
Chapitre III: Les améliorations proposées

III-1 GENERALITES SUR LA MAINTENANCE

III-1-1 Introduction à la maintenance :

Quelque soient les efforts entreprise au stade de la conception et la fabrication des machines pour assurer leur sûreté de fonctionnement, des défaillances apparaissant au cours de leur exploitation, les causes d'apparition de ces défaillances sont variables. Elles vont du coût de simple remplacement d'une pièce détériorée à d'importants frais d'immobilisation pour la machine donnée, elles peuvent aussi provoquer de graves accidents corporels.

C'est pourquoi on fait appel à la maintenance à fin de maintenir en état les machines et rétablir leur performance après défaillance, La maintenance implique un certains nombres de mesures organisationnelles, techniques et économiques. [3]

III-1-2 Définition de la maintenance :

D'après la norme AFNOR: X60-010/ décembre 1994.

Ensemble des activités destinées à rétablir un bien dans un état ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement, pour accomplir une fonction requise. Ces activités sont une combinaison d'activités techniques, administratives et de management. [3]

III-1-3 Types de maintenance:

Il existe deux façons complémentaires d'organiser les actions de maintenance :

III-1-3-1 La maintenance corrective : qui consiste à intervenir sur un équipement une fois que celui-ci est défaillant. Elle se subdivise en :

a) Maintenance palliative : dépannage (donc provisoire) de l'équipement, permettant à celui-ci d'assurer tout ou partie d'une fonction requise ; elle doit toutefois être suivie d'une action curative dans les plus brefs délais.

b) Maintenance curative : réparation (donc durable) consistant en une remise en l'état initial.

III-1-3-2 La maintenance préventive :

Qui consiste à intervenir sur un équipement avant que celui-ci ne soit défaillant, afin de tenter de prévenir la panne. On interviendra de manière préventive soit pour des raisons de sûreté de fonctionnement (les conséquences d'une défaillance étant

inacceptables), soit pour des raisons économiques (cela revient moins cher) ou parfois pratiques (l'équipement n'est disponible pour la maintenance qu'à certains moments précis). La maintenance préventive se subdivise à son tour en :

c) **Maintenance systématique** : désigne des opérations effectuées systématiquement, soit selon un calendrier (à périodicité temporelle fixe), soit selon une périodicité d'usage (heures de fonctionnement, nombre d'unités produites, nombre de mouvements effectués, etc.) ;

d) **Maintenance conditionnelle** : réalisée à la suite de relevés, de mesures, de contrôles révélateurs de l'état de dégradation de l'équipement.

e) **Maintenance prévisionnelle** : réalisée à la suite d'une analyse de l'évolution de l'état de dégradation de l'équipement.

Diverses méthodes permettent d'améliorer la planification et l'ordonnancement des actions de maintenance :

- ❖ Analyse AMDEC
- ❖ diagramme PERTO
- ❖ Diagramme de Gantt

III -1- 4 But de la maintenance:

La maintenance a pour but:

- ❖ Le maintien du capital machine.
- ❖ Minimiser les arrêts et les chutes de production.
- ❖ Améliorer la sécurité de personnel et la protection de l'environnement
- ❖ Des modifications ou améliorations ayant pour objet de supprimer la Défaillance.

III-1-5 Niveaux de maintenance :

La norme NF X 60-010 définit, à titre indicatif, cinq « niveaux de maintenance » (comprendre « interventions ») :

• niveau 1 :

- ❖ Travaux : réglages simples - pas de démontage ni ouverture du bien
- ❖ Lieu : sur place
- ❖ Personnel : exploitant du bien (rondier)

• niveau 2 :

❖ travaux : dépannage par échange standard - opérations mineures de maintenance préventive

❖ lieu : sur place

❖ personnel : technicien habilité

❖ exemple : changement d'un roulement - contrôle de d'usure.

