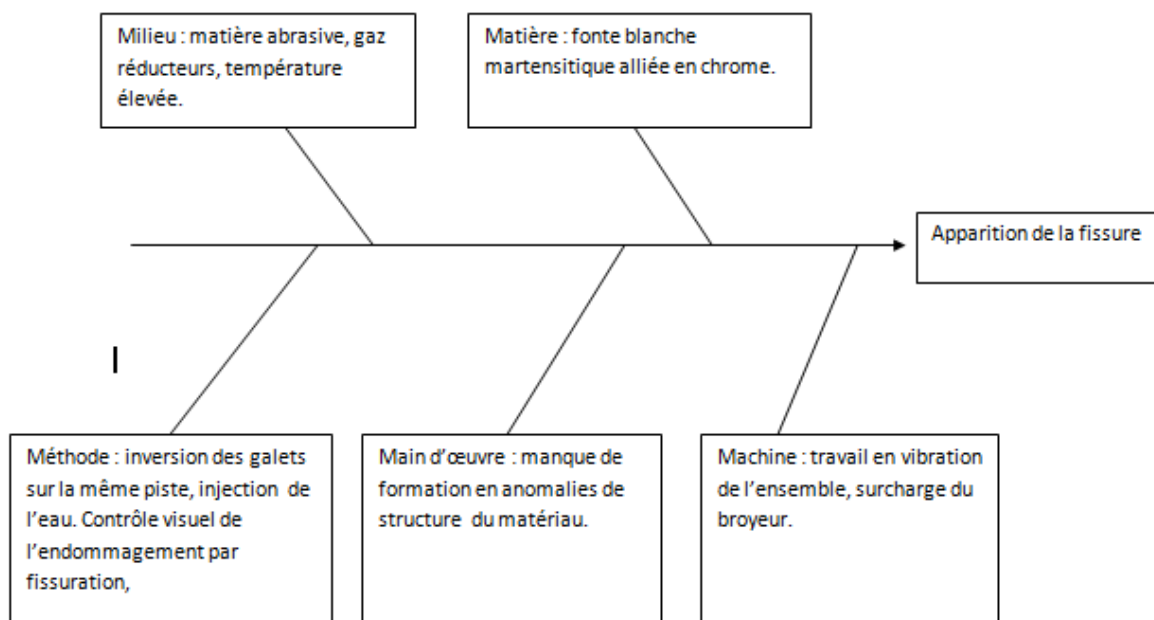


## Chapitre IV: Analyse des modes des défaillances (AMDEC)

### IV-1 Synthèse des causes de la fissuration :

L'étude effectuée rassemble tous les facteurs susceptibles de déclencher ou favoriser l'évolution de la fissure apparue sur le bandage, la cause directe de la création de la microfissure de l'origine est un choc thermique qui a attaqué probablement une inclusion proche de la surface. La concentration des contraintes appliquées au galet, surtout aux zones de changement de l'épaisseur par l'effet de l'usure, ainsi que la vibration excessive subie par l'ensemble pendant une longue durée ont une influence néfaste sur les performances du matériau. La (figure IV-1) correspond à l'arbre cause/effet effectué pour le cas de figure étudié :



**Figure IV-1: Arbre cause/effet de la fissuration des galets du broyeur. [8]**

Cette méthode d'illustration du problème, dite aussi méthode AMDEC, permet de visualiser l'environnement de fonctionnement résumé en cinq éléments connus sous le nom de 5 M.

## IV-2 L'AMDEC MACHINE

Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité.

Selon les objectifs visés, plusieurs types d'AMDEC sont utilisés lors des phases successives de développement d'un produit :

- **AMDEC Produit** : analyse de la conception d'un produit pour améliorer la qualité et la fiabilité de celui-ci.
- **AMDEC processus** : analyse des opérations de production pour améliorer la qualité de fabrication du produit.
- **AMDEC machine** : analyse de l'exploitation d'un moyen ou d'un équipement de production pour améliorer la sûreté de fonctionnement (sécurité, disponibilité, fiabilité, maintenabilité) de celui-ci, c'est le type qui sera utilisé pour le broyeur vertical

L'AMDEC est une technique d'analyse qui a pour but d'évaluer et de garantir la sûreté de fonctionnement des machines par la maîtrise des défaillances. Elle a pour objectif final l'obtention, au meilleur coût, du rendement global maximum des machines de production et équipements industriels. [8]

Son rôle n'est pas de remettre en cause les fonctions de la machine mais plutôt d'analyser dans quelle mesure ces fonctions ne peuvent plus être assurées correctement.

