


 Université Internationale de Casablanca
 Ecole d'Ingénierie

Technologies de gestion de la maintenance



Prof. Asmae ABADI
 Docteur et Ingénieur d'état en Génie Industriel et Productique
 Année Universitaire : 2019/ 2020

1

Plan du cours

1. La fonction maintenance : formes, enjeux, fonctions ...
2. Connaissance du matériel et Documentation de maintenance
3. Etude du comportement du matériel et loi de dégradation
4. Sûreté de fonctionnement : Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité
5. Gestion des opérations de maintenance : Méthodes et Outils de diagnostic
6. Outils de résolution des problèmes de maintenance et de rendement de l'équipement
7. Gestion globale du service maintenance

17/10/2019 Technologies de gestion de la maintenance

2

Chapitre 1:
La fonction maintenance : formes, enjeux, fonctions ...

17/10/2019 Technologies de gestion de la maintenance

3

Plan du chapitre 1

1. Définitions
2. Concepts liés à la maintenance
3. Enjeux de la maintenance
4. La maintenance: ses fonctions et ses interfaces
5. Les objectifs, contraintes et moyens de la maintenance
6. Les différentes formes de la maintenance
7. Applications

17/10/2019 Technologies de gestion de la maintenance

4

Introduction

- Avec l'évolution de l'environnement industriel, l'entreprise se trouve obligée d'évoluer elle aussi pour rester compétitive.
- Les outils de production sont de plus en plus complexes et coûteux
- Leurs défaillances entraînent des conséquences très lourdes :

Arrêt de production

Risque d'accident

Baisse de la qualité des produits ou services

→ D'où, la nécessité de pratiquer une politique de maintenance visant d'assurer la disponibilité maximale et la durabilité des outils de production

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance

5

Introduction

☐ La maintenance tout d'abord est un ensemble de gestes simples :

En effet, à première vue, tout le monde l'a déjà pratiquée dans sa vie, à travers des choses banales telles que :

- Lubrifier sa chaîne de vélo,
- Cirer sa paire de chaussures,
- Vidanger de l'huile de votre.



☐ Dans le début du 19 siècle on parlait d'entretien et non de la maintenance:

- L'entretien d'un bien désigne toutes les opérations ou les interventions permettant de le garder en état de fonctionnement.

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance

6

1. Définition de la maintenance

- Selon la norme AFNOR NF X60-010, c'est :
« L'Ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».
- Selon la norme NF X60-000 :
Bien maintenu, c'est assurer ces opérations au coût global minimal .

Maîtriser au lieu de subir !

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance

7

Différence entre maintenance et entretien

- **Entretien** : intervention de dépannage ou de réparation après défaillance d'un bien pour relancer la production + opérations courantes préconisées par le constructeur (lubrification, rondes de surveillance, ...)

↓

Entretien = subir les défaillances

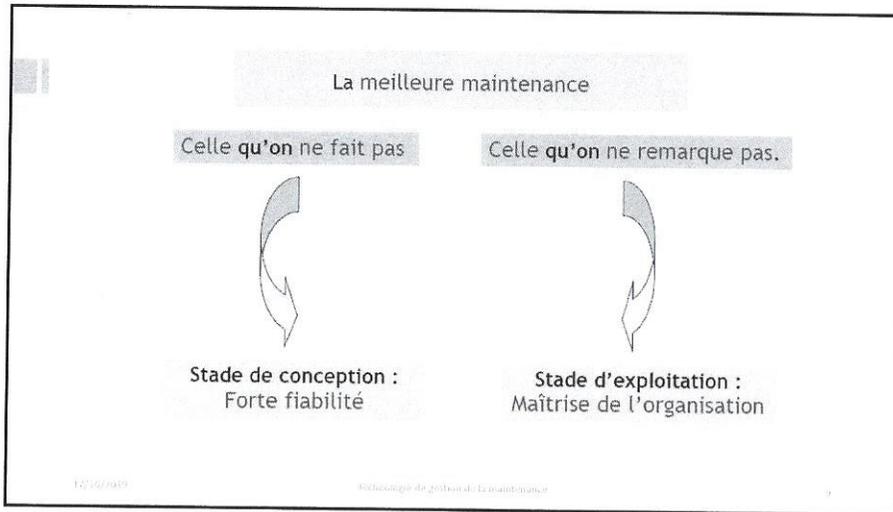
- **Maintenance** : prise en compte des objectifs de production et du comportement des outils de production ⇒ interventions destinées à optimiser la disponibilité et la productivité

↓

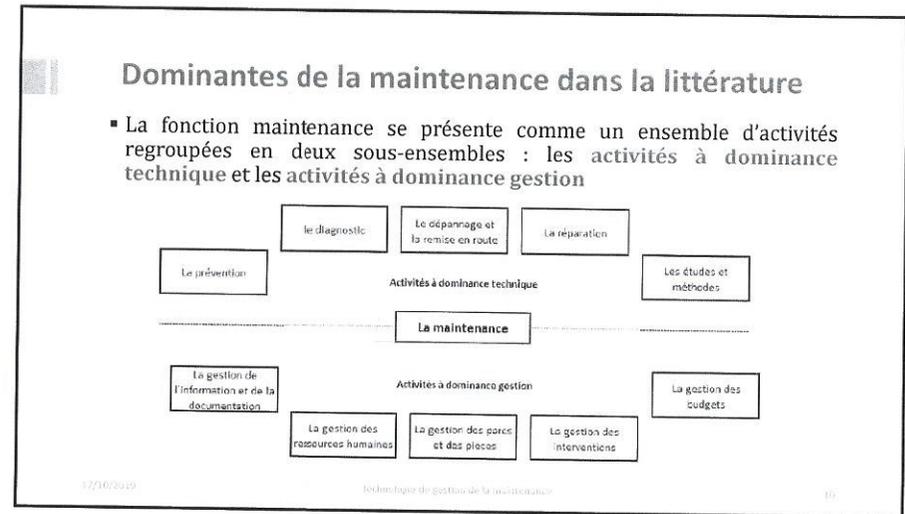
Maintenance = prévoir et anticiper les défaillances

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance

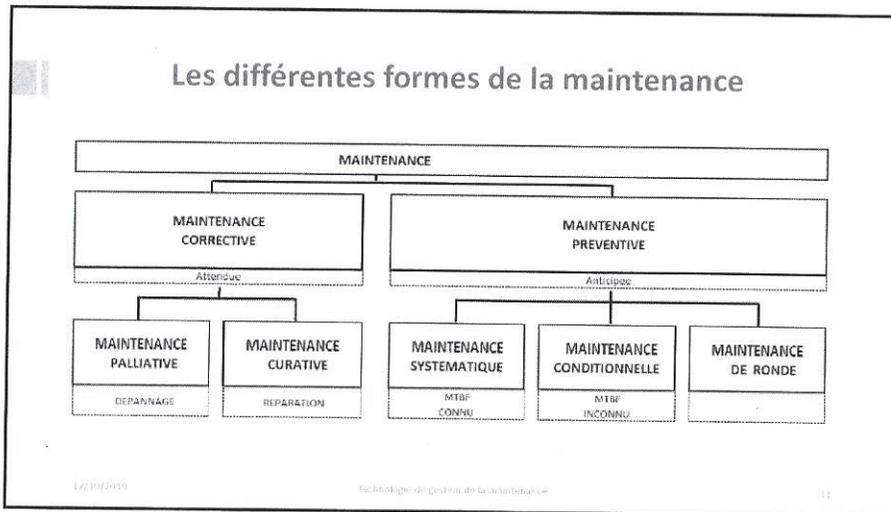
8



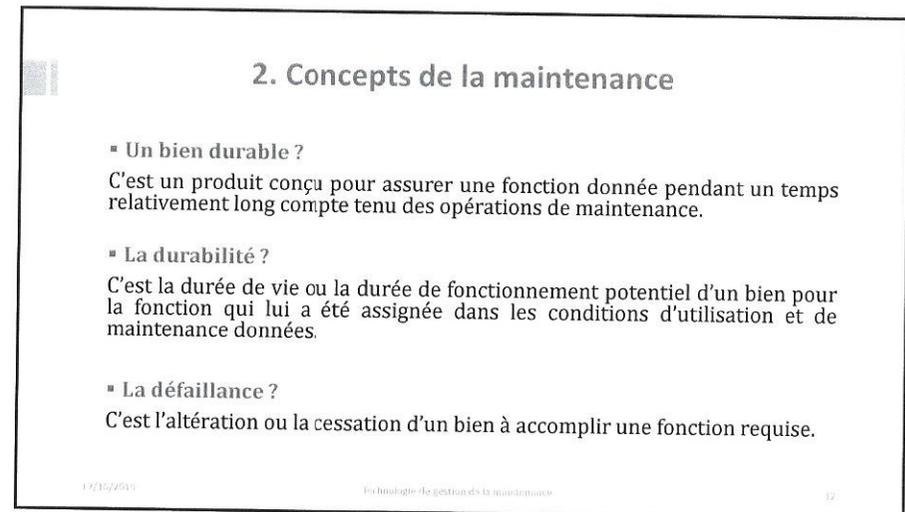
9



10



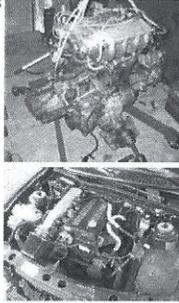
11



12

2. Concepts de la maintenance

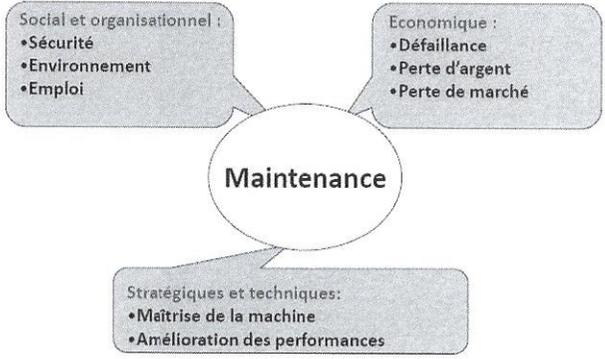
- **La fiabilité ?**
La fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans les conditions d'utilisation et de période de temps déterminées. dq/dt
- **La maintenabilité ?**
La maintenabilité est l'aptitude d'un dispositif à être maintenu. La maintenabilité est liée à la conception, à la fabrication et aux opérations de maintenance.
EX : Maintenable: on ne démonte pas tout pour changer une courroie.
- **La disponibilité ?**
La disponibilité est l'aptitude d'un dispositif à être fiable et maintenable, donc à remplir complètement sa fonction.
EX: Disponible: le dispositif est là et il fonctionne parfaitement.]



17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 13

13

3. Enjeux de la maintenance



Social et organisationnel :

- Sécurité
- Environnement
- Emploi

Economique :

- Défaillance
- Perte d'argent
- Perte de marché

Stratégiques et techniques:

- Maîtrise de la machine
- Amélioration des performances

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 14

14

4. La maintenance: ses fonctions et ses interfaces

▢ **Domaines d'action du service maintenance**

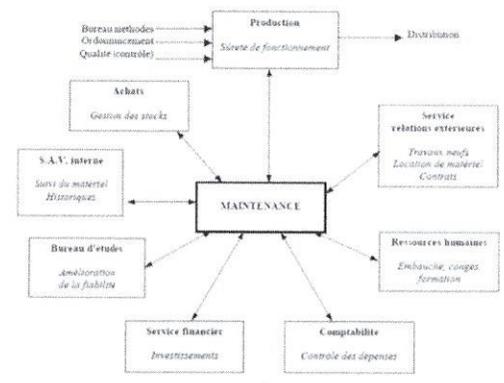
Voici la liste des différentes tâches dont un service maintenance peut avoir la responsabilité :

- **la maintenance des équipements** : actions correctives et préventives, dépannages, réparations et révisions.
- **l'amélioration** du matériel, dans l'optique de la qualité, de la productivité ou de la sécurité.
- **les travaux neufs** : participation au choix, à l'installation et au démarrage des équipements nouveaux.
- **les travaux concernant l'hygiène**, la sécurité, l'environnement et la pollution, les conditions de travail, ...
- **l'approvisionnement** et la gestion des outillages, des rechanges, ...
- **l'entretien général** des bâtiments administratifs ou industriels, des espaces verts, des véhicules.

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 15

15

4. La maintenance: ses fonctions et ses interfaces



17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 16

16

4. La maintenance: ses fonctions et ses interfaces

☐ **Tendance de la maintenance dans une entreprise:**

- Il existe 2 **tendances** quant au positionnement de la maintenance dans l'entreprise :
Centralisation, Décentralisation

Tendance 1 : La centralisation où toute la maintenance est assurée par un service.

☐ **Les avantages sont :**

- Standardisation des méthodes, des procédures et des moyens de communication
- Possibilité d'investir dans des matériels onéreux grâce au regroupement
- Vision globale de l'état du parc des matériels à gérer
- Gestion plus aisée et plus souple des moyens en personnels
- Rationalisation des moyens matériels et optimisation de leur usage (amortissement rapide)
- Diminution des quantités de pièces de rechange disponibles
- Communication simplifiée avec les autres services grâce à sa situation centralisée

17

4. La maintenance: ses fonctions et ses interfaces

☐ **Tendance de la maintenance dans une entreprise:**

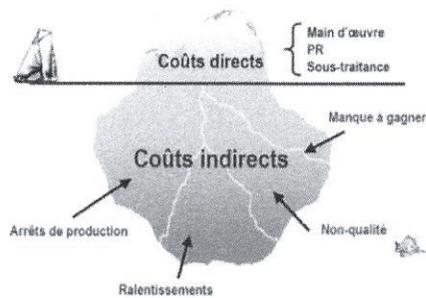
Tendance 2 : La décentralisation, où la maintenance est confiée à plusieurs services, de dimension proportionnellement plus modeste, et liés à chacun des services de l'entreprise.

Les avantages sont :

- Meilleures communications et relations avec le service responsable du parc à maintenir
- Effectifs moins importants dans les différentes antennes
- Réactivité accrue face à un problème
- Meilleure connaissance des matériels
- Gestion administrative allégée

18

5. Les objectifs, contraintes et moyens de la maintenance



19

5. Les objectifs, contraintes et moyens de la maintenance



☐ **Objectifs généraux**

- Améliorer la productivité et la disponibilité des équipements de production.
- Optimiser la fiabilité des équipements et la qualité des produits.
- Améliorer la sécurité des équipements et réduire les risques d'accidents.

$$\frac{\text{Coût de maintenance} + \text{coût d'indisponibilité}}{\text{le chiffre d'affaire de la production}}$$

20

5. Les objectifs, contraintes et moyens de la maintenance

❑ Contraintes

La complexité d'un service maintenance et l'extrême variété des tâches qui le caractérisent (en nature, en durée, en urgence, en criticité) débouchent sur une organisation particulièrement rigoureuse. Le service maintenance devra en particulier gérer les contraintes qui peuvent avoir des origines diverses.

