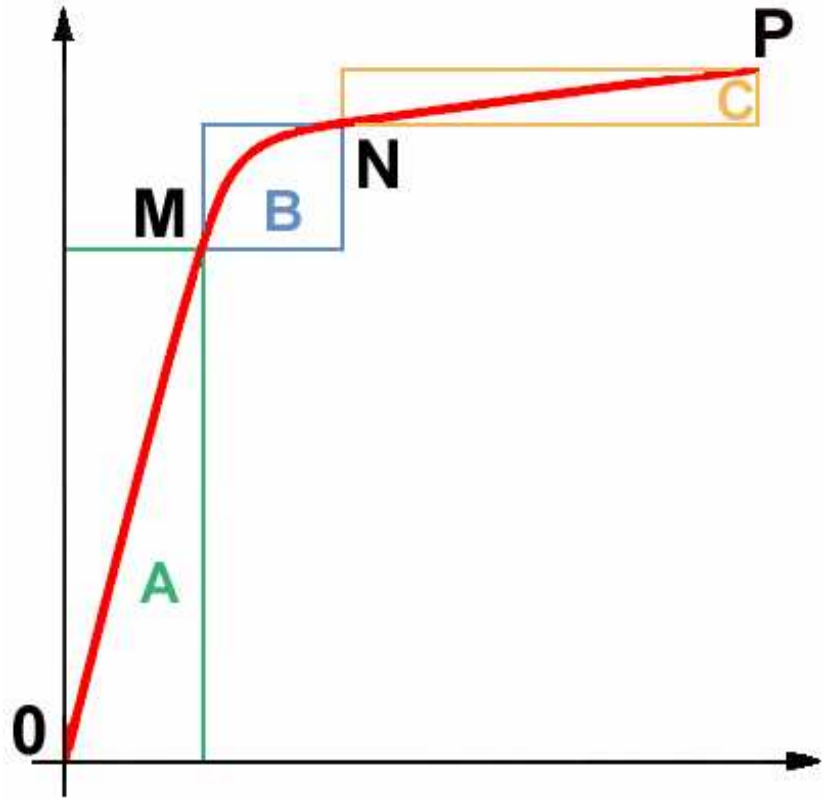


Il s'agit de délimiter sur la courbe obtenue des zones à partir de l'allure de la courbe. En général la courbe possède deux cassures, ce qui permet de définir trois zones :

La partie droite de la courbe \_\_\_\_\_ détermine la zone \_\_\_\_\_.

La partie courbe \_\_\_\_\_ détermine la zone \_\_\_\_\_.

La partie assimilée à une droite \_\_\_\_\_ détermine la zone \_\_\_\_\_.



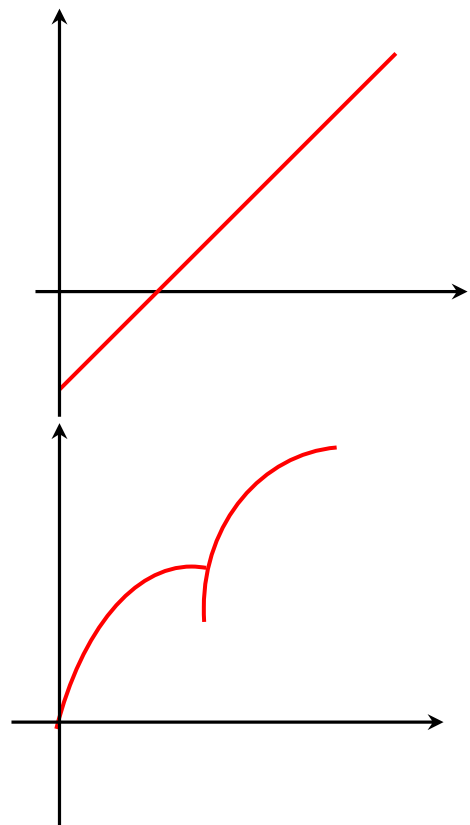
L'étude porte dans un premier temps sur les éléments constituant la \_\_\_\_\_ en priorité.

Si les décisions et modifications apportées aux éléments de la zone A ne donnent pas satisfaction, on continuera \_\_\_\_\_ jusqu'à satisfaction. Les éléments appartenant à \_\_\_\_\_ peuvent être \_\_\_\_\_, car ils ont peu d'influence sur le critère étudié.

#### *d- Cas particuliers de courbes.*

Il n'y a pas de priorité à dégager, tous les éléments ont la même valeur.

C'est une courbe impossible, il y a une erreur de classement.



### e- Exemples.

Une entreprise fabrique des appareils, référence de A à H, selon un programme semestriel. Le coût de production est alourdi par le nombre de retour de produits croissants qui par surcroît tend à détruire l'image de marque de l'entreprise.

Le tableau ci-dessous récapitule des différents éléments par références :

Nombre d'appareils fabriqués  
 Nombre de retouches  
 Nombre d'heures de retouches.

Ref.	Nbre de pièces	%	Nbre de retouches.	%	Nbre d'h. de retouches	%
A	30	5,66	2		6	
B	60	11,32	1		4	
C	130	24,53	13		20	
D	20	3,77	5		1	
E	10	1,89	1		1	
F	150	28,3	11		31	
G	30	5,66	6		9	
H	100	18,87	14		13	
<b>Total</b>	<b>530</b>	<b>100</b>				

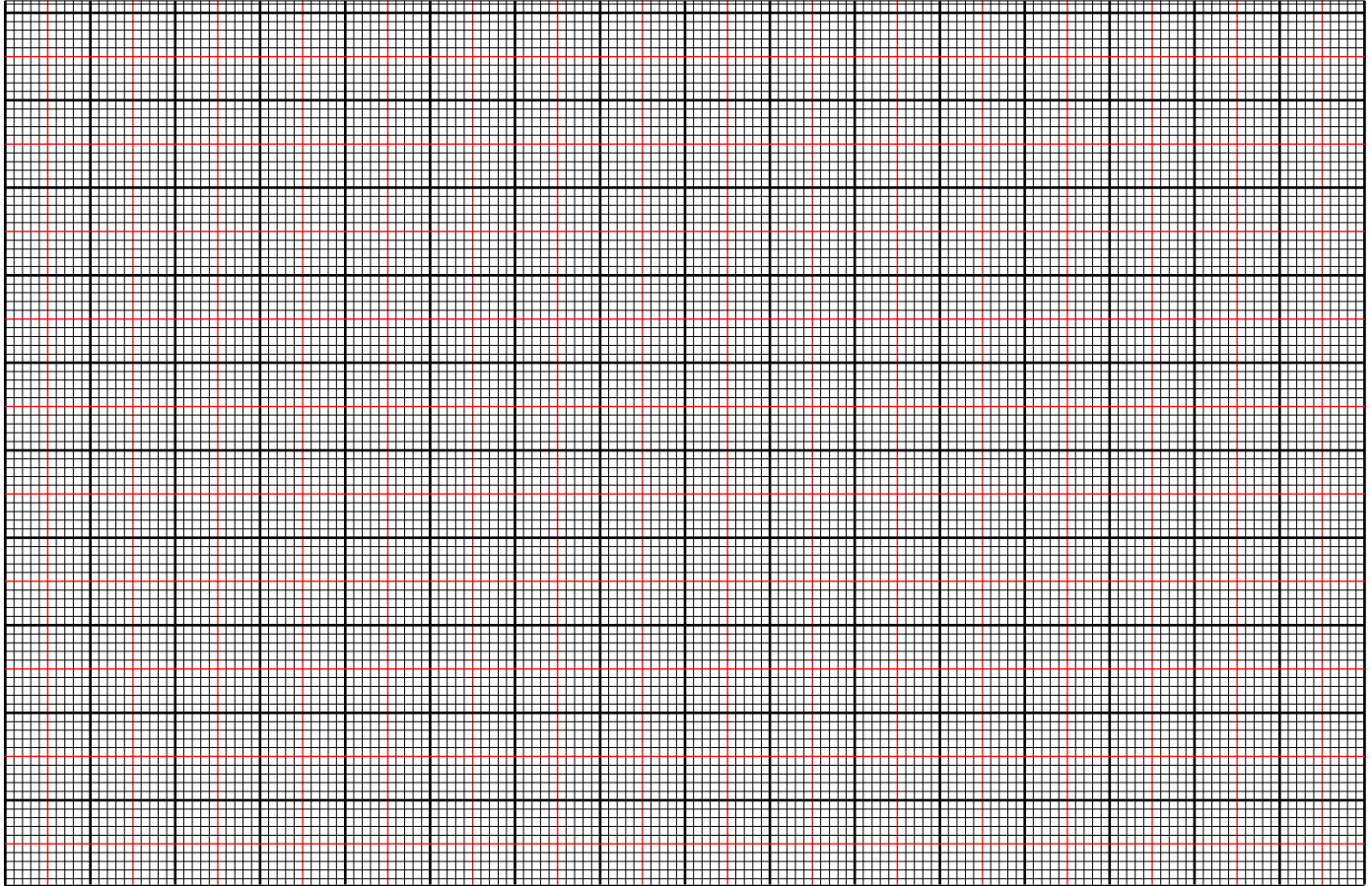


#### **Travail à faire pour le nombre de pièces :**

- Compléter le tableau ci-dessous :
  - Classer dans un ordre décroissant (du plus grand au plus petit) les références.
  - Classer dans un ordre décroissant les pourcentages.
  - Calculer le pourcentage cumulé
- Tracer la courbe ABC du % cumulé en fonction des références.
- Conclure.

Réf.	Nbre de pièces	%	Ordre décrois.	%	% cumulé
A	30	5,66	F	28,3	<b>28,3</b>
B	60	11,32	C	24,53	28,3 + 24,53 = <b>52,83</b>
C	130	24,53	H	18,87	52,83 + 18,87 = <b>71,7</b>
D	20	3,77			
E	10	1,89			
F	150	28,3			
G	30	5,66			
H	100	18,87			
<b>Total</b>	<b>530</b>	<b>100</b>			

Echelle : 1cm → une référence (axe des abscisses)  
1 cm → 10 % cumulé (axe des ordonnées)



### Conclusion

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

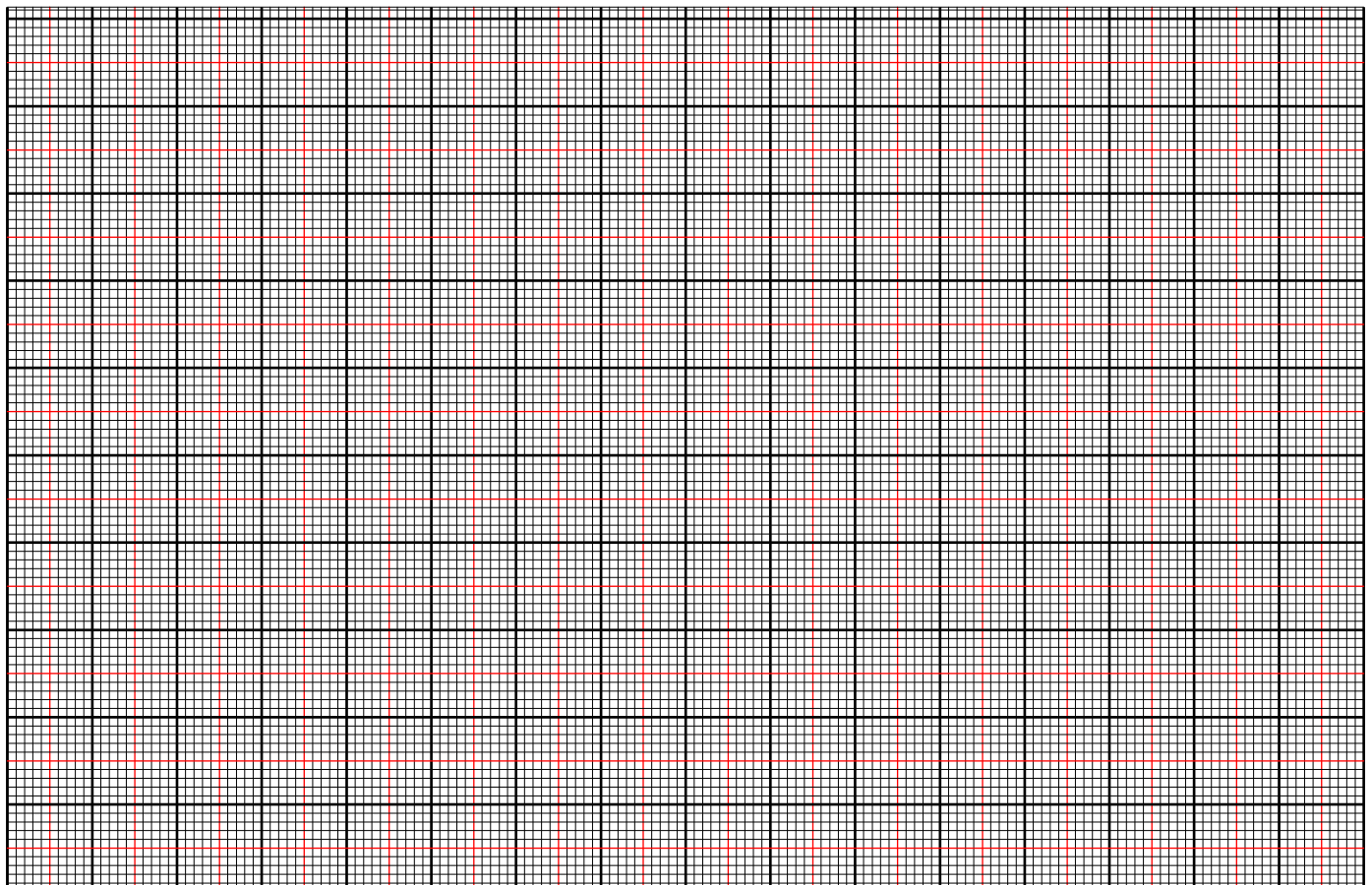
.....

**Travail à faire pour le nombre de retouches :**

- Compléter le tableau ci-dessous :
  - Classer dans un ordre décroissant (du plus grand au plus petit) les références.
  - Classer dans un ordre décroissant les pourcentages.
  - Calculer le pourcentage cumulé
- Tracer la courbe ABC du % cumulé en fonction des références.
- Conclure.

Réf.	Nbre de retouches	%	Ordre décrois.	%	% cumulé
A	2				
B	1				
C	13				
D	5				
E	1				
F	11				
G	6				
H	14				
<b>Total</b>					

Echelle : 1cm → une référence (axe des abscisses)  
 1 cm → 10 % cumulé (axe des ordonnées)



## Conclusion

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

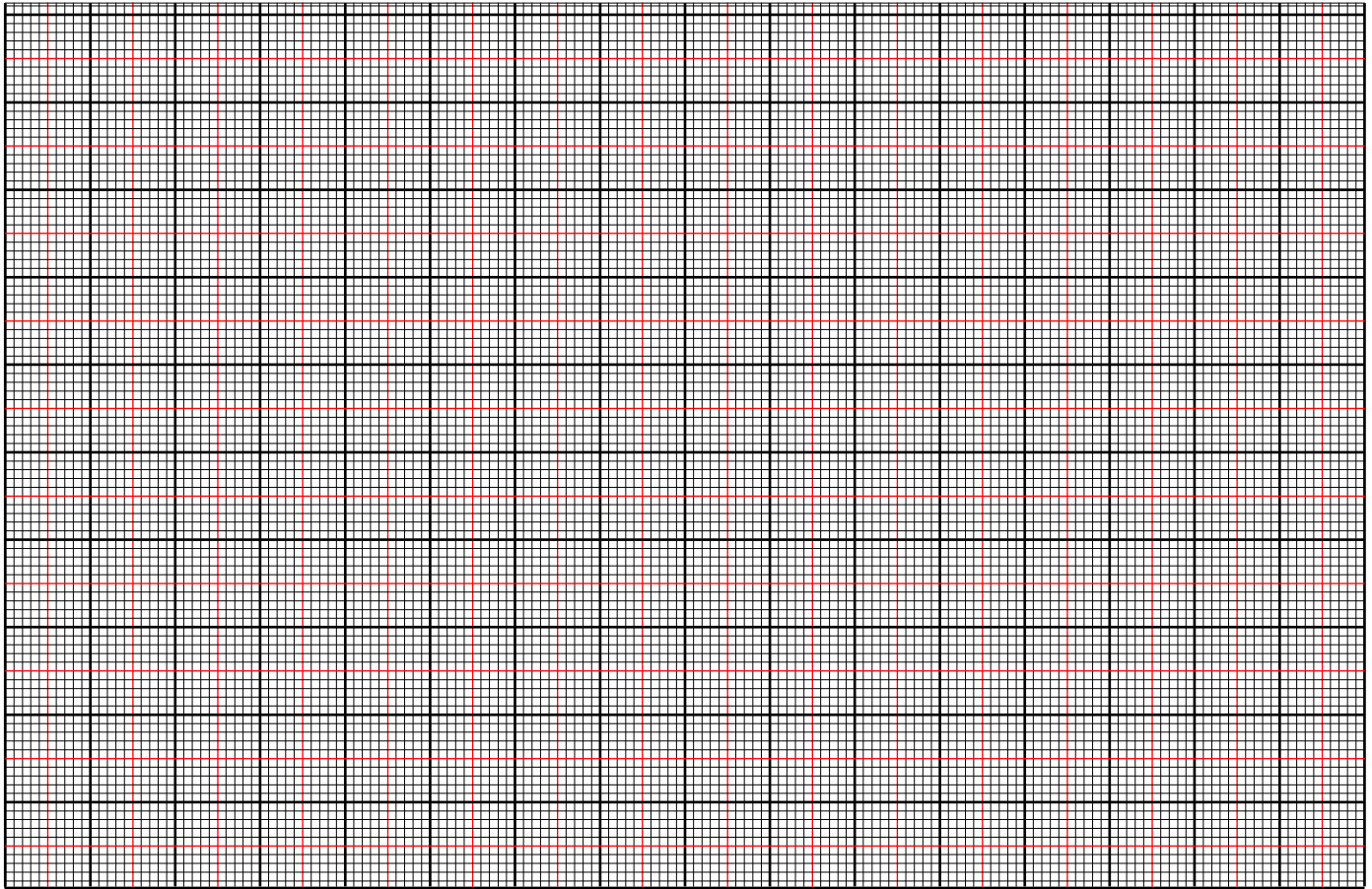
.....

### **Travail à faire pour le nombre d'heures de retouches :**

- Compléter le tableau ci-dessous :
  - Classer dans un ordre décroissant (du plus grand au plus petit) les références.
  - Classer dans un ordre décroissant les pourcentages.
  - Calculer le pourcentage cumulé
- Tracer la courbe ABC du % cumulé en fonction des références..
- Conclure.

