



Techno'huile 2016



Pourquoi la Maintenance préventive est rentable.

Le 27 mai 2016

Jean-François SIMONET



I-Maintenance préventive

- L'expression **maintenance préventive** désigne le remplacement, la révision, ou la réparation d'un élément matériel avant que celui-ci n'entraîne une avarie.
- **Définition AFNOR**
- Maintenance exécutée à des intervalles indéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à diminuer la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien.

Définitions des différents types de maintenance préventive



I-Maintenance préventive

- On peut subdiviser la maintenance préventive en trois types :
- la **maintenance systématique**, maintenance obéissant à un échéancier établi en fonction du temps et du nombre d'unités d'exploitation ;
- **Définition de la norme européenne** : « 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 » (extrait norme NF EN 13306 X 60-319).



I-Maintenance préventive

- La **maintenance conditionnelle**, maintenance subordonnée à l'apparition d'indices révélateurs de l'état d'un élément matériel. Consacrée par l'usage, cette expression est une traduction fautive, l'anglais *conditional* signifiant ici non pas « conditionnel » (au sens de soumis à des conditions) mais « reposant sur l'état » du matériel
- **Définition de la norme européenne** : « Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent » (extrait norme NF EN 13306 X 60-319).



I-Maintenance préventive

- La **maintenance prévisionnelle** : maintenance partant de la surveillance de l'état du matériel et de la conduite d'analyses périodiques pour déterminer l'évolution de la dégradation du matériel et la période d'intervention.
- **Définition de la norme européenne** : « Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien » (extrait norme NF EN 13306 X 60-319).



II-Maintenance préventive

- **Objectifs de la maintenance préventive.**
 - Diminuer la probabilité des défaillances en service
 - Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne
 - Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective
 - Éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, de pièces détachées, etc.
 - Améliorer les conditions de travail du personnel de production
 - Diminuer le budget de maintenance
 - Supprimer les causes d'accidents graves

L'obtention de ces objectifs vont permettre de diminuer les coûts de maintenance (coûts directs et coûts indirects). La diminution est variable suivant le type d'industrie et le système de production ainsi que l'organisation actuelle de la maintenance



III-Maintenance préventive

- **Comment établir un plan de maintenance Préventive?**

L'



III-Maintenance préventive

- Préciser le ou les périmètres d'intervention, en particulier pour distinguer les systèmes et les sous-systèmes concernés.
- Avoir (Ou créer) l'historique des interventions et des défaillances.
- Connaitre le comportement des équipements (et des composants).

Ce Préalable est très important. Mettre en place un plan de maintenance sur une organisation inexistante avec un service de maintenance sans suivi du matériel est voué à l'échec.



III-Maintenance préventive

- Distinguer les systèmes et les sous-systèmes concernés avec arborescence.
- **Par exemple pour un moulin a huile**

Ce travail d'inventaire est nécessaire avant toute chose.



III-Maintenance préventive

- Connaissance des équipements

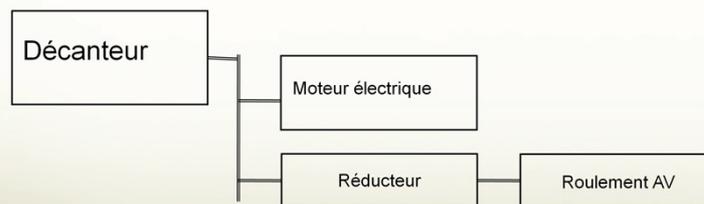


Dans ce cas on distingue les différents postes du process de fabrication de l'huile d'olive. Dans la configuration donnée ci dessus, on voit que les différents équipements sont « en série », qu'il n'y a aucune redondance d'équipement (La défaillance d'un équipement entraîne l'arrêt de la production).



III-Maintenance préventive

- **Connaissance des équipements.**
- Pour chaque équipement on établira une arborescence (Cela permettra de mieux gérer les pannes, les pièces de rechange à avoir en stock etc....)