L'étude de l'AMDEC machine vise à :

- **Réduire le nombre de défaillances :**
  - Prévention des pannes.
  - Optimisation de l'utilisation.
  - Amélioration de la surveillance.
  - Amélioration de la maintenance préventive.
  - Détection précoce des dégradations.
- **Réduire le temps d'indisponibilité après défaillance :**
  - Prise en compte de la maintenabilité.
  - Aide au diagnostic.
  - Amélioration de la maintenance corrective.
  - Améliorer de la sécurité.

### **IV-3 PRINCIPE DE BASE**

Il s'agit d'une analyse critique consistant à identifier de façon inductive et systématique les risques de dysfonctionnement des machines puis à en rechercher les origines et leurs conséquences. Elle permet de mettre en évidence les points critiques et de proposer des actions correctives adaptées. Ces actions peuvent concerner aussi bien la conception des machines étudiées que leur fabrication, leur utilisation ou leur maintenance. C'est essentiellement une méthode préventive.

### **IV- 4 DEMARCHE PRATIQUE DE LA METHODE AMDEC**

L'étude AMDEC nous a mené à suivre 3 étapes successives. La puissance d'une étude AMDEC réside autant dans son contenu que dans son exploitation. Notre étude AMDEC resterait sans valeur si elle n'est pas suivie par la mise en place effective des actions correctives préconisées par le groupe, accompagnées d'un contrôle systématique. L'étude peut être prolongée par des travaux complémentaires tels que les calculs de fiabilité et disponibilité, l'élaboration de plans de maintenance et des aides au diagnostic etc. [8]

Les étapes de la démarche AMDEC :

#### **IV- 5 Initialisation**

Cette phase consiste à poser clairement le problème, à définir le contenu et les limites de l'étude à mener et à réunir tous les documents et informations nécessaires à son bon déroulement.

##### **IV-5-1 Définition du système à étudier**

Le système à étudier est le broyeur vertical.

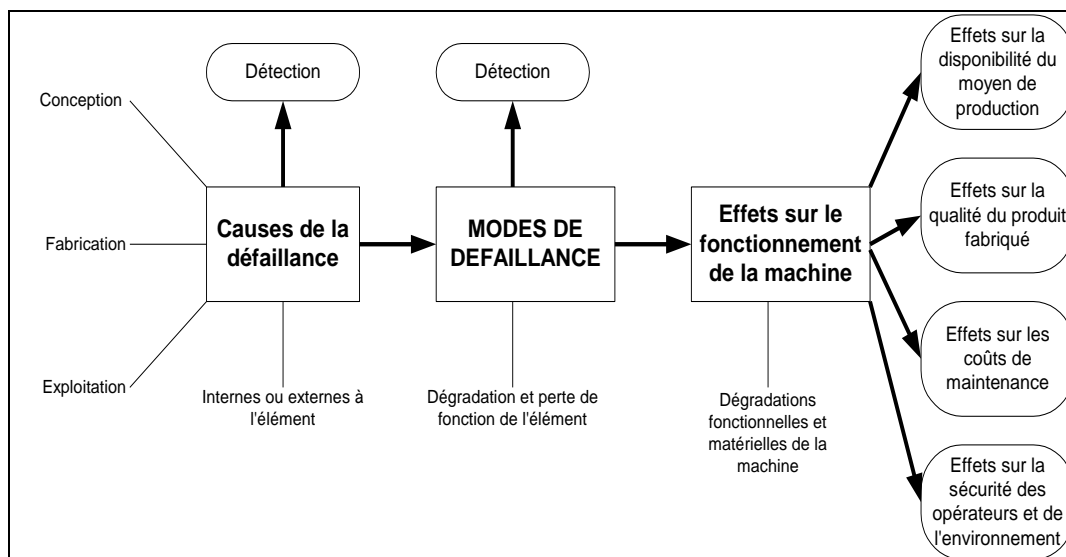
##### **IV-5-2 Définition des objectifs à atteindre**

Le but de cette étude est d'atteindre un taux de fiabilité satisfaisant et d'assurer une efficience et une sécurité de fonctionnement.