- La politique de maintenance
- Organisation des interventions
- Niveau de préventif/correctif
- Externalisation
- Stratégie d'approvisionnement
- La logistique de maintenance
- Documentation
- Personnel : compétences, formation
- Moyens matériels
- Pièces de rechange
- Le budget
- La sécurité
- Contrainte de production
- Contrainte de qualité du produit

17/10/2019

Technologie de gestion de la maintenance

21

21

5. Les objectifs, contraintes et moyens de la maintenance

❑ Contraintes

La complexité d'un service maintenance et l'extrême variété des tâches qui le caractérisent (en nature, en durée, en urgence, en criticité) débouchent sur une organisation particulièrement rigoureuse. Le service maintenance devra en particulier gérer les contraintes qui peuvent avoir des origines diverses.

- La politique de maintenance
- Organisation des interventions
- Niveau de préventif/correctif
- Externalisation
- Stratégie d'approvisionnement
- La logistique de maintenance
- Documentation
- Personnel : compétences, formation
- Moyens matériels
- Pièces de rechange
- Le budget
- La sécurité
- Contrainte de production
- Contrainte de qualité du produit

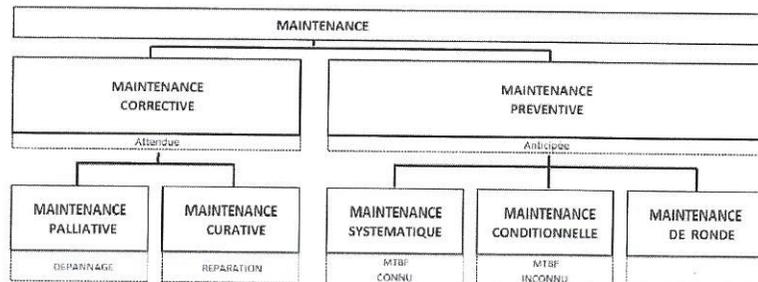
17/10/2019

Technologie de gestion de la maintenance

22

22

6. Les différentes formes de la maintenance



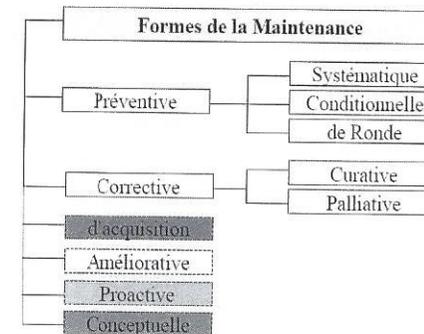
17/10/2019

Technologie de gestion de la maintenance

23

23

6. Les différentes formes de la maintenance



17/10/2019

Technologie de gestion de la maintenance

24

24

6.1 La maintenance corrective

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 25

25

6.1 La maintenance corrective MC

☐ Définitions (norme NF EN 13306)

- <<La **maintenance corrective** est la maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise>>

Evolution du niveau de performance en maintenance corrective

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 26

26

6.1 La maintenance corrective

```

    graph TD
      MC[Maintenance corrective] --> DP[Défaillance partielle]
      MC --> DT[Défaillance totale]
      DP --> D[Dépannage]
      DP --> P[Palliative]
      DT --> R[Réparation]
      DT --> C[Curative]
    
```

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 27

27

6.2 La maintenance préventive

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 28

28

6.2 La maintenance préventive

❑ MP: définition (norme NF EN 13306)

- « La maintenance préventive C'est la 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 »

Evolution du niveau de performance en maintenance préventive systématique

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 29

29

6.2 La maintenance préventive

ORDRE DE TRAVAIL		OT	
Justificatif :	Service demandeur :	Date d'entrée en vigueur :	Date d'expiration :
OT :	Service FAB		
	Département :		
Destinataire :	Service :	Date d'expiration :	Machiniste/contrôle :
Service :	Département :	Zone B	BA
Désignation des travaux :		Documenté par :	Documenté par :
<ul style="list-style-type: none"> Changer le roulement du palier du tapis roulant BA101. Remplacer les 4 vis de serrage du couvercle du bi-cylindre BA202. Remplacer les 3 pales du ventilateur central de BA112. 		préparé :	exécuté :
Vis de serret OIL :		Vis de serrage de :	Vis de serrage de :
M. NACER		M. OUIH	M. CHABAF
Date :		Date :	Date :

DEMANDE DE TRAVAIL		DT	
Destinataire :	Etat d'urgence :	Date d'admission de l'ordre :	Signé :
OT :			
Date :			
Lieu d'intervention :	Machiniste/contrôle :	Spécialité demandée :	Cadre d'opération :
Zone C	Centre de montage :	PS	SC
Simplifier et/ou dégrader les contrôles :		Etat de la machine :	
<ul style="list-style-type: none"> Contrôles NE SONT PAS réalisés dépassant le seuil de 1cm de flexion : ARRÊT DELÉGATOIRE 		Arrêt	
Tous les détails :		Mise	
<ul style="list-style-type: none"> Changer des contrôles de transmission et relation avec le moteur CA100. 			
Vis de serret OIL :	Vis de serrage de :	Vis de serrage de :	Vis de serrage de :
M. NACER	M. CHABAF	M. CHABAF	M. CHABAF
Date :	Date :	Date :	Date :

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 30

30

6.3 MP Systématique

17/11/2019 Technologie de gestion de la maintenance 31

31

6.3 MP Systématique

❑ Définitions

- 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. (Norme NF EN 13306)

❑ Deux types :

- Maintenance programmée : «Maintenance préventive exécutée selon un calendrier préétabli ou selon un nombre défini d'unités d'usage».
- Maintenance systématique : «Maintenance préventive exécutée sans contrôle préalable de l'état du bien et à des intervalles définis».

Toutes ces définitions se recoupent dans la figure. Nous noterons T la période d'intervention prédéterminée, I_{ps} chaque intervention préventive systématique.

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 32

32

6.3 MP Systématique

II. Exécuter :

LA GAMME OPÉRATOIRE D'INTERVENTION :

- Établie après la démarche de diagnostic, elle applique les principes généraux d'établissement des gammes de fabrication :
 - décomposition en phases, sous-phases, opérations
 - étude des moyens, des temps, des coûts, des outillages...
- EN MAINTENANCE, ON TROUVERA SOUVENT LES PHASES SUIVANTES :**
 - déposer (en sous-ensembles), assembler, démonter, remonter (pièces), nettoyer.
 - expertiser (expertise définitive des points litigieux), consigner.
 - réparer, usiner.
 - contrôler.
- L'ENCLÈCHEMENT DES PHASES EST SUIVANT UN « ORDONNANCEMENT » DONNE CHAQUE OPÉRATION CONTIENDRA LES INFORMATIONS SUIVANTES :**
 - description du travail et temps alloués.
 - matière ou pièce consommées.
 - moyens d'exécution : outillage, engin de manutention et moyens de contrôle.
- UNE GAMME TYPE PEUT ÊTRE ÉLABORÉE POUR UNE FAMILLE DE RÉPARATIONS SEMBLABLES (moteur électrique, pompes centrifuges...).

6.3 MP Systématique

PROCESSUS D'INTERVENTION			
MATÉRIEL		MANQUE	DOCUMENT
Moteur électrique standard		4,7 H	Gamme type 2
Fréquence : 5000 heures de service		Durée : 100 à 150	NATURE DE L'INTERVENTION
		Établissement des gammes de fabrication de gammes types	
N°	Opérations à effectuer	Outillage	Schémas
101	SECURITE		
102	Insérer l'inductance électroaimant (E1, C1)	Partenaire de montage	Voir schéma de montage
103	INSERER EN		
201	Démonter les barreaux de sécurité	Clé 8 pans de 5	Plan de montage
202	Remonter les barreaux de sécurité	Clé 8 pans de 5	
203	Contrôle visuel et contrôle des points de serrage		
204	Contrôle des points de serrage		
205	Reconstituer l'outillage		
301	Exploser la partie supérieure de l'axe		
302	Exploser la partie inférieure de l'axe		
303	Replacer le démonteur		
304	Replacer les barreaux de sécurité		
305	REMONTER EN		
401	Replacer le démonteur		
402	Replacer les barreaux de sécurité		
403	Replacer les barreaux de sécurité		
404	Replacer les barreaux de sécurité		
405	Replacer les barreaux de sécurité		
406	Replacer les barreaux de sécurité		
407	Replacer les barreaux de sécurité		
408	Replacer les barreaux de sécurité		
409	Replacer les barreaux de sécurité		
410	Replacer les barreaux de sécurité		
411	Replacer les barreaux de sécurité		
412	Replacer les barreaux de sécurité		
413	Replacer les barreaux de sécurité		
414	Replacer les barreaux de sécurité		
415	Replacer les barreaux de sécurité		
416	Replacer les barreaux de sécurité		
417	Replacer les barreaux de sécurité		
418	Replacer les barreaux de sécurité		
419	Replacer les barreaux de sécurité		
420	Replacer les barreaux de sécurité		

6.4 MP conditionnelle

Définitions

- Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. (Norme NF EN 13306)

Avantages:

- ✓ Elimination possible du risque de défaillance donc pas de dégâts collatéraux, durabilité plus grande et bon fonctionnement.
- ✓ **Gestion aisée** des ressources humaines et matérielles.
- ✓ **Réduction des temps d'arrêt** donc coût d'indisponibilité limité.
- ✓ **Meilleure efficacité** par de meilleures préparation et planification.

Inconvénients:

- ✓ Nécessité de **moyens** de contrôle et d'analyse **coûteux**.
- ✓ Nécessité de déterminer les seuils et **périodicité** de mesure.
- ✓ Nécessité de **former** les opérateurs de Maintenance.
- ✓ **Sous-traitance** de travaux de maintenance conditionnelle

6.4 MP conditionnelle

Définitions

- Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. (Norme NF EN 13306)

Avantages:

- ✓ Elimination possible du risque de défaillance donc pas de dégâts collatéraux, durabilité plus grande et bon fonctionnement.
- ✓ **Gestion aisée** des ressources humaines et matérielles.
- ✓ **Réduction des temps d'arrêt** donc coût d'indisponibilité limité.
- ✓ **Meilleure efficacité** par de meilleures préparation et planification.

Inconvénients:

- ✓ Nécessité de **moyens** de contrôle et d'analyse **coûteux**.
- ✓ Nécessité de déterminer les seuils et **périodicité** de mesure.
- ✓ Nécessité de **former** les opérateurs de Maintenance.
- ✓ **Sous-traitance** de travaux de maintenance conditionnelle

6.4 MP conditionnelle

☐ Types de Maintenance conditionnelle

Maintenance Conditionnelle

- Méthode continue
 - Capteurs dédiés
 - Mesures en continu
- Méthode discrète
 - Capteurs mobiles
 - Mesures selon échéancier

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 41

41

6.4 MP conditionnelle

☐ Moyens de contrôle de la Maintenance conditionnelle

Maintenance Conditionnelle

- Sens humains
 - Toucher
 - Oïte
 - Odorat
 - Vue
- Moyens techniques
 - Analyse vibratoire
 - Analyse d'huile
 - Contrôles non destructifs
 - Mesure de désalignement
 - Détection de fuite
 - Analyse thermique
 - Endoscopie
 - Stroboscopie etc...

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 42

42

6.5 MP de ronde

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 43

43

6.5 MP de ronde

☐ Définition :

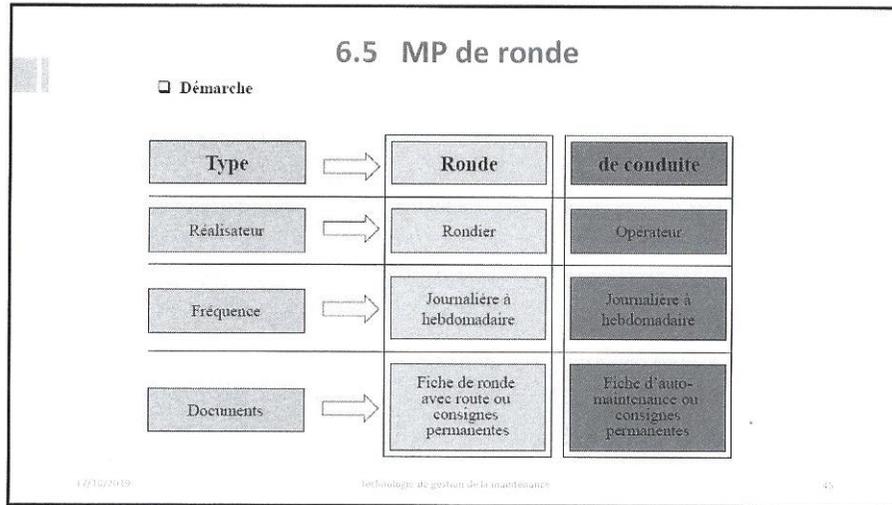
Opérations nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur t ou nb d'unités d'usage.

☐ Types :

- **Elinspection** : c'est une activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. Elle n'est pas obligatoirement limitée à la comparaison avec des données préétablies. Cette activité peut s'exercer notamment au moyen de ronde.
- **Le contrôle** : c'est une vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement. Le contrôle peut :
 - comporter une activité d'information,
 - inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement,
 - déboucher sur des actions correctives.
- **En visite** : c'est une opération consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du 1er niveau.

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 44

44



45

6.5 MP de ronde

☐ Exemple:

Plan de ronde

MANUEL DE MAINTENANCE PREVENTIVE HYDRAULIQUE MECANIQUE			
Titre Doc :		EX-MACHIE	
Code Equipement	Designation	Description des travaux	Fréquence (sest)
D451	COMPRESSEUR ATLAS ZT 55	PSM0050 Journalier: CONTROLE Fuite d'huile Fuite d'air Etat du compresseur La purge automatique des condensats pendant la charge LECTURE BIPHASI Message pressions Etat de marche Température air, huile et éléments Condition de marche Hebdomadaire: Même contrôle que le journalier plus Apport d'huile si nécessaire (compresseur à l'arrêt) Nettoyage compresseur Soutirage filaire air (compresseur à l'arrêt) Contrôle usure de sécurité	4
		PSM0050 Journalier: CONTROLE Fuite d'huile Fuite d'air Etat du compresseur La purge automatique des condensats pendant la charge LECTURE BIPHASI Message pressions Etat de marche Température air, huile et éléments Condition de marche Hebdomadaire: Même contrôle que le journalier plus Apport d'huile si nécessaire (compresseur à l'arrêt) Nettoyage compresseur Soutirage filaire air (compresseur à l'arrêt) Contrôle usure de sécurité	4
D452	COMPRESSEUR + SECHUR ATLAS CA37	PSM0050 Journalier: CONTROLE Fuite d'huile Fuite d'air Etat du compresseur La purge automatique des condensats pendant la charge LECTURE BIPHASI Message pressions Etat de marche Température air, huile et éléments Condition de marche Hebdomadaire: Même contrôle que le journalier plus Apport d'huile si nécessaire (compresseur à l'arrêt) Nettoyage compresseur Soutirage filaire air (compresseur à l'arrêt) Contrôle usure de sécurité	4

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 46

46

Autres formes de la maintenance

☐ Maintenance d'acquisition

- ✓ Consiste à prendre en compte les exigences de la Maintenance au stade de l'acquisition des équipements, leur réception, installation et renouvellement.

