IV. 1. INTRODUCTION

L'objectif de notre travail est de faire une analyse vibratoire à deux systèmes qui sont un réducteur de broyeur et un ventilateur au niveau de la platerie TOUAB qui se trouve à Boussaâda, willaya de M'sila.

Le système industriel et particulièrement le domaine des plâtreries et cimenteries, généralement les usines de l'extraction des métaux disposent de machines et d'installations de plus en plus performantes et complexes. Les exigences de haute sécurité, la réduction des coûts d'exploitation et la maîtrise de la disponibilité des équipements donnent à la maintenance des systèmes un rôle prépondérant.

Elle doit permettre de n'intervenir qu'en présence d'éléments défectueux, de minimiser le temps de réparation, et de fournir un diagnostic fiable et facilement interprétable malgré la complexité des équipements. Or, les coûts de maintenance représentent une part particulièrement importante du duré de vie. Aussi l'optimisation de ces coûts est un enjeu majeur dans ce secteur concurrentiel et stratégique dans les secteurs de l'habitat et la construction.

L'extraction du gypse représente la partie en montée de cette industrie et à l'opposé, la partie en aval qui est la panne. La maintenance de ces systèmes de transmission occupe un temps relativement important par rapport à leur temps d'utilisation. C'est pourquoi, actuellement la recherche scientifique vise à développer les outils et les méthodes de contrôle nécessaires à l'optimisation de la maintenance de tels systèmes. [27]

Le choix des méthodes de surveillance est conditionné par la nature des installations et des dégradations éventuelles. Il s'agit d'opérations pouvant être réalisées en fonctionnement (mesures de température, surveillance vibratoire ou acoustique, …) ou menées en différé (analyse de lubrifiant) nécessitant des arrêts programmés du système. Cependant, et jusqu'à une date récente, dans cette industrie, l'entretien des machines et le remplacement des pièces soumises à usure pouvait être envisagée de deux manières : l'attente de la casse (maintenance corrective) ou le remplacement à intervalles réguliers (maintenance systématique) [28, 29,30]. L'attente de la casse n'est plus économique et les interventions systématiques sont souvent inutiles, coûteuses en pièces de rechanges, en main d'œuvre et en perte de production. Cependant, la dispersion de géométrie, l'hétérogénéité des matériaux utilisés ou les surcharges d'utilisation peuvent entraîner des défaillances avant la date optimale prévue. [31]

Par conséquent, la sécurité s'impose et devient un paramètre primordial pour l'entreprise. de ce fait, la gestion des pièces de rechange est un aspect essentiel de la gestion de l'entretien ,en effet, bon nombre d'entreprises consacrent 1/5 de leur budget d'entretien,

aux pièces de rechange, sans oublier qu'un manque de pièces de rechange à un moment critique, peut induire des frais directes et indirectes importantes [29].

Ces frais peuvent être liés à la production (arrêt de la machine, perte de production, plaintes de clients…) ou à la maintenance (commandes en urgence, dégâts secondaires…). En plus, lors des arrêts et des remises en services et compte tenu des erreurs humaines inévitables, ces interventions peuvent nuire à la fiabilité [22, 30]. De ce fait, la surveillance et le diagnostic des systèmes mécaniques sont devenus l'une des préoccupations majeures des industriels. Afin de minimiser les temps d'immobilisation et de révision, le procédé de maintenance recommandé est celui de la maintenance préventive conditionnelle : maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (niveaux de signaux issus de capteurs, température, mesure d'usure…) révélateur d'un état de dégradation du bien. Ainsi, le système n'est arrêté que lorsqu'il existe une certaine probabilité de défaillance, définie par l'analyse de niveaux d'indicateurs issus de mesures et établis en permanence au cours du fonctionnement.