• niveau 3 :

❖ travaux : identification et diagnostic de pannes - réparation par échange standard - réparations mécaniques mineures - maintenance préventive (par ex. réglage ou réalignement des appareils de mesure)

❖ lieu : sur place ou dans atelier de maintenance

❖ personnel : technicien spécialisé

❖ exemple : identification de l'élément défaillant, recherche de la cause, élimination de la cause, remplacement

• niveau 4 :

❖ travaux : travaux importants de maintenance corrective ou préventive sauf rénovation et reconstruction - réglage des appareils de mesure - contrôle des étalons

❖ lieu : atelier spécialisé avec outillage général, bancs de mesure, documentation

❖ personnel : équipe avec encadrement technique spécialisé

❖ exemple : intervention sur matériel dont la remise en service est soumise à qualification

• niveau 5 :

❖ travaux : rénovation - reconstruction - réparations importantes

❖ lieu : constructeur ou reconstruteur

❖ personnel : moyens proches de la fabrication

❖ exemple : mise en conformité selon réglementation d'équipements lourds

III-2 Indice Contrôle non destructif :**III – 2 -1 Définition :**

L'appellation *Contrôles Non Destructifs (CND)* ou *Essais Non Destructifs (END)* fait naturellement penser au diagnostic que le médecin formule lors de l'examen de son patient. Le même principe appliqué aux pièces mécaniques consiste à mettre en œuvre des méthodes d'investigation pour permettre d'apprécier, *sans destruction*, l'état de santé des pièces et de formuler un avis sur leur aptitude à remplir la fonction à laquelle elles sont destinées.

L'exécution de cette tâche nécessite une bonne connaissance des techniques d'investigation mises en œuvre, de leurs limites et surtout, une adéquation parfaite entre le pouvoir de détection de chaque technique et les critères appliqués pour la mise en œuvre [3]

III-3 Contrôle non destructif et la maintenance :

Les contrôles non destructifs sont principalement utilisés par les services de production pour pouvoir garantir que les pièces fabriquées ne contiennent pas de défaut matière (lors de l'élaboration) ou de défaut de fabrication. Dans le cadre particulier de la maintenance, les contrôles non destructifs sont appliqués au coup par coup et suivant le secteur d'activité auquel on appartient.

Lorsqu'un élément casse, la cause n'est pas évidente. Après étude de la cassure, on peut émettre des hypothèses :

- ❖ Pièce non adaptée aux charges en présence.
- ❖ Mauvaises conditions de travail
- ❖ Elaboration défectueuse, etc....
- ❖ Amorce de rupture (fissure non détectée).

Remarque :

Une fissure peut ne pas nuire au bon fonctionnement de l'élément dans des conditions normales de sécurité. C'est son évolution qui est à prendre en compte afin d'intervenir avant rupture.

Les contrôles non destructifs trouvent leurs applications dans le contrôle et la surveillance des installations suivantes par exemple :

- ❖ Surveillance de la structure d'un avion.
- ❖ Vérification de l'état d'une pièce de sécurité très chargée (fissuration).
- ❖ Contrôle d'une pièce avant son montage afin d'éviter toute casse ultérieure.

Les contrôles non destructifs ont pour objectifs de détecter les défauts matière, les défauts de fabrication (soudure, fonderie), les défauts dus à la fatigue (fissuration) qui ne sont pas détectables visuellement et qui occasionnent des casses du matériel. [3]

En maintenance, l'important c'est de suivre l'évolution de ces défauts (vitesse de propagation) et de changer la pièce juste avant que la pièce ne casse..

III-4 Les méthodes communes de contrôle non destructif :

Les contrôles non destructifs peuvent s'effectuer selon les méthodes suivantes :

- ❖ Procédés optiques.
- ❖ Ressuage.
- ❖ Particules magnétoscopie.
- ❖ Radiographie.
- ❖ Courants de Foucault.
- ❖ Contrôle par ultrasons.

III-4-1 Inspection visuelle :

C'est la méthode la plus simple et la plus commune. L'appareillage comprend des loupes, des miroirs, des endoscopes, des caméras vidéo, etc.