• Activités:

- ✓ Elaboration de méthodes de décision de renouvellement d'un équipement
- ✓ Elaboration de cahier de charge pour l'achat des équipements.
- ✓ Elaboration de check lists pour l'établissement de contrat, de réception et d'installation.
- ✓ Etablissement de fiche technique pour les composants.
- ✓ Etablissement de procédure de conservation des composants en stock.

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 47

47

Autres formes de la maintenance

☐ Maintenance Améliorative

- ✓ Consiste à apporter des modifications aux entités pour satisfaire des objectifs de performance, de qualité, de coût, de sécurité et de protection de l'environnement.

• Activités:

- ✓ Supprimer les causes première de défaillances.
- ✓ Satisfaire de nouvelles exigences de production par des modernisations et adaptations.
- ✓ Augmenter la durée de vie par des rénovations.

17/10/2019 Technologie de gestion de la maintenance 48

48

Autres formes de la maintenance

☐ Maintenance Proactive

- ✓ Consiste à analyser les retours d'expérience, déterminer les causes des défaillances et trouver les remèdes à même de les éliminer ou tout au moins d'en réduire les effets et l'occurrence

• Activités:

- ✓ Sélection des équipements devant faire l'objet d'une grande attention.
- ✓ Mise en place de moyens de détection des défaillances et leur suivi.
- ✓ Gestion des retours d'expérience.
- ✓ Réalisations de méthodes d'étude et d'analyse telles que l'AMDEC
- ✓ Mise en place et formation de groupes d'étude.
- ✓ Mise en place d'un système de gestion des études.

Application

- Indiquer pour chaque intervention la méthode de maintenance correspondante.

Interventions	Maintenance corrective		Maintenance Préventive		Maintenance améliorative
	Dépannage	Réparation	Systematique	Conditionnelle	
Vidange tous les 10000 Km					
Remise à neuf d'une machine					
Changer un cardan					
Changer un filtre avec indicateur de colmatage					
Changer un roulement défaillant					
Modernisation d'une chaîne de production					
Echanger une roue crevée					
Remplacer un roulement suite à un test d'analyse vibratoire					

Chapitre 2 :

Connaissance du matériel et Documentation de maintenance

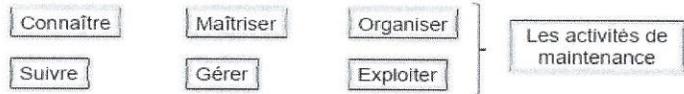
Introduction

- ▶ **La connaissance des matériels** est nécessaire pour assurer le suivi des matériels et anticiper leur évolution
- ▶ Les **bases de la connaissance des matériels** sont : l'identification, la classification et l'inventaire réactualisé du parc de matériels à gérer .



Classification et nature du matériel

► Suite à la diversité des matériels dans une entreprise, il y a une nécessité à faire une **classification logique et judicieuse** permettant de :

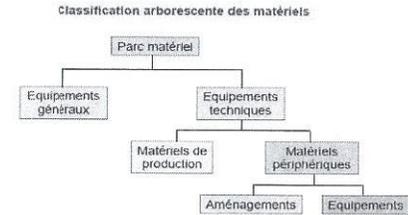


► La **classification la plus utilisée** est basée sur la distinction des matériels liés à la production et les autres matériels

53

Classification et nature du matériel

1. **Matériels directement liés à la production** : dont tout arrêt provoque un ralentissement ou une mauvaise qualité de la production
2. **Matériels non liés à la production** : matériels dont la défaillance n'affecte pas la production



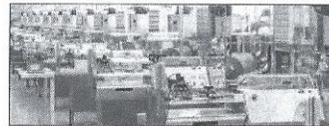
54

Classification et nature du matériel

► Matériels de production

Systèmes (manuels, semi-automatiques, automatiques), machines uniques, lignes complètes participant par leur fonction à la réalisation de la mission de l'entreprise

- Machines-outils, presses mécaniques
- Unités de conditionnement
- Machine de grenillage, fours (entreprise de peinture)
- Chambres froides (industrie agroalimentaire)
- ...



55

Classification et nature du matériel

► Matériels périphériques

- Equipements

- Générateurs d'énergie : pompes, compresseurs, chaudières
- Outillages
- Systèmes liés à l'environnement : conditionnement de l'air, traitement des déchets

- Aménagements

- Réseaux d'alimentation en énergie : électricité, eau, air comprimé
- Systèmes d'éclairage, installations de chauffage, canalisations
- Ascenseurs

56

Classification et nature du matériel

- ➔ Equipements généraux ou installations
 - Bâtiments, routes
 - Locaux et matériels de restauration
 - Réseaux informatiques
 - Matériels de bureau, téléphonie
 - Espaces verts et clôtures

▶ 57 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

57

Nomenclature des équipements

- ➔ **Nomenclature** : document rassemblant sous forme de listes tous les matériels de l'entreprise, classés par familles, codifiés et localisés avec précision
- ➔ **But et intérêt**
 - Nomenclature précise et détaillée* : indispensable pour la pratique d'une maintenance efficace et rentable
 - Affectation d'un **code** à chacun des matériels, permettant sa désignation sans ambiguïté
 - Informations fournis par le code* : localisation (zone pour une machine, machine pour une pièce ou composant), caractéristiques, fonction, type, ...
 - Nomenclature* : sert à l'établissement des budgets de maintenance, l'élaboration des contrats de sous-traitance et la définition des méthodes de maintenance

▶ 58 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

58

Nomenclature des équipements

- ➔ Construction et architecture de la nomenclature
 - *Construction par arborescence* : découpage sous forme fonctionnelle
 - Par atelier ou groupe de production (situation géographique)
 - Par chaîne de maintenance (gestion des opérations)
 - Par regroupement de maintenance (suivi des machines)
 - Par ensembles fonctionnels (sous-ensembles, composants, organes)

▶ 59 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

59

Nomenclature des équipements

- Architecture de la nomenclature

```

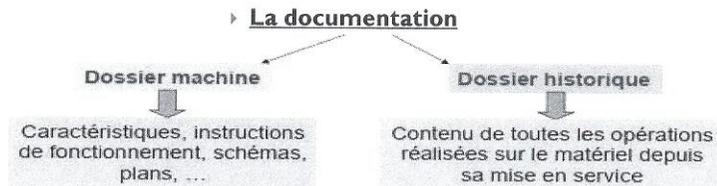
graph TD
    Entreprise[Entreprise] --> Installations[Installations]
    Entreprise --> Amenagements[Aménagements]
    Entreprise --> Equipements[Equipements]
    Entreprise --> Production[Production]
    
    Equipements --> SecteurA[Secteur A]
    Equipements --> SecteurB[Secteur B]
    Equipements --> SecteurC[Secteur C]
    
    SecteurA --> Assemblage[Assemblage]
    SecteurA --> Injection[Injection]
    SecteurA --> Conditionnement[Conditionnement]
    
    Injection --> Presse1[Presse 1]
    Injection --> Presse2[Presse 2]
    Injection --> Presse3[Presse 3]
    
    Equipements --- P[P]
    SecteurA --- A[A]
    Injection --- I[I]
    Presse3 --- P3[P3]
    
    Code[Code : PAIP3]
    
```

▶ 60 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

60

Introduction

- ▶ Il y a une grande nécessité d'une parfaite maîtrise de la documentation relative aux différents matériels et installations .



▶ 61

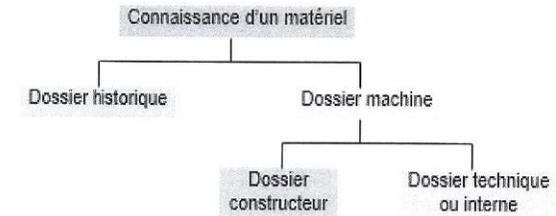
Technologie de gestion de la maintenance industrielle

17/10/2019

61

Dossier machine

Constituants de la connaissance d'un matériel



▶ 62

Technologie de gestion de la maintenance industrielle

17/10/2019

62

Dossier machine

Dossier constructeur

- *Documents de présentation* : destinés à l'information préalable des clients avant toute commande

- Fiche technique
- Fiche signalétique
- Schéma général de principe
- Plans d'ensemble

- *Documents d'exploitation et de maintenance* : nécessaires à la mise en œuvre et à la maintenance

- Schémas fonctionnels et autres schémas (électriques, hydrauliques, ...)
- Instructions d'installation, d'utilisation et de maintenance
- Catalogue des articles de rechange
- Consignes de sécurité
- Liste des accessoires

▶ 63

Technologie de gestion de la maintenance industrielle

17/10/2019

63

Dossier machine

Dossier technique ou interne

Constitué d'informations regroupées par l'utilisateur du matériel

Spécifique à un matériel à partir de ses caractéristiques et en fonction de son lieu d'exploitation : environnement, conditions d'utilisation, types de production, outillages spéciaux

Modifications et/ou transformations apportées au matériel

Dossier mis à jour régulièrement : connaître l'état exact d'un matériel à un moment donné

▶ 64

Technologie de gestion de la maintenance industrielle

17/10/2019

64

Dossier machine

➔ **Construction et architecture du dossier machine**

Dossier machine : constitué à partir d'un découpage arborescent du matériel en partant de l'ensemble jusqu'aux éléments non décomposables

Matériels simples : adoption d'une architecture horizontale

Présentation des caractéristiques Fonctionnement Conduite Maintenance Pièces de rechange

▶ 65 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

65

Dossier machine

Matériels complexes : organisation verticale du dossier machine

Sous-ensemble A Sous-ensemble B Sous-ensemble C Sous-ensemble D

Idem Idem Idem Idem

Présentation des caractéristiques SE C Fonctionnement SE C Conduite SE C Maintenance SE C Pièces de rechange SE C

▶ 66 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

66

Dossier machine

➔ **Gestion des dossiers machine**

Regroupement de la totalité des dossiers machine dans un même endroit : gestion plus facile, exploitation efficace pour la préparation des interventions et l'établissement des plannings de maintenance

Adressage des dossiers machine : utilisation du même code que les matériels

Si la maintenance est prise en charge par le constructeur ou un service après-vente : dossier machine limité aux informations de conduite, de réglage et d'entretiens simples

Si la maintenance est prise en charge par l'utilisateur : dossier machine complet, son contenu négocié au moment de la commande

▶ 67 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

67

Dossier historique d'une machine

➔ **Intérêt et constitution**

- **Dossier historique** : document indispensable à la maintenance - description chronologique de toutes les interventions effectuées sur un matériel depuis sa mise en service (carnet de santé du matériel)
- **Constitution du dossier historique** :
 - Modifications et améliorations
 - Description des travaux lourds effectués
 - Rapports d'expertise ou d'incidents
 - Fichier historique (opérations de maintenance réalisées)

▶ 68 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

68

Dossier historique d'une machine

Fichier historique

- Constitution

Répertoire de toutes les opérations effectuées sur un matériel : correctives, préventives, modifications, graissage, visites, contrôles, ...

Fichier historique : document papier ou fichier informatique si le service maintenance dispose d'une GMAO

Fichier historique : renseigné directement par l'intervenant lui-même ou par l'agent des méthodes à partir des indications des comptes-rendus d'intervention

Dossier historique d'une machine

- Exemple de feuille historique papier

Historique Machine					Code Machine	
					Atelier PS	Machine FD05
Marque : XXXX			Date de mise en service : 25/10/2007		Feuille n° 1	
Type : Filmeuse (machine d'emballage)			N° Immatriculation Constructeur : 001TG41			
Date intervention	N° Ordre de Travail	Intervenant	Désignation	Temps passé	Pièces rechange	
08/06/2009	542	H B	Remplacement axe bras supérieur	3.5 h	1 M210Z 2 K00T 1 JFX40	
18/06/2009	594	M L	Contrôle armoire électrique suite à un échauffement	0.5 h		
02/07/2009	630	B A	Visite préventive hydraulique	0 h	HF24KLA SFD304 GMB25QS NB412S	

Dossier historique d'une machine

- Exploitation du dossier historique :

Données pour des études de fiabilité : lois de fiabilité, évolution du taux de défaillance, MTBF (Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement)

Détermination de la disponibilité du matériel à partir de la fiabilité et la maintenabilité

Méthodes de maintenance : préparer les interventions pour les défaillances critiques et coûteuses, sélectionner et améliorer les organes fragiles

Gestion des stocks d'articles de rechange : suivre leur consommation et aide au choix de méthodes efficaces de leur gestion

Gestion de la maintenance : vérifier la rentabilité du service maintenance en surveillant l'évolution des coûts de défaillance des matériels

Chapitre 3 :

COMPORTEMENT DU MATÉRIEL

Comportement du matériel

► **Etats d'une entité :**

Etat effectif de disponibilité		Etat d'incapacité			
Fonctionnement	Attentes	Incapacité pour causes extérieures	Indisponibilité après défaillance	Indisponibilité de maintenance préventive	Indisponibilité de contraintes d'exploitation
Etat de disponibilité (Up State)			Etat d' indisponibilité (Down State)		

► 73 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

73

ETUDE DES DEFAILLANCES

- **Definition De La Defaillance**

Alteration ou cessation de l'aptitude d'une entité a accomplir une fonction requise

- **Classification en fonction de la rapidité de leur manifestation**

A defaillance progressive

DEFAILLANCE DUE A UNE EVOLUTION DANS LE TEMPS DES CARACTERISTIQUES D'UNE ENTITE

POSSIBILITE DE PREVOIR UNE TELLE DEFAILLANCE PAR UN EXAMEN OU UNE SURVEILLANCE ANTERIEURS

EXEMPLE : USURE DES BAGUES D'UN ROULEMENT A BILLES

► 74 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

74

ETUDE DES DEFAILLANCES

A DEFAILLANCE SOUDAINE

DEFAILLANCE QUI NE SE MANIFESTE PAS PAR UNE PERTE PROGRESSIVE DES PERFORMANCES ET QUI N'AURAIT PAS PU ETRE PREVUE PAR UN EXAMEN OU UNE SURVEILLANCE ANTERIEURS

EXEMPLE : CLAQUAGE D'UN COMPOSANT ELECTRONIQUE

- **CLASSIFICATION EN FONCTION DE LEUR AMPLITUDE**

A DEFAILLANCE PARTIELLE

DEFAILLANCE RESULTANT DE DEVIATION D'UNE OU DES CARACTERISTIQUES AU-DELA DES LIMITES SPECIFIEES, MAIS TELLE QU'ELLE N'ENTRAINE PAS UNE DISPARITION COMPLETE DE LA FONCTION REQUISE