Les travaux de recherche dans ce domaine ont donc pour objectif de définir une politique de maintenance préventive conditionnelle basée sur l'utilisation d'outils adéquats et adaptés aux systèmes mécaniques. Cette politique de maintenance permettra ainsi à l'équipe de surveillance de diagnostiquer les défauts apparaissant sur le système en fonctionnement et de décider des actions de maintenances nécessaires, (figure IV.1.)Parmi les différentes méthodes de diagnostic utilisées, l'analyse vibratoire est la plus largement utilisée en maintenance conditionnelle, en raison des performances croissantes du traitement du signal. Elle nécessite d'analyser et de suivre l'évolution de spectres mesurés en un ou plusieurs points de la machine, afin de cerner l'apparition d'éventuelles raies caractéristiques de defaults. [32] Ce qui permet aujourd'hui, l'amélioration continue de la disponibilité et de la sécurité par la détection précoce et le suivi de la dégradation des éléments critiques. [33]

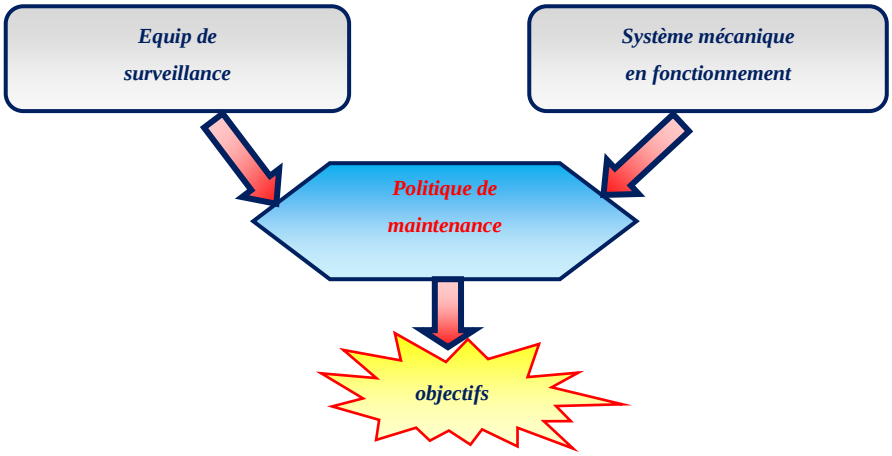

Fig. IV.1 : **Principe d'une fonction globale d'une politique de maintenance**

La méthodologie générale de gestion de la maintenance dans une entreprise, qui facilitera, à terme, la mise en œuvre du suivi par analyse vibratoire d'une machine de production, voire la détection et le diagnostic des dysfonctionnements des machines vitales complexes, telles que les réducteurs et ventilateur radiale dans la chaîne de production d'une plâtre, (figure IV.2). Pour ce faire une intervention à bon escient, en suivant l'évolution dans le temps des symptômes de dérive d'état de l'équipement.