Dans la recherche de l'arborescence, il faut s'arrêter au niveau du composant qui n'est pas décomposé (lors de son changement)

De plus ne pas repérer les sous-ensembles et composants qui ne sont jamais défailants



III-Maintenance préventive

- **Créer ou enrichir l'historique des pannes.**
- On doit connaître l'historique des pannes ou des interventions. Pour chaque intervention nous noterons:
 - la date d'arrêt,
 - le temps d'arrêt (ou date de remise en service), **TA**
 - le temps d'intervention, **TTR**
 - les pièces de rechange (avec coût si possible) **Cr**
- **Avec un logiciel simple de type Excel, on pourra classer les interventions et calculer, les valeurs de MTA, MTTR, MTBF, Cmoyen par intervention, le coût global.**

C'est le minimum que doit contenir l'historique des défaillances. Les valeurs Date, TA, TTR, et Cr sont à entrer dans le logiciel. Les autres valeurs sont calculées par le logiciel (MTA, MTTR, MTBF, et Cg)

L'utilisation d'un tableur est une solution économique, mais il existe des logiciels de GMAO (Gestion de la Maintenance Assistée Par Ordinateur) plus conviviaux et plus pratiques à utiliser



III-Maintenance préventive

- **Analyser le comportement des équipements.**
- Grâce à un historique informatisé on peut établir des indicateurs graphiques qui orienterons votre analyse.
- 3 indicateurs de base
 - le graphe des Σ TTR en fonctions des types de défaillances,
 - le graphe du nombres N en fonctions des types de défaillances,
 - le graphe des t moyen d'intervention en fonctions des types de défaillances.
- **Exemple**

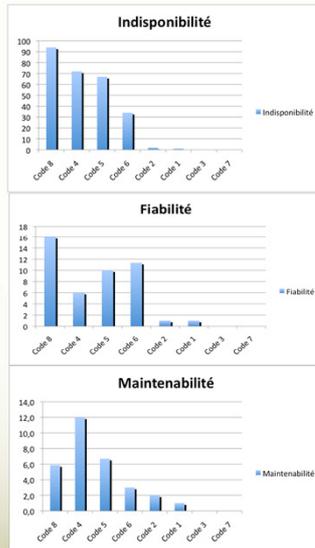
Le graphe des TTR (Temps technique de réparation) est la somme des TTR sur un équipements ou un sous ensemble. C'est un indicateur d'indisponibilité.

Le graphe représentant N le nombre de défaillances sur un équipement ou un sous-ensemble. C'est un indicateur de non fiabilité

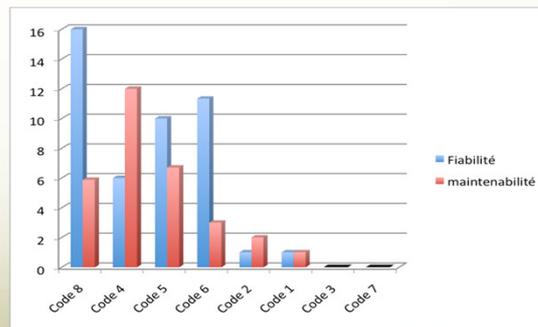
Le graphe $t/$ est le temps moyen d'intervention sur un équipement ou sur un sous ensemble. Il est obtenu en faisant (Somme TTR)/N. C'est un indicateur de non maintenabilité.



III-Maintenance préventive



Les défaillances de code 8, 4, et 5 représentent 86% des tps d'intervention. L'indisponibilité due aux pannes de code 8, 5 et 6 est due à un manque de fiabilité, tandis que l'indisponibilité de la panne de code 4 est due au manque de maintenabilité.



La visualisation des tableaux Excel en Σ TTR, N et t/ par des graphes facilite la lecture. Dans le graphe de droite, on distingue bien les causes de l'indisponibilité (Code 8 manque de fiabilité car le nombre de pannes est le plus élevé de tous, Code 4 le temps moyen de réparation est le plus long de tous etc...)



III-Maintenance préventive

- Choix des solutions.
 - **Manque de maintenabilité :**
 - création d'aide au diagnostic,
 - création de procédure d'intervention,
 - Création de procédure de réglage,
 - recherche de documentation électrique, pneumatique, mécanique (Schéma électrique, Dessins, etc....)

Pour un manque de maintenabilité, on recherchera toutes les causes susceptibles de ralentir la réparation et on essaiera de trouver des solutions.



III-Maintenance préventive

- **Fiabilité**

Pour cela, **trois approches sont à privilégier.**

- **Approche 1:** S'intéresser aux dispositions réglementaires qui précisent les contrôles périodiques qu'il y a lieu de mener sur certains matériels ou infrastructures. On en déduit une liste de cibles obligatoirement concernées.