A DEFAILLANCE COMPLETE

DEFAILLANCE RESULTANT DE DEVIATION D'UNE OU DES CARACTERISTIQUES AU-DELA DES LIMITES SPECIFIEES, TELLE QU'ELLE ENTRAINE UNE DISPARITION COMPLETE DE LA FONCTION REQUISE

► 75 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

75

ETUDE DES DEFAILLANCES

- **CLASSIFICATION EN FONCTION DE LA RAPIDITE DE LEUR MANIFESTATION ET DE LEUR AMPLITUDE**

A DEFAILLANCE CATALECTIQUE

DEFAILLANCE QUI EST A LA FOIS SOUDAINE ET COMPLETE

A DEFAILLANCE PAR DEGRADATION

DEFAILLANCE QUI EST A LA FOIS PROGRESSIVE ET PARTIELLE

- **CLASSIFICATION EN FONCTION DES EFFETS**

A EFFETS D'UNE DEFAILLANCE

MANIFESTATION RESULTANT DE L'OCCURRENCE DE CETTE DEFAILLANCE

EXEMPLE : VIBRATIONS EXCESSIVES D'UNE MACHINE TOURNANTE DUES A UNE USURE DES PALIERS SUPPORTANT L'ARBRE

► 76 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

76

ETUDE DES DEFAILLANCES

A DEFAILLANCE MINEURE

DEFAILLANCE CAUSANT UN DOMMAGE NEGLIGEABLE AU SYSTEME OU A SON ENVIRONNEMENT SANS TOUTEFOIS PRESENTER DE RISQUE POUR L'HOMME

A DEFAILLANCE SIGNIFICATIVE

DEFAILLANCE QUI NUIT AU BON FONCTIONNEMENT D'UN SYSTEME SANS TOUTEFOIS CAUSER DE DOMMAGE NOTABLE, NI PRESENTER DE RISQUE IMPORTANT POUR L'HOMME

A DEFAILLANCE CRITIQUE

DEFAILLANCE ENTRAINANT LA PERTE D'UN (OU DES) FONCTION(S) ESSENTIELLE(S) D'UN SYSTEME ET CAUSE DES DOMMAGES IMPORTANTS AU SYSTEME OU A SON ENVIRONNEMENT EN NE PRESENTANT TOUTEFOIS QU'UN RISQUE NEGLIGEABLE DE MORT OU DE BLESSURE

▶ 77

Technologie de gestion de la maintenance industrielle

17/10/2019

77

ETUDE DES DEFAILLANCES

A DEFAILLANCE CATASTROPHIQUE

DEFAILLANCE OCCASIONNANT LA PERTE D'UNE (OU DES) FONCTION(S) ESSENTIELLE(S) D'UN SYSTEME EN CAUSANT DES DOMMAGES IMPORTANTS AU SYSTEME OU A SON ENVIRONNEMENT ET/OU ENTRAINANT, POUR L'HOMME, LA MORT OU DES DOMMAGES CORPORELS

- CLASSIFICATION EN FONCTION DES CAUSES

A CAUSES DE DEFAILLANCES

CIRCONSTANCES LIEES A LA CONCEPTION, LA FABRICATION OU L'EMPLOI D'UNE ENTITE ET ENTRAINANT SA DEFAILLANCE

EXEMPLE : RUPTURE D'UN ARBRE D'UNE MACHINE TOURNANTE CAUSEE PAR UN MAUVAIS TRAITEMENT THERMIQUE

▶ 78

Technologie de gestion de la maintenance industrielle

17/10/2019

78

ETUDE DES DEFAILLANCES

A DEFAILLANCE PREMIERE

DEFAILLANCE D'UNE ENTITE DONT LA CAUSE DIRECTE OU INDIRECTE N'EST PAS LA DEFAILLANCE D'UNE AUTRE ENTITE

EXEMPLE : RUPTURE D'UNE CODUTE SUITE A UNE MISE EN PRESSION INFERIEURE A LA PRESSION DE DIMENSIONNEMENT

DEFAILLANCE DUE, PAR EXEMPLE, A DES PROBLEMES D'USURE, A DES DEFAUTS DE CONCEPTION, DE FABRICATION OU DE SPECIFICATIONS TECHNIQUES

A DEFAILLANCE SECONDE

DEFAILLANCE D'UNE ENTITE DONT LA CAUSE DIRECTE OU INDIRECTE EST LA DEFAILLANCE D'UNE AUTRE ENTITE ET POUR LAQUELLE CETTE ENTITE N'A PAS ETE QUALIFIEE ET DIMENSIONNEE

EXEMPLE : RUPTURE D'UNE CODUTE SUITE A UNE MISE EN PRESSION SUPERIEURE A LA PRESSION DE DIMENSIONNEMENT, RESULTANT DE LA DEFAILLANCE D'UN AUTRE COMPOSANT (SOURCE DE SURETE)

▶ 79

Technologie de gestion de la maintenance industrielle

17/10/2019

79

ETUDE DES DEFAILLANCES

A DEFAILLANCE DE COMMANDE

DEFAILLANCE D'UNE ENTITE DONT LA CAUSE DIRECTE OU INDIRECTE EST LA DEFAILLANCE D'UNE AUTRE ENTITE A LA SUITE DE L'EMISSON DE SIGNAUX DE COMMANDE OU DE CONTRÔLE INTÉPESTIFS

EXEMPLE : UNE VANNE, EN POSITION NORMALEMENT FERMEE, S'OUVRE A LA SUITE DE L'EMISSON INTÉPESTIVE D'UN SIGNAL DE COMMANDE

- MODES DE DEFAILLANCES

MODE DE DEFAILLANCE : EFFET PAR LEQUEL UNE DEFAILLANCE EST OBSERVEE

TRADUCTION D'UN EFFET DE LA DEFAILLANCE SUR LES FONCTIONS DU COMPOSANT

LES MODES DE DEFAILLANCE SONT GENERES PAR LES CAUSES DE DEFAILLANCE

▶ 80

Technologie de gestion de la maintenance industrielle

17/10/2019

80

ETUDE DES DEFAILLANCES

EXEMPLE : DEFAILLANCE D'UN DISJONCTEUR ELECTRIQUE

↓

MODES DE DEFAILLANCES POSSIBLES

LE DISJONCTEUR
NE FERME PAS
SUR ORDRE

LE DISJONCTEUR
N'OUVRE PAS SUR
ORDRE

LE DISJONCTEUR
FERME OU OUVRE
SANS ORDRE

LE DISJONCTEUR
N'ETABLIT PAS OU NE
COUPE PAS LE COURANT

- LIENS ENTRE CAUSES, EFFETS ET MODES DE DEFAILLANCE

COMPOSANT

FONCTIONS

CAUSES DE
DEFAILLANCE

EFFETS SUR LES
FONCTIONS

MODES DE
DEFAILLANCE

▶ 81
Technologie de gestion de la maintenance industrielle
17/10/2019

81

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- NATURE DES DEFAILLANCES

MECANIQUE

DEFORMATION, USURE,
CORROSION, CAVITATION

ELECTRIQUE
ELECTRONIQUE

RUPTURE DE LIAISON,
USURE OU COLLAGE DES
CONTACTS, CLAQUAGE DE
COMPOSANTS

▶ 82
Technologie de gestion de la maintenance industrielle
17/10/2019

82

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

DEGRADATIONS PAR DEFORMATION

A DEFORMATION : MODIFICATION DES DIMENSIONS ET DE LA FORME D'UNE PIECE SOUS L'ACTION DES EFFORTS APPLIQUES

A EVITER DES DEFORMATIONS IMPORIANTES : RESISTANCE MECANIQUE SUFFISANTE, SINON DEGRADATION OU ARRÊT DU FONCTIONNEMENT DU MATERIEL

A MATERIAUX FRAGILES : RUPTURE APRES PEU DE DEFORMATION

A MATERIAUX DUCTILES : RUPTURE APRES UNE DEFORMATION IMPORIANTE

A EXEMPLES DE DEGRADATIONS PAR DEFORMATION

DEFORMATION A HAUTE TEMPERATURE PAR FLUAGE DES AUBES DE TURBINES DES TURBOREACTEURS

DEFORMATION DES BOULETS DE BROYAGE D'UN BROYEUR DE CIMENT

▶ 83
Technologie de gestion de la maintenance industrielle
17/10/2019

83

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

TYPES DE DEFORMATIONS

A DEFORMATION ELASTIQUE

SE PRODUIT A FAIBLE CHARGE ET EST COMPLETEMENT REVERSIBLE

EN GENERAL, DEFORMATIONS TRES FAIBLES DANS LES METAUX ET CERAMIQUES ET N'ENTRAINENT PAS DE DEGRADATION DU FONCTIONNEMENT

CHARGEMENT UNIAxiaL : DEFORMATION PUREMENT ELASTIQUE SI LA CONTRAINTE APPLIQUEE EST INFÉRIEURE A LA LIMITE D'ELASTICITE

A DEFORMATION PLASTIQUE

DEFORMATION PERMANENTE, C'EST-A-DIRE QUI NE DISPARAIT PAS MEME SI ON SUPPRIME LES CHARGES APPLIQUEES ELLE PEUT CAUSER DES DEGRADATIONS IMPORIANTES ET LA MISE HORS USAGE DE LA PIECE OU STRUCTURE

CHARGEMENT UNIAxiaL : LA DEFORMATION PLASTIQUE APPARAÎT QUAND LA CONTRAINTE APPLIQUEE DEVIENT EGALE A LA LIMITE D'ELASTICITE

▶ 84
Technologie de gestion de la maintenance industrielle
17/10/2019

84

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

A CAUSES DES DEGRADATIONS PAR DEFORMATION

- MAUVAISE CONCEPTION
- DEFAUTS DE FABRICATION
- MAUVAIS CHOIX DE MATERIAUX OU DU PROCEDE DE FABRICATION
- MAUVAISE UTILISATION DU MATERIEL (SURCHARGE)

A LUTTE ET PROTECTION CONTRE LES DEGRADATIONS PAR DEFORMATION

EVITER LES CAUSES CI-DESSUS ET INSPECTER PERIODIQUEMENT LES COMPOSANTS SUSCEPTIBLES DE SE DEFORMER

▶ 85 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

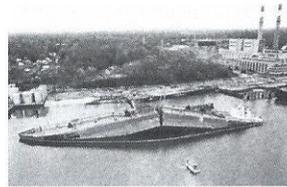
85

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

DEGRADATIONS PAR RUPTURE

RISQUE DE RUPTURE BRUTALE DE CERTAINES STRUCTURES CAUSEE PAR LA PRESENCE DE FISSURES

CAUSES DE FISSURATION : SOUDAGE DEFICIENT, CORROSION SOUS TENSION, FATIGUE (CHARGES CYCLIQUES), FLUAGE (FONCTIONNEMENT A HAUTE TEMPERATURE), ...



▶ 86 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

86

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- TYPES DE RUPTURES

RUPTURE DUCTILE : PRECEDEE D'UNE DEFORMATION PLASTIQUE IMPORANTE – CASSURE FIBREUSE

RUPTURE FRAGILE : SE PRODUIT APRES PEU DE DEFORMATION PLASTIQUE – CASSURE GRANULAIRE

RUPTURE PARTICULIEREMENT DANGEREUSE PUISQU'ELLE EST BRUTALE ET PEUT SE PRODUIRE MEME QUAND LE CONTRAINTS GLOBAL NE DEPASSE PAS LA LIMITE D'ELASTICITE NIVEAU DE DU MATERIAU

CALCUL A L'AIDE DES LOIS DE LA MECANIQUE DE LA RUPTURE ET NON DE LA RESISTANCE DES MATERIAUX

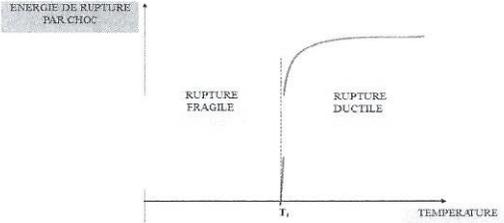
▶ 87 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

87

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- TEMPERATURE DE TRANSITION DUCTILE - FRAGILE

FRAGILITE A FROID : CERTAINS MATERIAUX DEVIENNENT FRAGILES QUAND LA TEMPERATURE BAISSA AU-DESSOUS DE T_c (TEMPERATURE DE TRANSITION DUCTILE – FRAGILE)



T_c INFLUENCEE PAR LA NATURE DU MATERIAU, LA PRESENCE DE CONCENTRATERS DE CONTRAINTES ET LA VITESSE DE SOLLECITATION

▶ 88 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

88

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- PRESENCE DE CONCENTRATEURS DE CONTRAINTES

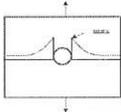
SOUDEURES, ENTAILLES, TROUS, RAINURES OU
CHANGEMENT BRUSQUE DE SECTION

↓

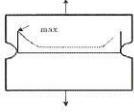
CONCENTRATION LOCALE DE CONTRAINTES

↓

INITIATION DE FISSURES ET PROPAGATION BRUTALE
CONDUISANT A UNE RUPTURE FRAGILE



- Trou -



- Entaille -

Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

89

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

COEFFICIENT DE CONCENTRATION DE CONTRAINTES $K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma}$

PLUS K_t CROIT ET PLUS LE RISQUE DE RUPTURE FRAGILE AUGMENTE

MINIMISER LES CONCENTRATEURS DE CONTRAINTES ET EN TENIR
COMPTE DANS LE DIMENSIONNEMENT

- VITESSE DE SOLLECITATION

AUGMENTATION DE LA VITESSE DE SOLLECITATION CHOC ⇒
DECALAGE DE LA TEMPERATURE DE LA TRANSITION T_c VERS
LES HAUTES TEMPERATURES

↓

AUGMENTATION RISQUE DE RUPTURE FRAGILE

EXEMPLE : POUR UN ACIER ORDINAIRE (E 24), LE PASSAGE D'UNE
VITESSE DE SOLLECITATION DE 0.6 mm/mm A UNE VITESSE DE 5 m/s
(CHOC) SUR UNE PIECE ENTAILLEE DECALE T_c DE 110°C DE 0.6 mm/mm
A UNE VITESSE DE 5 m/s (CHOC)

Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

90

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- RUPTURE PAR FATIGUE

SOLLICITATIONS MECANIQUES VARIABLES ⇒ RISQUE DE RUPTURE A
DES NIVEAUX DE CONTRAINTE < LIMITE D'ELASTICITE . PHENOMENE
DE FATIGUE

APPARITION ET PROPAGATION DE FISSURES EN SURFACE

PROPAGATION BRUTALE QUAND LES FISSURES ATTEIGNENT UNE TAILLE
CRITIQUE ⇒ RUPTURE PAR FATIGUE

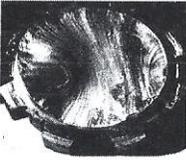
EXEMPLES DE RUPTURES PAR FATIGUE : RUPTURE D'UNE BIELLE
OU D'UN VIBREQUIN DE MOTEUR, RUPTURE D'UNE AILE D'AVION