Réf.	Nbre d'heures	%	Ordre décrois.	%	% cumulé
A	6				
B	4				
C	20				
D	1				
E	1				
F	31				
G	9				
H	13				
<b>Total</b>					

Echelle : 1cm → une référence (axe des abscisses)  
1 cm → 10 % cumulé (axe des ordonnées)



Conclusion

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## 1.3.2. Lecture des modes de panne : AMPEC

L'A.M.P.E.C. " MOYEN DE PRODUCTION "







### a- Objectifs de l'AMPEC

L'AMPEC est une technique d'analyse prévisionnelle qui permet d'estimer les risques d'apparition de défaillance ainsi que les conséquences sur le bon fonctionnement du moyen de production, et d'engager les actions correctives nécessaires.



L'objectif principal est l'obtention d'une disponibilité maximale.

Les objectifs intermédiaires sont les suivants :

-  Analyser les conséquences des défaillances,
-  Identifier les modes de défaillances,
-  Préciser pour chaque mode de défaillance les moyens et les procédures de détection,
-  Déterminer l'importance ou la criticité de chaque mode de défaillance,
-  Classer les modes de défaillance,
-  Etablir des échelles de signification et de probabilité de défaillance.

### b- Mise en oeuvre

- Constituer :** un groupe de travail pluridisciplinaire (production, maintenance),
- Définir :** les limites de l'étude (objectif, délais, système),
- Présenter :** le système, son environnement et découper celui-ci en sous-ensembles fonctionnels,
- Recenser :** les modes de défaillances,
- Rechercher :** les causes de défaillances (ISHIKAWA),
- Etudier :** les effets de chaque défaillance et les conséquences les plus probables sur le système,
- Recenser :** les moyens de détection existants.

### c- Conclusion

**L'A.M.P.E.C. " Moyen de production " par l'analyse des pannes, la fréquence d'apparition et les temps d'arrêt favorise :**

*La mise en place des plans de maintenance préventive*

*L'organisation et la réalisation des actions de maintenance*

*Améliore les conditions d'intervention*

#### d- Les modes de défaillances (Pannes)

C'est la manière dont un système vient à ne pas fonctionner.

Il est relatif à la fonction de chaque élément.

Une fonction a 4 façons de ne pas être correctement effectuée :

Plus de fonction : la fonction cesse de se réaliser,

Pas de fonction : la fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite,

Fonction dégradée : la fonction ne se réalise pas parfaitement, altération de performances

Fonction intempestive : la fonction se réalise lorsqu'elle n'est pas sollicitée.

Modes de défaillances	Composants électriques et électromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Plus de fonction	- composant défectueux	- composant défectueux - circuit coupé ou bouché	- rupture - blocage, grippage
Pas de fonction	- composant ne répondant pas à la sollicitation dont il est l'objet - connexions débranchées - fils desserrés	- connexions / raccords débranchés	
Fonction dégradée	- dérive des caractéristiques	- mauvaise étanchéité - usure	- désolidarisation - jeu
Fonction intempestive	- perturbations (parasites)	- perturbations (coups de bélier)	

#### e- Les causes de défaillances (Pannes)

Il existe 4 types de causes amenant le mode de défaillance :

Causes internes au matériel,

Causes externes au matériel : matériel en amont,

Causes externes dues à l'environnement, au milieu, à l'exploitation,

Causes externes dues à la main d'œuvre.

Causes de défaillance	Composants électriques et électromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Causes internes matériel	- vieillissement - composant HS (mort subite)	- vieillissement - composant HS (mort subite) - colmatage - fuites	- contraintes mécaniques - fatigue mécanique - états de surface
Causes externes milieu exploitation	- pollution (poussière, huile, eau) - chocs - vibrations - échauffement local - parasites - perturbations électromagnétiques, etc.	- température ambiante - pollution (poussières, huile, eau) - vibrations - échauffement local - chocs, coups de bélier	- température ambiante - pollution (poussières, huile, eau) - vibrations - échauffement local - chocs
Causes externes Main d'œuvre	- montage - réglages - contrôle - mise en œuvre - utilisation - manque d'énergie	- montage - réglages - contrôle - mise en œuvre - utilisation - manque d'énergie	- conception - fabrication (pour les composants fabriqués) - montage - réglages - contrôle - mise en œuvre - utilisation

### *f- Criticité des conséquences*

La criticité est en fait la **gravité des conséquences** de la défaillance, déterminée par calcul

**F** : \_\_\_\_\_ : elle doit représenter la probabilité d'apparition du mode de défaillance résultant d'une cause donnée.

**D** : \_\_\_\_\_ : elle doit représenter la probabilité de ne pas détecter la cause ou le mode de défaillance avant que l'effet survienne.

**G** : \_\_\_\_\_ : la gravité représente la sévérité relative à l'effet de la défaillance.

Chaque critère comporte 4 niveaux de gravité notés de 1 à 4.

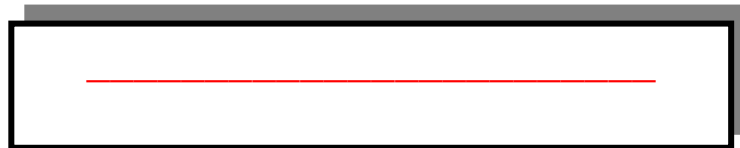
**C ou I.P.R.** : \_\_\_\_\_ : elle est exprimée par l'Indice de Priorité des Risques.

\_\_\_\_\_ Rien à signaler

\_\_\_\_\_ Surveillance accrue à envisager, valeur à la limite de l'acceptable

\_\_\_\_\_ Mise en place d'actions permettant de corriger donc d'améliorer le moyen ou l'installation utilisé

La valeur relative des criticités des différentes défaillances permet de planifier les recherches en commençant par celles qui ont la **criticité la plus élevée**.



### *g- Propositions d'améliorations*

La réduction de l'I.P.R. (C) peut se faire par modification technique, par le changement de la méthode de maintenance appliquée et / ou par la mise en place de documents relatifs aux modes opératoires, aux procédures,...

Un plan d'action sera établi pour fixer des priorités par rapport aux améliorations proposées. Des critères économiques sont à prendre en compte pour hiérarchiser.

*h- Exemple d'a.m.p.e.c.*

ANALYSE DES MODES DE PANNE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE										AMPEC MACHINE	
Système : SYSTEME DE GRAISSAGE DE MACHINE OUTIL Sous-système : POMPAGE DE LUBRIFIANT			Phase de fonctionnement : MACHINE NORMALE			Date de l'analyse : .....					
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité				Action corrective	
						F F	G G	N N	C C		
<b>Moteur</b>	Entrainer la pompe	Pas de rotation	Pas d'alimentation	Arrêt machine mano*		1	2	4	8		
			Absence de commande	Arrêt machine mano*		21	2	4	16	8	MPS : contrôle contacteur
			Moteur HS	Arrêt machine mano*		1	4	3	16	12	PR : moteur
<b>Crépine d'aspiration</b>	Filtrer le lubrifiant	Rotation inversée	Erreur de câblage	Arrêt machine mano*		1	2	4	2	84	D : consigne opérateur de maintenance
			Présence d'impuretés diverses au remplissage	Arrêt machine mano*	Visuel (manomètre)	1	3	3	9		MR : grille sur bouchon de remplissage
			Détérioration crépine	Usure pompe		1	2	3	6		
<b>Pompe</b>	Débitier le lubrifiant sous pression	Pas de débit	Rupture accouplement	Arrêt machine mano*		1	4	4	16	12	PR : accouplement
			Rupture interne / blocage	Arrêt machine mano* + détérioration moteur	Visuel (manomètre)	1	4	4	16	12	PR : joints / pompe / moteur MR : installer thermique
			Usure interne	Arrêt machine mano*	Visuel (manomètre)	1	4	3	16	8	MPT : vérifier montée en pression
<b>Circuit pompe</b>	Etablir la liaison hydraulique entre la pompe et la soupape de décompression	Obturation	Lubrifiant non conforme	Arrêt machine mano*	Visuel (manomètre)	1	4	2	8		D : formation opérateur
			Impureté dues à l'usure	Arrêt machine mano*	Visuel (manomètre)	1	4	3	12		MPT : vérifier montée en pression
		Fuite	Raccords desserrés par vibrations / joints défectueux	Arrêt machine mano*	Visuel (manomètre)						MPT : vérifier montée en pression MPA : resserrer les raccords PR : joints, raccords, tuyaux

\* Cet arrêt machine est commandé par le mano-contact si la pression dans le circuit primaire est insuffisante à la fin du cycle de graissage.

**Légende**

D : divers

MPT : maintenance préventive trimestrielle

MPS : maintenance préventive semestrielle

MPA : maintenance préventive annuelle

MR : modification à réaliser

PR : pièce de rechange

# **2-Comportement du matériel**

# 2-1- Analyse des défaillances

## 2-1-1- Définition de la défaillance

Les \_\_\_\_\_ sont à la maintenance ce que les \_\_\_\_\_ sont à la médecine. Il est inutile d'effectuer un dépannage ou une réparation sans avoir au préalable \_\_\_\_\_ à remédier.

---



---



---

Synonymes usuels non normalisés : « failure » (anglais), dysfonctionnement, dommages, dégâts, anomalies, avaries, incidents, défauts.

Après défaillance, le système est donc en état de panne. La défaillance est \_\_\_\_\_, par opposition à une panne qui \_\_\_\_\_.

## 2-1-2- Les modes principaux de défaillances

- **Mode de défaillance** : Façon par laquelle une défaillance se manifeste. C'est la manière dont un système vient à ne pas fonctionner.  
(Analogie médicale : **symptôme** : façon par laquelle une maladie se manifeste).

Il est relatif à la fonction de chaque élément.

Une fonction a 4 façons de ne pas être correctement effectuée :

- Plus de fonction** : la fonction cesse de se réaliser,
- Pas de fonction** : la fonction ne se réalise pas lorsqu'on la sollicite,
- Fonction dégradée** : la fonction ne se réalise pas parfaitement, altération de performances
- Fonction intempestive** : la fonction se réalise lorsqu'elle n'est pas sollicitée.

Modes de défaillances	Composants électriques et électromécaniques	Composants hydrauliques	Composants mécaniques
Plus de fonction	- composant défectueux	- composant défectueux - circuit coupé ou bouché	- rupture - blocage, grippage
Pas de fonction	- composant ne répondant pas à la sollicitation dont il est l'objet - connexions débranchées - fils desserrés	- connexions / raccords débranchés	
Fonction dégradée	- dérive des caractéristiques	- mauvaise étanchéité - usure	- désolidarisation - jeu
Fonction intempestive	- perturbations (parasites)	- perturbations (coups de bélier)	

Rep	MODES DE DEFAILLANCE	Rep	MODE DE DEFAILLANCE
1	Défaillance structurelle (rupture)	19	Ne s'arrête pas
2	blocage physique au croisement	20	ne démarre pas
3	vibrations	21	ne commute pas
4	ne restent pas en position	22	fonctionnement prématuré
5	ne s'ouvre pas	23	fonctionnement après le délai prévu (retard)
6	ne se ferme pas	24	entrée erronée (augmentation)
7	défaillance en position ouverte	25	entrée erronée (diminution)
8	défaillance en position fermée	26	sortie erronée (augmentation)
9	fuite interne	27	sortie erronée (diminution)
10	fuite externe	28	perte de l'entrée
11	dépasse la limite supérieure tolérée	29	perte de la sortie
12	est en dessous de la limite inférieure tolérée	30	court-circuit (électrique)
13	fonctionnement intempestif	31	circuit ouvert (électrique)
14	fonctionnement intermittent	32	fuite (électrique)
15	fonctionnement irrégulier	33	autres conditions de défaillance exceptionnelle suivant les caractéristiques du système les conditions de fonctionnement et des contraintes opérationnelles.
16	indications erronées		
17	écoulement réduit		
18	mis en marche erronée		

## 2-1-3- Les causes de défaillances

Le service maintenance doit, à partir du mode de défaillance, effet observable de cette dernière, doit définir les causes possibles de cette même défaillance.

Elles peuvent se classer en trois catégories :

<i>Causes de défaillance</i>	<i>Composants électriques et électromécaniques</i>	<i>Composants hydrauliques</i>	<i>Composants mécaniques</i>
<i>Causes internes matériel Intrinsèque</i>	- vieillissement - composant HS (mort subite)	- vieillissement - composant HS (mort subite) - colmatage - fuites	- contraintes mécaniques - fatigue mécanique - états de surface
<i>Causes externes Extrinsèque milieu exploitation</i>	- - pollution (poussière, huile, eau) - chocs - vibrations - échauffement local - parasites - - perturbations électromagnétiques, etc.	- - température ambiante - - pollution (poussières, huile, eau) - vibrations - échauffement local - chocs, coups de bélier	- - température ambiante - - pollution (poussières, huile, eau) - vibrations - échauffement local - chocs
<i>Causes externes Extrinsèque Main d'œuvre</i>	- - montage - réglages - contrôle - mise en oeuvre - utilisation - manque d'énergie	- - montage - réglages - contrôle - mise en oeuvre - utilisation - manque d'énergie	- - conception - - fabrication - - montage - réglages - contrôle - mise en oeuvre - utilisation

Il existe 4 types de causes amenant le mode de défaillance :

Causes internes au matériel,  
Causes externes au matériel : matériel en amont,  
Causes externes dues à l'environnement, au milieu, à l'exploitation,  
Causes externes dues à la main d'œuvre.

Cause de défaillance et maintenance associée

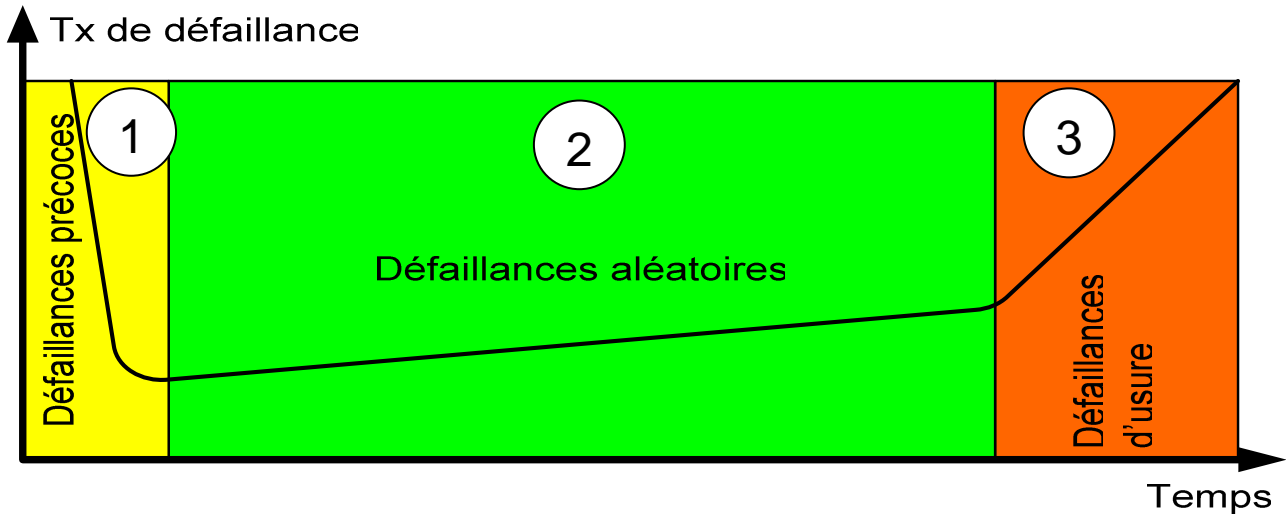
Une action de maintenance ne peut être jugée optimale, c'est-à-dire :

- Efficace dans sa rapidité d'exécution
- Fiable pour ses effets dans le temps :

CATÉGORIE	EXEMPLES DE CAUSE	ACTION DE MAINTENANCE ASSOCIÉE
Causes inhérentes au fonctionnement	<b>USURE</b> : avec la variation progressive des caractéristiques : <ul style="list-style-type: none"> <li>● mécaniques</li> <li>● dimensionnelles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Maintenance de premier niveau</b> : nettoyage, lubrification, etc.</li> <li>● <b>Maintenance préventive conditionnelle</b> : suivi vibratoire, contrôle dimensionnel, etc.</li> <li>● <b>Maintenance d'amélioration</b> : traitement de surface, etc.</li> </ul>
	<b>CORROSION</b> : avec la détérioration de la structure interne ou l'altération de la surface.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Maintenance préventive systémique</b> : visite des matériels corrodés.</li> <li>● <b>Maintenance d'amélioration</b> : <ul style="list-style-type: none"> <li>● choix d'autres matériaux,</li> <li>● choix de nouveaux revêtements,</li> <li>● diminution de l'agressivité de l'ambiance.</li> </ul> </li> </ul>
	<b>CHOC</b> : avec la rupture totale ou partielle de certains constituants.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Maintenance d'amélioration</b> pour l'étude et l'installation de dispositif de sécurité.</li> </ul>
	<b>SURCHARGE</b> : avec la détérioration progressive des caractéristiques de certains constituants par un non-respect des consignes d'exploitation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Maintenance d'amélioration</b> pour l'étude et l'installation des dispositifs de protection contre les surcharges avec la rédaction de consignes plus précises pour l'exploitation.</li> </ul>
Causes inhérentes à la conception fonctionnelle et à l'organisation structurelle de l'entité	<p><b>DÉFAUTS DUS AUX MATÉRIAUX</b> : avec une mauvaise tenue des pièces suite à un mode d'obtention défectueux par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● en fonderie : tapures, criques, retassures, etc.</li> <li>● en laminage : tensions internes, etc.</li> </ul> <p><b>DÉFAUTS DUS AUX MÉTHODES DE FABRICATION</b> : avec des pièces mal usinées, des soudures non homogènes, etc.</p> <p><b>DÉFAUTS DUS AUX MÉTHODES ET PROCÉDÉS DE MONTAGE</b> : avec un non-respect des jeux fonctionnels, des conditions de liaisons insatisfaisantes, etc.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Maintenance corrective</b> pour la réparation des constituants défectueux.</li> <li>● <b>La fonction maintenance doit participer aux études et à la préparation du travail</b> concernant un nouveau matériel, en particulier dans : <ul style="list-style-type: none"> <li>● le choix des matériaux,</li> <li>● la préparation des méthodes de fabrication et de montage,</li> <li>● les bases d'appréciation et les méthodes de contrôle, avec pour objectif l'amélioration de : <ul style="list-style-type: none"> <li>- la maintenabilité,</li> <li>- la fiabilité,</li> <li>- la sécurité,</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
Causes inhérentes à l'environnement	<p><b>DÉFAUTS DUS À UN MAUVAIS CHOIX DES CONSTITUANTS</b> : par rapport aux conditions d'influences externes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● présence d'eau,</li> <li>● risques de chocs mécaniques,</li> <li>● température ambiante élevée, etc.</li> </ul> <p>ou par rapport à des atmosphères particulières :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● explosive,</li> <li>● corrosive,</li> <li>● chargée d'huile et de graisse, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>Maintenance corrective</b> avec la mise en œuvre de constituants adaptés à ces environnements.</li> <li>● <b>Maintenance préventive</b> pour mesurer en permanence le niveau du risque présenté par ces atmosphères.</li> <li>● <b>La fonction maintenance doit informer</b> les études des contraintes spécifiques à ces environnements avec un dispositif d'amélioration de : <ul style="list-style-type: none"> <li>● la sécurité,</li> <li>● la fiabilité,</li> </ul> </li> </ul>

## 2-1-4- Le taux de défaillance

Le \_\_\_\_\_ ( $\lambda$ ) appelé également \_\_\_\_\_, il s'exprime en pannes par heure.  
 (Ex :  $\lambda=0.19$  pannes/heure). Il représente la fréquence des pannes.