### IV-5-3 Mise au point des supports de l'étude :

Préparer les grilles et la méthode de cotation de la criticité, le tableau de saisie AMDEC machine, les feuilles de synthèse. Le tableau de saisie est à remplir par le rédacteur au fur et à mesure de la réflexion du groupe de travail. [8]

### IV-6 Analyse des mécanismes de défaillance :



**Figure IV-2 : Démarche d'étude d'une défaillance [1]**

Cette phase consiste à examiner comment et pourquoi les fonctions du broyeur risquent de ne plus être assurées correctement. On identifie les mécanismes de défaillance des éléments du broyeur de manière exhaustive.

L'analyse des mécanismes de défaillance se base sur l'état actuel du broyeur.

Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	détection
Bandages des galets	Broyage	Usure	Frottements abrasif.	Diminution de la durée de vie/concentration de contraintes.	Visuel après ouverture du broyeur
		Fissure/Rupture	Chocs/fatigue/corrosion.	Arrêt de mouvement/dégât sur l'ensemble.	visuelle
Trains de galets	Maintenir les galets et les tirants	Déviation de la position verticale	Déséquilibre des trains de galets et des tirants	Usure excessive des galets et de la piste	Contrôle de l'usure
Les roulements	Guidage en rotation des galets	Grippage	Introduction de la poussière	Echauffement et blocage des roulements	Arrêt de la rotation des galets
Piste de broyage	Support de la matière broyée	Usure	Usure abrasive	Diminution de la durée de vie/broyage anormal	Mesure de l'usure
		Fissure	Chocs/fatigue/corrosion.	Arrêt de mouvement/dégât sur l'ensemble.	visuelle
Tirants	Maintenir les galets en contact avec la table	Rupture	Fatigue	Arrêt du mouvement	visuelle
Vérins hydrauliques	Pression de maintien des galets	Non stabilité de la pression	Usure des joints	Fuite d'huile	Contrôle de pression d'huile.
			Défaut de la pompe	Chute de pression	

Tableau IV-1: Etude AMDEC du broyeur cru [1]

#### IV-7 Estimation de la criticité :

Cette phase consiste à évaluer la criticité des défaillances de chaque élément, à partir de plusieurs critères de cotation indépendants. Pour chaque critère de cotation, on attribue un niveau (note ou indice). Un niveau de criticité en est ensuite déduit, ce qui permet de hiérarchiser les défaillances et d'identifier les points critiques.

L'évaluation de la criticité se fonde sur l'état actuel du broyeur. Les critères de criticité s'expriment dans le tableau AMDEC par leurs **NIVEAUX** respectifs.

##### IV-7-1 Indice de fréquence F

Il représente la probabilité que la cause de défaillance apparaisse et qu'elle entraîne le mode potentiel de défaillance considéré. Il faut donc tenir compte simultanément de la probabilité d'apparition de la cause et de la probabilité que cette cause entraîne la défaillance. La note F correspond alors à la combinaison de ces deux probabilités. Le barème de cotation varie entre 1 et 4 (voir tableau ci-dessous).

Valeurs de F	Fréquence d'apparition de la défaillance
1	Défaillance pratiquement inexistante.
2	Défaillance rarement apparue (un défaut par an)
3	Défaillance occasionnellement apparue (un défaut par trimestre).
4	Défaillance fréquemment apparue (un défaut par mois).

Tableau IV- 1: Degrés de l'indice de fréquence. [8]

**IV-7-2 Indice de gravité G :**

Les barèmes de cotation, variant de 1 à 5 (tableau suivant), se basent sur les effets provoqués par la défaillance, en terme :

- de Temps d'Intervention (TI) qui correspond au Temps Actif de Maintenance Corrective (diagnostic + réparation ou échange + remise en service),
- de sécurité des hommes ou des biens.

L'indice sanctionne uniquement l'effet le plus grave produit par le mode de défaillance, même lorsque plusieurs effets ont été identifiés.

La note **G = 5** est automatiquement attribuée lorsque l'effet peut impliquer des problèmes de sécurité des personnes, en dysfonctionnement ou en intervention.

Valeurs de gravité G	Gravité de la défaillance
<b>1</b>	<b>Défaillance mineure</b> aucune dégradation notable du système  TI < 30 min
<b>2</b>	<b>Défaillance moyenne</b> nécessitant une remise en état de courte durée. 30 min < TI < 10 h
<b>3</b>	<b>Défaillance majeure</b> nécessitant une intervention de longue durée 10 h < TI < 24 h
<b>4</b>	<b>Défaillance catastrophique</b> très critique nécessitant une longue intervention dommage matériel très important  TI > 24h
<b>5</b>	<b>Sécurité/qualité</b> , accident pouvant provoquer des problèmes de sécurité des personnes, lors du dysfonctionnement ou lors de l'intervention

**Tableau IV-3 : Degrés de l'indice de gravité.**

**IV-7-3 Indice de non-détection D**

C'est la probabilité que la cause ou le mode de défaillance supposés apparus provoquent l'effet le plus grave, sans que la défaillance ne soit détectée au préalable. Le barème de cotation varie entre 1 et 4 (tableau ci-dessous).