CASSURE PAR FATIGUE : TROIS ZONES

ZONE
D'AMORCAGE
ASPECT LISSE

ZONE FORMEE
DE STRIES
FRONTS DE
PROPAGATION

ZONE DE
RUPTURE :
ASPECT
GRANULEUX

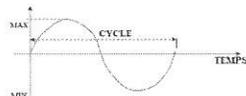


Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

91

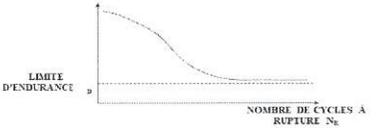
PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

RESISTANCE A LA FATIGUE OU LIMITE D'ENDURANCE : DETERMINEE
PAR DES ESSAIS DE FATIGUE



TROUVER LE NOMBRE DE CYCLES N_b ENTRAINANT LA RUPTURE
POUR UN NIVEAU DE CONTRAINTE ⇒ COURBE DE WOHLER

LIMITE D'ENDURANCE σ_b = ASYMPTOTE DE LA COURBE DE WOHLER



Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

92

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

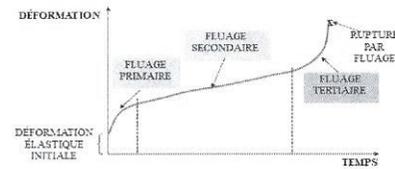
- RUPTURE PAR FLUAGE

SOLLICITATIONS MECANIQUES + ACTION DE TEMPERATURE ELEVÉE ⇒
DEFORMATION PERMANENTE ET CONTINUE DES PIÈCES : FLUAGE

APRES UN CERTAIN TAUX DE DEFORMATION : RISQUE DE RUPTURE PAR FLUAGE

EXEMPLES : AILETTES DE TURBINES A VAPEUR OU DE TURBOREACTEURS

TEMPERATURE DE FLUAGE : $T > 0.3 \text{ à } 0.4 T_f$ POUR LES METAUX,
 $T > 0.4 \text{ à } 0.5 T_f$ POUR LES CERAMIQUES



▶ 93

Technologie de gestion de la maintenance industrielle

17/10/2019

93

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- PREVENTION ET LUTTE CONTRE LES RUPTURES

RUPTURES : DEGRADATIONS DANGEREUSES ET DEGATS SOUVENT
CONSIDERABLES ⇒ ACTIONS DE MAINTENANCE PREVENTIVE POUR
EVITER LE RISQUE DE RUPTURE BRUTALE

• RUPTURE FRAGILE

S'ASSURER QUE $T_{\text{fonctionnement}} < T_{\text{transition ductile-fragile}}$
DUCTILE - FRAGILE ⇒ RUPTURE DUCTILE
MATERIELS TRAVAILANT A BASSE T : UTILISER DES MATERIAUX
INSENSIBLES A LA FRAGILISATION A BASSE T (Cu, Al, INOX AUSTENITIQUE)

MINIMISER LES CONCENTRATEURS DE CONTRAINTE LORS DE LA
CONCEPTION ⇒ EVITER L'APPARITION DE FISSURES POUVANT
ENTRAÎNER LA RUPTURE

S'ASSURER QUE LA TAILLE DES FISSURES EST $<$ TAILLE CRITIQUE

CONTROLE PERIODIQUE DES FISSURES : VISUEL, LOUPE, ULTASONS, ...

EVITER LES CHOCS LORS D'ACTIIONS DE MAINTENANCE OU
D'UTILISATION DU MATERIEL

▶ 94

Technologie de gestion de la maintenance industrielle

17/10/2019

94

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

• RUPTURE PAR FATIGUE

STRUCTURES SOUMISES A DES SOLLICITATIONS REPETEES : STRUCTURE
D'UN AVION, BIELLE DE MOTEUR, ...

APPARITION ET PROPAGATION DE FISSURES POUVANT ENTRAÎNER LA
RUPTURE PAR FATIGUE

CONTROLE PERIODIQUE DE L'EVOLUTION DES FISSURES DE FATIGUE AU
NIVEAU DES SOUDURES, TROUS, ENTAILLES, ...

• RUPTURE PAR FLUAGE

STRUCTURES TRAVAILANT A CHAUD ET SUBISSANT DES CHARGES
CONTINUES : AILETTES DE TURBINES, TUBES DE CHAUDIERES, ...

CONTROLE PERIODIQUE DES STRUCTURES POUR NE PAS DEPASSER
LE SEUIL DE DEFORMATION TOLERE

CHOIX DE MATERIAUX RESISTANT AU FLUAGE

▶ 95

Technologie de gestion de la maintenance industrielle

17/10/2019

95

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

DEGRADATIONS PAR USURE

- DEFINITION

USURE = PERTE PROGRESSIVE DE MATIERE DE LA SURFACE ACTIVE
D'UN CORPS PAR SUITE DU MOUVEMENT RELATIF D'UN AUTRE CORPS
SUR CETTE SURFACE

- EVOLUTION DE L'USURE

• RODAGE : ARASAGE DES ASPERITES DE LA SURFACE DES PIÈCES MECANIQUES

□
CROISSANCE RAPIDE DE LA PERTE DE MASSE
ET AMELIORATION DE L'ETAT DE SURFACE

RODAGE BIEN FAIT ⇒ ATTEINTE D'UN REGIME
DE FONCTIONNEMENT NORMAL

• PERIODE D'USURE NORMALE : REGIME STATIONNAIRE A'EC PERTE

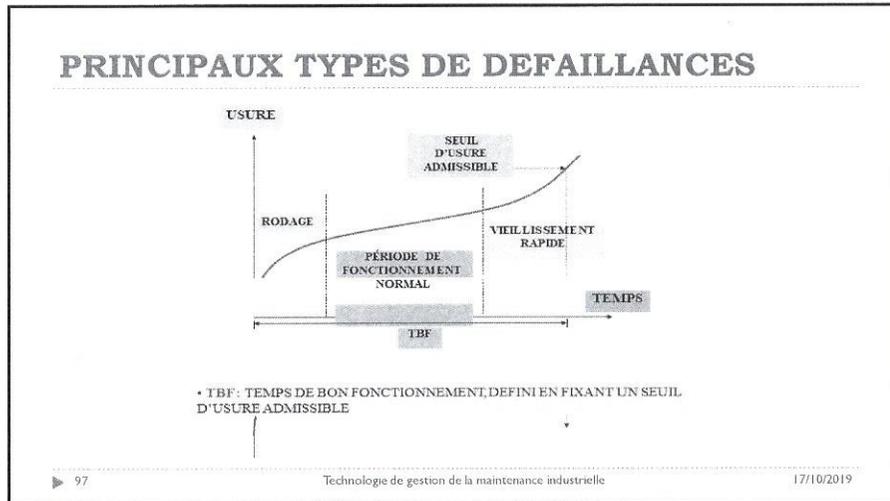
• PERIODE DE VIEILLISSEMENT RAPIDE : DETERIORATION RAPIDE
DES ELEMENTS DE MACHINES

▶ 96

Technologie de gestion de la maintenance industrielle

17/10/2019

96



97

- ### PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES
- FACTEURS DE L'USURE
- MODE DE CONTACT: PONCTUEL, LINEAIRE OU SURFACIQUE
 - RUGOSITE: ETAT DE SURFACE MICROGEOMETRIQUE
 - CHARGE DE CONTACT
 - VITESSE RELATIVE DES SURFACES EN CONTACT
 - MILIEU AMBIANT: TEMPERATURE, PRESSION, PRESENCE D'AGENTS CORROSIFS OU DE LUBRIFIANTS
 - NATURE DES MATERIAUX: COMPOSITION CHIMIQUE, STRUCTURE, PROPRIETES MECANIQUES DE SURFACE
- 98 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

98

- ### PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES
- EFFETS OBSERVES PENDANT L'USURE
- RESISTANCE AU DEPLACEMENT
 - VIBRATIONS: DUES AUX VARIATIONS DES FORCES DE FROTTEMENT
 - ECHAUFFEMENTS DES PIECES EN CONTACT ⇒ RISQUE D'ADHESION OU DE MICROSOUDAGE
 - TRANSFORMATIONS GEOMETRIQUES: PERTE DE COTE ET DE FORME PENDANT L'USURE
 - TRANSFORMATIONS MECANIQUES: DUES AUX CONTRAINTES MECANIQUES ET AUX ECHAUFFEMENTS ET CONCERNENT LES COUCHES SUPERFICIELLES
 - VARIATIONS DE MASSE
- 99 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

99

- ### PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES
- MECANISMES DE L'USURE
- L'ADHESION (USURE ADHESIVE OU GRIPPAGE)
 - TRANSFERT DU MATERIAU D'UNE DES PIECES FROTTANTES SUR LA SURFACE DE L'AUTRE
 - DUE A DES JONCTIONS ENTRE ASPERITES
 - TAUX DE TRANSFERT FONCTION DU MILIEU AMBIANT: SANS LUBRIFIANT, TYPE DE LUBRIFIANT
 - L'ABRASION (USURE ABRASIVE)
 - ARRACHEMENT DE MATIERE PRODUIT PAR DES PARTICULES DURES SE TROUVANT ENTRE LES DEUX SURFACES FROTTANTES OU ENCASTREES DANS L'UNE DES SURFACES
 - TAUX D'USURE FONCTION DE L'ORIENTATION ET DE LA TAILLE DES PARTICULES
- 100 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

100

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- **L'EROSION (USURE EROSIVE)**
 - PERTE DE MATIERE D'UNE SURFACE DUE AU CONTACT AVEC UN FLUIDE EN MOUVEMENT RELATIF CONTENANT DES PARTICULES SOLIDES
 - TAUX DE TRANSFERT FONCTION DE L'ANGLE D'ATTAQUE, DE LA TAILLE ET LA VITESSE DES PARTICULES
- **L'USURE PAR FATIGUE**
 - CAS DE CHARGES DE CONTACT FORTES ET VARIABLES AVEC LE TEMPS
 - FISSURES, ECAILLES, DEPLACEMENTS DES COUCHES SUPERFICIELLES

▶ 101 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

101

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- **L'USURE CORROSIVE**
 - 1^{ER} STADE : CORROSION DES SURFACES METALLIQUES
 - 2^{EME} STADE : ENLEVEMENT DU FILM DU MATERIAU CORRODE ⇒ MATERIAU MIS ANU PAR FROTTEMENT ⇒ LE PROCESSUS DE CORROSION RECOMMENCE
 - TAUX D'USURE FONCTION DE LA NATURE DES PRODUITS DE CORROSION

▶ 102 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

102

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- LES LOIS D'USURE

LOIS D'USURE : PARAMETRE D'USURE EN FONCTION DU TEMPS

SUIVI DE L'EVOLUTION DE LA DEGRADATION PAR USURE ⇒ PREVISION DE LA DATE DE L'INTERVENTION PREVENTIVE

EXEMPLES DE PARAMETRES D'USURE

DIRECTS

COTES, RUGOSITE, DURETE SUPERFICIELLE, PERTE DE MASSE, ...

INDUITS

NIVEAU DE VIBRATIONS, ELEVATION DE TEMPERATURE, RENDEMENT, DEBIT, PRESSION, ...

▶ 103 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

103

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- MAÎTRISER UNE USURE

- DETERMINEZ EXPERIMENTALEMENT UNE PERFORMANCE MINIMALE ADMISSIBLE
- CHIFFREZ LA VALEUR CORRESPONDANTE DU PARAMETRE D'USURE CHOISI
- TRACER LA LOI D'USURE A PARTIR DES MESURES EFFECTUEES LORS DE VISITES PREVENTIVES
- EXTRAPOLER POUR DETERMINER LA DATE D'INTERVENTION PREVENTIVE
- PREPAREZ ET PROGRAMMEZ L'INTERVENTION

▶ 104 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

104

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- L'USURE ET LES DIFFERENTES POLITIQUES DE MAINTENANCE

- MAINTENANCE CORRECTIVE
 - AUCUN SUIVI DU MATERIEL ⇒ INTERVENTION APRES DEFAILLANCE
 - ECHANGE DE PIECES, REPRISE DE SURFACE, RECHARGEMENT
 - TRAITEMENT DE TREMPE SUPERFICIELLE, DE CEMENTATION OU DE NITRURATION ⇒ AUGMENTER LA DURETE ET AMELIORER LA TENUE A L'USURE
- MAINTENANCE PREVENTIVE
 - VISITES PERIODIQUES
 - DETERMINATION DE LA LOI D'USURE ET DU SEUIL D'ADMISSIBILITE
 - INTERVENTION PREVENTIVE DECLENCHEE AU SEUIL

▶ 105 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

105

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- MAINTENANCE CONDITIONNELLE
 - EXISTENCE D'UN PARAMETRE MESURABLE SIGNIFICATIF DE L'USURE
 - INTERVENTION QUAND LE SEUIL DU PARAMETRE EST ATTEINT
 - EXEMPLES : CONTRÔLE DE TEMPERATURE DE ROUEMENTS, ANALYSE DES HUILES DE LUBRIFICATION D'UN TURBOREACTEUR
- MAINTENANCE SYSTEMATIQUE
 - LOI D'USURE CONNUE
 - DETERMINATION DE LA DATE D'INTERVENTION PERIODIQUE AU SEUIL
 - USURE ALEATOIRE
 - UTILISATION DU FICHIER HISTORIQUE ET DES LOIS DE FIABILITE
 - MTBF ET PERIODICITE D'INTERVENTION CONNUS

▶ 106 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

106

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- LUBRIFICATION
 - INTERPOSITION D'UN FLUIDE (GRAISSE, HUILE) ENTRE LES SURFACES DE CONTACT DES PIECES
 - BUTS : REDUIRE LE FROTTEMENT ET DIMINUER L'USURE DES PIECES, AUGMENTER LE RENDEMENT DES MECANISMES
 - PERIODICITES PRECONISEES PAR LE CONSTRUCTEUR OU BASEES SUR L'EXPERIENCE
- USURE DES ROUEMENTS
 - DEFAILLANCES OBSERVEES
 - ECAILLAGE (GRIPPAGE)
 - FATIGUE NORMALE
 - CHARGE ANORMALE
 - MAUVAIS MONTAGE
 - LUBRIFICATION INSUFFISANTE
 - PRESENCE D'IMPURETES
 - CAVITES ET EMPREINTES
 - CHOC AU MONTAGE
 - VIBRATIONS
 - LAMINAGE DE PARTICULES ETRANGERES EXCESSIVES PENDANT L'ARRÊT

▶ 107 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

107

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- PENDANT LE ROBAGE : LUBRIFICATION ABONDANTE, LUBRIFICATION A L'HUILE, VITESSES ET CHARGES REDUITES
- CONTRÔLE DU BRUIT DE FONCTIONNEMENT : GRINCEMENT (GRAISSAGE INSUFFISANT), CRAQUEMENT (PRESENCE DE PERTICULES ETRANGERES), BRUIT INTERMITTENT (AVARIE DE BILLES OU USURE DE BAGUE EXTERIEURE)
- CONTRÔLE DE TEMPERATURE : TOUCHER ALAMAIN, THERMOMETRE OU THERMOCOUPLE PLACE DANS LE PALIER – ELEVATION DE TEMPERATURE ⇒ FONCTIONNEMENT ANORMAL
- CONTROLE DES DISPOSITIFS D'ETANCHEITE : FUITES DE LUBRIFIANTS ?
- CONTROLE DU LUBRIFIANT : COULEUR, NIVEAU, VISCOSITE, ...