Pour le manque de fiabilité, vérifier si les dispositions réglementaires sont respectées (Règle importante surtout en cas d'accident).



III-Maintenance préventive

- **Approche 2** : Il faut étudier ce que préconise le constructeur des matériels en matière de maintenance, surtout si le non-respect des opérations de maintenance conditionne l'application de la garantie du constructeur.

Cette approche peut servir de base pour un matériel nouveau et de technologie inconnue.



III-Maintenance préventive

Approche 3 (Connaissance du comportement)

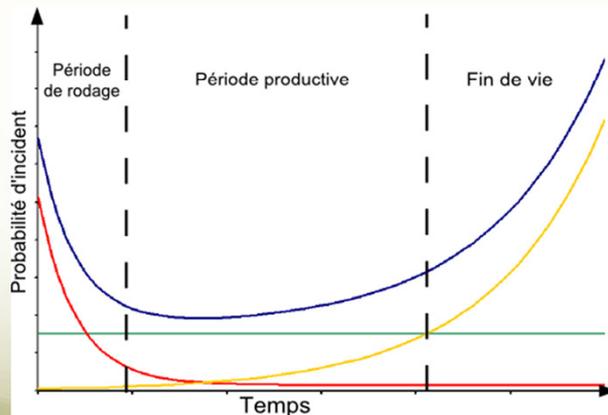
- L'une des approches les plus courantes est l'AMDEC, ou *Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités*. Cette méthode sert à déterminer les points faibles d'un équipement. Le principe est de calculer un indice de priorité des risques (IPR) reposant sur trois éléments : la gravité d'un événement, son occurrence et sa détection. L'IPR varie de 1 à 10, 10 représentant le niveau le plus critique.
- On peut également recourir à une approche de type MBF (*maintenance basée sur la fiabilité*) qui permet de construire un plan de maintenance à partir des conséquences des défaillances potentielles.

L'approche de type AMDEC est généralement privilégiée chez les professionnels car elle ne nécessite pas de calculs importants. Mais elle implique de la rigueur et du temps pour obtenir toutes les informations nécessaires.

L'approche MBF nécessite d'avoir une base de données sur les historiques de pannes. Elle nécessite d'avoir quelques connaissances de fiabilité et d'outils mathématiques. Les résultats sont plus fins que la méthode AMDEC

III-Maintenance préventive

- Approche 3 (Courbe baignoire):



Dans le cadre de la démarche BF, par une étude de fiabilité on peut déterminer la période dans laquelle se trouve le composant. La courbe en baignoire est une représentation classique de la probabilité d'incidents pour des équipements ou des composants: La courbe en baignoire est la somme de trois composantes.:

La courbes des défaillances liées au rodage du composant qui commence à un niveau élevé puis décroît avec le temps,
une courbe des défaillances aléatoires qui sont indépendantes de l'âge du système,
une courbe de défaillances du composant liées à l'usure, la fatigue, le matage qui débute à des niveaux faibles mais croît de façon continue avec le temps.

III-Maintenance préventive

- Approche 3 (Démarche):

Cas 2a Défaillance en période de jeunesse – ou période de maturité: **maintenance corrective.**

Cas 2b Défaillance en période de Vieillesse :
Maintenance Préventive (*suivant le coût*).

Dans le cadre de la démarche BF, par une étude de fiabilité on peut déterminer la période dans laquelle se trouve le composant.



III-Maintenance préventive

- Si on se trouve dans le **Cas 2a** il y a possibilité de de faire de la maintenance préventive. Pour cela, il faut que le coût de cette maintenance soit inférieure à la maintenance corrective. Et il faut déterminer la période de maintenance préventive.

Par la suite la période de maintenance préventive sera nommée θ

III-Maintenance préventive

- Le coût **C1** par unité d'usage de la maintenance corrective se calcule de la façon suivante:

$$C1 = (p + P) / MTBF$$

Avec

- **p**: le coût moyen d'une intervention ($C_{mo} + C_r$)
- **P**: le coût moyen de perte de production par intervention
- **MTBF**: Moyenne du temps de fonctionnement entre deux pannes.