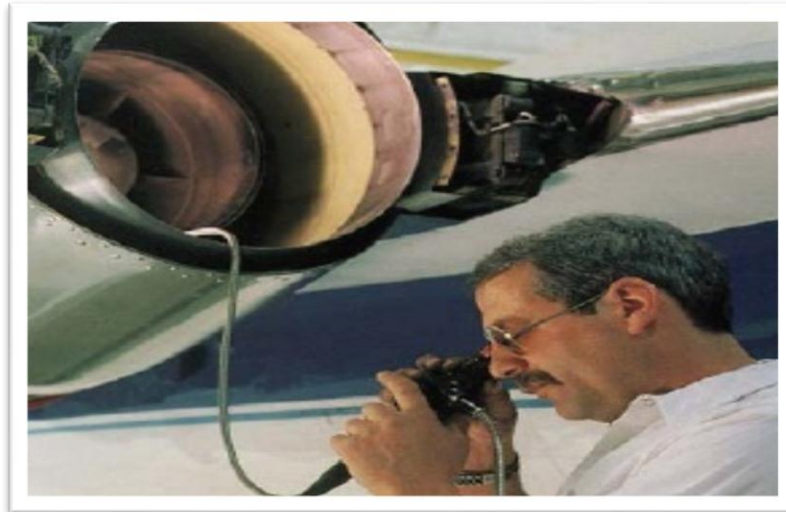


Figure III-1 : Contrôle par endoscopie. [3]

III-4-2 Le ressuage :

C'est une méthode qui s'effectue selon le processus suivant :

- ❖ Application d'un liquide pénétrant à la surface de la pièce suivie d'un temps d'impregnation.
- ❖ Élimination de l'excès de pénétrant.
- ❖ Dépôt d'une couche de révélateur (poudre) qui fait ressortir le pénétrant et l'étale autour des fissures.
- ❖ Inspection visuelle sous une lumière UV.



Figure III - 1: Contrôle par ressuage. [3]

III-4-3 La magnétoscopie :

C'est une méthode qui s'effectue selon le processus suivant :

- ❖ Magnétisation de la pièce.
- ❖ Application d'une poudre ferromagnétique fluorescente.
- ❖ Les particules sont attirées par le flux magnétique et s'agglutinent au-dessus des défauts.
- ❖ Observation des indications sous un éclairage approprié.



Figure III-3 : Contrôle par magnétoscopie [3]

III-4-4 La radiographie :

Une pièce est placée entre la source de radiation et le film. Plus le matériau traversé est dense, plus il absorbe le rayonnement. L'intensité de gris du film est proportionnelle à l'intensité du rayonnement.

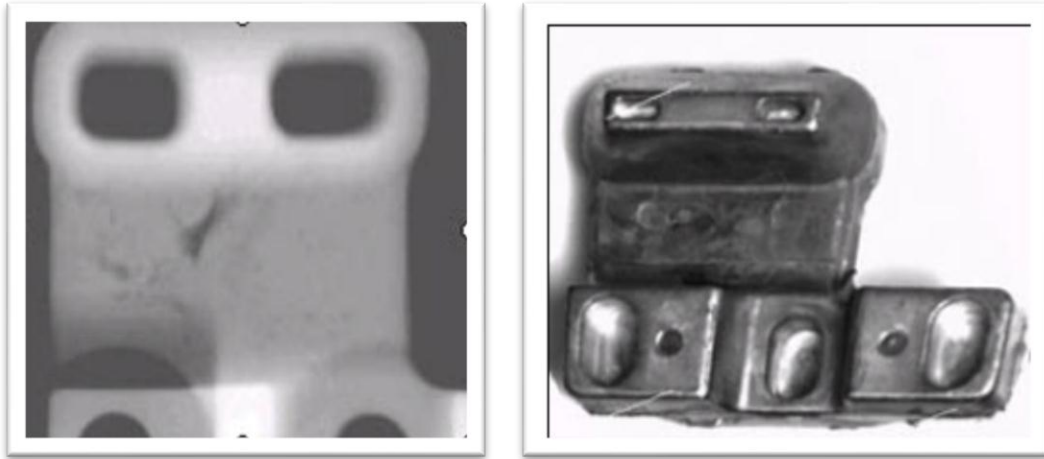


Figure III- 4 : Pièce à analyser par imagerie rayons X. [3]

III-4-5 Les courants de Foucault :

C'est une méthode de contrôle qui consiste à créer, dans un matériau conducteur, un courant induit par un champ magnétique variable. Ces courants induits, appelés courants de Foucault, circulent localement, à la surface du matériau. La présence d'une discontinuité à la surface de la pièce contrôlée perturbe la circulation des courants entraînant une variation de l'impédance apparente de la sonde de contrôle.