**Zone 1 :** Représente la \_\_\_\_\_ pendant laquelle le taux de défaillance décroît (Erreur de conception, de fabrication ou de montage), cette période peut être réduite par un déverminage, passage au banc d'essai.

- \_\_\_\_\_

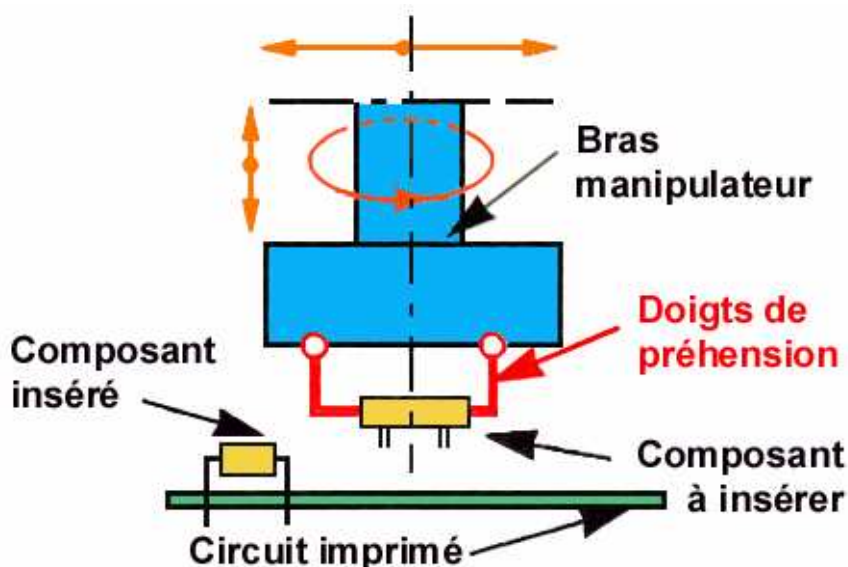
**Zone 2 :** La \_\_\_\_\_ l'apparition des défaillances est totalement aléatoire.

- \_\_\_\_\_

**Zone 3 :** La \_\_\_\_\_ du matériel.

- \_\_\_\_\_

Sur une machine d'insertion automatique de composants électroniques sur des circuits imprimés la rupture des **doigts de préhension des composants**, situés à l'extrémité d'un bras manipulateur, provoque des arrêts importants (changement des doigts, réinitialisation de la machine, réglages).



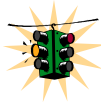
Le service maintenance décide d'étudier la **fiabilité de ces éléments** en vue d'instaurer une action de **maintenance préventive systématique** les concernant. Sachant que l'entreprise possède **14** machines d'insertion automatique de composants électroniques.

**ETUDE DU TAUX DE DEFAILLANCE.**



**Travail à faire sur feuille 2/5 :**

- Compléter le tableau de calcul du taux de défaillance.
- Tracer la courbe taux de défaillance en fonction du temps et conclure.



**Taux de défaillance :**

**Nombre de matériels défaillants pendant un intervalle de temps  $\Delta t$**

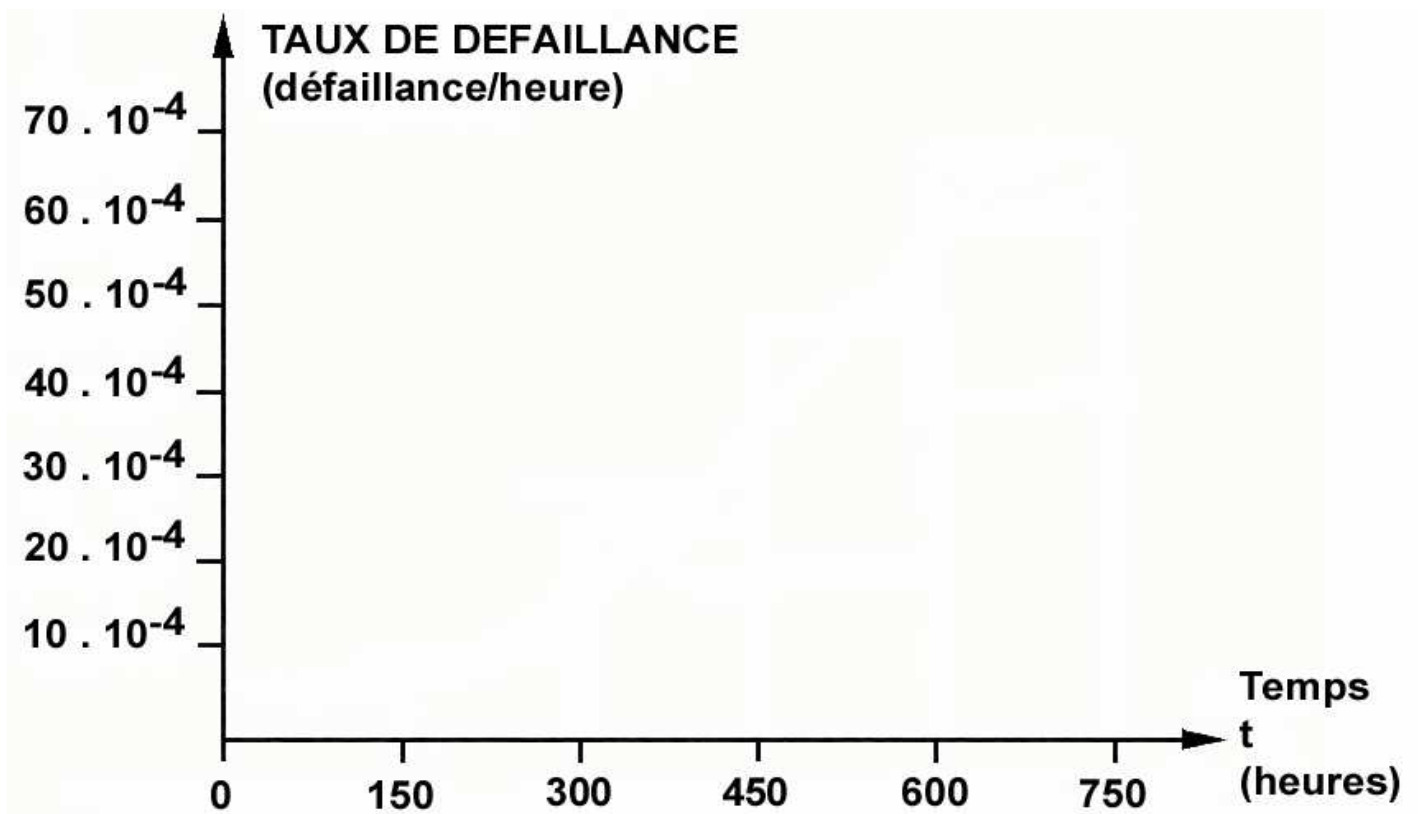
**$\lambda (t) =$**

**Nombre de matériels en service au début de  $\Delta t \times t$**

*Calcul du taux de défaillance exprimé en défaillance / heure.*

Intervalles $\Delta t$ (en heures)	0 – 150	150 – 300	300 – 450	450 – 600	600 – 750
Nombre de matériels en service au début de $\Delta t$	14	13	11	7	2
Nombre de matériels défaillants pendant $\Delta t$	1	2	4	5	2
TAUX DE DEFAILLANCE (défaillance/heure) $\lambda (t)$					

*Représentation graphique du taux de défaillance en fonction du temps.*



Cette courbe met en évidence :

- La période de défaillance précoce.
- La période de défaillance à taux constant.
- La période de défaillance par vieillissement.

Un changement systématique des doigts de préhension suivant une périodicité donnée :

est envisageable

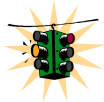
n'est pas envisageable

**ETUDE DE LA FONCTION FIABILITE R(t).**



**Travail à faire :**

- Compléter le tableau de calcul de la fonction fiabilité en vous aidant du tableau du taux de défaillance..
- Représenter graphiquement la fiabilité en fonction du temps.



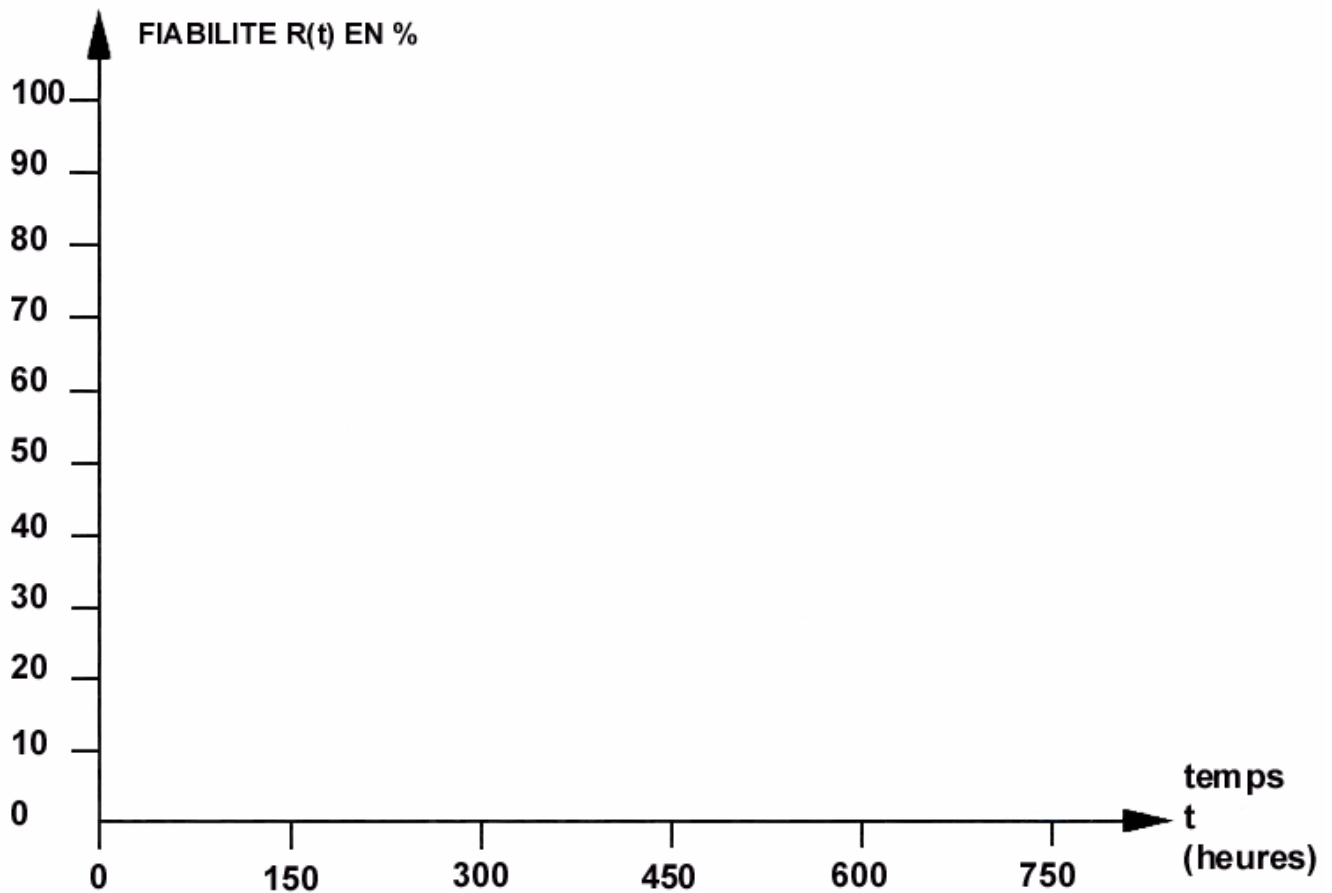
**La fonction fiabilité R(t) :**

$$R(t) = \frac{\text{Nombre de matériels sans défaillances entre 0 et t}}{\text{Nombre total de matériels observé}}$$

*Calcul de la fonction fiabilité R(t)*

Intervalles $\Delta t$ (en heures)	0 – 150	150 – 300	300 – 450	450 – 600	600 – 750
Nombre de matériels défaillants dans l'intervalle $\Delta t$					
Nombre de matériels sans défaillants à la fin de l'intervalle $\Delta t$					
<b>FIABILITE R(t)</b>					

*Représentation graphique de la fonction fiabilité R(t).*



**CHOIX DE LA PERIODICITE DE CHANGEMENT SYSTEMATIQUE T.**

Le changement systématique des doigts aura lieu **hors production** et sera d'une durée approximative de 2 heures.

L'entreprise travaille 16 heures par jour, 5 jours par semaine (congé le samedi, dimanche et jours fériés) et ferme durant le mois d'août du 1 au 28.

**Le dernier changement a eu lieu le 5 avril avant le démarrage de la production.**



**Travail à faire :**

- Définir graphiquement sur le graphique une périodicité T de changement systématique correspondant à une fiabilité de 90 %.

T = \_\_\_\_\_

- Cocher les dates de changement systématique des six prochains mois.

Calendrier de changement systématique des doigts de préhension (les jours de fermeture de l'entreprise sont en violet sur le calendrier).

Avril

Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

Mai

Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

Juin

Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

Juillet

Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30
31						

Août

Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

Septembre

Di	Lu	Ma	Me	Je	Ve	Sa
				1	2	3
4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	

## 2-2- Les lois de dégradations

### 2-2-2- Mécanisme et loi de l'usure

#### a- Définition de dégradation :

C'est un \_\_\_\_\_ (Petit Robert).

Un matériel qui subit une dégradation voit ses \_\_\_\_\_ progressivement. S'il n'y a pas d'intervention, ce processus irréversible peut se poursuivre jusqu'à la destruction complète.

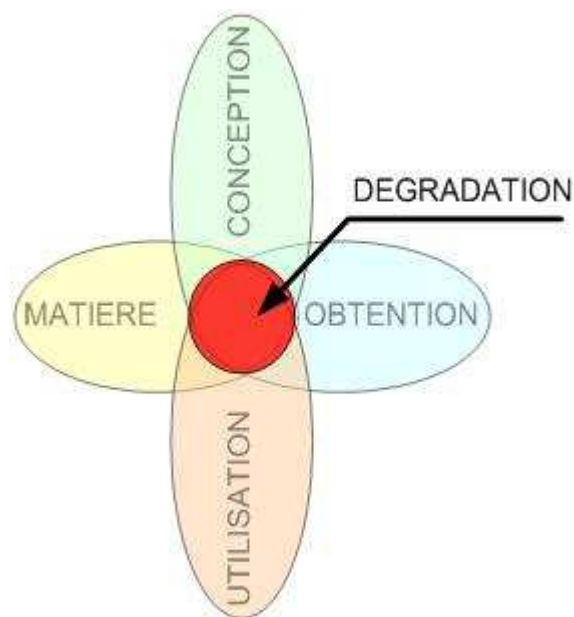
Cependant, le caractère progressif des dégradations s'accompagne généralement de \_\_\_\_\_ qu'il faut pouvoir déceler.

Les processus de dégradation concernent essentiellement les parties mécaniques des systèmes.

#### b- Les causes de dégradation

Les dégradations sont la résultante de 4 paramètres :

- \_\_\_\_\_ utilisée pour les composants
- \_\_\_\_\_ d'obtention des composants
- \_\_\_\_\_ du système
- \_\_\_\_\_ d'utilisation



#### c- La Matière

Toutes les matières sont en fait des alliages, la répartition des différents constituants n'est pas identique en tout point.

La matière est \_\_\_\_\_.

Les matières subissent aussi un vieillissement naturel, la vitesse de manifestation est liée aux conditions environnementales.

Ce vieillissement peut entraîner fissures, pertes de résistances, etc. ; ce qui entraîne une accélération de l'usure.

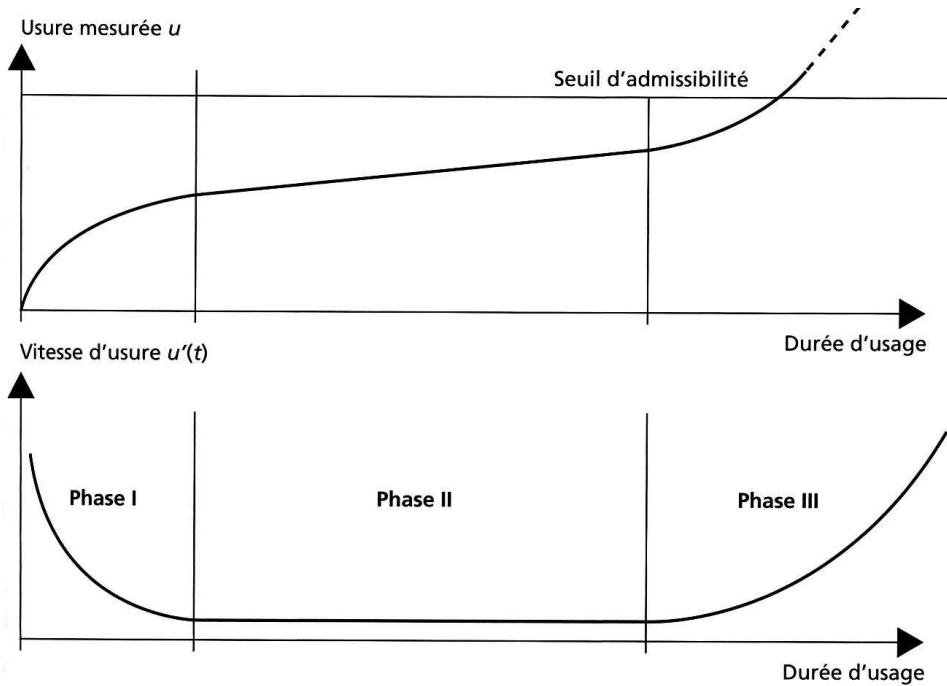
Le procédé d'obtention

Ce sont des procédés « traumatisants » pour la matière : par déformation, emploi de hautes températures, moyens de coupe (moulage, extrusion, emboutissage, forgeage, estampage, soudage et usinage).