▶ 108 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

108

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

DEGRADATIONS PAR CORROSION

CORROSION = DEGRADATION D'UN MATERIAU METALLIQUE SOUS L'ACTION D'AGENTS CHIMIQUES

EXEMPLE DE CORROSION : ROUILLE D'UN ACIER ORDINAIRE EN ATMOSPHERE HUMIDE

DEGRADATIONS PAR CORROSION : DEGATS ET DEPENSES CONSIDERABLES (MOYENS DE PROTECTION)

- MORPHOLOGIE DE LA CORROSION

CORROSION UNIFORME : MEME VITESSE EN TOUS POINTS DE LA SURFACE DU METAL, LES CARACTERISTIQUES MECANQUES DU METAL NE SONT PAS EN GENERAL ALTEREES



▶ 109 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

109

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- DEGRADATION PAR CAVITATION

A CAVITATION

FORMATION DE PETITES CAVITES SUPERFICIELLES LORSQU'IL Y A MOUVEMENT RELATIF ENTRE UNE SURFACE MECANIQUE ET UN LIQUIDE

A MECANISMES

- **PIECE IMMERGEE DANS UN LIQUIDE**
 - AUGMENTATION LOCALE DE LA VITESSE DU LIQUIDE
 - DIMINUTION DE LA PRESSION EN DESSOUS DE LA TENSION DE VAPEUR DU LIQUIDE
 - FORMATION DE BULLES DE VAPEUR AU VOISINAGE DE LA PIECE TOURNANTE OU DANS UNE CANALISATION
 - IMPLSION DES BULLES ET CREATION D'UNE ONDE DE CHOC
 - FORMATION DE CAVITES EN SURFACE

▶ 110 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

110

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- **PIECE SOUMISE ADES IMPACTS DE GOUTTELETTES A GRANDE VITESSE**
 - PRODUCTION D'UNE ONDE DE CHOC A LA SURFACE
 - FORMATION DE PETITES CAVITES SUPERFICIELLES
- A CAS DE DEGRADATIONS PAR CAVITATION**
 - TURBINES HYDRAULIQUES
 - HELICES DE BATEAUX
 - CHEMISES DE MOTEURS
 - TIROIRS DE DISTRIBUTION D'AIR COMPRI ME

▶ 111 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

111

PRINCIPAUX TYPES DE DEFAILLANCES

- DEFAILLANCES ELECTRIQUES

A RUPTURE DE LIAISON ELECTRIQUE

- **CAUSES : SOUVENT EXTRINSEQUES**
 - CHOC
 - SURCHAUFFE
 - VIBRATION
- **EXEMPLE : RUPTURE DES SOUDURES DANS UN CIRCUIT ELECTRIQUE**

A COLLAGE OU USURE DES CONTACTS

- **CONTACTS : POINTS FAIBLES D'UN CIRCUIT ELECTRIQUE**
- **MODES DE DEFAILLANCES : USURE ADHESIVE OU SURCHAUFFE LOCALE**

A CLAQUAGE D'UN COMPOSANT : RESISTANCE, TRANSISTOR, ...

▶ 112 Technologie de gestion de la maintenance industrielle 17/10/2019

112


 Université Internationale de Casablanca
 Ecole d'Ingénierie

Technologies de gestion de la maintenance



Prof. Asmae ABADI

Année Universitaire : 2019/ 2020

113

Plan du cours

1. La fonction maintenance : formes, enjeux, fonctions ...
2. Connaissance du matériel et Documentation de maintenance
3. Etude du comportement du matériel
4. **Sûreté de fonctionnement** : Fiabilité, Maintenabilité et Disponibilité
5. Gestion des opérations de maintenance : Méthodes et Outils de diagnostic
6. Outils de résolution des problèmes de maintenance et de rendement de l'équipement
7. Préparation et ordonnancement des interventions
8. Gestion globale du service maintenance

17/10/2019
Sûreté de fonctionnement (1)
114

114

Chapitre 4 : Sûreté de fonctionnement

17/10/2019
Sûreté de fonctionnement (1)
115

115

Introduction

- A quels points peut on avoir « confiance » en ces systèmes ?



Sûreté de fonctionnement

17/10/2019
Sûreté de fonctionnement (1)
116

116

Pourquoi la sûreté de fonctionnement ?

- L'objectif de la sûreté de fonctionnement est d'atteindre une conception de rêve d'un système: 0 accident, 0 arrêt, 0 défaut (et même maintenance).
- Pour pouvoir y arriver ?
Il faudrait tester toutes les utilisations possibles d'un produit pendant une grande période ce qui est impensable dans le contexte industriel voire même impossible.

17/10/2019 Sûreté de fonctionnement (1) 117

117

Pourquoi la sûreté de fonctionnement ?

- Exemples de tests pour amélioration de la fiabilité
 - Ford's 'Weather Factory' can simulate global weather
 - Samsung Notebook Reliability Test



17/10/2019 Sûreté de fonctionnement (1) 118

118

Définition de la sûreté de fonctionnement ?

- ▶ Sûreté de Fonctionnement ?
 - ▶ Dependability

= Placer une confiance justifiée dans la qualité du service délivrée

La sûreté de fonctionnement est l'aptitude d'une entité à remplir une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données.

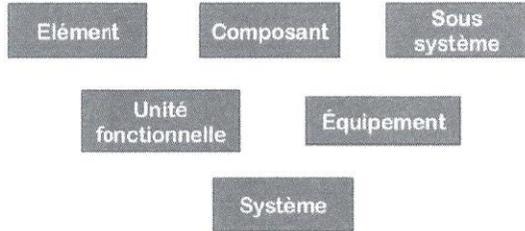
Définition selon la norme CEI 50 (191).

17/10/2019 Sûreté de fonctionnement (1) 119

119

Définition de la sûreté de fonctionnement ?

- ▶ Entité ?



```

    graph TD
      Elément --- Composant
      Composant --- Sous_système[Sous système]
      Composant --- Unité_fonctionnelle[Unité fonctionnelle]
      Unité_fonctionnelle --- Equipement
      Equipement --- Système
    
```

17/10/2019 Sûreté de fonctionnement (1) 120

120

Définition de la sûreté de fonctionnement

▶ Fonction Requise ?

 ▶ = mission

Fonction ou ensemble de fonctions d'une entité dont l'accomplissement est considéré comme nécessaire pour la fourniture d'un service donné.

17/10/2019 Sûreté de fonctionnement (1) 121

121

La Sûreté de fonctionnement peut être vue comme étant composée des trois éléments suivants :

- Attributs : points de vue pour évaluer la sûreté de fonctionnement ;
- Entraves : événements qui peuvent affecter la sûreté de fonctionnement du système ;
- Moyens : moyens pour améliorer la sûreté de fonctionnement.

17/10/2019 Sûreté de fonctionnement (1) 122

122

Attributs de la Sûreté de Fonctionnement

Les attributs de la sûreté de fonctionnement sont parfois appelés FDMS pour Fiabilité, Disponibilité, Maintenabilité et Sécurité.

(RAMSS pour Reliability, Availability, Maintainability, Safety, Security).

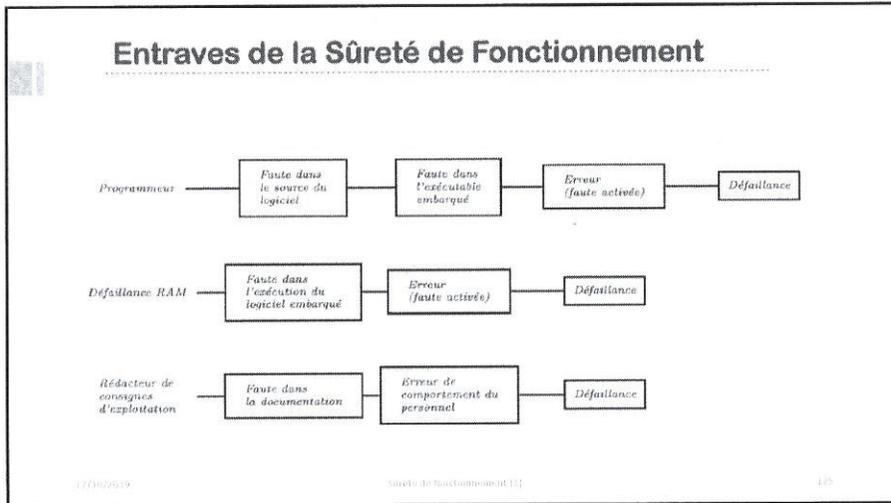
17/10/2019 Sûreté de fonctionnement (1) 123

123

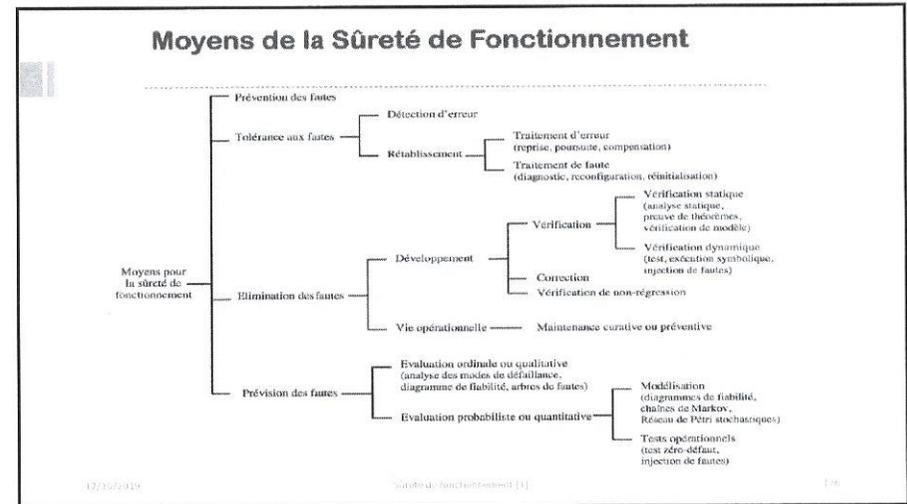
Entraves de la Sûreté de Fonctionnement

17/10/2019 Sûreté de fonctionnement (1) 124

124



125



126

Questions

La sûreté de fonctionnement est l'aptitude d'un 1..... à remplir une ou plusieurs 2..... requises dans des 3..... données ; elle englobe principalement quatre composantes : la 4....., la, la et La connaissance de cette aptitude à remplir une ou plusieurs fonctions permet aux utilisateurs du système de placer une 5..... dans le service qu'il leur assure.

17/10/2019 Sûreté de fonctionnement (1) 127

127

- ### Questions Identifier le concept correspondant
- ▶ L'aptitude d'un composant ou d'un système à être en état de marche à un instant donné.
 - ▶ L'aptitude d'une entité à ne pas conduire à des accidents inacceptables.
 - ▶ L'aptitude d'un composant ou d'un système à être maintenu ou remis en état de fonctionnement.
 - ▶ L'aptitude d'un composant ou d'un système à fonctionner pendant un intervalle de temps.
 - ▶ Points de vue pour évaluer la sûreté de fonctionnement ;
 - ▶ événements qui peuvent affecter la sûreté de fonctionnement du système ;
- 17/10/2019 Sûreté de fonctionnement (1) 128

128

Questions

Tolérance aux fautes	comment empêcher l'occurrence ou l'introduction de fautes;
Prévention des fautes	comment fournir un service capable de remplir la fonction du système en dépit des fautes;
Prévision des fautes	comment réduire la présence (nombre, sévérité) des fautes ;
Elimination de fautes	comment estimer la présence, le taux futur, et les Possibles conséquences des fautes.

17/10/2019 Sécurité de fonctionnement (1) 129

129

Questions

Tolérance aux fautes	comment empêcher l'occurrence ou l'introduction de fautes;
Prévention des fautes	comment fournir un service capable de remplir la fonction du système en dépit des fautes;
Prévision des fautes	comment réduire la présence (nombre, sévérité) des fautes ;
Elimination de fautes	comment estimer la présence, le taux futur, et les Possibles conséquences des fautes.

17/10/2019 Sécurité de fonctionnement (1) 130

130

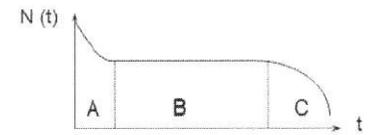
Préliminaires de calculs de fiabilité

17/10/2019 Sécurité de fonctionnement (1) 131

131

Préliminaires de calculs de fiabilité

- Soit une population contenant N_0 pièces en état de fonctionner à l'instant $t = 0$
- A l'instant t , il y'en a $N(t)$ en état de fonctionnement et $N_0 - N(t)$ hors service
- La courbe schématisant le comportement de ces pièces correspond à l'allure suivante:

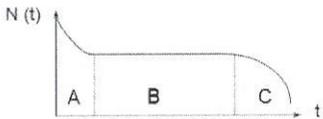


The graph shows the number of functioning pieces $N(t)$ over time t . The curve starts at N_0 at $t=0$, drops sharply in phase A, remains constant in phase B, and then drops again in phase C.

17/10/2019 Sécurité de fonctionnement (1) 132

132

Préliminaires de calculs de fiabilité



The graph shows a curve N(t) on the vertical axis and time t on the horizontal axis. The curve starts at a high value, drops sharply in phase A, remains relatively constant in phase B, and then drops again in phase C.

- La courbe représentative de N(t) présente trois comportements différents correspondant à trois phases différentes
 - A: période de jeunesse ou de rodage
 - B: période de vie utile
 - C: Période d'usure

17/10/2019 Sûreté de fonctionnement (1) 133

133

Préliminaires de calculs de fiabilité

On peut obtenir un estimateur de la fiabilité

- $R(t) = N(t)/N_0$ (Probabilité de bon fonctionnement pendant un temps t) **Fiabilité (Reliability)**
- $F(t) = 1 - R(t) = 1 - N(t)/N_0$ **Défiabilité**
- $f(t) = ? = (-1/N_0) \cdot dN(t)/dt$ appelée **Densité de défaillance**

17/10/2019 Sûreté de fonctionnement (1) 134

134

Préliminaires de calculs de fiabilité

On appelle fonction de défaillance la fonction F définie pour tout $t \geq 0$

$$F(t) = P(T \leq t)$$

Le nombre F(t) représente la probabilité qu'un dispositif choisi au hasard ait une défaillance avant l'instant t.