Valeurs de la non-détection	Non-détection de la défaillance
<b>1</b>	Les dispositions prises assurent une détection totale de la cause initiale ou du mode de défaillance, permettant ainsi d'éviter l'effet le plus grave provoqué par la défaillance pendant la production.
<b>2</b>	Il existe un signe avant-coureur de la défaillance mais il y a risque que ce signe ne soit pas perçu par l'opérateur. La détection est exploitable.
<b>3</b>	La cause et ou le mode de défaillance sont difficilement décelables ou les éléments de détection sont peu exploitables. La détection est faible.
<b>4</b>	Rien ne permet de détecter la défaillance avant que l'effet ne se produise : il s'agit du cas sans détection.

**Tableau IV- 2 : Degrés de l'indice de détectabilité.**

**IV-8 Calcul de la criticité C**

On Calcule le niveau de criticité, pour chaque combinaison cause / mode / effet, à partir des niveaux atteint par les critères de cotation. La valeur de la criticité est calculée par le produit des niveaux atteints par les critères de cotation. [8]

$$C = F \times G \times D$$



Chapitre IV	Analyse des Modes des Défaillances (AMDEC)								
Date de l'analyse:	Système : Broyeur					Phase de fonctionnement :			
Tableau IV- 3: Etude de la criticité des organes du broyeur cru (1/2)									
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité			
						F	G	D	C
Bandages des galets	Broyage	Usure	Frottements	Diminution de la durée de vie	Visuel après ouverture du broyeur	2	3	4	24
		Fissure/Rupture	Chocs/ frottements	Arrêt de mouvement	Non détectable				
Trains de galets	Maintenir les galets et les tirants	Déviation de la position verticale	Déséquilibre des trains de galets et des tirants	Usure excessive des galets et de la piste	Contrôle de l'usure	2	3	3	18
Les roulements	Assurer le positionnement et la rotation des galets	Usure	Jeu anormale entre le guide de galet et le socle	Vibration excessive	Vibration	2	3	2	12
Piste de broyage	Support de la matière broyée	Usure	Usure abrasive	Diminution de la durée de vie	Mesure de l'usure	2	4	2	16
		Fissure	-	Arrêt de	Non détectable				

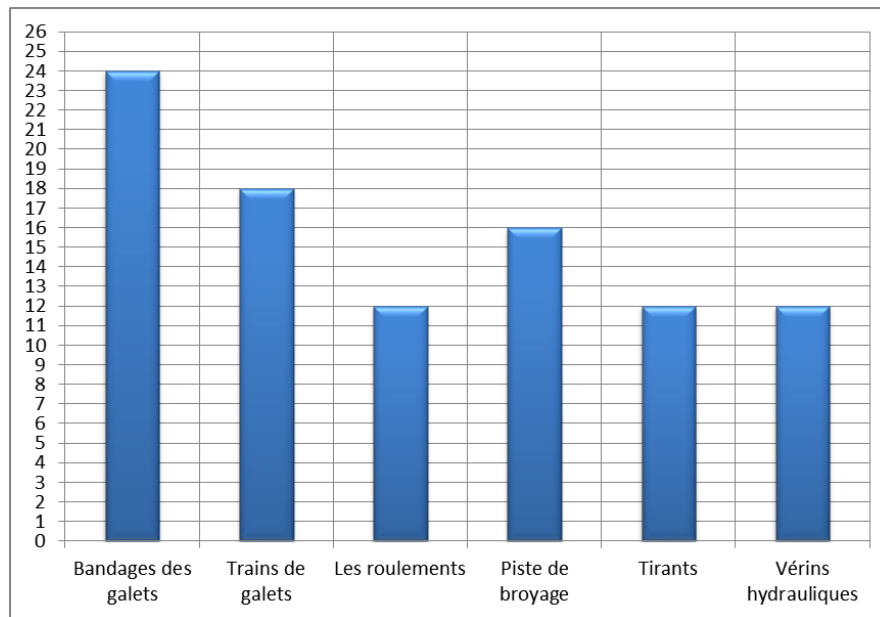
				mouvement					
--	--	--	--	-----------	--	--	--	--	--