III-4-6 Les ultrasons :

C'est une méthode de contrôle qui consiste à transmettre des impulsions acoustiques de hautes fréquences (les ultrasons) dans un matériau. Ces ondes se propagent dans le matériau suivant différents modes de propagation. La présence d'une discontinuité sur le trajet des ultrasons provoque la réflexion partielle des impulsions. Le signal réfléchi est recueilli par un transducteur ultrasonore. [3]



Figure III - 5: Contrôle par ultrason. [3]

III-5 Déroulement du contrôle non destructif :

D'après les caractéristiques de différentes méthodes de contrôle non destructif, il paraît que le contrôle par ultrasons est le meilleur moyen pour évaluer les tailles des microfissures, mais vu les grandes dimensions du bandage du galet, cette analyse semble quasi impossible, ainsi on a opté pour la procédure suivante : d'abord localiser les fissures par le ressuage, et après avoir détecté les fissures on procède par une analyse par ultrason. [3]

III-5-1 Matériel de contrôle par les ultrasons :

Pour avoir une idée sur le matériel ultrason utilisé, on a contacté l'entreprise **BEIJING TIME HIGH TECHNOLOGY LTD** qui se positionne comme étant la société leader dans le matériel de contrôle non destructif qui nous ont proposé TUD-360 *Ultrasonique Flaw Detector* (voir description annexe).

III- 6 Prévention pour garder un niveau vibratoire commode :

Le broyeur cru est équipé d'un capteur permanent de vibration lié à un système de gestion des capteurs de toute l'usine, ce système permet la consultation des données en temps réel ainsi que l'historique des différents enregistrements. D'où l'aisance du suivi l'état de santé du broyeur. Parmi les préventions à appliquer on cite :

- ❖ Connaître la vibration limite appliquée au broyeur.
- ❖ Connaître l'épaisseur optimale de la couche de matière.
- ❖ Faire fonctionner le capteur d'épaisseur du lit de matière et veiller à sa fiabilité.

- ❖ Equilibrer la pression des vérins, le contrôle de cette entité donne une idée sur la taille de la couche
- ❖ Maintenir un lit équilibré :
- ❖ Contre les grosses granulométries.
- ❖ Contre l'excès des grains fins à l'entrée.
- ❖ Contre le débit d'alimentation variable.
- ❖ Introduire la matière au centre du plateau de broyage.
- ❖ Maintenir l'injection de l'eau en amont de chaque galet, et contrôler sa quantité Selon l'humidité de la matière.
- ❖ Connaître le flux de gaz critique et la pression commode et veiller à leur stabilité
- ❖ Eviter l'introduction des éléments ferreux et magnétiques.
- ❖ Profiter de chaque arrêt du broyeur sous l'effet de vibration afin de déterminer sa cause.
- ❖ Ne démarrer le broyeur qu'après avoir une quantité de matière suffisante à l'intérieur.
- ❖ Effectuer des contrôles en permanence et surtout en période d'arrêt surtout l'atelier de broyage.

III - 7 Mesures à prendre pour l'eau injectée :

L'objectif principal de l'injection de l'eau sur la table est de diminuer la vibration, on a vu qu'elle permet également de conditionner la température du gaz à la sortie du broyeur. La conduite de l'eau sur le galet intérieur semble mal orientée, le jet d'eau peut facilement toucher directement le bandage accidentellement si la matière versée n'est pas suffisante. Ce cas est rencontré souvent au démarrage et même au moment de l'arrêt, le bouchage de l'injection est important avant l'arrêt de l'alimentation en matière.

Vu la grande quantité injectée, le taux d'humidité de la matière sur la table est assez élevé. a l'instar d'autres modèles de broyeurs verticaux de FLS smith notamment à trois galets, le débit sur la table peut être diminué si on pulvérise de l'eau dans le flux entrant ; en effet cette méthode joue le rôle de conditionnement de la température de sortie, le seul rôle de l'eau injectée sur la table est donc de stabiliser la matière. La quantité nécessaire sera en fonction du niveau vibratoire. Ainsi, des injecteurs au niveau de l'anneau de buse peuvent être installés pour cette raison. [1]

III - 8 Matériau alternatif :