Avec T : va qui désigne le temps de bon fonctionnement de l'entité

17/10/2019 Sûreté de fonctionnement (1) 135

135

Préliminaires de calculs de fiabilité

- Taux de défaillance: (taux de hasard), proportion de pièces défectueuses que l'on obtient pendant un intervalle de temps très court: $\lambda(t) = -dN(t)/N(t)dt$

17/10/2019 Sûreté de fonctionnement (1) 136

136

Préliminaires de calculs de fiabilité

- Nous avons
 - $\lambda(t) = -dN(t) / N(t) dt$
 - $R(t) = N(t) / N_0$
 - $f(t) = (-1/N_0) \frac{dN(t)}{dt}$
- On en déduit une relation très importante : $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$

17/10/2019 Sécurité de fonctionnement (1) 137

137

Préliminaires de calculs de fiabilité

□ Démonstration $R(t) = \exp \{-\int \lambda(t) dt\}$

17/10/2019 Sécurité de fonctionnement (1) 138

138

Préliminaires de calculs de fiabilité

□ Cas particulier

$$R(x) = e^{-\int_0^x \lambda(t) dt}$$

- $\lambda(t) = \lambda = \text{constante}$
- Dans ce cas là
 - $R(t) = e^{-\lambda t}$
 - $F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda t}$
- La zone B correspond à la période de vie utile avec un λ constant > puis avec une modélisation par la loi exponentielle.

17/10/2019 Sécurité de fonctionnement (1) 139

139

Préliminaires de calculs de fiabilité

MTBF et fonctions de densité de défaillances

On appelle « Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement » (MTBF) l'espérance mathématique de la variable aléatoire T . On a donc :

$$MTBF = E(T) = \int_0^{+\infty} t f(t) dt$$

A l'origine, le sigle *MTBF* provient de l'expression « Mean Time Between Failures » qui signifie « temps moyen entre deux défaillances ».

17/10/2019 Sécurité de fonctionnement (1) 140

140

Préliminaires de calculs de fiabilité

Loi exponentielle :
 une variable aléatoire T suit une loi exponentielle de paramètre λ
 si sa densité de probabilité $f(t)$ est donnée par :

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

d'où

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\lambda t}$$

$$MTBF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \frac{1}{\lambda}$$

17/10/2019 Notes de fonctionnement (1) 141

141

Préliminaires de calculs de fiabilité

Loi de Weibull :
 une variable aléatoire T suit une loi de Weibull de paramètres β, γ et η
 si sa densité de probabilité $f(t)$ est donnée par :

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

- C'est la loi la plus utilisée en fiabilité.
- Caractérisée par trois paramètres:
 - η : paramètre d'échelle (ou de durée de vie)
 - β : paramètre de forme (ou de distribution)
 - γ : origine des temps

$F(x) = 1 - \exp \left(- \left(\frac{x-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right)$ et $R(x) = \exp \left(- \left(\frac{x-\gamma}{\eta} \right)^\beta \right)$

$f(x) = \beta \eta \left(\frac{x-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\eta} \right)^\beta}$

- $MTBF = \gamma + \eta \cdot \Gamma(1 + 1/\beta) = \gamma + \eta \cdot A$ (La valeur de A est tablée)
Time_fonction_cuivèrienne

17/10/2019 Notes de fonctionnement (1) 142

142

Temps Caractéristiques pour la Sdf

Le diagramme illustre le cycle de vie d'un équipement. Les phases sont : Mise en service, Panne, Détection, Réparation, Remise en service. Les intervalles de temps sont : TTF (Temps Total de Fonctionnement), DT (Durée de la panne), UT (Temps Utile), TTR (Temps de Réparation), et TBF (Temps de Bon Fonctionnement).

17/10/2019 Notes de fonctionnement (1) 143

143

Exercice N° 1

On s'intéresse au temps de bon fonctionnement de la presse TBF. A chaque panne, on associe le nombre de bon fonctionnement ayant précédé de cette panne.

Observation : ça se déroule sur une période de 4 ans du 01/09/2015 au 01/09/2019, et a donné les résultats du tableau.

Calculer au jour près par défaut, le temps moyen de bon fonctionnement entre deux pannes. En déduire la loi de fiabilité de la presse.

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

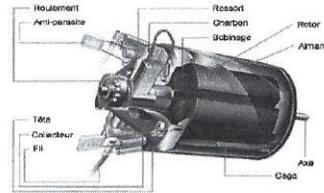
17/10/2019 Notes de fonctionnement (1) 144

144

Exercice N° 2

Un moteur peut être vu comme un système réparable, les brosses en carbone doivent être changées après un certain nombre d'heures en opération. Durant une année, le moteur doit être réparé 3 fois. La première réparation a lieu après 98 jours et dure 10h, la deuxième après 100 autres jours et dure 9h, la troisième après 105 autres jours et ce pendant 11 heures.

- Calculer le temps moyen en opération MUT et le temps moyen de réparation MDT du moteur.



17/10/2019

Source de fonctionnement (1)

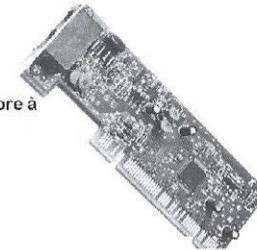
145

145

Exercice N°3

Le fabricant d'un composant électronique affirme que le taux de défaillance d'un composant est de $4,7 \cdot 10^{-7} h^{-1}$. Un client souhaite acheter 20000 pièces de ce composant et souhaite mettre en stock une quantité de composants suffisante pour assurer 5000 heures de fonctionnement (1 an environ).

- a. Justifier l'emploi du modèle exponentiel
- b. Calculer la fiabilité à $t=5000$ heures
- c. Combien de composants fonctionneront encore à $t=5000h$ sur les 2000 mis en service à $t=0$



17/10/2019

Source de fonctionnement (1)

146

146

Exercice N° 4

Sur une unité d'intervention, on a extrait de l'historique les défaillances concernant un roulement à billes. On a recensé la durée de vie de 9 dispositifs en exploitation : On vous donne le Ttf de chaque composant en fonction du rang i de la défaillance.

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t _{tf}	200	310	400	500	570	670	800	940	1100

Calculer le MTTF expérimental.

Calculer les fiabilités $R(t=450 h)$, $R(t=850 h)$.

Calculer le nbr des **Survivants** $N(t=450 h)$, $N(t=850 h)$.



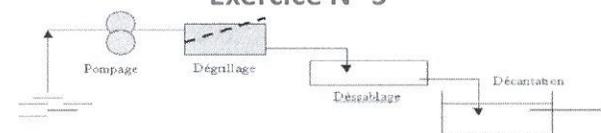
17/10/2019

Source de fonctionnement (1)

147

147

Exercice N° 5



Relevé de pannes:

Relevé de pannes		Temps de référence: 15000 heures						
Pannes exprimées en heures								
Station de pompage	3	2,5	5	1				
Dégrilleur	4	4	2	3	1,5	0,5		
Désableur	0,5	0,5	2	1,5	4	6	0,5	0
décanteur	3	1,5	2					

- 1) Calculer le MTBF de chaque élément.
- 2) Calculer le Taux de défaillance de chaque élément/
- 3) Déterminer:
 - la fiabilité R de la station par heure de fonctionnement
 - La probabilité pour que la station fonctionne sans panne pendant 1 semaine
 - La probabilité pour que la station fonctionne sans panne pendant 4 semaines.

17/10/2019

Source de fonctionnement (1)

148

148

Modélisation de la fiabilité par la Loi de Weibull

149

Calculs de fiabilité

Loi de Weibull :

Weibull a choisi une loi sous forme de puissance avec 3 paramètres qui permettent d'obtenir les diverses situation décroissante, constante et croissante.

Définition : On dit que la variable aléatoire T suit la loi de Weibull lorsque son taux d'avarie est :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \quad \text{pour } t > \gamma; \beta, \gamma, \eta \text{ sont des constantes avec } \beta > 0; \eta > 0;$$

γ est le paramètre de repérage qui fixe l'instant à partir duquel on étudie la fiabilité.

Si $\gamma = 0$: on étudie la fiabilité dès la première utilisation de la machine.

Si $\gamma > 0$: on étudie la fiabilité un certain temps après la première utilisation de l'appareil.

150

Calculs de fiabilité

Loi de Weibull :

Conséquences :
On retrouve, pour tout $t > \gamma$

Fonction de fiabilité: $R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$

Fonction de défaillance: $F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$

Densité de probabilité: $f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right]$ car $F'(t) = f(t)$.

On retrouve la MTBF et l'écart type à l'aide de tables (voir formulaire)

MTBF : $A\eta + \gamma$ et $\sigma = B\eta$

151

Modélisation de la fiabilité

Loi de Weibull: signification des paramètres

Cette loi est très utile en calcul de la fiabilité conception/maintenance vu qu'elle permet de modéliser les 3 phases de durée de vie d'un matériel.

Paramètre de forme β

- si $\beta < 1$, $\lambda(t)$ décroît: phase de jeunesse
- si $\beta = 1$, $\lambda(t) = \lambda = 1/\eta$ = constant: phase de maturité
- si $\beta > 1$, $\lambda(t)$ croît: phase de vieillesse

Paramètre de position γ

- $\gamma = 0$ si les défaillances peuvent débuter à l'âge 0
- $\gamma > 0$ si les défaillances ne peuvent se produire avant l'âge γ

152

Calculs de fiabilité

☐ Méthode de calcul de paramètres

L'utilisation du papier imaginé par Weibull pour représenter $F(t)$ permet de déceler une loi de Weibull. Les points de coordonnées $(t_i : F(t_i))$ sont alignés lorsque $\gamma = 0$. on retrouve alors graphiquement les valeurs de β et de η

- procédure graphique:
 - > papier Weibull
- procédure de calcul:
 - > logarithmique

17/10/2019 Série de fonctionnement (1) 153

153

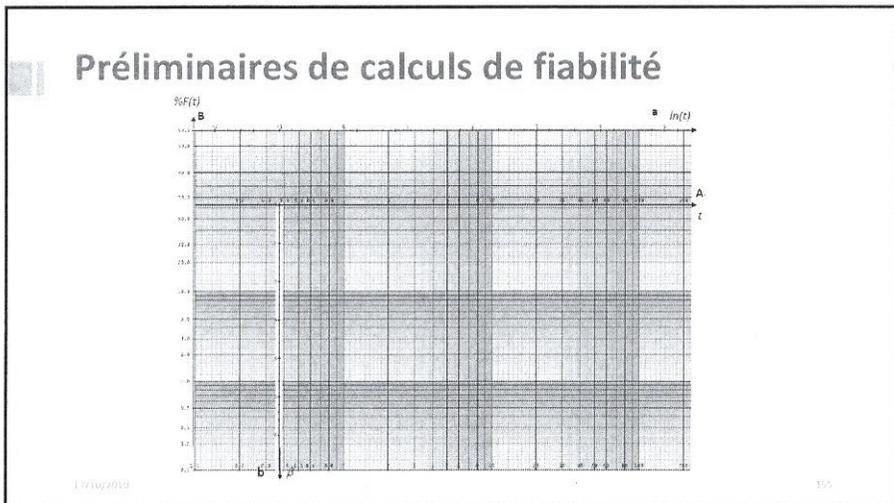
Préliminaires de calculs de fiabilité

☐ Méthode graphique

- Explication de l'utilisation du papier Weibull :
 - Basé sur les changements de variables suivants :
 - $X = \ln(t)$
 - $Y = \ln \ln [1/R(t)]$
 - L'axe des abscisses X est gradué en $\ln t$
 - L'axe des ordonnées Y est gradué en $\%F(t)$ (pourcentage de F(t))
 - On reporte les points $(t_i, \%F(t_i))$

17/10/2019 Série de fonctionnement (1) 154

154



155

Préliminaires de calculs de fiabilité

☐ Méthode graphique

- Premier cas : Les points obtenus sont alignés
 - Loi de Weibull de paramètre $\gamma = 0$
 - η est estimé par la valeur prise par le point d'intersection de la droite construite avec l'axe noté η
 - β est obtenu en lisant la valeur prise au niveau du point d'intersection de l'axe b avec la parallèle à la droite construite en passant par l'axe de t_i où $Ax = 1$

17/10/2019 Série de fonctionnement (1) 156

156

Préliminaires de calculs de fiabilité

☐ Méthode graphique

Il s'agit de déterminer les 3 paramètres β , γ et η de la loi de Weibull via données d'observation.

La détermination des paramètres β , γ et η se fait graphiquement sur le papier de Weibull qui comprend 4 axes:

- **axe A:** axe des temps sur lequel on reporte les temps t_i de bon fonctionnement,
- **axe B:** porte $F(t)$ sur lequel on reporte les valeurs $\%F(t_i)$ calculées par approximation (fréquences cumulées, rangs moyens, rangs médians),
- **axe a:** correspond à $\ln(t)$,
- **axe b:** correspond à $\ln(\ln(1/(1-F(t))))$ et permet de déterminer la valeur de β .