Date de l'analyse:	AMDEC – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement :	page : 2 / 2		
	Système : Broyeur vertical BC3		Sous - Ensemble :				Nom : LAFARGE		
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité			
						F	G	D	C
Tirants	Maintenir les galets en contact avec la piste	Rupture	Fatigue	Arrêt de mouvement	Non détectable	1	3	4	12
Vérins hydrauliques	Pression de maintien des galets	pression	Panne de la pompe	Chute de pression	Bouleversement de l'indication de la pression	2	3	2	12

**Tableau IV- 4: Etude de la criticité des organes du broyeur cru (2/2)**

#### IV - 9 Courbe de criticité

Après avoir fixé le seuil de criticité à 13, on trace la courbe de criticité afin de détecter les défaillances nécessitant une action corrective immédiate. En conséquence on remarque que pour les défauts dues à la fissure ou la rupture du galet, l'usure des trains de galets ainsi que l'usure de la piste de broyage sont les plus critiques.



**Figure IV-3 : Diagramme de criticité avant améliorations**

#### IV-10 Les actions rectificatives

En effet l'étude AMDEC doit être suivie pour la proposition et la mise en place de certaines actions correctives afin d'améliorer la rentabilité et la fiabilité du broyeur vertical. Ces actions sont :

- ✓ Effectuer un contrôle non destructif à la réception des équipements notamment les bandages des galets, afin de s'assurer de l'absence de fissures dépassant la longueur critique.
- ✓ Effectuer un retournement périodique (une fois tous les six mois) .
- ✓ Réduire la charge de production du broyeur cru.
- ✓ Choisir des matériaux appropriés pour les bandages et la table de broyage, ayant une certaine dureté extérieure pour assurer un broyage sans être détérioré, et une ductilité interne pour supporter les sollicitations.

**IV-11 Estimation de la criticité par les indices finaux**

Après avoir discuté les actions correctives, le groupe de travail a évalué les indices finaux de criticité comme suit :

Date de l'analyse:	AMDEC – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement :	page : 79 / 2		
	Système : Broyeur vertical		Sous - Ensemble : Les éléments de broyage				Nom : <b>LAFARGE</b>		
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité			
						F'	G'	D'	C'
Bandages des galets	Broyage	Usure	Frottements	Diminution de la durée de vie	Visuel après ouverture du broyeur	1	1	3	3
		Fissure/Rupture	Chocs/ frottements	Arrêt de mouvement	Non détectable				
Trains de galets	Maintenir les galets et les tirants	Déviations de la position verticale	Déséquilibre des trains de galets et des tirants	Usure excessive des galets et de la piste	Contrôle de l'usure	1	1	2	2
Les roulements	Orienter le mouvement des trains de galets	Usure	Jeu anormale entre le guide de galet et le socle			1	1	1	1
Piste de broyage	Support de la matière broyée	Usure	Usure abrasive	Diminution de la durée de vie	Mesure de l'usure	1	2	1	2
		Fissure	-	Arrêt de mouvement	Non détectable				

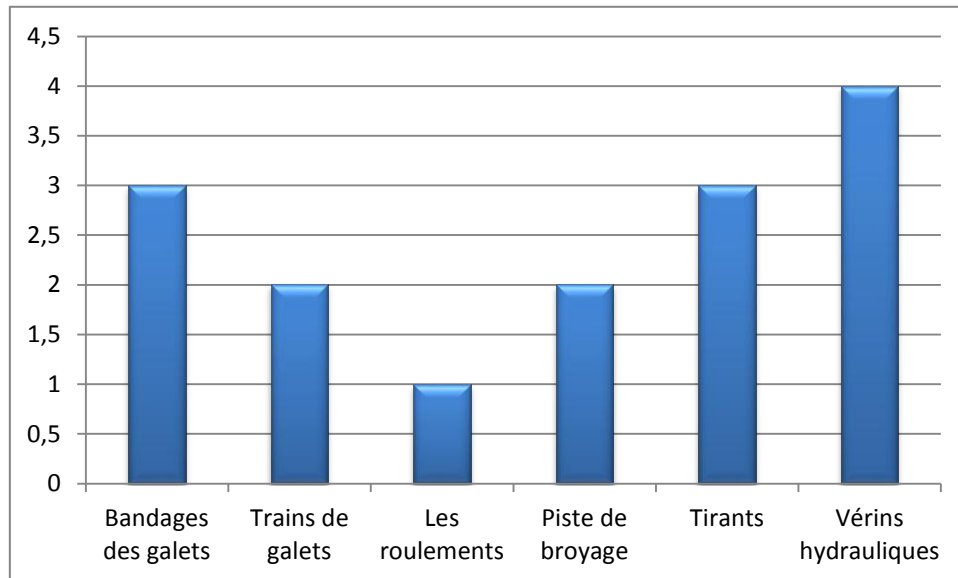
Tableau IV- 5: Etude de la criticité après amélioration(1/2).