L'amélioration proposée peut remédier au problème de l'impact du milieu oxydant sur l'évolution des microfissures. Cependant, afin de détourner les solutions palliatives, on adopte l'amélioration suivante proposée par le même fabricant des galets actuels, les nouveaux galets sont à base d'une composition récente du matériau susceptible à résister et à l'usure et à la fissuration. [5]

III- 8 -1 Le Xwin :

Le Xwin (**voir annexe**) est un composite à matrice métallique dans lequel un alliage de Cr est renforcé avec les particules en céramique également distribuées selon une conception spéciale de nid d'abeilles. Nombreux sont les profits à gagner de cette technologie :

- Augmentation de la durée de vie :

La durée de vie de la table et des bandages est augmentée de 2 à 4 fois selon l'application.

- Réduction de la perte de temps due aux pannes du broyeur :

Une durée de vie supérieure de 2 à 4 fois par rapport au bandage en FMU18 signifie que 1 à 3 arrêts d'entretien peuvent être évités. Même avec les matériaux très abrasifs, de pleines campagnes de production peuvent être réalisées sans s'arrêter pour l'entretien.

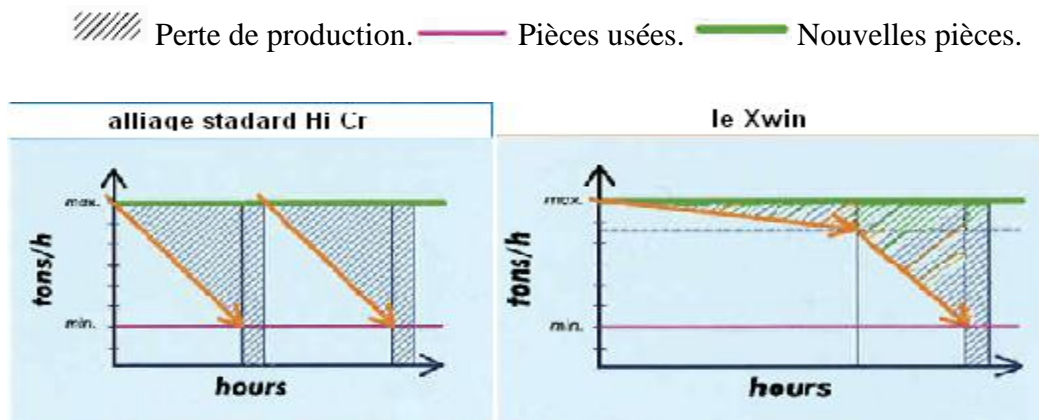


Figure III -7 : Comparaison du gain en production pour l'alliage standard et le Xwin. [2]

- Réduction des coûts de production et l'augmentation du revenu

Xwin maintient son profil initial plus longtemps, ce qui assure un bon débit de sortie au niveau du broyeur et une réduction des coûts de la production au niveau du broyeur.

III- 8 -2 Les bandages en *duocast Xwin* :

Le *Duocast Xwin* garantit la résistance à l'usure et une fiabilité améliorée au niveau des bandages en associant le *Xwin* à la technologie de *duocast*.

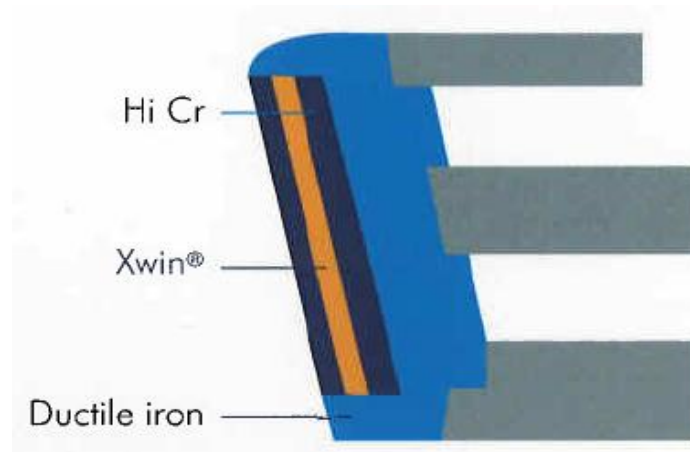


Figure III - 8 : Coupe du bandage en duocast *Xwin*. [2]

Cette technologie confère au bandage une ductilité interne supportant les efforts dus aux contraintes mécaniques et une dureté externe due à la présence du *Xwin* et de la matrice en céramique.