- **Déformation et hautes température** : formation de contraintes internes à la matière qui ont tendance à s'atténuer avec le temps, modifiant ainsi le comportement des pièces. Dans le cas des matériaux ferreux, ces procédés favorisent l'oxydation. L'assemblage des pièces par soudage crée des déséquilibres structuraux localisés liés à des échauffements intenses dans des zones réduites.
- **Usinages** : ces opérations sont pratiquées sur des pièces ayant subi le choc de l'élaboration. Les matériaux métalliques sont constitués de fibres formées lors des opérations d'obtention. Les opérations d'usinage tranchent ces fibres et altèrent la structure de la matière cela entraîne une fragilisation dans le temps et peut provoquer des fissures conduisant à la rupture.

**d- Dynamique de l'usure des lois de dégradation :**

L'usure est progressive mais non constante. Elle se décompose en 3 phases présentant chacune une allure différente :



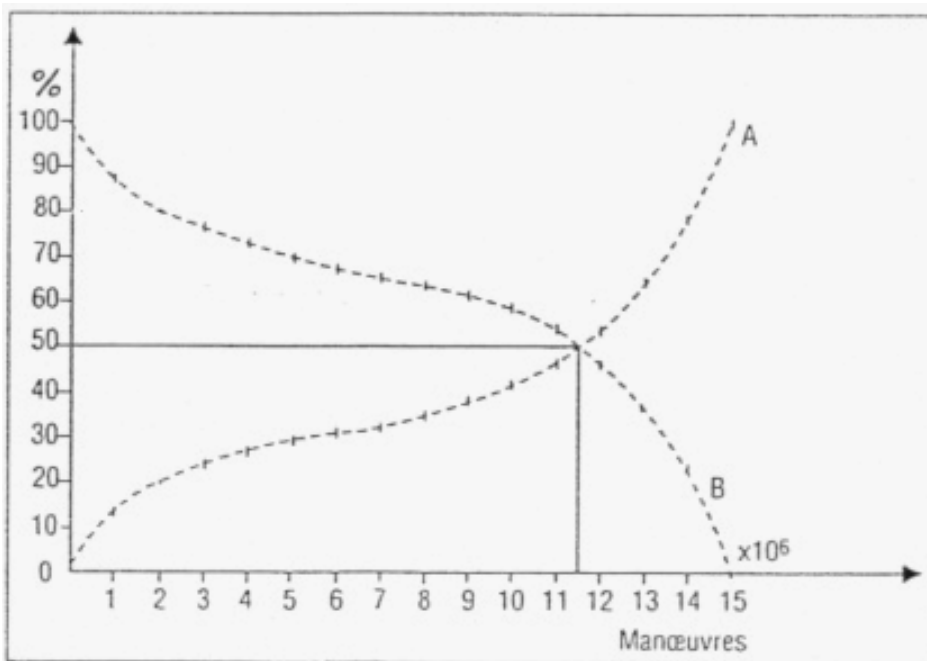
A partir de 2 surfaces initiales :

**Phase I :** \_\_\_\_\_ au cours duquel l'usure est relativement rapide..

**Phase II :** représentative \_\_\_\_\_, stable et linéaire dans le temps..

**Phase III :** \_\_\_\_\_. Au cours de cette phase, l'usure des surfaces en présence s'accélère.

Le graphique de dégradation

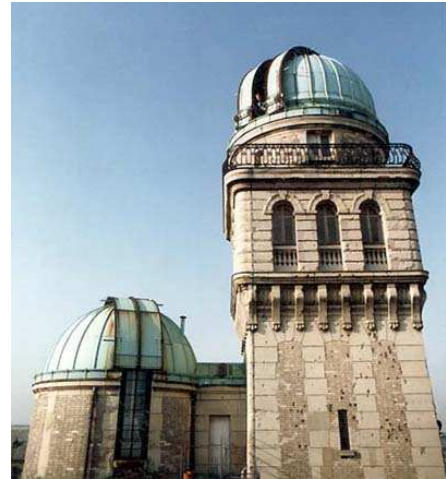


Courbe A : Courbe de défaillance

Courbe B : Courbe de suivi ou courbe de fiabilité.

## 2-2-3- Les corrosions

Les formes de corrosion les plus connues sont la rouille (alliages ferreux) et le vert-de-gris (alliages cuivreux).



### a- La corrosion uniforme :

(ex : rouille).

Lorsque la couche d'oxyde est homogène, elle devient alors une enveloppe protectrice : c'est le cas pour l'aluminium, l'argent ou le chrome.

Quand la couche est hétérogène, celle-ci forme des écailles qui, en se détachant, permettent la poursuite du processus jusqu'à destruction complète.

**Remèdes :** choix de matériaux, protection cathodique, modification du milieu réactif, protection.

Un cas particulier de cette corrosion est la **corrosion par plaques** qui est une corrosion uniforme à un stade peu avancé.

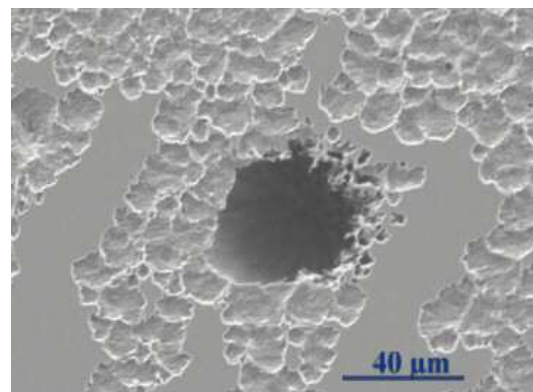
### b- La corrosion par piqûres :

Elle est beaucoup plus grave que la précédente puisque difficilement repérable.

et progresse très rapidement sans altérer la surface ou, tout au plus, provoquer de petites boursouflures qui permettent alors un diagnostic.

Cette corrosion concerne principalement les aciers inoxydables mais altère aussi le chrome, l'aluminium, le cobalt ou le cuivre.

**Remèdes :** choix de matériaux, suppression de fluides stagnants ou de dépôts, abaissement de la température.



Observation au Microscope Electronique à Balayage de piqûres de corrosion observées dans du Ni massif plongé dans de l'eau de mer.

### c- Corrosion caverneuse :

Elle se développe plutôt \_\_\_\_\_.

C'est une corrosion ponctuelle, lente mais difficilement observable directement.

**Remèdes** : nettoyages fréquents, remplacements des assemblages vissés ou rivetés par des assemblages soudés, emploi de joints non poreux. En général, éviter les petites cavités.

### d- Corrosion inter granulaire :

Elle est causée \_\_\_\_\_ (ex : fer dans l'aluminium) qui, affecté, se désagrège. La corrosion se propage de joint en joint, détruisant la cohésion de l'alliage qui perd toutes ses caractéristiques mécaniques.

**Remèdes** : qualité (pureté) des matériaux, protection cathodique, modification du milieu réactif.

### e- Corrosion atmosphérique :

Elle concerne les métaux ferreux, les alliages cuivreux, le zinc, l'aluminium. La corrosion profite des alternances de périodes humides et sèches qui favorisent l'action des polluants souvent rencontrés en milieu industriel comme les composés azotés, soufrés ou la vapeurs acides.

Les poussières jouent aussi un rôle important puisque sous celles-ci, par manque d'aération, des piqûres ou des crevasses peuvent se développer.

**Remèdes** : lavage, dépoussiérage, entretien par renouvellement de la protection, choix des matériaux.

### f- Corrosion bactérienne :

Les bactéries peuvent \_\_\_\_\_ visant à prévenir toute corrosion.

Ex : les huiles de coupe et les eaux industrielles contiennent souvent des « ferro-bactéries » se divisant toutes les 20 minutes (1 bactérie donne naissance à 1 milliard de bactéries en 12 heures).

Les conséquences peuvent être tous types de corrosions en fonction des conditions.

**Remèdes** : emploi de produits bactéricides.

### g- La corrosion galvanique :

Elle est d'autant plus importante que les métaux en contact ont des ddp opposées.

Deux métaux de natures différentes sont réunis par une solution aqueuse conductrice (\_\_\_\_\_) et forment \_\_\_\_\_ (transfert d'ions de l'anode métallique).

L'ampleur et la rapidité de propagation de la corrosion sont étroitement liées à la conductibilité électrique du milieu.

**Remèdes** : choix des couples métalliques, conductibilité du milieu.



### h- La corrosion électrique :

Sous l'effet de « courants vagabonds », 2 surfaces métalliques voisines peuvent être soumises à une différence de potentiels suffisante pour créer \_\_\_\_\_.

Les origines peuvent être une mauvaise mise à la terre, des courants induits sur les machines électriques, des charges électrostatiques provenant de frottements (courroies, textiles, etc.).

Les courants vagabonds les plus agressifs sont les courants continus. Les dégâts peuvent aller jusqu'à une fusion locale du métal.

**Remèdes** : mise en place d'un conducteur électrique de faible résistance en // du métal à protéger, protection cathodique des canalisations, pose d'éléments isolants.

### *i- Corrosion par frottement ou fretting corrosion :*

Quand 2 pièces sont \_\_\_\_\_ de l'ordre du micromètre, le lubrifiant entre les 2 pièces est chassé localement. On aboutit à la soudure des éléments entre eux avec formation d'oxyde de fer.

Ex : roulements de roues de voitures transportées freins serrés sur des camions.

**Remèdes** : emploi de lubrifiants adaptés, augmentation de la dureté des éléments en présence, systèmes d'absorption des vibrations, diminution de l'humidité, diminution des contraintes, augmentation de l'amplitude des mouvements.

### *j- Corrosion par cavitation, érosion ou abrasion :*

Le facteur prépondérant est le caractère dynamique d'un fluide par rapport à un organe (pale, aube, turbine, chemise, chambre de combustion, etc.).

Cette forme de corrosion concerne tous les alliages et principalement ceux à faible ductilité (ductile se dit d'un matériau qui peut être étiré sans se rompre, s'oppose à fragile).

---

**Remèdes** : choix et traitement des matériaux, diminution de l'agressivité du fluide, conception des formes.

### *k- Corrosion sous tensions mécaniques :*

Les contraintes de \_\_\_\_\_, peuvent provoquer des fissures sur tous types de matériaux.

Ces fissures, difficilement détectables et pouvant aller jusqu'à la rupture de l'organe affecté, constituent un problème majeur \_\_\_\_\_.

Cette corrosion affecte aussi des pièces ayant subi un traitement thermique vigoureux.

**Remèdes** : choix des matériaux, protection cathodique, dimensionnement des éléments, traitements thermiques de détente.

### *l- Corrosion par fatigue :*

Les pièces subissent à la fois \_\_\_\_\_ Elle peut conduire à la rupture des pièces atteintes.

C'est ce qu'il s'est produit au début des années 1980 avec la rupture de la structure d'une plate-forme de forage en mer du Nord.

**Remèdes** : traitements thermiques de détente, durcissement superficiel par des traitements mécaniques comme le grenailage.

### *m- La corrosion chimique :*

La mise en contact \_\_\_\_\_ entraîne une corrosion chimique : formations de piqûres, fissuration par corrosion.

Les agents corrosifs peuvent être des acides, des détergents voire même des lubrifiants (dont les additifs créent certaines incompatibilités et l'oxydation produit des acides).



### *n- Conclusion :*

A chacune de ces familles de corrosion correspondent des symptômes et des remèdes particuliers. Le technicien de maintenance, après avoir \_\_\_\_\_ et

\_\_\_\_\_ de la dégradation, doit

\_\_\_\_\_ efficaces. la méthode expérimentale semble la mieux adaptée pour connaître les vitesses de corrosion.

## 2-2-4- L'environnement

### a- La conception

Une conception imparfaite accélère la dégradation.

- Une prise en compte insuffisante \_\_\_\_\_ (milieu ambiant, température, pression, etc.) peut favoriser la dégradation de matières inadaptées.
- Des \_\_\_\_\_ rendent incompatibles les formes de la pièce et les contraintes qu'elle doit subir.
- Un \_\_\_\_\_ peut exposer certains organes à des agressions internes ou externes au système (chocs, fuites, température, etc.).
- Les \_\_\_\_\_ peuvent conduire à une amplification de la dégradations de composants.

Des cas de dégradation trouvent leur origine lors des \_\_\_\_\_, etc...

### b- L'utilisation

Lors des phases d'utilisation, c'est le non respect des consignes et des préconisations qui est la raison des dégradations :

- \_\_\_\_\_ entraînant déformations ou ruptures,
- \_\_\_\_\_,
- \_\_\_\_\_,
- \_\_\_\_\_ (cas de filtres ou canalisations),
- etc.

L'usure peut être considérée comme naturelle et c'est \_\_\_\_\_.

### c- Dégradation mécaniques dues à la santé matière :

Les défauts apparaissent \_\_\_\_\_ (forgeage, fonderie, etc.), lors de la mise en forme de la pièce (usinage, soudures, traitements thermiques, etc.) et lors du montage (ex : choc sur roulement).

### d- Dégradation mécaniques en charge :

**Choc** : il s'agit \_\_\_\_\_

**Surcharge** : \_\_\_\_\_ maximale entraînant une déformation permanente ou une rupture (traction, flexion, etc.). →

La rupture peut aussi être causée par un fragment de métal introduit accidentellement dans la zone d'engrènement.



**Fatigue** : c'est quand \_\_\_\_\_ .  
Il s'agit de vibrations entraînant une rupture. →

**Fatigue thermique** : c'est une fatigue engendrée par des contraintes thermiques. Elle entraîne \_\_\_\_\_ .

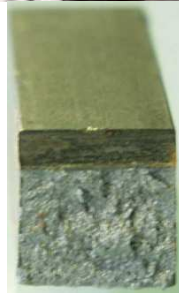


**Déformations irréversible sous contrainte mécanique** : dues à un dépassement de la limite élastique du matériau. Une inspection des pièces peut prévenir le risque d'une rupture prochaine.



**Rupture ductile** : elle provient de l'allongement du matériau.

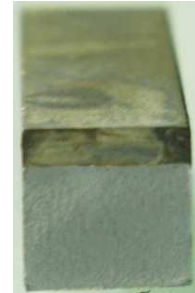
Ductile se dit d'un matériau qui peut être étiré sans se rompre. Ductile s'oppose à fragile. →



**Rupture fragile** : elle survient après une très faible déformation irréversible.

Elle est souvent l'effet d'un choc et est favorisée par la fragilité propre au matériau.

Fragile se dit d'un matériau qui se casse facilement (cas du verre). Fragile s'oppose à ductile. →

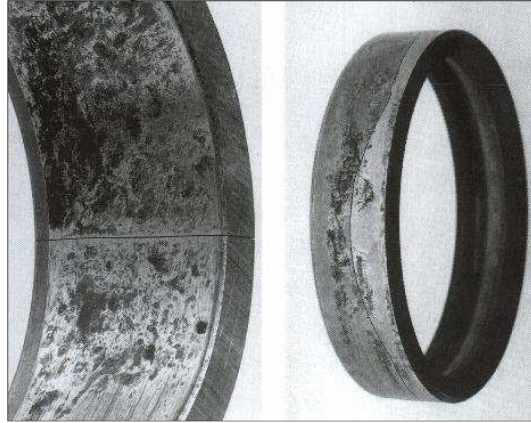


**e- Dégradation mécaniques par détérioration de surface : fatigue et usure :**

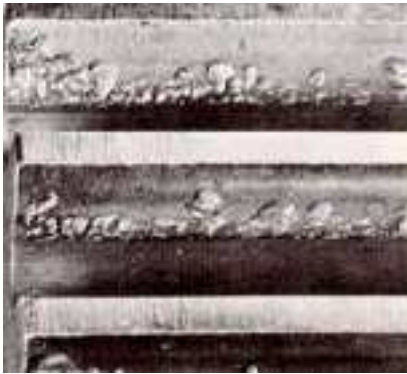
**Usure :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_.



**Fretting-corrosion :** usure particulière apparaissant au contact de 2 pièces soumises à de petites vibrations. C'est le cas des pièces frettées ou des clavetages.



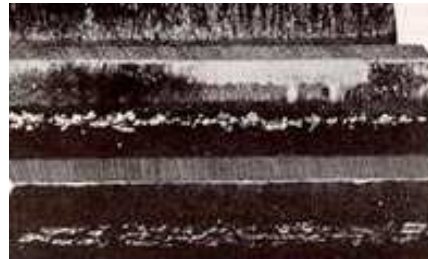
**L'écaillage :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_.



Il apparaît sur les dentures, à l'intérieur du métal, entre la partie traitée et non traitée.

Les causes possibles sont une épaisseur insuffisante de la couche traitée.

**Grippage :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_.



Il résulte du manque de lubrifiant dans la zone d'engrènement. Il se produit lorsque les charges et les vitesses sont élevées ou lorsque la lubrification est mal choisie.

**Abrasion :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ de dureté

supérieure tels que des impuretés ou de déchets (poussières, sable, etc.).



**Cavitation :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

L'onde de choc génère des cratères dans la zone de cavitation (pompes, hélices, etc.).



**Rayage :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_.



**Erosion :** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Faïençage :** réseau de craquelures superficielles dues à la fatigue thermique

**Marquage :** enfoncement localisé du à une charge ponctuelle

**Roulement et fatigue de contact :** roulements à billes et à aiguilles se détériorent par fatigue de contact. La pression de contact bille / chemin de roulement fait apparaître des fissures en surface, elles deviennent débouchantes (piqûres).

Frottement et usure :

\_\_\_\_\_

Un frottement provoque \_\_\_\_\_ et c'est \_\_\_\_\_ qui va accélérer la dégradation.

L'usure, entraîne une \_\_\_\_\_. Cela peut aller jusque la rupture en passant par des phases intermédiaires dangereuses comme \_\_\_\_\_.

Prévention contre l'usure

Il y a 4 moyens pour prolonger la **phase II** d'usure (page 32).

**a- Graissage et lubrification :**

Le graissage et la lubrification imposent une attention permanente et supposent, un accès aux organes à lubrifier.