L'unité d'usage dans un moulin peut être : l'heure de fonctionnement



III-Maintenance préventive

- Graphe de Kelly : Utilisation

Au préalable une étude de fiabilité a montré que

l'on peut modéliser l'arrivée des défaillances

avec une loi de probabilité dans les paramètres

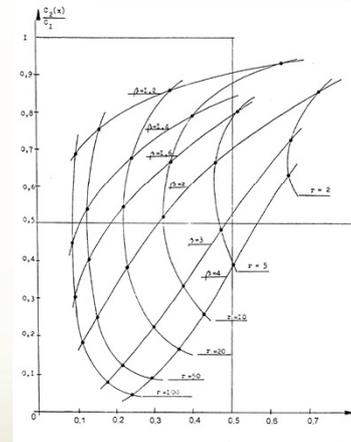
(Loi de Weibull)

γ (généralement = 0)

β (s'il y a dégradation >1)

η (Moyenne des temps de bon Fonctionnement

non corrigée)



Le graphe de Kelly va permettre de déterminer la période optimale de maintenance préventive. Il est nécessaire de faire une étude de fiabilité au préalable. Cette étude peut être effectuée grâce à un logiciel. La loi de probabilité généralement utilisée est la loi de Weibull avec 3 paramètres $R(t) = e^{-(t-\gamma)/\eta} \beta$ avec $R(t)$ Fiabilité pour un temps donné.



III-Maintenance préventive

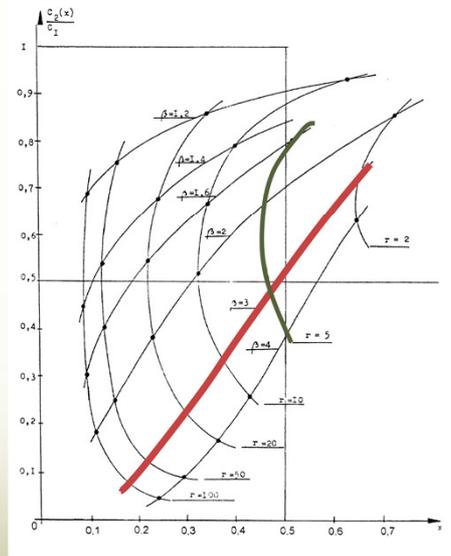
- Abaque de Kelly :Exemple
- $\beta = 3$
- $r=P/p = 5$
- Avec

P = Coût de perte de production par Intervention

P= 2000 €/intervention

p = Coût direct par intervention (Cmo + Cr)

p=500 €/intervention



r est un rapport économique entre le coût de perte de production moyen et le coût direct moyen pour une intervention.

β est un paramètre technique il permet de connaître l'âge du composant (Jeunesse $\beta < 1$, maturité $\beta = 0$ et $\beta > 1$ vieillesse)



III-Maintenance préventive

- Abaque de Kelly : Exemple

$\beta = 3$ et $r = P/p = 5$

Pour un $\eta = 4000$ h de fonctionnement et

$\gamma = 0$,

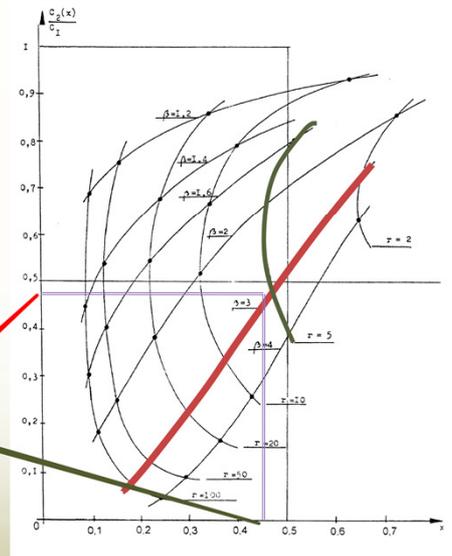
La période optimale de maintenance

Préventive Systématique est :

$$\theta = 0,45 \times 4000 = 1900 \text{ h}$$

Dans ce cas le coût de la MPS sera inférieure à moins de la moitié de la maintenance corrective

$$C_1/C_2(\theta) = 0,48$$



$C_2(\theta)$ est le coût par unité d'usage de ma maintenance préventive systématique faite à une période θ



IV-Maintenance préventive

- **REMARQUE.**
- Certains équipements d'un moulin à huile peuvent être suivi par une analyse vibratoire (Décanteur) pour envisager cette solution il faut que le prix par unité d'usage de la MPC soit inférieure à la MPS

$$C3 = (p+g)/0,9 \times MTBF$$

L'analyse vibratoire permet de faire:

- **Un diagnostic (Localiser la défaillance),**
- **d'évaluer le degré de dégradation d'un composant.**

C3 est le coût par unité d'usage de la maintenance conditionnelle



IV-Maintenance préventive

- **EXEMPLE 1** Avec perte de production.