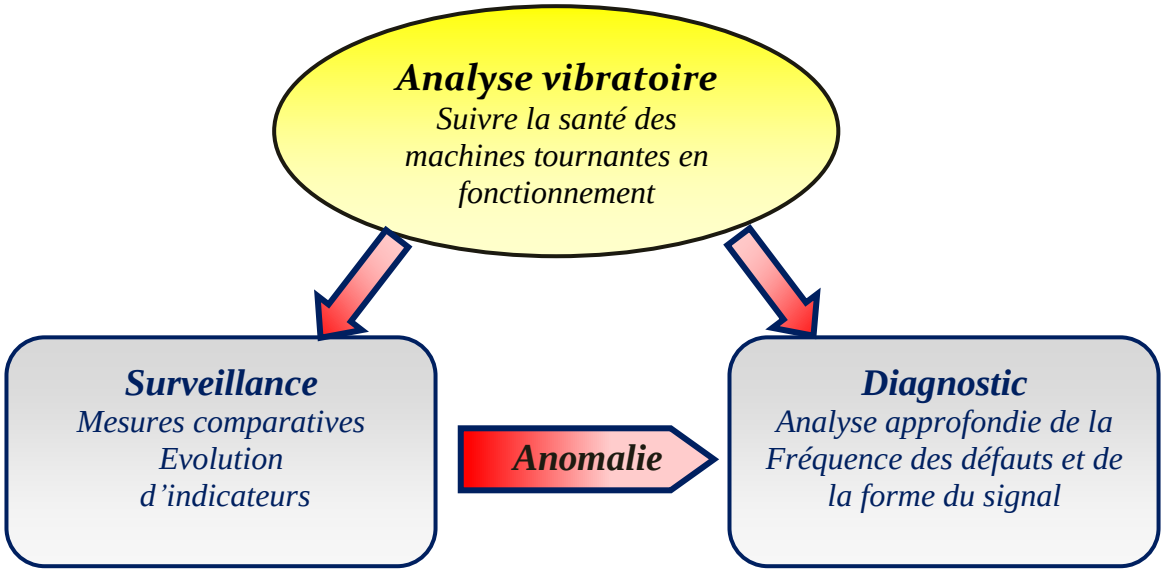

Fig. IV.2 : **Déroulement d'une analyse vibratoire**

Afin d'atteindre cet objectif et en concevant une politique de maintenance préventive, outil générique d'aide à l'élaboration d'un système de diagnostic expert destiné à chaque machine, les travaux doivent être organisé en étapes. Cette politique doit notamment prendre en compte la spécificité du système à surveiller avec ses anomalies probables, les exigences de coûts et de sécurité, les possibilités matérielles concernant les moyens de mesure et de traitement, ainsi que la facilité d'interprétation de l'équipe de surveillance [27]. C'est pourquoi, et afin d'être capable de développer des systèmes de surveillance embarqués efficaces, une démarche rigoureuse doit être entreprise pour définir précisément les relations existantes entre ces éléments. On définit alors les fonctions de service dissociées en fonctions principales et fonctions de contraintes assurées par l'outil à développer, figure IV.3.

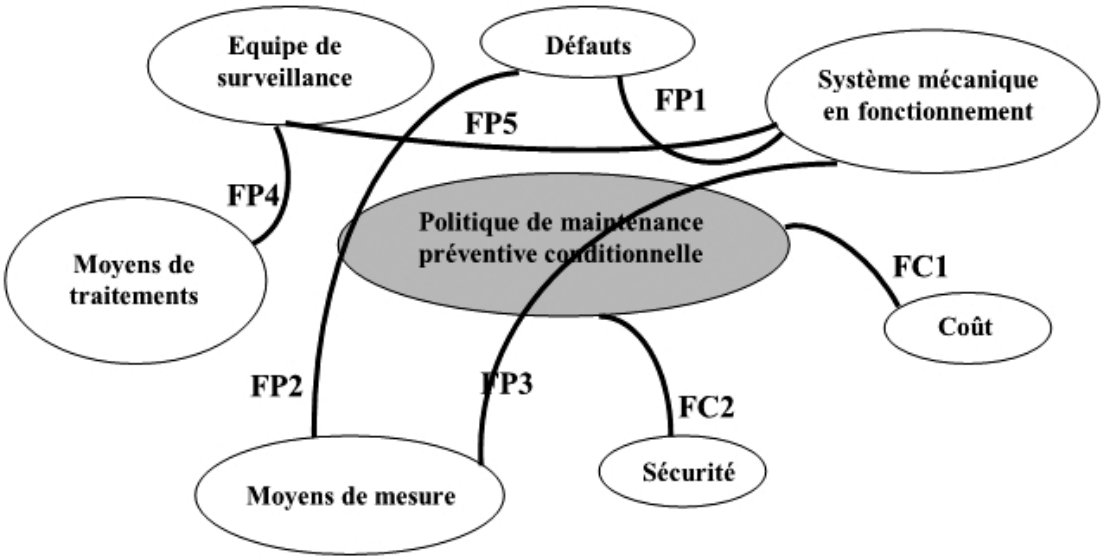

Fig. IV.3 : **Diagramme pieuvre d'une politique de maintenance préventive conditionnelle.**

Les différentes fonctions de service des démarches définissant une politique de maintenance préventive conditionnelle sont les suivantes, tableau IV.1.

Fonction Principale 1	*Identifier les défauts à surveiller sur le système en fonctionnement normal*
Fonction Principale 2	*Définir des moyens de mesure des défauts éventuels.*
Fonction Principale 3	*Définir des moyens de mesure intégrables au système en fonctionnement.*
Fonction Principale 4	*Définir les moyens de traitements nécessaires et suffisants au diagnostic.*
Fonction Principale 5	*Permettre à l'équipe de surveillance de suivre facilement l'évolution de l'état du système.*
Fonction de contrainte 1	*Définir un système de surveillance le moins onéreux possible.*
Fonction de contrainte 2	*Permettre d'obtenir un diagnostic d'une fiabilité donnée.*

Tableau IV.1:Les différentes fonctions de service de M P C

IV.2. PRESENTATION DE LA PLATRERIE

Afin d'optimiser les actions de maintenance programmées, tout en tenant compte de la sûreté de fonctionnement, nous avons fait appel à la maintenance basée sur la fiabilité.