Par l'interposition d'un film entre les organes en mouvement, le graissage et la lubrification assurent 4 fonctions

- \_\_\_\_\_ et donc limitation de l'érosion,
- \_\_\_\_\_ favorisant l'abrasion,
- \_\_\_\_\_ provoquée par le frottement,
- \_\_\_\_\_ pouvant induire de la corrosion.

**b- Les matériaux antifriction :**

Les plus répandus sont \_\_\_\_\_ : le bronze (cuivre-étain), le laiton (cuivre-zinc), le maillechort (cuivre-nickel-zinc). Ces alliages sont dotés d'un coefficient de frottement faible atténuant ainsi l'usure.

\_\_\_\_\_ ont des qualités de dureté, de résistances aux températures extrêmes et de résistance chimique. Elles sont un moyen efficace pour lutter contre l'abrasion, l'usure à toutes températures et la corrosion.

\_\_\_\_\_, peuvent être \_\_\_\_\_.

Qualifiés alors \_\_\_\_\_, les particules qui les composent se dilatent lors de l'échauffement crée par le frottement et expulsent l'huile qu'ils contiennent.

Lors du refroidissement, par effet inverse, ils aspirent l'huile en leur structure.

\_\_\_\_\_ permettent des frottements secs.

Ils résistent de mieux en mieux aux sollicitations mécaniques.

\_\_\_\_\_ tels que le PTFE (polytétrafluoroéthylène), PA (polyamides), polyimides, Téflon, PVCU (polychlorure de vinyle rigide), permettent, la construction de toutes sortes de pièces comme des engrenages, des aubes de pompes, des axes, etc.

**c- Les traitements de surface et revêtements de surface :**

Augmentent la dureté superficielle d'une pièce.

#### *d- Les règles technologiques :*

Le frottement est faible si les matériaux en présence \_\_\_\_\_.

C'est ce que l'on nomme \_\_\_\_\_.

On prend en compte \_\_\_\_\_ qui peut favoriser l'élimination des particules, \_\_\_\_\_ supposée emmagasiner le plus la chaleur, etc.

Par exemple, pour diminuer le phénomène d'usure, il faut \_\_\_\_\_, ou bien encore, \_\_\_\_\_.

#### *e- Les dégradations électriques :*

\_\_\_\_\_ : c'est le plus souvent la conséquence de chocs, surchauffes, vibrations.

\_\_\_\_\_ : les contacts sont souvent les « maillons faibles » d'un circuit électrique.

\_\_\_\_\_, tels que des résistances, des transistors, etc.

Ces modes de défaillances sont difficiles à prévenir.

Il est possible d'agir sur les phénomènes extérieurs qui les génèrent, tels que les actions thermiques et vibratoires.

Dans le domaine électronique, le « **déverminage** » a pour but d'éliminer les composants ayant un point faible qui risquerait d'apparaître en fonctionnement.

## 2-3- Notions fondamentales

### 2-3-1- Le CONCEPT DE FIABILITE

Définition de la fiabilité.

---

---

---

---

La notion de temps peut prendre la forme :

- De nombre de cycles effectués  $\Rightarrow$  **machine automatique**
- De distance parcourue  $\Rightarrow$  **matériel roulant**
- De tonnage produit  $\Rightarrow$  **équipement de production**

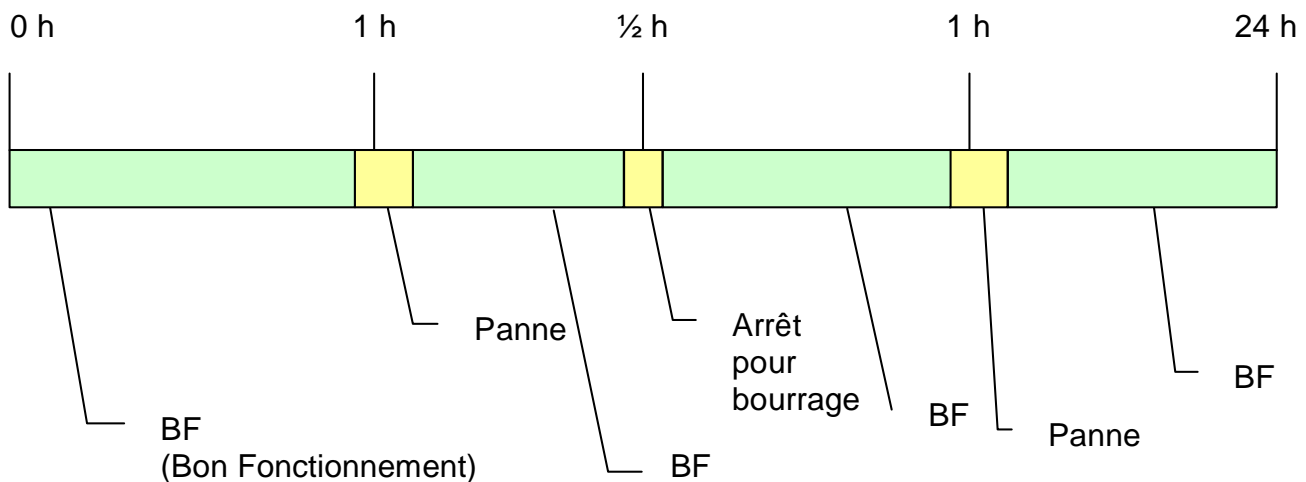
Commentaires :

Un équipement est fiable s'il subit peu d'arrêts pour pannes. La notion de fiabilité s'applique :

- A du système réparable  $\Rightarrow$  **équipement industriel ou domestique.**
- A des systèmes non réparables  $\Rightarrow$  **lampes, composants donc jetables**

La fiabilité peut se caractériser par la \_\_\_\_\_  
(Mean Time Between Failure).

Exemple : Fonctionnement d'un équipement sur 24 heures :



Calcul de la MTBF :

$$MTBF = \frac{\text{Temps de bon fonctionnement}}{\text{Nombre de périodes de bon fonctionnement}}$$

Pour l'exemple précédent : MTBF = \_\_\_\_\_ heures.

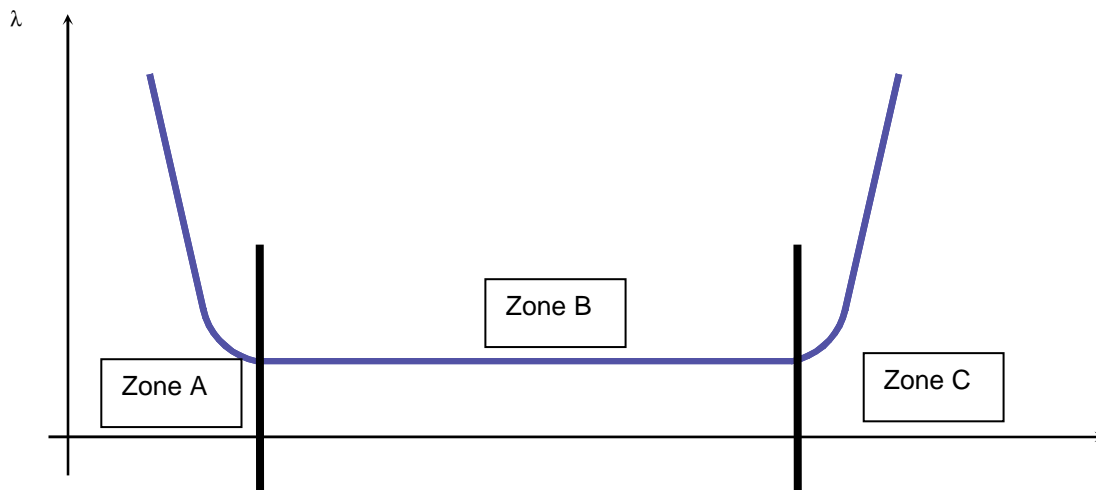
## 2-3-2- Le taux de défaillance $\lambda$ :

Appelé également **taux de panne**, il est égal à l'unité de temps sur la MTBF :

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

Pour l'exemple précédent :  $\lambda = 1 / 5,37 = 0,19$  panne / heure

Pour un équipement (système réparable) le taux de défaillance se traduit souvent par une courbe dite « courbe en baignoire » mettant en évidence 3 époques :



- Zone A  $\Rightarrow$  Époque de jeunesse
- Zone B  $\Rightarrow$  Époque de maturité, fonctionnement normal, défaillance aléatoire indépendante du temps.
- Zone C  $\Rightarrow$  Époque d'obsolescence, défaillances d'usure ou pannes de vieillesse.

Exemple :

Dans cette partie, on s'intéresse au temps de bon fonctionnement (TBF) d'une presse. A chaque panne, on associe le nombre d'heures de bon fonctionnement ayant précédé de cette panne.

Les observations se sont déroulées sur une période de 4 ans et ont donné les résultats suivants :

Rang de la panne	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TBF ayant précédé la panne (en jours)	55	26	13	80	14	21	124	35	18	26

$\Rightarrow$  **Calculer au jour près par défaut, le temps moyen de bon fonctionnement entre deux pannes :**

MTBF = \_\_\_\_\_

## 2-3-3- La maintenabilité

---



---



---



---

Commentaires :

La maintenabilité caractérise \_\_\_\_\_ à remettre ou de maintenir un bien en bon état de fonctionnement. Cette notion ne peut s'appliquer qu'a du matériel maintenable, donc réparable.

« Les moyens prescrits » englobent des notions très diverses : moyens en personnel, appareillages, outillages, etc. La maintenabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

Facteurs liés à l' <b>EQUIPEMENT</b>	Facteurs liés au <b>CONSTRUCTEUR</b>	Facteurs liés à la <b>MAINTENANCE</b>
- documentation - aptitude au démontage - facilité d'utilisation	- conception - qualité du service après-vente - facilité d'obtention des pièces de rechange - coût des pièces de rechange	- préparation et formation des personnels - moyens adéquats - études d'améliorations (maintenance améliorative)

Remarques : on peut améliorer la maintenabilité en :

- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

Calcul de la maintenabilité :

La maintenabilité peut se caractériser par sa \_\_\_\_\_ (Mean Time To Repair) ou encore \_\_\_\_\_

$$MTTR = \frac{\sum \text{Temps d'intervention pour n pannes}}{\text{Nombre de pannes}}$$

Pour l'exemple traité en fiabilité :

$$MTTR = \frac{2,5}{3} = 0,83 \text{ heure}$$

### 2-3-4- Taux de réparation $\mu$ :

Il est égal à l'unité de temps sur la MTTR :

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

Pour l'exemple traité en fiabilité :

$$\mu = \frac{1}{0,83} = 1,2 \text{ Réparations / heure}$$

Le concept de disponibilité

Définition :

---

---

---

Commentaires :

Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

La disponibilité allie les notions de fiabilité et de maintenabilité

Augmenter la disponibilité passe par :

- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

### 2-3-5- La disponibilité intrinsèque DI :

Elle caractérise les \_\_\_\_\_ c'est la disponibilité du point de vue du constructeur, la carence des moyens extérieurs et des moyens de maintenance n'est pas pris en compte pour son calcul.

$$DI = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

### 2-3-6- La disponibilité opérationnelle $D_O$ :

Elle exprime \_\_\_\_\_ . Tout type de temps d'arrêt inclus dans le temps requis est à prendre en compte dans son calcul.

$$D_O = \frac{MTBF}{MTBF + MTInc}$$

MTInc : Moyenne des temps d'incapacité (voir tableau des temps) **inclus les MTInd ci dessous**

### 2-3-7- La disponibilité de maintenance $D_M$ :

Elle exprime \_\_\_\_\_ , c'est la disponibilité du point de la maintenance. Tout type de temps d'arrêt inclus dans le temps requis est à prendre en compte sauf les temps d'arrêt relatifs à la carence en moyens extérieurs.

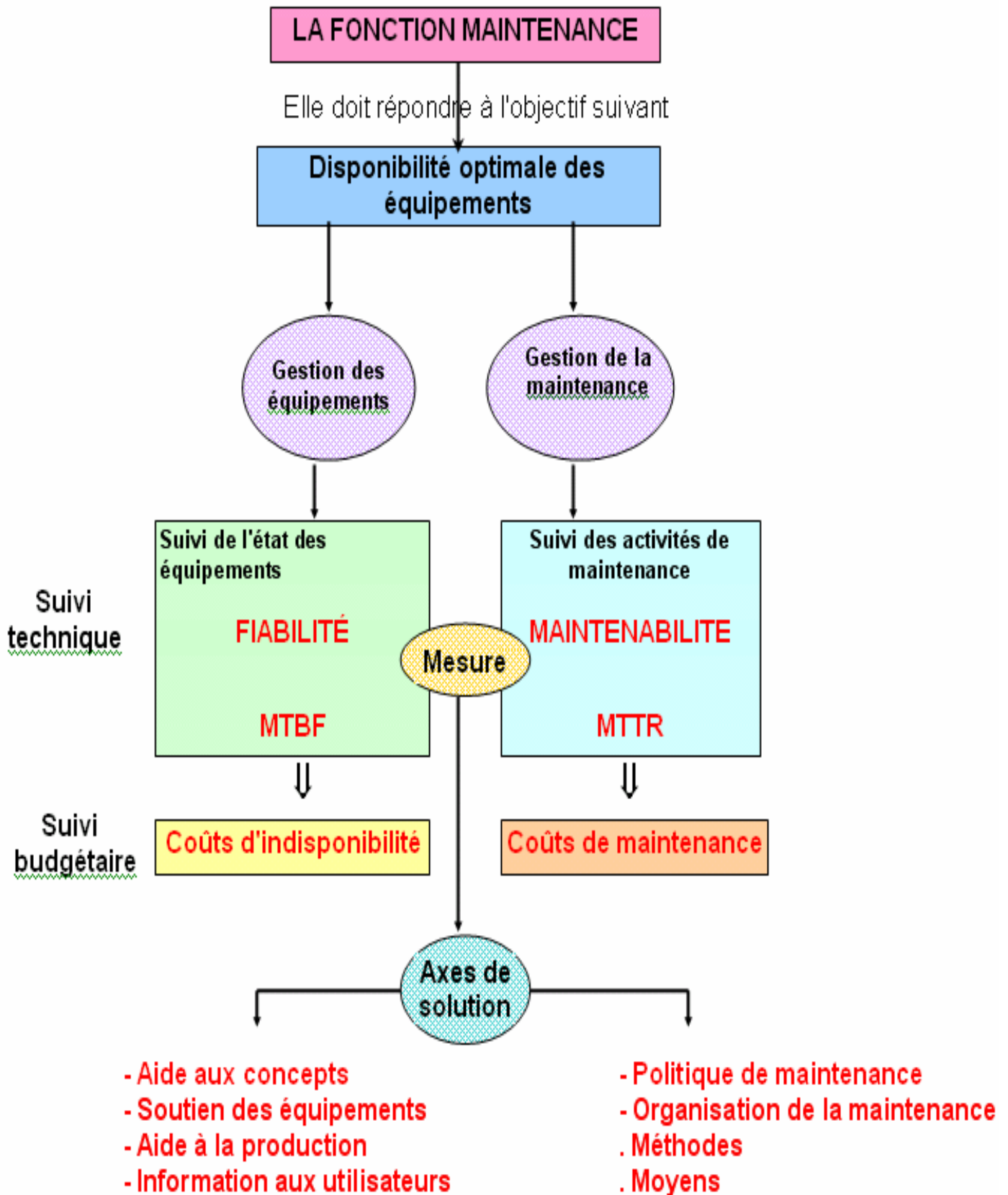
$$D_M = \frac{MTBF}{MTBF + MTInd}$$

MTInd : Moyenne des temps d'indisponibilité (voir tableau des temps)

Nature des temps	Temps total						Temps non requis		
	Temps requis								
	Temps effectif de disponibilité		Temps d'incapacité						
	Temps de disponibilité			Temps d'indisponibilité					
SITUATIONS CORRESPONDANTES		Fonctionnement	Attente	Incapacité pour causes extérieures	Maintenance préventive	Contraintes d'exploitation	Indisponibilité après défaillance	Temps potentiel de disponibilité	Temps potentiel d'indisponibilité
		Matériel accomplissant une fonction requise	Matériel non sollicité	Manque d'alimentation (énergie) Manque de main-d'œuvre Manque ou saturation de pièces Pièces en amont non conformes	Entretien préventif niveaux 1 et 2 Inspection – Contrôle Visite	Changement d'outil programmé Changement de fabrication Contrôle produit fabriqué	Temps de réparation Diagnostic – Réparation – Remise en service Remise en condition Non détection Appel à la maintenance Approvisionnement en outillage Approvisionnement en pièces de rechange	Non besoin de production	Travaux lourds de maintenance
CALCULS DE DISPONIBILITÉ		<p>● <b>DISPONIBILITÉ INTRINSÈQUE : <math>D_i = \frac{1}{1+2}</math></b></p> <p>● <b>DU POINT DE VUE MAINTENANCE : <math>D_M = \frac{1}{1+3}</math></b></p> <p>● <b>DISPONIBILITÉ OPÉRATIONNELLE : <math>D_o = \frac{1}{1+4}</math></b></p> <p>● <b>DISPONIBILITÉ GLOBALE : <math>D_G = \frac{1}{1+5}</math></b></p>							

Fig. 2a : Décomposition temporelle et définition des disponibilités associées.

<b>Disponibilité intrinsèque : <math>D_i</math></b>	Caractérise les <b>qualités intrinsèques d'une entité</b> . La carence des moyens extérieurs et celle des moyens de maintenance ne sont pas prises en compte.
<b>Disponibilité du point de vue maintenance : <math>D_M</math></b>	Conforme à la définition de la norme, seule la <b>carence des moyens de maintenance est prise en compte</b> .
<b>Disponibilité opérationnelle : <math>D_o</math></b>	Caractérise les conditions <b>réelles d'exploitation</b> et de maintenance.
<b>Disponibilité globale : <math>D_G</math></b>	Caractérise le <b>taux global d'utilisation</b> de l'entité.







## EXERCICE N° 3

## SECTEUR DE PRODUCTION DE MOULAGE EQUIPE DE PRESSES A INJECTER

Le directeur d'une entreprise de fabrication de pièces moulées pour l'électronique grand public demande au responsable du service maintenance **d'étudier l'amélioration de la productivité** du secteur moulage comprenant dix presses à injecter.

Chaque presse est équipée d'un terminal de saisie des données de production. Ces données sont récapitulées dans le tableau de la feuille 3/4.