L'entreprise agro-alimentaire est spécialisée dans la production de sucre.

Le cycle complet de production est représenté sur la diapositive suivante.

L'essorage des produits finis en fin de chaîne est réalisé par 7 turbines.

Données économiques: (Sur l'ensemble de l'installation)

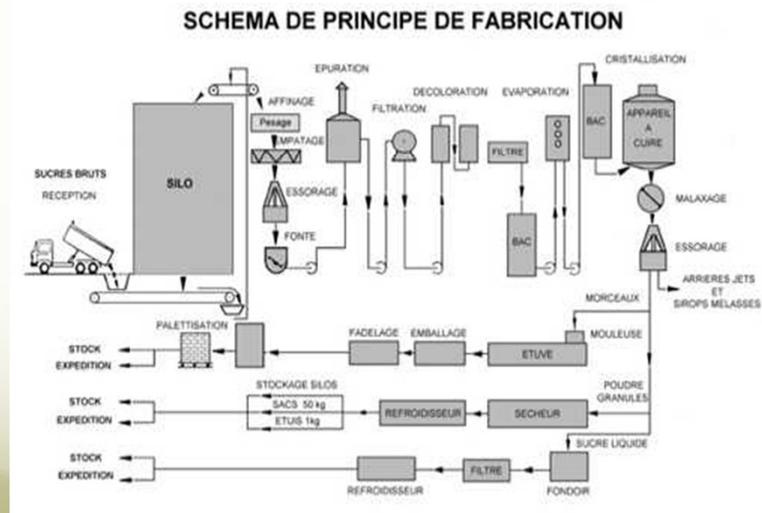
Coût annuel des pièces de rechange :	2 560€
Coût annuel de la MO de maintenance :	2 020€
Heures annuelles de perte de production:	164 h
Coût annuel de perte de production:	24 500€
Coût global:	29 080€

Données économiques du problème



IV-Maintenance préventive

- **EXEMPLE 1** Avec perte de production.



Synoptique du process de fabrication du sucre.



IV-Maintenance préventive

- EXEMPLE 1 Avec perte de production.
- **Choix des composants soumis à la MPS**
- L'installation est assez ancienne, l'analyse des historiques des pannes montre que les interventions les plus récurrentes sont sur les éléments tournants (roulements, joint d'étanchéité, etc....) L'étude de la MPS portera essentiellement sur ces éléments c'est à dire sur les **25% des composants qui représentent 80% des coûts de maintenance**

Tout d'abord, il faut délimiter les limites de l'étude. Grâce à l'historique de pannes on étudiera que les composants qui représentent 80% des coûts de maintenance (Loi de Pareto, courbe ABC, méthode des 20-80). Notre étude portera donc sur 25% des composants des turbines. L'essentiel des ces 25% est. Les roulements, et les accessoires de guidage, joints, et composants d'entraînement (Engrenages et accouplements)



IV-Maintenance préventive

- **EXEMPLE 1** Avec perte de production.
- **Etude de fiabilité**
- Les paramètres de la loi de Weibull sont :
- Le paramètre de localisation $\gamma = 0$
- Le paramètre d'échelle $\eta = 3200h$
- Le paramètre de forme $\beta = 1,6$
- La MTBF = **2875h**

Pour déterminer ces paramètres, on peut utiliser un logiciel qui à partir des historiques de pannes (TBT) ajustera un modèle mathématique dont les paramètres seront γ , η et β (pour les amateurs de probabilité, c'est la loi de Weibull très adaptée aux distributions de défaillances)



IV-Maintenance préventive

- **EXEMPLE 1** Avec perte de production.
- **DONNEES ECONOMIQUES**
- Le remplacement nécessite 2 opérateurs, dont le coût horaire est **30,5€/h**
- Le temps _{moyen} d'une intervention est de **3 heures**
- Le coût _{moyen} des rechanges est de **125 €**
- Le coût _{moyen} d'une intervention = **308€/intervention**
- Coût _{moyen} de perte de production = **1750€/int**

Données économiques nécessaires à la recherche de la période de maintenance préventive systématique



IV-Maintenance préventive

- **EXEMPLE 1** Avec perte de production.
- **DONNEES ECONOMIQUES (Suite)**

Le coût direct d'intervention

$p = 308\text{€/intervention}$

Le coût indirect

$P=1750\text{€/intervention}$

p est le coût direct pour une intervention c'est à dire le coût de la main d'œuvre plus le coût des pièces de rechange.