Parmi plusieurs constituants la chaîne de fabrication du gypse, depuis l'extraction du calcaire de la carrière à l'expédition du gypse, (figure IV. 4)tout en passant par les différents processus et procédés de fabrication, et étant donné l'évolution des relations de cause à effet liant les variables du système. [34,35]

Le plâtre est un mélange pulvérulent préparé, depuis les temps antiques, à partir de la calcination du gypse, roche sédimentaire rassemblées en masses énormes d'évaporites, appelée autrefois pierre à plâtre ou pierre des plâtrières que l'on retrouve parfois sous forme d'albâtre ou de cristaux de sélénite. La pierre est généralement extraite de mines ou de carrières souterraines puis cuite et ensuite cassée, broyée et moulue pour donner la poudre blanche du plâtre.

Les deux étapes cruciales sont :

- la calcination du gypse, pour obtenir des matières (micro)cristallines par chauffage et réactions de déshydratation parfois sévères

- la réduction en poudres fines par broyage. L'expression battre le plâtre signifie réduire en poudre ou pulvériser le produit de calcination ou plâtre cuit à l'aide d'un broyeur.

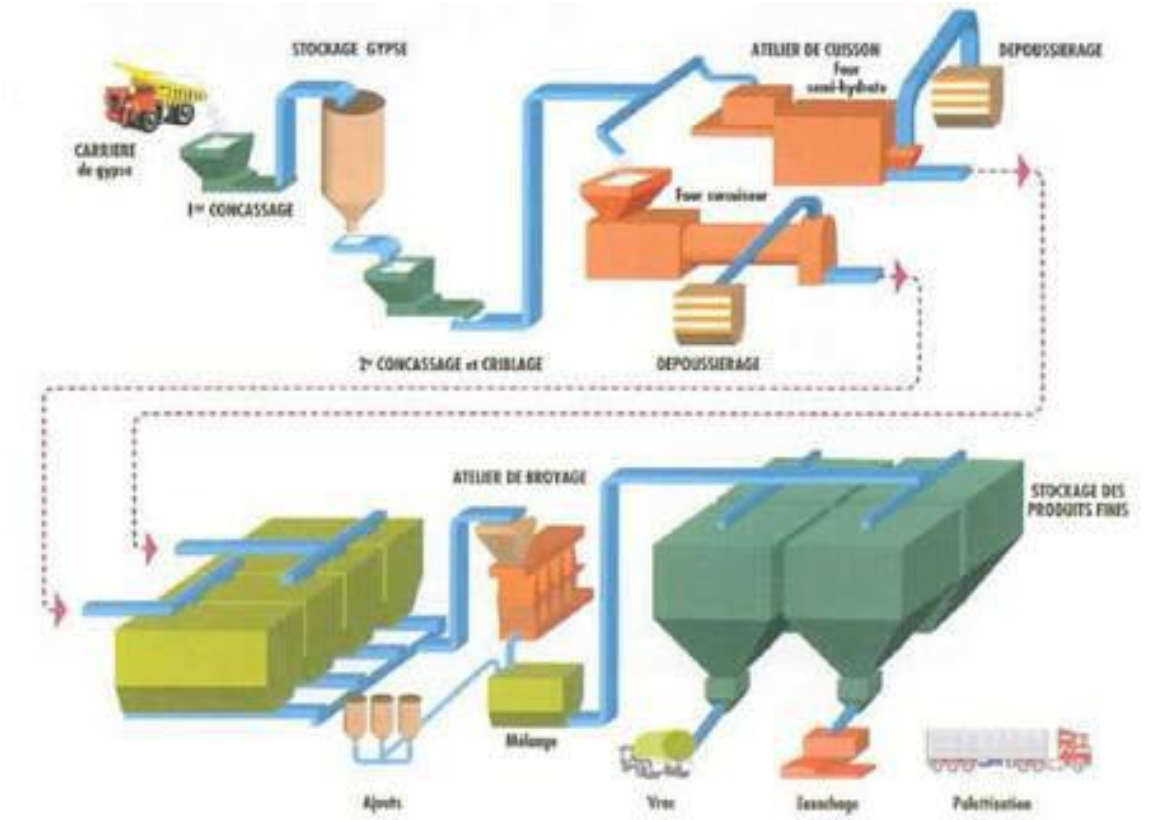

Fig. IV.4 : Le Extraction du gypse.