Mois	Temps requis	Panne hydraulique	Panne électrique	Panne mécanique	Panne périphérique	Panne moule	Manque matière	Réglage après réparation	Changement de moule (nouvelle fabrication)	Essais après changement de moule	Attente régleur	Attente opérateur	Attente maintenance
Janvier	16000	300	150				2450	800	1300	250			50
Février	16000	1750		1550	250	350						50	100
Mars	18400								1550	50			
Avril	17600	1050	350	650				50			150		250
Mai	15200						1450	150			350	800	
Juin	18400		950			250			1300	150			50
Juillet	17600	1750											
Août													
Septembre	18400			4700				200				800	100
Octobre	16800						2550		1250	150			150
Novembre	16000	950	500					950			400		
Décembre	18400		450	2750			550		1700	250			200
TOTAUX	188800	5800	2400	9650	250	600	7000	2150	7100	850	900	1650	900

**Travail à faire**

Calculez les différents types de disponibilité annuelle  $D_0$ ,  $D_M$  et  $D_I$ .

**Disponibilité opérationnelle :**

**Disponibilité de maintenance :**

**Disponibilité intrinsèque :**

A partir des mesures des ces trois types de disponibilité indiquer **la mesure qui est prioritaire** pour améliorer la disponibilité opérationnelle.

- Amélioration de l'organisation du service maintenance.
- Amélioration de l'organisation du service production.
- Amélioration des caractéristiques intrinsèques du produit.

# **3-Analyse des coûts de maintenance**

# 3-1- Les ratios de maintenance

## 3-1-1- Définitions

Définition du ratio et utilisation en maintenance.

Un ratio est un rapport de deux données

Il sert :

- à **mesurer** une réalité avec clarté
- à **contrôler** des objectifs
- à se **comparer** entre unités distinctes, entreprises ou secteur d'activité.
- à **prendre des décisions** adaptées (politique d'investissement, politique de maintenance, gestion du personnel, ...)

Les ratios indiqués dans les paragraphes suivants, sont extraits de la norme NF X60-020. Ils ne sont pas limitatifs.

De plus chaque entreprise peut avoir des ratios qui lui sont propres.

L'étude des ratios peut s'appréhender à **différents niveaux** :

- au niveau d'un secteur d'activité, voire d'un pays
- au niveau de l'entreprise face à son secteur d'activité
- à l'évolution de l'entreprise face à elle-même
- au niveau de la fonction maintenance face à l'entreprise
- au niveau de la fonction maintenance face à elle-même

### 3-1-2- Exemples de ratios normalisés

Ratios	Intérêt	Observations particulières
$R1 = \frac{\text{Coûts de maintenance}}{\text{Valeur ajoutée produite}}$	À priori le plus judicieux pour les comparaisons inter-entreprises dans des secteurs identiques.	Valeur ajoutée : valeur de la transformation d'une matière d'œuvre en un produit fini.
$R2 = \frac{\text{Coûts de défaillance}}{\text{Coûts de maintenance} + \text{coûts de défaillance}}$	Indicateur d'évolution de l'efficacité technique de la maintenance.	
$R3 = \frac{\text{Coûts des travaux de sous-traitance}}{\text{Coûts de maintenance}}$		À suivre avec le taux d'activité (par exemple : période de grande activité et recours à la sous-traitance).
$R4 = \frac{\text{Nombre de défaillances}}{\text{Temps de fonctionnement}}$	<p>Définition du taux de défaillance (inverse MTBF : moyenne des temps de bon fonctionnement).</p> <p>Importance lorsque la production de rebuts au moment de l'arrêt ou la remise en route est coûteuse (papeteries, laminoirs) ou que le temps de remise en service est long.</p>	<p>Possibilité d'analyser conjointement :</p> $\frac{\text{nombre de défaillances}}{\text{quantité de production}}$
$R5 = \frac{\text{Temps actif de maintenance corrective}}{\text{Temps actif de maintenance}}$	Importance de la maintenance corrective dans les interventions actives de maintenance.	<p>Ratio complémentaire :</p> $\frac{\text{temps actif de maintenance préventive}}{\text{temps actif de maintenance}}$

### 3-1-3- La TPM et le TRS.

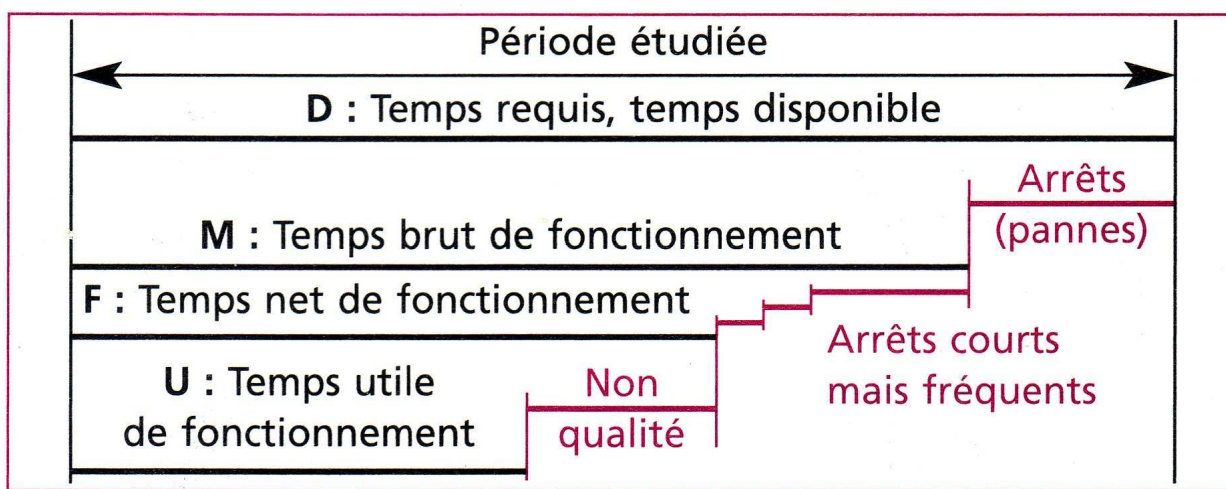
La méthode TPM : Totale Productive Maintenance, est une méthode japonaise qui consiste à \_\_\_\_\_

Elle délègue aux exécutants \_\_\_\_\_ :

- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_ *etc. ....*

L'objectif de la TPM est d'améliorer la disponibilité des matériels en analysant :

- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_



Etudions et analysons les ratios suivants :

- **Taux brut de fonctionnement** :  $\frac{M}{D}$  Valeur d'excellence > 0.90

Son amélioration implique la réduction des temps d'arrêt pour maintenance.

- **Taux de performance** :  $\frac{F}{M}$  Valeur d'excellence > 0.95

Son amélioration implique la réduction des petits temps d'arrêt liés à la production.

- **Taux de qualité** :  $\frac{U}{F}$  Valeur d'excellence > 0.99

Son amélioration implique la réduction des pièces mauvaises ou à retoucher.

Le \_\_\_\_\_ est égal au produit des trois ratios précédents.

$$\text{TRS} = \boxed{\text{Taux brut de fonctionnement}} \times \boxed{\text{Taux de performance}} \times \boxed{\text{Taux de qualité}}$$

Ou plus simplement

$$\text{Taux de Rendement Synthétique (TRS)} = \frac{U}{D} = \frac{\text{Temps pendant lequel le système a produit des pièces bonnes}}{\text{Temps d'ouverture ou temps requis}}$$

EXEMPLES

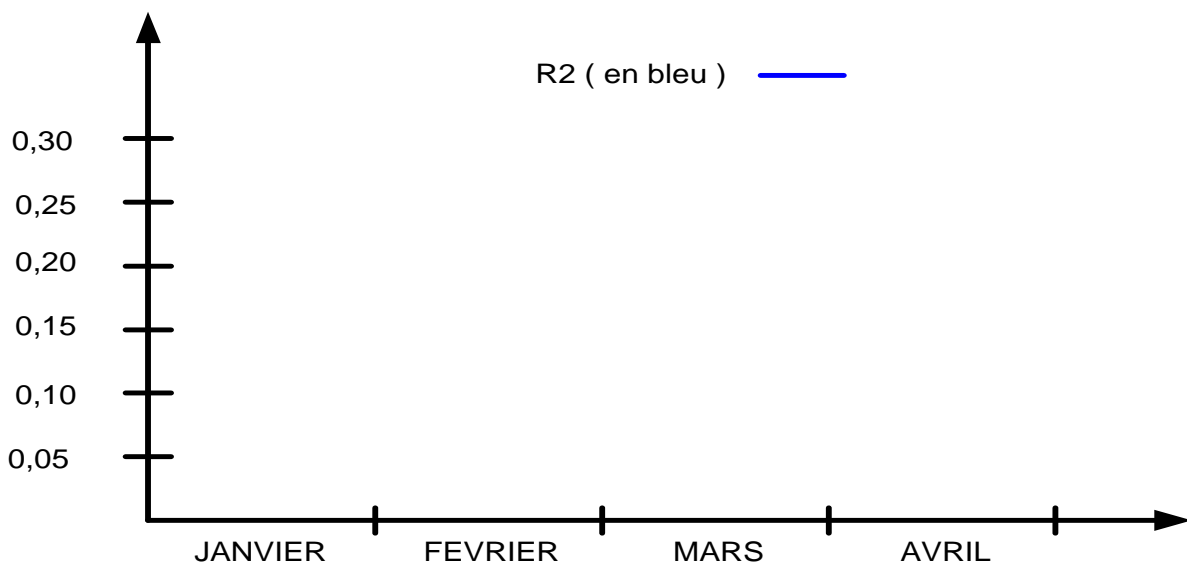
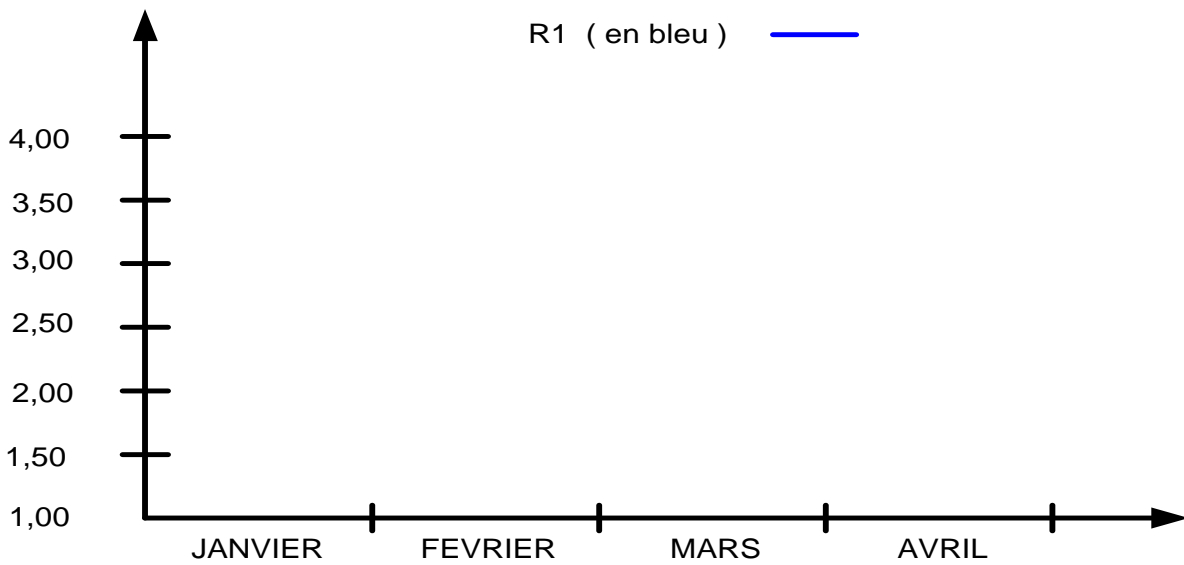
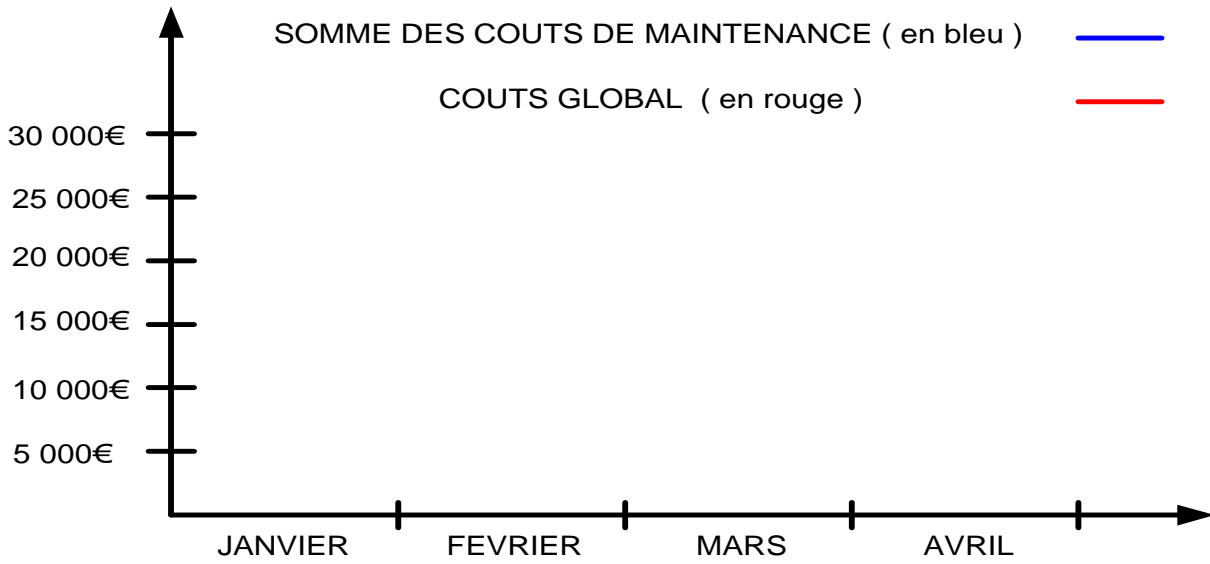
Ratios

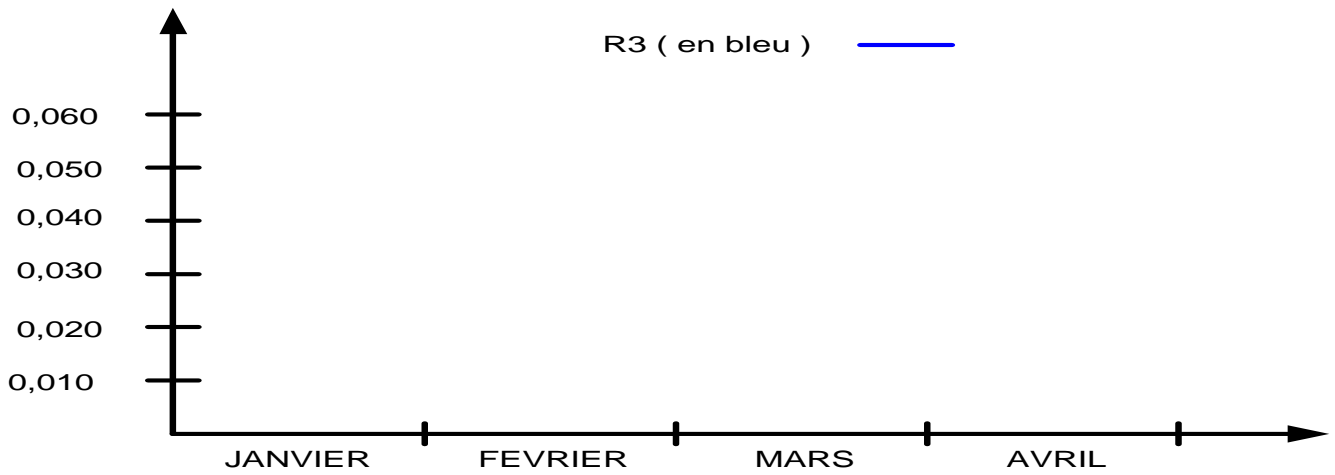
A) calculez les ratios R1 , R2 et R3

TABLEAU DE RECENSEMENT DES COÛTS							Secteur:		Machine :	
Mois	temps de fonctionnement	Nombre de défaillances	Coûts arrêts de production en euros	Coûts de maintenance			Valeur ajoutée produite en euros	Somme des coûts de maintenance en euros	coûts global: maintenance + indisponibilité en euros	
				main-d'œuvre en euros	Pièces détachées / outillages en euros	Soustraitance en euros				
JANVIER	312	15	3049	2150	2000	1500	4000	5650	8699	
FEVRIER	350	10	9500	2500	5500	2500	3000	10500	20000	
MARS	355	7	5000	4000	6500	2300	5000	12800	17800	
AVRIL	345	6	4500	4250	6000	2000	4000	12250	16750	

R1:coût de maintenance/ VA produite	R2:coûts soustraitance / coûts maintenance	R3:nbre défaillances/ temps de fonctionnement

B) Tracez les graphiques suivants :



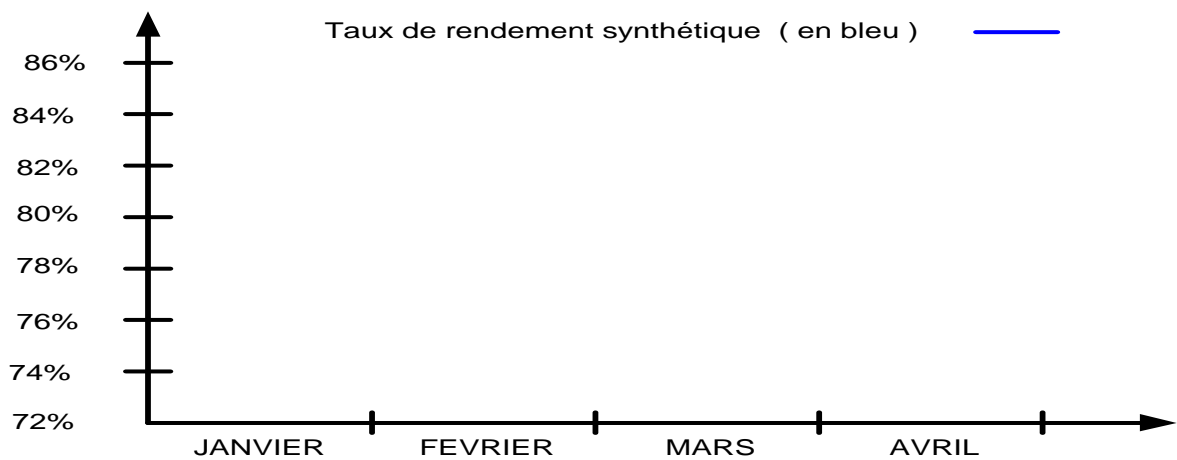


Taux de rendement synthétique

Sur une machine d'usinage automatique, l'analyse de fonctionnement montre les temps suivant :