P est le coût indirect c'est à dire essentiellement le coût de perte de production (Bénéfice perdu, main d'œuvre de production payé mais non utilisée)



IV-Maintenance préventive

- **EXEMPLE 1** Avec perte de production.
- **Coût de la maintenance corrective par heure de fonctionnement d'une turbine**
- **$C1 = (308 + 1750) / 2875 = 0,7158 \text{ €/h}$**
- **Soit pour une année et pour les 7 turbines : 7**
 $x 0,7158 x 4720h = 23 650 \text{ €/an}$

C1 représente le coût de la maintenance corrective d'une turbine pour une heure de fonctionnement.

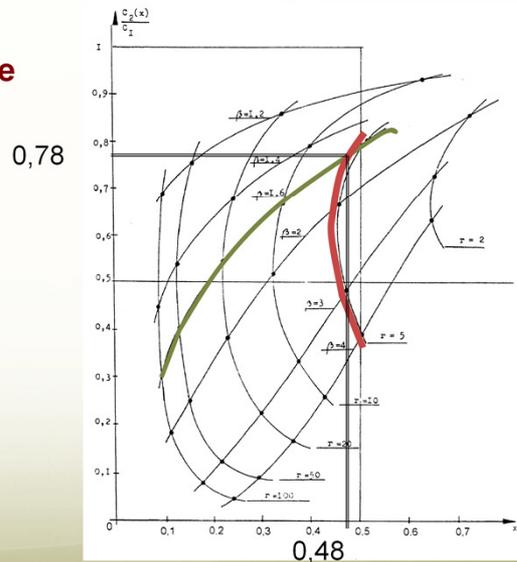


IV-Maintenance préventive

● EXEMPLE 1.

● Période optimale et coût de la MPS

- $\beta = 1,6$
- $r = P/p = 1700/308 = 5,5$
- $\theta = 3200 \times 0,48 = 1535h$
- $C_2(\theta)/C_1 = 0,78$
- $C_2(\theta) = 0,7158 \times 0,78$
- $C_2(\theta) = 0,5583\text{€/h}$



L'étude de fiabilité des roulements a permis de déterminer les différents paramètres de la loi de Weibull

La valeur de β signifie que les défaillances des roulements arrivent en période de vieillesse (1,6), on peut donc faire de la maintenance préventive.

Le rapport économique $r = 5,5$

En utilisant le graphe de Kelly nous obtenons une valeur de $x = 0,48$; on en déduit une période optimale de 1535 h pour la MPS

Le rapport entre le coût de la maintenance corrective et le coût de la maintenance Préventive est de 0,78



IV-Maintenance préventive

- **EXEMPLE 1** Avec perte de production.
- **Planification**
- La planification amènera un changement tous les 4 mois des roulements et composants associés
- Le nettoyage des turbines sera amélioré grâce à une nouvelle procédure.

La période de 1535h est à placer avec les contraintes de fabrication.
La décision est de faire un changement tous les quatre mois



IV-Maintenance préventive

- **EXEMPLE 1** Conclusion
- La mise en place de MPS devait permettre un gain sur les coûts de maintenance des roulements de 22%.
- Les résultats des années suivantes ont confirmé cette attente
- **Coût global de maintenance 2004 (M C) 29 080€**
- **Coût global de maintenance 2005 (MPS) 24120€**
- **Coût global de maintenance 2006 (MPS) 23105€**

Les coûts de maintenance correspondent à des niveaux de production sensiblement égaux pour les trois années



IV-Maintenance préventive

- **EXEMPLE 2** Sans perte de production
- Le responsable du service METHODES-MAINTENANCE d'un complexe industriel, a à sa charge le dossier de maintenance du réseau d'éclairage du site.
- La maintenance de l'éclairage des voiries et unités de production est actuellement effectuée d'une manière corrective et de la façon suivante :
 - lorsqu'une panne est signalée, le service de maintenance dépêche un électricien, une nacelle de levage et un chauffeur pour effectuer le remplacement de l'ampoule hors d'usage.
- On envisage de remplacer ce type de maintenance par des actions préventives systématiques.