Date de l'analyse:	AMDEC – ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ					Phase de fonctionnement :	page : 2 / 2		
	Système : Broyeur vertical cru		Sous - Ensemble :				Nom : LAFARGE		
Élément	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet de la défaillance	Détection	Criticité			
						F'	G'	D'	C'
Tirants	Maintenir les galets en contact avec la piste	Rupture	fatigue	Arrêt de mouvement	Non détectable	1	1	3	3
Vérins hydrauliques	Pression de maintien des galets	Non stabilité de la pression	Usure des joints	Fuite d'huile	Bouleversement de l'indication de la pression	1	2	2	4
			Panne de la pompe	Chute de pression					

Tableau IV- 6: Etude de la criticité après améliorations(2/2)

**IV - 12 Courbe de criticité finale :**

Après avoir évalué la criticité finale, on trace la courbe de criticité finale afin d'évaluer l'impact des actions correctives.



**Figure IV- 4: Diagramme de criticité après améliorations.**

On remarque que les actions correctives pourront contribuer de façon très significative dans la prévention des incidents qui surgissent au niveau du broyeur vertical.

**Suivi :**

Afin d'assurer l'efficacité de la mise en œuvre de l'AMDEC, une opération de suivi paraît nécessaire, puisqu'elle nous permettra de s'assurer que toutes les actions décidées ont été réalisées et que les nouvelles valeurs de criticité sont effectivement atteintes.

Le suivi s'effectue selon les étapes suivantes :

La mise en place d'un planning pour entamer les actions.

- ❖ Assurer une bonne gestion logistique en matière d'approvisionnement des ressources et des moyens nécessaires aux actions mises en œuvre.
- ❖ Prendre en compte les mises à jour :
  - Documentation.
  - Gamme de maintenance.

**IV-13 Gamme de maintenance concernant le broyeur vertical :**

Afin d'assurer une bonne gestion de la maintenance du broyeur vertical, une gamme de Maintenance paraît nécessaire à mettre en œuvre :

<b>Composante</b>	<b>Action</b>	<b>Type de maintenance</b>	<b>fréquence</b>	<b>Etat du broyeur</b>
<b>Bandages du galet et Piste de broyage</b>	Contrôle de l'usure	Préventive	1 fois/trimestre	Arrêt
	Contrôle des fissures par moyens de CND	Préventive	1 fois/15 Jours Ou selon l'évolution des fissures	Arrêt
<b>Vérins hydrauliques</b>	Contrôle de la pression des vérins.	Préventive	Chaque jour (salle de contrôle)	Marche
	Contrôle des fixations.	Préventive	1 fois/semaine	Arrêt
	Contrôle des fuites d'huile.	Préventive	Chaque 2 jour	Marche
	Contrôle des vibrations	Préventive	Chaque jour (salle de contrôle)	Marche
<b>Tirants</b>	Contrôle de la fixation des tirants	Préventive	1 fois/semaine	Arrêt
<b>Guide galets et socles</b>	Contrôle de l'usure	Préventive	1 fois/trimestre	Arrêt
	Si le jeu est supérieur à 15 mm rechargement en matière	Corrective	/	Arrêt

**Tableau IV-7 : Gamme de maintenance concernant le broyeur vertical.**



**IV-14 Conclusion :**

Cette analyse nous a permis de définir les éléments les plus défaillants du broyeur cru. Les galets du broyeur ont le plus grand facteur de criticité, ce qui explique les actions correctives qui doivent s'appliquer sur ce dernier.

En déterminant les suivis et les actions nécessaires pour réduire la criticité des galets, on a établi une gamme de maintenance relative au broyeur vertical. On a réussi ainsi à réduire la criticité du bandage du galet d'un facteur de **24** initialement à un facteur de **3**.