Les temps sont donnés en heures

MOIS	TEMPS D'OCCUPATION MACHINE	TEMPS DE REGLAGE	TEMPS DE CHANGEMENT D'OUTILS	TEMPS DE MAINTENANCE DE 1ER NIVEAU	TEMPS DE MAINTENANCE CORRECTIVE	TEMPS DE PRODUCTION DE PIECES DEFECTUEUSES	TRS
JANVIER	78	8	1	2	3	5,75	
FEVRIER	141	12	2	5	1,5	9,5	
MARS	130	10	1,5	4	1,25	7	
AVRIL	90	6	1,5	2	3	3	



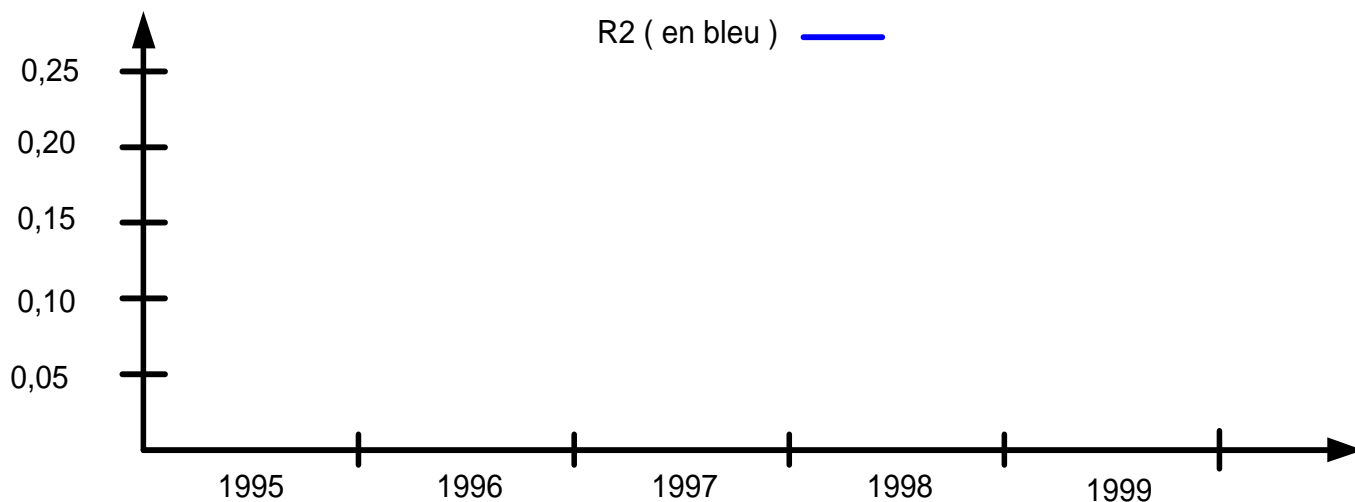
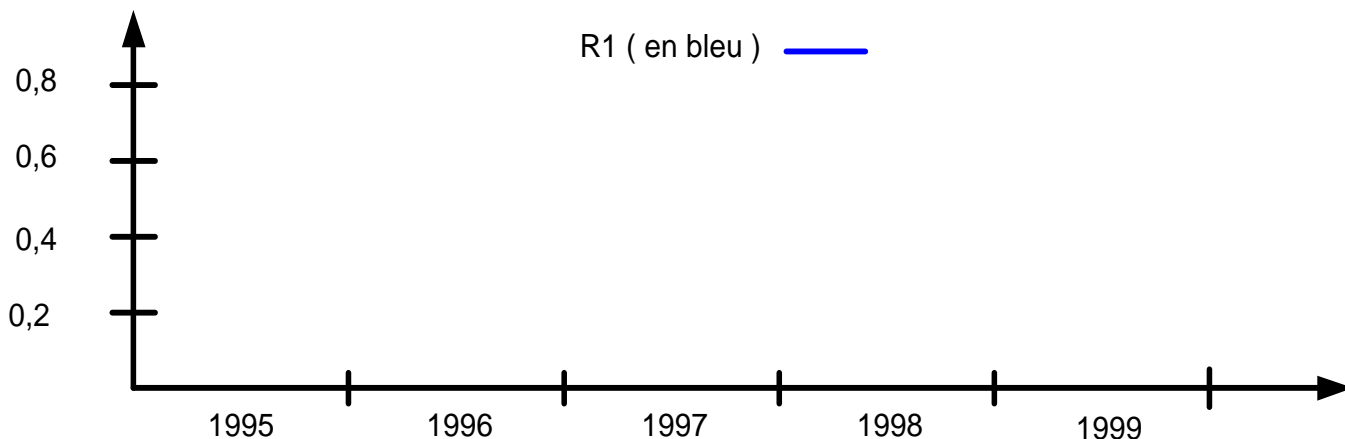
Que pouvons-nous conclure de ce graphique ?

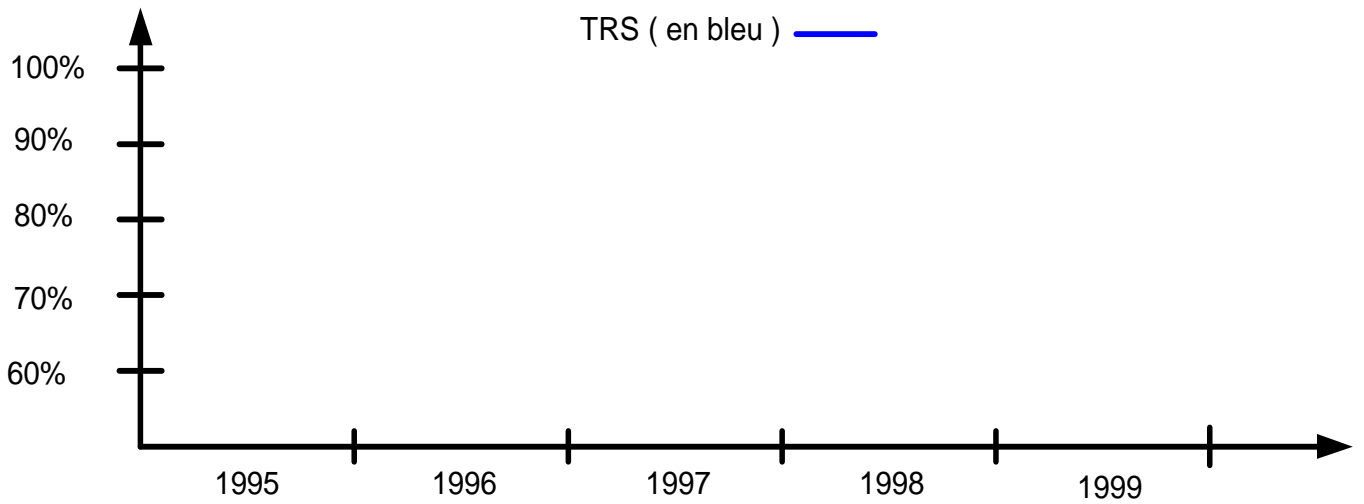
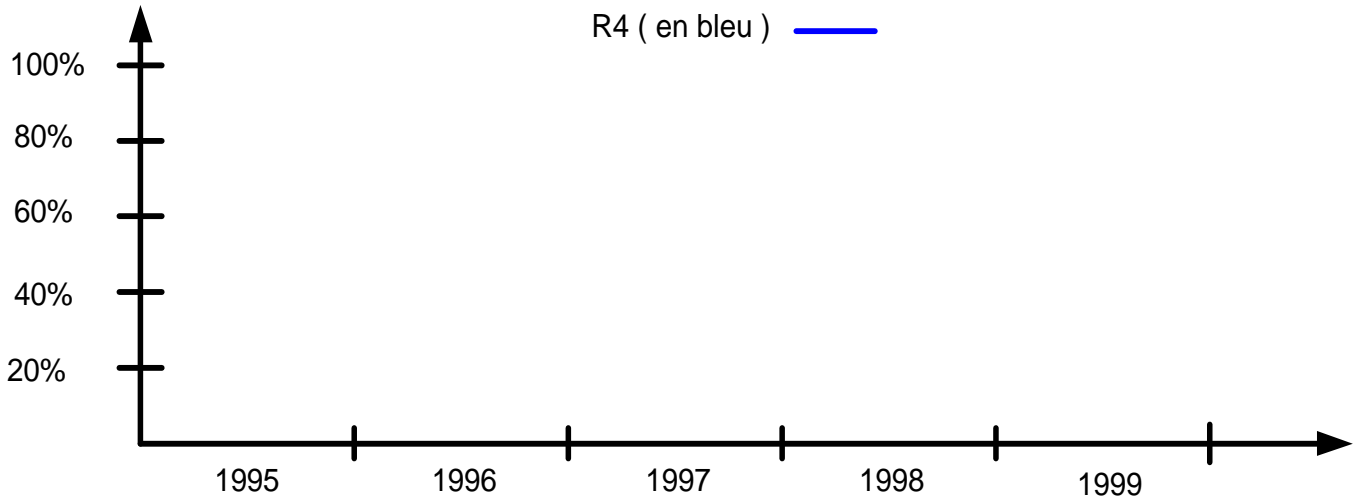
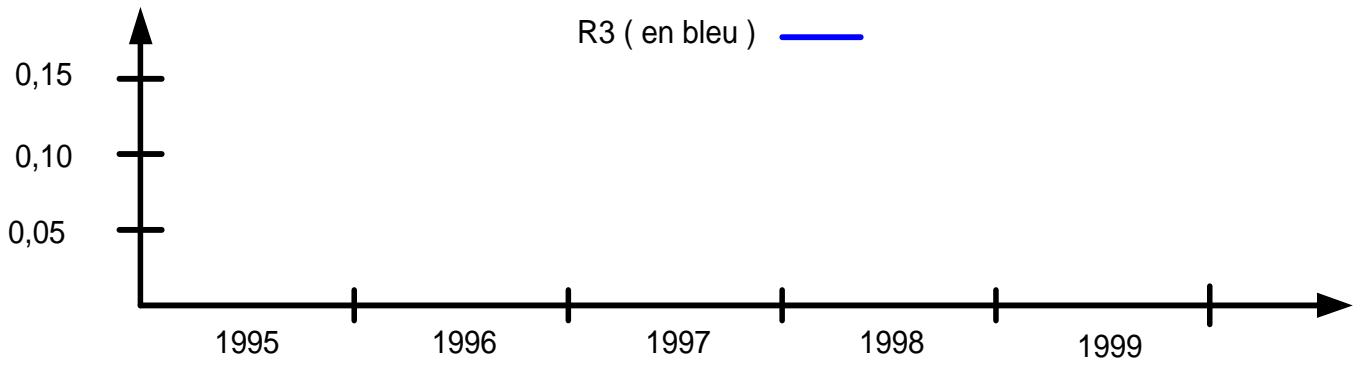
EXERCICES

Le tableau ci-dessous regroupe les coûts annuels supportés par un équipement sur une période de cinq ans.

MACHINE : Tronçonneuse		ANNEE D'ORIGINE : 1995					Valeur d'achat : 23 000€					
ANNEE	NOMBRE DE DEFAILLANCES	TEMPS MAINT. CORREC.	TEMPS MAINT. PREV. SYST.	TEMPS MAINT. PREV. COND.	COÛTS MAINT. CORREC.	COÛTS MAINT. PREV. SYST.	COÛTS MAINT. PREV. COND.	COÛTS TRAVAUX SOUS TRAITANCE	TEMPS D'OUVERTURE	VALEUR AJOUTEE PRODUITE	TEMPS DE PRODUCTION	
1995	8	16:00	14:00	0:00	490 €	425 €	0 €	168 €	1305:00	22 312 €	1275:00	
1996	6	12:30	7:30	12:30	390 €	228 €	383 €	152 €	1402:00	23 985 €	1369:30	
1997	5	10:30	11:00	11:30	320 €	335 €	351 €	198 €	1351:00	23 65 €	1318:00	
1998	58	122:00	12:30	10:00	4 700 €	381 €	305 €	152 €	1458:00	22 986 €	1313:30	
1999	153	350:00	17:30	20:00	12 900 €	533 €	610 €	168 €	153:00	20 011 €	1143:30	

	R1	R2	R3	R4	TRS
1995					
1996					
1997					
1998					
1999					





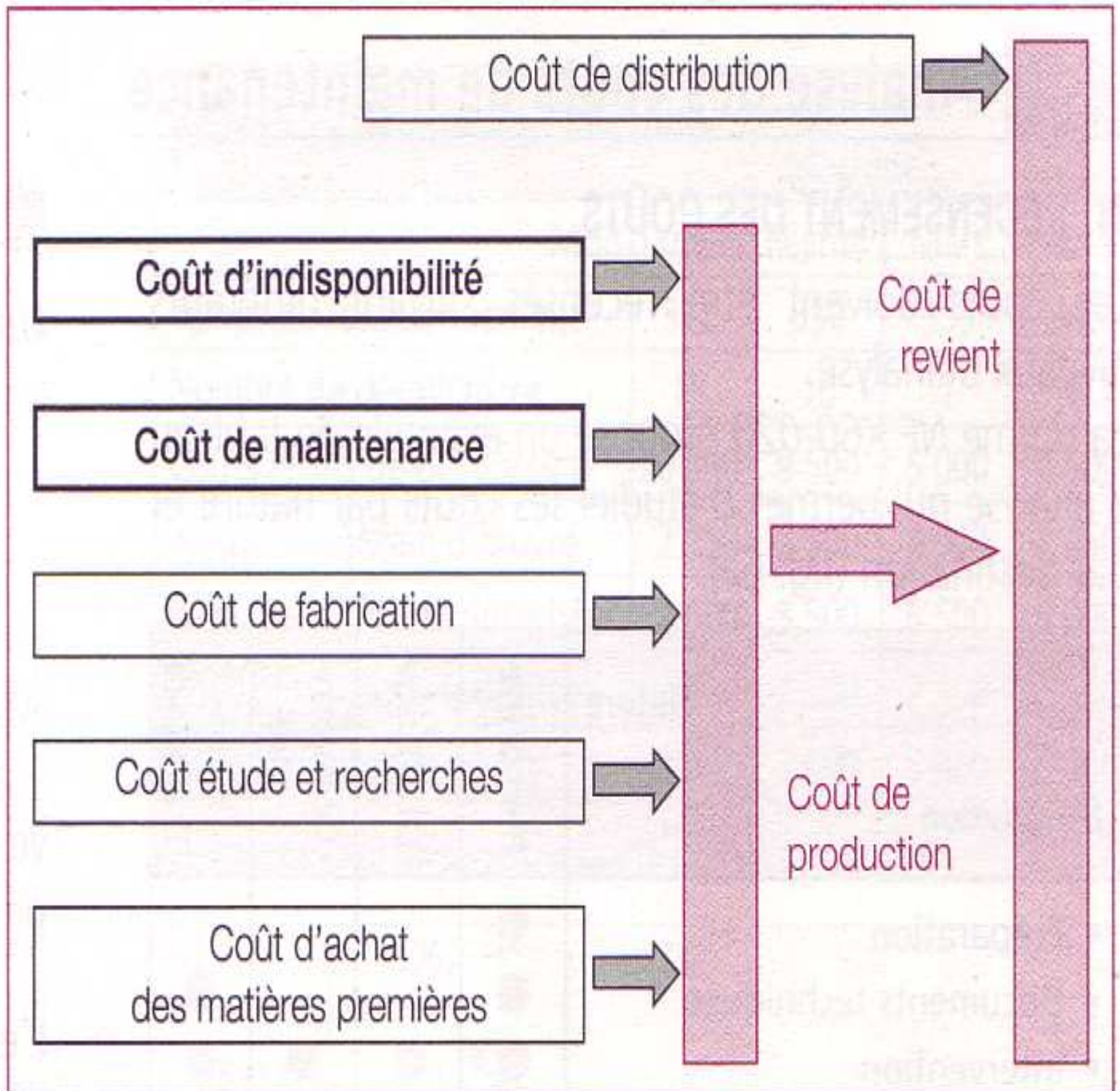
Quelles sont vos conclusions à la vue de ces graphiques ?

## 3-2- Les coûts de maintenance

Une entreprise est caractérisée par trois grandes fonctions

- Achat
- Production
- Vente.

Pour un produit, la somme des coûts liés à ces fonctions représente le COUT DE REVIENT du produit.



La compétitivité de l'entreprise passe par la diminution du COUT DE REVIENT.

L'OBJECTIF DU SERVICE MAINTENANCE EST DE

### 3-2-1- Coûts de maintenance, Introduction

Le coût de maintenance d'un équipement prend en compte une période donnée (mois, années) toutes les dépenses engendrées par la pratique de la maintenance sur cet équipement. C'est un coût direct, il se décompose en quatre postes.

- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

### 3-2-2- Coûts d'indisponibilité

- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

### 3-2-3- Coût de défaillance (CD)

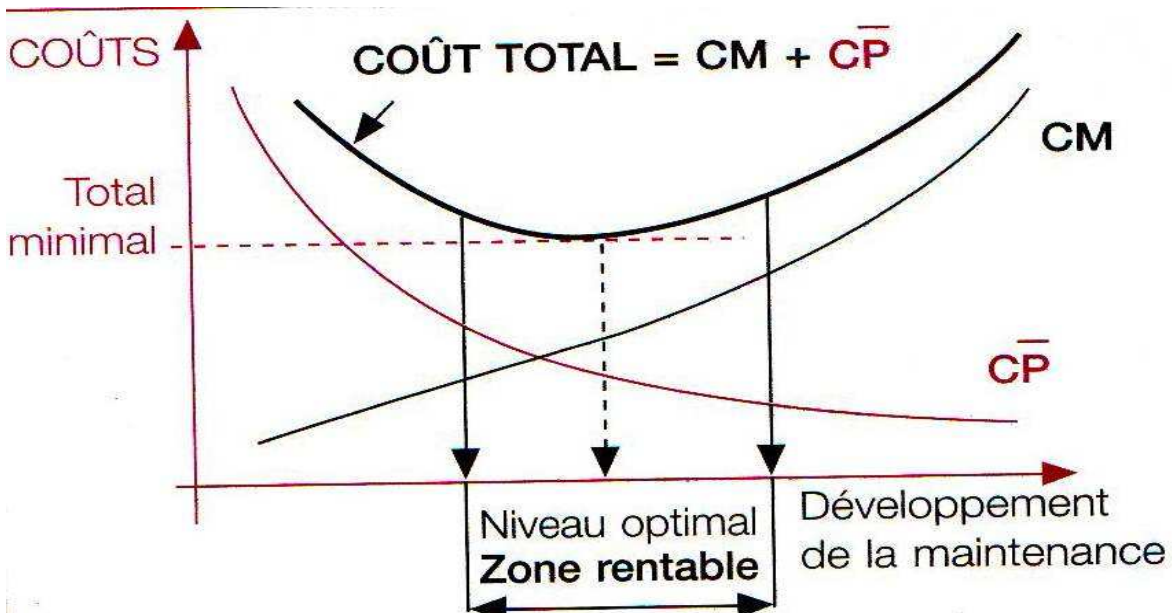
Les coûts de défaillance intègrent les coûts de maintenance corrective et les coûts d'indisponibilité consécutifs à la défaillance des biens d'équipement.