PROBLEMATIQUE DE LA MAINTENANCE



IV-Maintenance préventive

- **EXEMPLE 2** sans perte de production.
- **DONNEES ECONOMIQUES**
- Le remplacement nécessite 2 opérateurs, 1 électricien et 1 conducteur de véhicule dont le coût horaire est **31,5€/h**
- Le matériel utilisé est : 1 nacelle de levage dont le coût est de **91,5€/h**
- Le temps moyen de remplacement d'une lampe En correctif : **0,15 h.**
- Temps de remplacement d'une lampe en préventif : **0,04 h.**
- L'usine possède **1180** points d'éclairage.
- L'usine fonctionne **24h/24h** et **293 jours** par an et les lampes fonctionnent **3600 h/an.**
- Le coût d'une lampe est de **5,30 €**

Données économiques



IV-Maintenance préventive

- **EXEMPLE 2** sans perte de production.
- Coût de la maintenance corrective par unité d'usage (heure)

$$C1 = (p + P) / MTBF$$

- Soit $C1 = 22,875 \cdot 10^{-4} \text{ €/h}$
- sur l'année: **9718 €/an**

Pour comparer les deux types de maintenance suivant un critère économique, on calcul le coût de la maintenance corrective, c'est à dire le coût de la maintenance actuelle.



IV-Maintenance préventive

- EXEMPLE 2 sans perte de production.
- **Etude de fiabilité**
- La durée de vie de ce type de lampe étant particulièrement longue, l'étude de fiabilité a été effectuée suivant la méthode d'essai accéléré par mort soudaine.
- Les paramètres de la loi de Weibull sont :
- Le paramètre de localisation $\gamma = 0$
- Le paramètre d'échelle $\eta = 11\ 000\ \text{h}$
- Le paramètre de forme $\beta = 4$
- La MTBF = 10 000 h

On utilise une méthode d'essai accéléré (Par mort soudaine) car la durée de vie des ampoules étant longue cela prendrait trop de temps avec une méthode classique



IV-Maintenance préventive

- EXEMPLE 2 sans perte de production.
- **Période optimale**
- La perte de production étant égale à 0, on ne peut utiliser le graphe de Kelly. On recherche par dichotomie la valeur minimale de $C2(\theta)/C1$
- la valeur minimale de θ est de **7000h**

On trace la courbe $C2(\theta)$ et on détermine par encadrement la valeur minimale de cette courbe.



IV-Maintenance préventive

- **EXEMPLE 2** sans perte de production.
- **Coût de la MPS**
- $C_2(\theta=7000h) = 13,60 \cdot 10^{-4} \text{ €/h}$
- sur l'année: **5770 €/an**

Le point le plus bas de la courbe $C_2(\theta)$ est obtenu pour la valeur de $\theta=7000h$ le coût de la maintenance préventive systématique à gestion collective est donnée par la relation:
$$C_2(\theta) = (p + (p+P)E(\theta)) / \theta$$
 avec $p = 11,48 \text{ €/intervention}$ et $P = 0$. On prendra $E(\theta=7000h) = F(\theta=7000h)$ en faisant l'hypothèse qu'il ne peut y avoir qu'une seule panne pendant la période θ .
Avec $F(\theta=7000) = 0,17$



IV-Maintenance préventive

- **Maintenance corrective**
- MTBF = **10000h**
- Coût annuel **9718 €/an**
- Charge de tx : **128h**
- Stock d'ampoules
- Equipe d'intervention nécessaire
- **Maint. préventive systématique**
- Période de changt. **7000h**
- Coût annuel **5090 €/an**
- Charge de tx **79h**
- Pas de stock
- Travail planifié

Gain annuel : 4628 €/an

- 1 Le gain économique est très important
- 2 La charge de travail annuel baisse d'une manière significative
- 3 Le travail peut être planifié



V-Maintenance préventive

- **Conclusion**
- Si la maintenance préventive est correctement réalisée le gain annuel sur les coûts de maintenance peuvent être de **25% à 50%** suivant l'état initial de la maintenance.
- La planification des interventions elle amène moins de stress dans les équipes de maintenance et facilite la programmation du travail.
- La maintenance préventive permet aussi d'augmenter la durée de vie d'un équipement



V-Maintenance préventive

MERCI pour votre attention.