III - 8 -3 Expérience de HOLCIM Liban :

En raison de l'abrasivité élevée de la matière cru, ayant pour résultat une durée de vie plus courte des bandages de galet, plusieurs nuances de fontes alliées ont été utilisées depuis la date de mise en service du broyeur en janvier 1999 jusqu'au mars 2002 à HOLCIM Liban.

L'ensemble au départ était Magotteaux FMU104, avec une haute teneur en chrome et une dureté de 60 HRC fournis par POLYSIUS, cet ensemble a fonctionné de janvier 1999 à Mars 2004 pour un temps de marche avoisinant les 4700h et une production réalisée de 1900 Mt. Une panne a eu lieu à cause de la rupture d'un bandage du galet. La figure (III - 9) montre le galet en avarie à cause de la création d'une microfissure par un choc thermique et qui a amené à la rupture totale.



Figure III - 9 : Génération des micros fissure sous l'effet des Contraintes thermiques amenant à la rupture brutale. [2]

Les espoirs de Holcim Liban dans la durée de vie des bandages et du coût de maintenance n'ont pas été comblés et une solution a dû être trouvée.

Ainsi, Holcim Liban a passé en revue les options et a décidé d'essayer un ensemble de bandages de *Xwin duocast* et des segments de table de *Xwin* de Magotteaux.

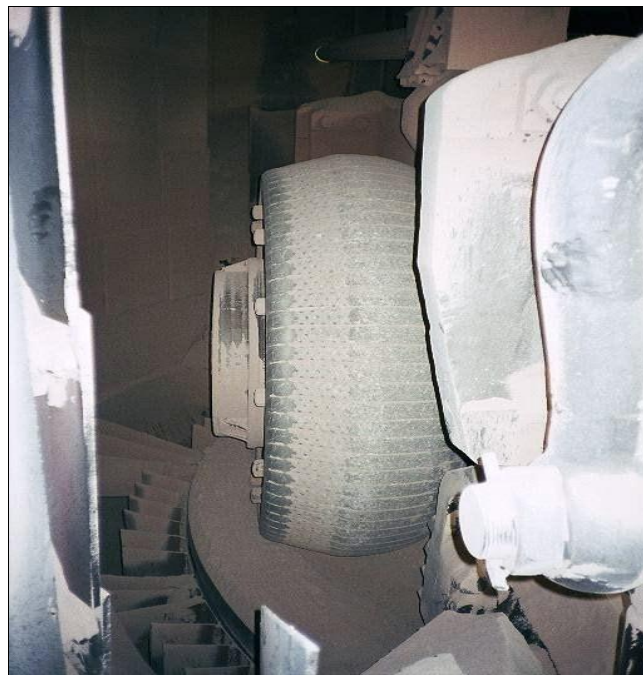


Figure III-10: Galet et piste en composite *Xwin*. [2]

La technologie de *Xwin* est un composite à matrice métallique dans lequel est imprégné un alliage de chrome et renforcé avec des particules en céramique uniformément distribuées selon une conception brevetée en nid d'abeilles.

L'ensemble de *Xwin* a été installé en avril 2004 et a duré jusqu'au janvier 2008, excédant tous les alliages précédents, avec une durée de vie de 26200 h et une production de 9 367 661 tonnes.

Cette supériorité de 420% a fournie non seulement l'épargne significative de coût de maintenance, mais elle a également tenu compte de la robustesse de ces bandages. Puisque le bandage subit une déformation conséquente sans pour autant se fissurer ou céder à la rupture, en plus le profil original de pièces a été maintenu plus long temps [2]



Figure : III -11 : Résistance du *Duocast Xwin* aux contraintes sévères. [2]

III - 9 - Conclusion

L'étude de ces phénomènes nous a mené à proposer les actions suivantes :

- Effectuer de contrôles non destructifs.
- Opter pour le matériau *Xwin* vu ses caractéristiques remarquables.
- Prévention pour garder un niveau vibratoire optimal

Le phénomène de vibration ne peut être réduit que par un contrôle régulier de l'ensemble des paramètres de fonctionnement du broyeur et le respect des consignes données par le constructeur.