Aujourd'hui, la fabrication du gypse industrielle nécessite plusieurs étapes minimales :

1 : Extraction du gypse à l'aide d'explosifs, quand il s'agit de gisement à ciel ouvert : « des carrières ».

2 : Acheminement depuis la carrière à l'aide de camions : le gypse subit un concassage, afin de réduire la dimension de ses grains.

3 : Le gypse est transporté à l'aide d'un tapis vers le criblage. Cette opération consiste à ne sélectionner que les grains de diamètre inférieur à 40 mm.

4 : Le gypse ainsi sélectionné est stocké en tas dans un local couvert avant d'être homogénéisé car le gypse extrait n'est pur qu'à 90 %. Aussi il sera mélangé à l'aide d'une machine composée de râteaux qui va mélanger les couches de gypse.

5 : Toujours à l'aide de tapis, le gypse est conduit dans un four droit rotatif où il sera placé dans un moulin où, à l'aide d'une vis sans fin, il est broyé et écrasé (comme dans un moulin à café).

- Selon les variétés locales, la poudre gypseuse était cuite à au moins150 °C. Ce four permet de faire remonter le gypse cuit par le haut du four, tandis que les impuretés plus lourdes, restent au fond. D'autres types de four existent (four-culée, four droit, four marmite, sur-cuiseur, autoclave, etc.) qui donnent différentes qualités.

- Après refroidissement à 60 °C il devient du semi-hydrate (le gypse a perdu une molécule d'eau et demi)

- Les conditions opératoires restent complexes : selon la température du four et sa conception, apparaissent des phases de cristallinité variables, en nature et en proportions, dans le mélange : de 121 ou 132°C à environ 150°C, l'hémi hydrate est le produit principal. Vers 200°C, l'anhydrite soluble s'impose. Un chauffage limite vers 200°C, avec différents paliers, donne une solution solide hexagonale qui correspond grosso modo aux premiers travaux des chimistes français pour concevoir le plâtre de Paris, soit un plâtre d'hémi hydrate β mais ce matériau de faible résistance mécanique demeure un solide microporeux avec plus ou moins d'anhydrite soluble pour faciliter la prise. Si on chauffe à environ 400°C, de l'anhydrite insoluble est obtenue. Il est alors possible, à ce stade, de préparer diverses phases cristallines qui seront utilisées pour formuler un plâtre idoine. L'ensemble des diverses préparations peut être réhydraté à 25°C.

- le traitement en autoclave permet d'obtenir du plâtre d'hémi hydrate, une variété microcristalline qui, soumise à réhydratation, confère au matériau plâtre consolidé une résistance mécanique élevée, souvent supérieure à 30 MPa.

6 : Le plâtre est ensuite formulé, c'est-à-dire que les différentes variétés (micro)cristallines d'hémi hydrates et d'anhydrites sont mélangées dans un malaxeur avec différents ajouts (souvent quelques parties pour mille) :

- de l'amidon, pour améliorer l'adhésion entre le plâtre et le carton.
-des adjuvants.
-des retardateurs pour modifier les temps de prise du plâtre.
- des colorants.
- des additifs divers, etc. [36]