$\overline{CP}$  : \_\_\_\_\_

CMc : \_\_\_\_\_

CMp : \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_



Application du calcul des coûts de maintenance de la machine à poinçonner et cambrer.

Donnée comptable :

Exemple arrêt de 9 Mai 2008.

- Prix d'achat de la machine (septembre 2007) :	360 000 €
- Durée de vie prévue :	3 ans
- Production spécifiée par le cahier des charges :	
• 240 pièces par heures	
• 35 heures par semaines	
• 45 semaines par an	
- Coût de la main d'œuvre production :	132 €/heure
- Coût de la main d'œuvre de maintenance	180 €/heure
- Amortissement de la machine sur 3 ans	76 €/heure
- Marge bénéficiaire sur produit	0.40 €/pièce

Calcul du taux horaire de non production :

Une heure d'arrêt de production produit les conséquences suivantes :

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

- Inactivité du personnel de production pour 1/3 du temps d'arrêt (l'ouvrier de production s'occupant de trois machines)

\_\_\_\_\_

D'où S = \_\_\_\_\_

Remarque : On considère que la production perdue n'est pas rattrapée

Calcul relatifs à l'intervention du 9 mai 2008 (Cf. historique des pannes de mai 2008).

Coût de maintenance corrective CMc : \_\_\_\_\_

Temps de non production : \_\_\_\_\_

Coût de non production CP : \_\_\_\_\_

COÛT DE DEFAILLANCE CD = \_\_\_\_\_

Calcul des coûts relatifs au mois de mai 2008 :

- CM = CMp + CMc = \_\_\_\_\_

- CMc = \_\_\_\_\_

- CP = \_\_\_\_\_

- CD (Mai) = \_\_\_\_\_

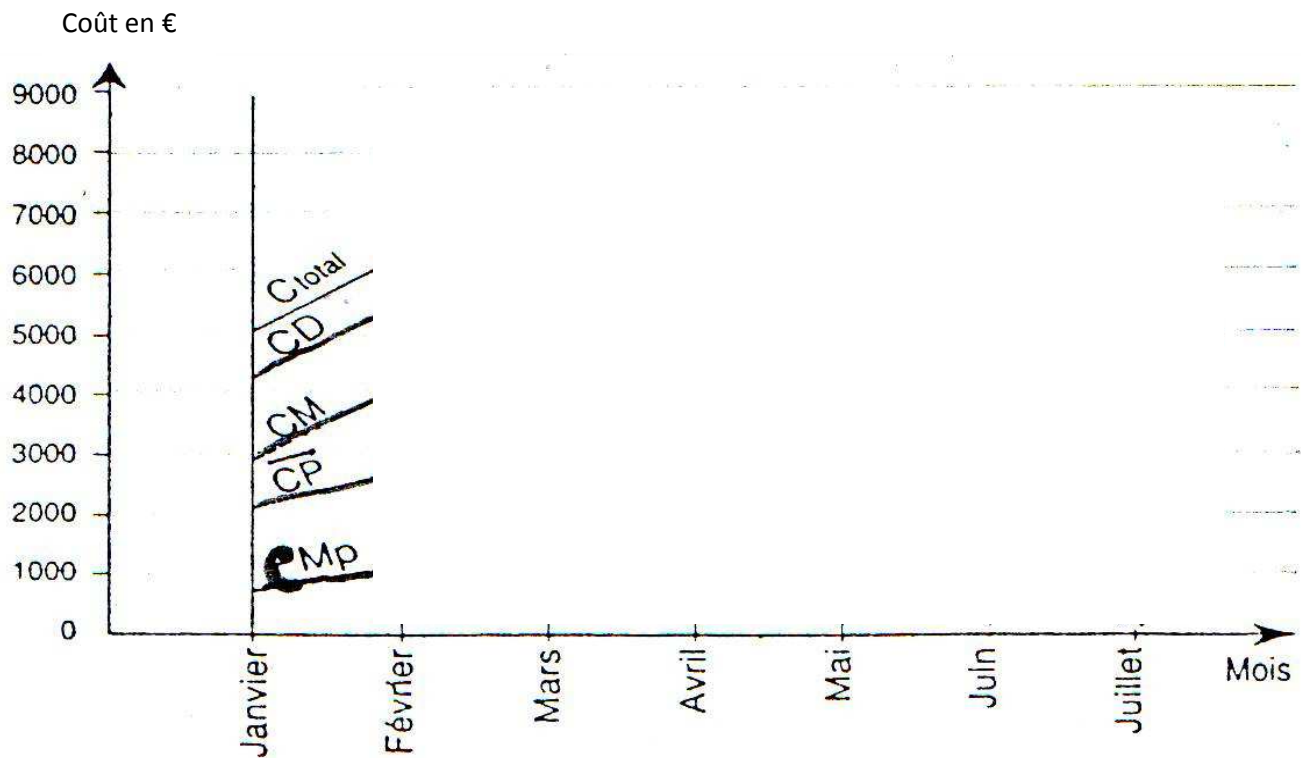
Suivi des coûts de janvier à juillet 2008.

Tracer les courbes d'évolution sur le graphe page suivante

Exprimer de coût total de deux façons :

COÛT TOTAL = \_\_\_\_\_

COÛT TOTAL = \_\_\_\_\_



2008 mois	Coûts de maintenance			Temps d'arrêt pour maintenance M	Coûts de non production CP	Coût de défaillance CD	Coût total
	CMp	CMc	CM				
janvier	780 F	+ 2161 F	= 2941 F	9,75h <sup>x216 €</sup>	2106 F	4267 F	5047 F
février	1110 F	2958 F	4068 F	12,11 h	2615 F	5573 F	6683 F
mars	2190 F	3895 F	6085 F	11,20 h	2419 F	6314 F	8504 F
avril	1450 F	1431 F	2881 F	7,00 h	1512 F	2943 F	4393 F
mai	2580 F	1606 F	4186 F	6h20	1339 €	2945 €	5525 €
juin	800 F	1345 F	2145 F	4,06 h	877 F	2222 F	3022 F
juillet	1480 F	463 F	1943 F	1,85 h	399 F	862 F	2342 F

# HISTORIQUE DES PANNES ET DES INTERVENTIONS

6

EQUIPEMENT <i>Machine à poinçonner cambrier</i>			MARQUE <i>L. P. H.</i>	TYPE	PARC	N°														
Dates Mai 2008	N° B.T.	N° code	Désignation des travaux exécutés	Méthodes d'entretien						Heures d'arrêt machine	Temps passé					Coûts				
				1	2	3	4	5	6		Méca.	Elec.	Pneu.	Hydrau.	Total	M.O.	Fournit.	Total		
03/05		6	Remplacer bouton poussoir S3 <i>CMC</i>			0,25												60	60	
05/05		5	Remplacer fusibles <i>CMC</i>		0,25					0,50								10	10	
06/05			Visite préventive "gamme - type 4" <i>CMC</i>				0,5				0,5			0,5				90	90	
07/05		3	Dégripper colonne de poinçonnage <i>CMC</i>	2						2,00	2			2			360	120	480	
09/05		1	Remplacer capteur D7 <i>CMC</i>	0,5						0,50		0,5		0,5				90	220	310
10/05		1	Régler rotation vérin R (socle) <i>CMC</i>	0,5						0,50	0,5			0,5				90	90	
11/05		3	Régler capteur C1 <i>CMC</i>	0,25						0,50	0,25			0,25				45	45	
13/05		5	Régler limiteur de pression <i>CMC</i>	0,2						0,20			0,2	0,2				36	36	
14/05			Visite préventive "gamme - type A" <i>CMC</i>					1,5			1,5			1,5				270	270	
17/05		6	Remplacer vérin pneumatique A <i>CMC</i>	1						1			1	1				180	240	420
18/05		1	Remplacer bobine électrovanne R <i>CMC</i>	1						1		1		1				180	35	215
21/05			Graissage mensuel <i>CMC</i>					0,25			0,25			0,25				45	5	50
28/05		5	Remplacer guidage de poinçonnage <i>CMC</i>						7		7			7				1260	850	2110
				5,45	0,25	0,25	0,5	1,75	7	6,2	12	1,5	1	0,2	14,7	2646	1540	4186		

Méthodes d'entretien ➤

1 - dépannage	3 - entretien de conduite	5 - entretien systématique
2 - réparation	4 - entretien préventif conditionnel	6 - améliorations









### 3-2-4- Coût global d'un équipement

Le coût global d'un équipement ou Life Cycle Cost (LCC) est la différence entre les recettes cumulées qu'il procure et l'ensemble des coûts qu'il occasionne, pendant toute sa durée de vie.

- V : \_\_\_\_\_ - CM : \_\_\_\_\_
- Ca : \_\_\_\_\_ - CP : \_\_\_\_\_
- Cu : \_\_\_\_\_
- LCC = \_\_\_\_\_

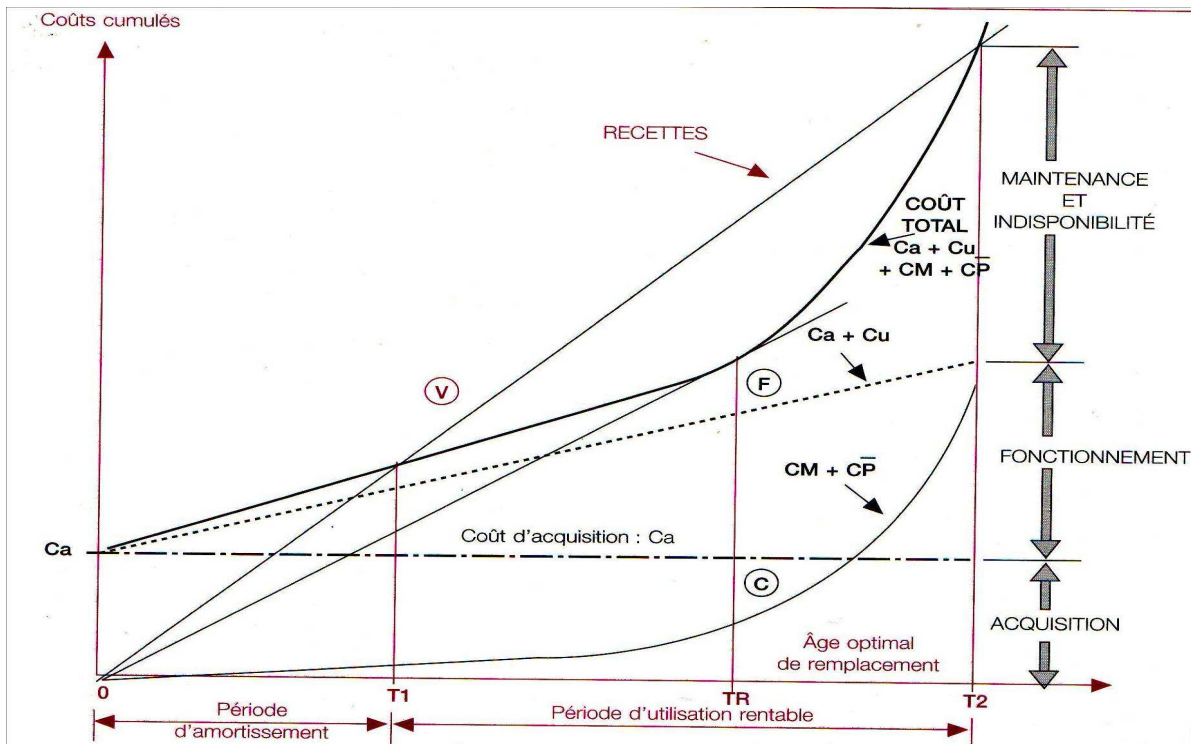
Représentation graphique du coût global

Cette représentation graphique tiens compte des hypothèses suivantes :

- Le taux d'utilisation de l'équipement est constant
- Les coûts de fonctionnement et les recettes restent stables dans le temps

D'où deux droites :  $V(v)$  pour les recettes et  $F$  pour la somme  $Ca + Cu$

Les coûts de maintenance et d'indisponibilité augmentent dans le temps du fait de la diminution de la fiabilité de l'équipement. Cette somme  $CM + CP$  se traduit par la courbe  $C$



Interprétation de la courbe :

A partir d'une représentation des recettes et des coûts, il est possible de mettre en évidence 2 périodes :

- L'acquisition du matériel à T1 : \_\_\_\_\_, T1 représentant le moment où la somme des recettes cumulées et la somme des coûts cumulés sont égales.
- De T1 à T2 : \_\_\_\_\_, la somme des recettes restant toujours supérieure à la somme des coûts cumulés.

Remarque au moment de TR : \_\_\_\_\_

Au delà de ce point la somme cumulée des coûts augmente en raison du vieillissement de l'équipement (apparition plus fréquente de pannes). Il est déterminé par le point de la tangence de la courbe des coûts cumulés avec la droite passant par l'origine.

## 3-3- Les formes de production

Fonction et système

Notion de fonction :

---

---

Notion de système :

---

---

Système de production

---

---

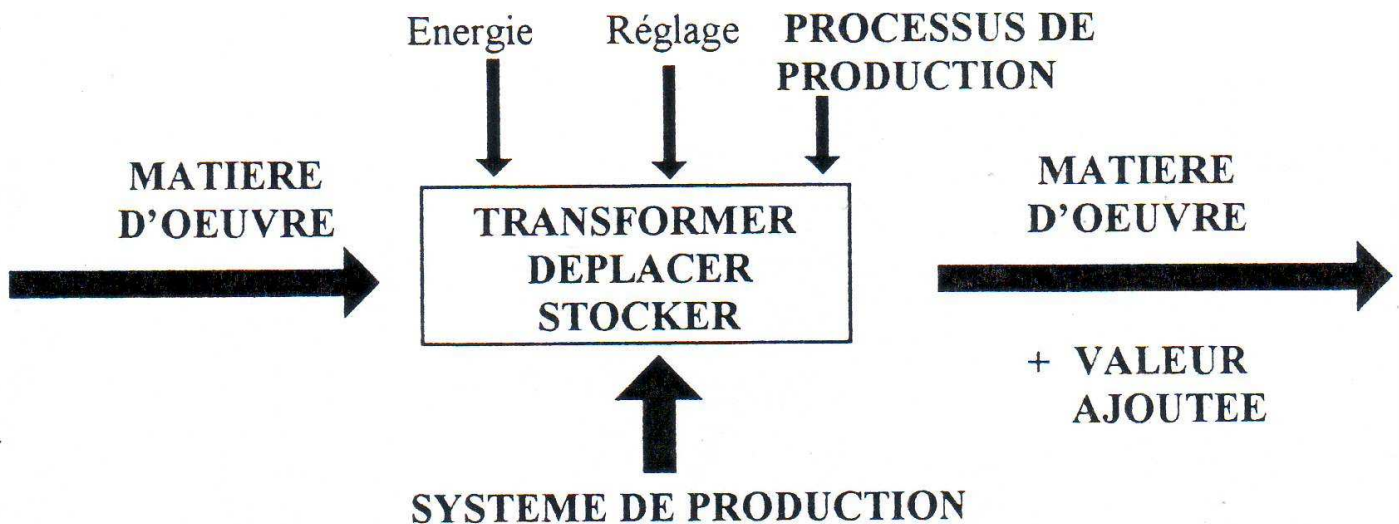
Un système de production \_\_\_\_\_ de la matière d'œuvre pour lui conférer une valeur ajoutée.

Processus de production :

---

---

---



Représentation fonctionnelle d'un système de production

Classification des processus de production.

Les critères les plus importants sont :

- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

Processus de production de type continu

C'est celui dans lequel les matières d'œuvre subissent de manière ininterrompue de profondes modifications chimiques ou physiques, physico-chimique ou biologique.

Ex : raffineries, industries chimiques, aciérie, cimenterie

Processus de production de type discontinu

C'est celui dans lequel les matières d'œuvres sont transformées en pièces de façon séquentielle et ensuite assemblées en respectant un planning rigoureux de fabrication et d'assemblage.

Ex : industries de l'automobile, de l'habillement, usine d'électroménager...

Dans ce processus de production les entreprises doivent présenter une bonne *flexibilité*.

Définition de flexibilité :

\_\_\_\_\_

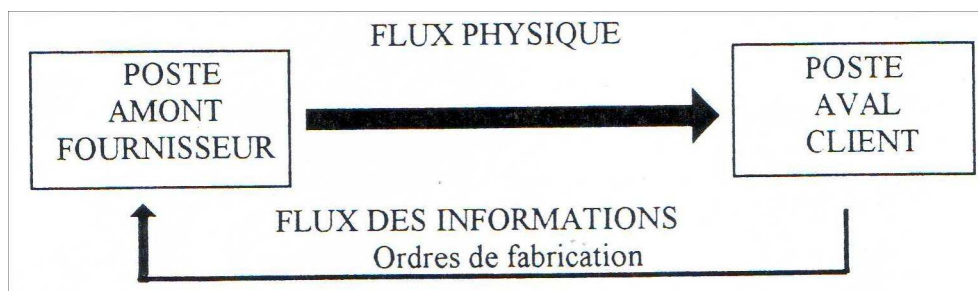
\_\_\_\_\_

Gestion du flux de production :

Dans le cas d'un processus de production discontinu la recherche de l'écoulement optimal de ces fabrications revient à réduire au maximum les stocks intermédiaires ou stocks tampons entre les postes de travail car cela coûte cher, occupe de la place et occasionne des détériorations. Cet objectif ne peut être atteint que par une \_\_\_\_\_ rigoureuse.

La planification du juste a temps.

Ne sont planifiées que les opérations finales de fabrication ou d'assemblage. Toutes les autres opérations ne sont déclenchées, sur un poste donné, que par rapport aux besoins du poste situé en aval.



Le JUSTE A TEMPS revient à fabriquer à un instant donné ce qui est demandé. Elle se traduit par une production à flux tiré ou à flux tendu.

Chaque poste de travail est à la fois \_\_\_\_\_ et \_\_\_\_\_.