17/10/2019

Support de fonctionnement (1)

157

157

Préliminaires de calculs de fiabilité

Approximation de la fonction de répartition $F(t)$

Il s'agit d'estimer $F(t_i) = \Pr\{T < t_i\}$

Approximation à partir des fréquences observées

- ☑ Hypothèse d'un renouvellement à l'identique
- ☑ N dates de défaillances
- ☑ **Fréquences cumulées:** si $N \geq 50$ alors en découpant l'horizon en intervalles ou classes $[t_{i-1}, t_i[$ et en notant n_i le nombre de défaillances sur $[t_{i-1}, t_i[$ alors $F(t_i) = \frac{\sum_{j=1}^i n_j}{N}$
- ☑ Pour $N < 50$, on ordonne les temps de bon fonctionnement T_i de manière croissante
 - ☑ **Rangs moyens:** si $20 \leq N < 50$, la fonction de répartition à la date de T_i est $F(T_i) = \frac{i}{N+1}$
 - ☑ **Rangs médians:** si $N < 20$, la fonction de répartition à la date T_i est $F(T_i) = \frac{i-0.3}{N+0.4}$

17/10/2019

Support de fonctionnement (1)

158

158

Préliminaires de calculs de fiabilité

☐ Méthode graphique

Exemple:

Sous l'hypothèse de renouvellement après défaillances, le relevé de 12 temps de bon fonctionnement d'un dispositif donne: (unité = 100 h)

24
91.5
69
46.5
17.25
51
131.25
31.05
17.25
31.05
41.2
6.75

Rang	Ti	F(Ti)
1	6.75	0.058
2	17.25	0.137
4	24	0.298
5	31.05	0.379
7	41.2	0.540
8	46.5	0.621
9	51	0.702
10	69	0.782
11	91.5	0.863
12	131.25	0.943

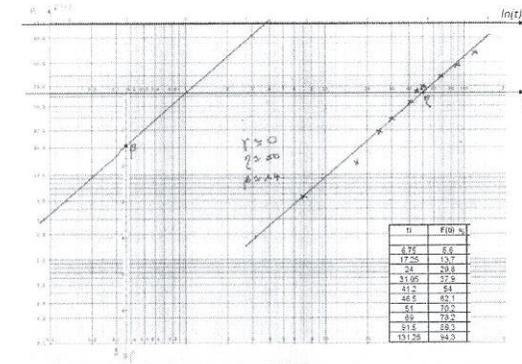
17/10/2019

Support de fonctionnement (1)

159

159

Préliminaires de calculs de fiabilité



17/10/2019

$\gamma = 0, \eta = 50, \beta = 1.4$

➔ $MTBF \approx 4557.1h$

DA

160

160

Tabulation de A

β	A	β	A	β	A	β	A	
0,05	0,4328E+1	1,94	0,0937	3,25	0,0580	0,2122	6,17	0,0652
0,1	0,6200E+1	1,9	0,0925	3,5	0,0597	0,2173	6,2	0,0655
0,15	0,8030E+1	1,85	0,0913	3,55	0,0604	0,2213	6,25	0,0658
0,2	0,9810E+1	1,8	0,0901	3,6	0,0611	0,2252	6,3	0,0661
0,25	0,0000E+1	1,75	0,0892	3,65	0,0618	0,2292	6,35	0,0664
0,3	0,0000E+1	1,7	0,0882	3,7	0,0624	0,2331	6,4	0,0667
0,35	0,0000E+1	1,65	0,0873	3,75	0,0630	0,2370	6,45	0,0670
0,4	0,0000E+1	1,6	0,0864	3,8	0,0637	0,2409	6,5	0,0673
0,45	0,0000E+1	1,55	0,0855	3,85	0,0643	0,2448	6,55	0,0676
0,5	0,0000E+1	1,5	0,0846	3,9	0,0650	0,2487	6,6	0,0679
0,55	0,0000E+1	1,45	0,0837	3,95	0,0656	0,2526	6,65	0,0682
0,6	0,0000E+1	1,4	0,0828	4	0,0662	0,2565	6,7	0,0685
0,65	0,0000E+1	1,35	0,0819	4,05	0,0668	0,2604	6,75	0,0688
0,7	0,0000E+1	1,3	0,0810	4,1	0,0674	0,2643	6,8	0,0691
0,75	0,0000E+1	1,25	0,0801	4,15	0,0680	0,2682	6,85	0,0694
0,8	0,0000E+1	1,2	0,0792	4,2	0,0686	0,2721	6,9	0,0697
0,85	0,0000E+1	1,15	0,0783	4,25	0,0692	0,2760	6,95	0,0700
0,9	0,0000E+1	1,1	0,0774	4,3	0,0698	0,2799	7	0,0703
0,95	0,0000E+1	1,05	0,0765	4,35	0,0704	0,2838	7,05	0,0706
1	0,0000E+1	1,0	0,0756	4,4	0,0710	0,2877	7,1	0,0709
1,05	0,0000E+1	0,95	0,0747	4,45	0,0716	0,2916	7,15	0,0712
1,1	0,0000E+1	0,9	0,0738	4,5	0,0722	0,2955	7,2	0,0715
1,15	0,0000E+1	0,85	0,0729	4,55	0,0728	0,2994	7,25	0,0718
1,2	0,0000E+1	0,8	0,0720	4,6	0,0734	0,3033	7,3	0,0721
1,25	0,0000E+1	0,75	0,0711	4,65	0,0740	0,3072	7,35	0,0724
1,3	0,0000E+1	0,7	0,0702	4,7	0,0746	0,3111	7,4	0,0727
1,35	0,0000E+1	0,65	0,0693	4,75	0,0752	0,3150	7,45	0,0730
1,4	0,0000E+1	0,6	0,0684	4,8	0,0758	0,3189	7,5	0,0733
1,45	0,0000E+1	0,55	0,0675	4,85	0,0764	0,3228	7,55	0,0736
1,5	0,0000E+1	0,5	0,0666	4,9	0,0770	0,3267	7,6	0,0739
1,55	0,0000E+1	0,45	0,0657	4,95	0,0776	0,3306	7,65	0,0742
1,6	0,0000E+1	0,4	0,0648	5	0,0782	0,3345	7,7	0,0745
1,65	0,0000E+1	0,35	0,0639	5,05	0,0788	0,3384	7,75	0,0748
1,7	0,0000E+1	0,3	0,0630	5,1	0,0794	0,3423	7,8	0,0751

161

Lois de composition en fiabilité :

Association de matériels

162

Lois de composition :

Diagramme de fiabilité :

- Représenter le plus naturellement possible la logique de fonctionnement d'un système.
- le système fonctionne s'il existe un chemin de succès entre l'entrée et la sortie du diagramme de fiabilité.

Structure en Série

Structure Parallèle

Structure Mixte

163

Lois de composition :

Structure série:

- Un système constitué de n éléments est dit à configuration série si la défaillance de l'un des n éléments entraîne la défaillance du système.

- En adoptant le principe d'indépendance des défaillances, on a:

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

- Le taux de défaillance d'un système série est égal à la somme des taux de défaillance de chaque élément.

$$\lambda_s(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$$

164

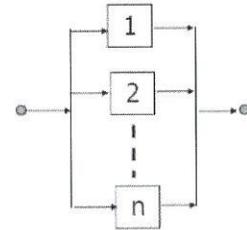
Lois de composition :

Structure parallèle:

- Un système constitué de n éléments est dit à configuration parallèle si la défaillance de tous les éléments est nécessaire pour entraîner la défaillance du système au complet.

$$R_s(t) = 1 - F_s(t)$$

$$F_s(t) = F_1(t) \times F_2(t) \times \dots \times F_n(t)$$



17/10/2019

Sécurité de fonctionnement (1)

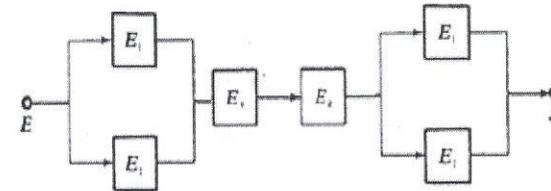
165

165

Lois de composition :

Structure Mixte:

- Structure composée de composants organisés parallèlement et en série.



17/10/2019

Sécurité de fonctionnement (1)

166

166

Lois de composition : Applications

Exemple 1 :

Soit un poste de radio constitué de quatre composants connectés en série, une alimentation $R_A=0.95$, une partie récepteur $R_B=0.92$; un amplificateur $R_C=0.97$ et haut parleur $R_D= 0.89$; déterminer la fiabilité R_S de l'appareil.

17/10/2019

Sécurité de fonctionnement (1)

167

167

Lois de composition : Applications

CORRIGE

Exemple 1 :

Soit un poste de radio constitué de quatre composants connectés en série, une alimentation $R_A=0.95$, une partie récepteur $R_B=0.92$; un amplificateur $R_C=0.97$ et haut parleur $R_D= 0.89$; déterminer la fiabilité R_S de l'appareil.

$$R_S = R_A \cdot R_B \cdot R_C \cdot R_D = 0.95 \times 0.92 \times 0.97 \times 0.89 = 0.7545 \text{ (soit une fiabilité de 75\% environ)}$$

17/10/2019

Sécurité de fonctionnement (1)

168

168

Lois de composition : Applications

Exemple 2 :
 Soit une imprimante constituée de 2000 composants montés en série supposés tous de même fiabilité, très élevée $R = 0.9999$

1. Déterminer la fiabilité de l'appareil.
2. Calculer la fiabilité de l'imprimante si elle n'était constituée que de la moitié des composants. Interpréter ce résultat.
3. Déterminer la fiabilité de chacun des 2000 composants montés en série si on souhaitait avoir une fiabilité de 90% pour l'ensemble.

17/10/2019 Série de fonctionnement (1) 169

169

Lois de composition : Applications

CORRIGE

Exemple 2 :
 Soit une imprimante constituée de 2000 composants montés en série supposés tous de même fiabilité, très élevée $R = 0.9999$. Déterminer la fiabilité de l'appareil.

$R(s) = R^n = 0.9999^{2000} = 0.8187$ (soit une fiabilité de 82 % environ)
 Si on divise par deux le nombre des composants
 $R(s) = R^n = 0.9999^{1000} = 0.9048$ (environ 90.5%)
 Si on souhaite avoir une fiabilité de 90 % pour l'ensemble des 2000 composants montés en série, déterminons la fiabilité que doit avoir chaque composant
 $RS = 0.9000 = R^{2000}$
 Expression que l'on peut écrire, à partir des logarithmes népériens sous la forme
 $\ln R_s = \ln 0.9 = 2000 \cdot \ln R$ D'où $R = 0.999945$

17/10/2019 Série de fonctionnement (1) 170

170

Lois de composition : Exercice

Calcul de Fiabilité R_s du système suivant :

```

    graph LR
      A["A  
{R=0.65}"] --- P1
      B["B  
{R=0.65}"] --- P1
      C["C  
{R=0.65}"] --- P1
      P1 --- D["D  
{R=0.96}"]
      D --- E["E  
{R=0.90}"]
      E --- P2
      P2 --- F["F  
{R=0.92}"]
      P2 --- G["G  
{R=0.87}"]
      F --- P3
      H["H  
{R=0.89}"] --- P3
      I["I  
{R=0.92}"] --- P3
      P3 --- P4
  
```

17/10/2019 Série de fonctionnement (1) 171

171

Lois de composition : Applications

Exemple 3 :
 Une machine de production dont la durée totale de fonctionnement est de 1500 heures, se compose de quatre sous-systèmes A, B, C et D montés en série et ayant les MTBF respectifs suivants : MTBFA = 4500 heures MTBFB = 3200 heures MTBFC = 6000 heures MTBFD = 10500 heures.

- a) Taux de pannes de l'ensemble
- b) la MTBF de l'ensemble
- c) Quelle est la probabilité que le système parvienne sans pannes jusqu'à 5000 heures

17/10/2019 Série de fonctionnement (1) 172

172

Lois de composition : Applications

CORRIGE

Exemple 3 :

Une machine de production dont la durée totale de fonctionnement est de 1500 heures, se compose de quatre sous-systèmes A, B, C et D montés en série et ayant les MTBF respectifs suivants : MTBFA = 4500 heures MTBFB= 3200 heures MTBFC= 6000 heures MTBFD= 10500 heures. Déterminons les taux de pannes et le MTBF global (MTBFS)

a) Taux de pannes de l'ensemble

$$\lambda_A = \frac{1}{MTBF_A} = \frac{1}{4500} = 0.000222 \text{ défaillance par heure} = 0.222 \text{ pour 1000 heures}$$

$$\lambda_B = \frac{1}{MTBF_B} = \frac{1}{3200} = 0.000313 \text{ défaillance par heure} = 0.313 \text{ pour 1000 heures}$$

$$\lambda_C = \frac{1}{MTBF_C} = \frac{1}{6000} = 0.000167 \text{ défaillance par heure} = 0.167 \text{ pour 1000 heures}$$

$$\lambda_D = \frac{1}{MTBF_D} = \frac{1}{10500} = 0.000095 \text{ défaillance par heure} = 0.095 \text{ pour 1000 heures}$$

Lois de composition : Applications

CORRIGE

Exemple 3 :

Le taux de défaillance global $\lambda_S = \lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D = 0.000797$ (par heure)

La fiabilité globale s'écrit : $R_S = e^{-0.000797.t} = e^{-0.000797.(1500)} = 0.303$ (30.3%)

Remarque :

Si on divise par deux la durée de fonctionnement de la machine (750 heures)

$$R_S(750) = e^{-0.000797.t} = e^{-0.000797.(750)} = 0.550$$
 (55%)

b) la MTBF de l'ensemble

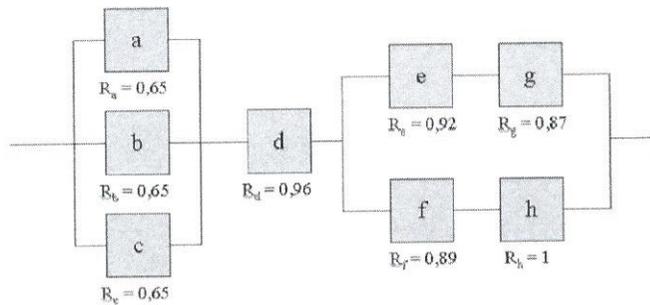
$MTBF_S = \frac{1}{\lambda_S} = \frac{1}{0.000797} = 1255$ heures. Soit un temps de 1255 heures entre deux défaillances

c) Quelle est la probabilité que le système parvienne sans pannes jusqu'à 5000 heures

$$R_S(5000) = e^{-0.000797.t} = e^{-0.000797.(5000)} = 0.0186$$
 (environ 2 %)

Lois de composition : Exercice

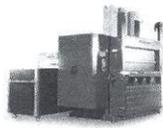
Exemple de calcul sur un système mixte (série + parallèle)



Analyse du rendement des équipements

Le Taux de Rendement Synthétique

- Le rôle du TRS est de connaître le taux de marche efficace d'une machine, d'un équipement.
- Il est utilisé principalement pour suivre le fonctionnement :
 - soit des équipements en limite de capacité,
 - soit des équipements dont on veut améliorer la flexibilité.



17/10/2019 Source de fonctionnement [1] 177

177

Le Taux de Rendement Synthétique

Temps d'ouverture = A

Temps brut = B Arrêts de production et Maintenance

Temps net = C Ralentissements
Micro-arrêts
Marches à vide Non production

Temps Efficace = D Non qualités
Démarrage Non qualité Non cadence

TRS = Temps efficace / temps d'ouverture

17/10/2019 Source de fonctionnement [1] 178

178

Taux de Rendement Synthétique : (TRS)

$$TRS = \frac{\text{Temps de marche}}{\text{Temps d'ouverture}} \times \frac{(\text{Quantité réalisée} \times \text{temps de cycle})}{\text{Temps de marche net}} \times \frac{\text{Quantité acceptée}}{\text{Qualité fabriquée}}$$

↓

Influence des pannes

↓

Influence des microarrêts, allures réduites, marches à vide, aléas de production

↓

Influence des rebuts produits en régime dégradé ou en régime normal

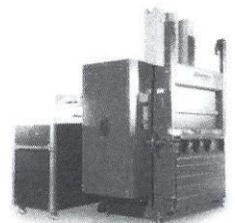


17/10/2019 Source de fonctionnement [1] 179

179

Exercice : Taux de Rendement Synthétique

- Soit une ligne de production dont les caractéristiques sont :
 - Cadence ligne : 1000 p/h
 - Temps total disponible : 8h
 - Pièces produites : 5000
- Les événements de production déclarés sont les suivants :
 - 1 h 30 de changement de format
 - 45 minutes de panne machine
 - 15 minutes de réunion
 - 30 minutes micro-arrêts et aléas
 - 180 pièces produites ont été rejetées
- Calculer les :
 - Taux de fonctionnement brut, de performance et de qualité.
 - Calculer le Taux de Rendement Synthétique.
 - Interpréter les résultats



17/10/2019 Source de fonctionnement [1] 180

180



Des questions ?

17/10/2019 Service de Formation (1) 181