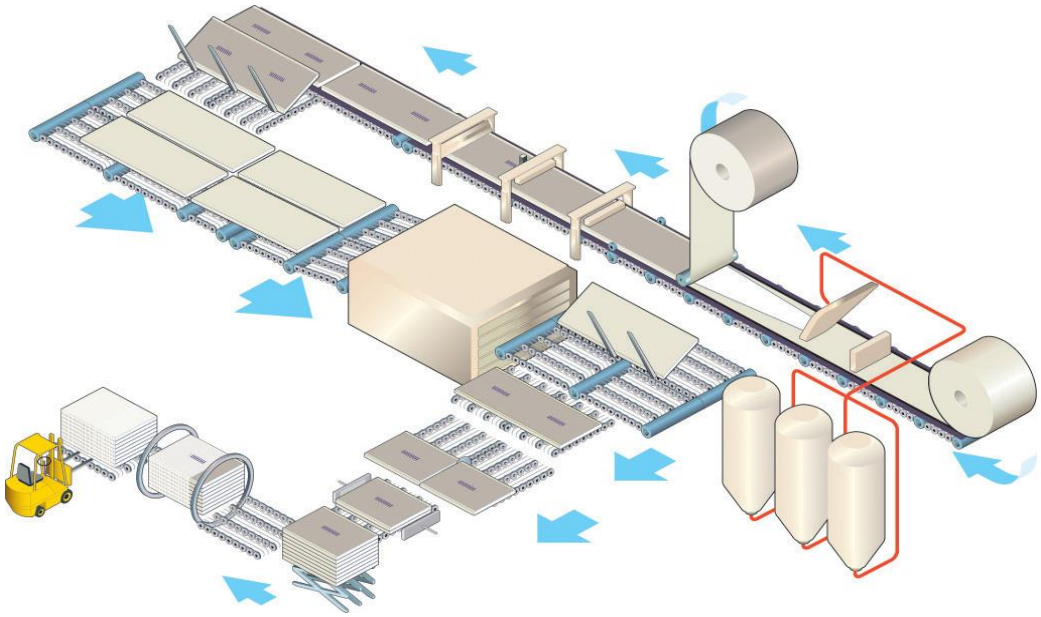

Fig. IV.5 : fabrication plaque de plâtre.

L'objectif donné était de fournir les éléments nécessaires au suivi du comportement du réducteur pour broyeur et ventilateur radial. Il s'agissait de définir les signatures des éléments susceptibles de s'endommager à partir des signaux recueillis sur un système en fonctionnement. Pour mener à bien l'application de l'analyse vibratoire à la plâtrerie TOUAB, un système de surveillance a été mis en application, (figure IV.6).

La fonction "santé" d'une machine tournante est basée sur la mise en place d'un ou de plusieurs indicateurs avec des seuils prédéfinis à ne pas dépasser, indicateurs calculés à partir des signaux vibratoires des pièces surveillées.

La définition de ces seuils d'intervention est certainement l'une des opérations la plus délicate et la plus importante pour un bon dépistage. Ces seuils prédéfinis, peuvent être fixés en s'appuyant sur des normes (tableauIV.2), des études statistiques ou des historiques de machines ou par fois encore, en fonction de l'expérience du constructeur.

Niveaux vibratoires admissibles (mm/s en RMS)		Groupe 1		Groupe 2		Groupe 3		Groupe 4	
Amplitude efficace de la vitesse vibratoire (mm/s) [10 ; 1000] Hz	28		Mauvais		Mauvais		Mauvais		Mauvais
	18		Mauvais		Mauvais		Mauvais	18	Limite
	11.2		Mauvais		Mauvais	11.2	Limite		Limite
	7.1		Mauvais	7.1	Limite		Limite	7.1	Moyen
	4.5	4.5	Limite		Limite	4.5	Moyen		Moyen
	2.8		Limite	2.8	Moyen		Moyen	2.8	Bon
	1.8	1.8	Moyen		Moyen	1.8	Bon		Bon
	1.12		Moyen	1.12	Bon		Bon		Bon
	0.71	0.71	Bon		Bon		Bon		Bon
	0.45		Bon		Bon		Bon		Bon

Tableau IV.2 : Niveaux vibratoires admissibles sur les machines tournantes
AFNOR E 90 300(ISO 2372)

Le dépassement d'un seuil conduit à pratiquer une analyse plus complexe en faisant appel aux outils de diagnostic. Le choix du seuil est fondamental, car avec :

- une valeur trop basse du seuil, des alarmes fréquentes et injustifiées se manifeste ;
- une valeur trop élevée, une panne peut se produire sans alarme préalable.

Pour connaître l'état de 'santé' d'une machine tournante, un système de surveillance a été adopté, utilisant le logiciel GRENZEBACH (auto-surveillance). Ce logiciel est conçu pour affichée les données de vibrations, recueillies sur les machines tournantes à l'aide de capteurs et permet la présentation des signaux ainsi qu'une meilleure visualisation des signaux dynamiques.

Le préventif appliqué au réducteur et ventilateur radiale consiste à surveiller et analyser de façon continue l'état de fonctionnement ainsi que son évolution dans le temps et de décider les opérations de maintenance nécessaires. Par ailleurs, une précision doit être faite quant au terme de diagnostic. Il faut en effet dissocier du terme de dépistage.

Le dépistage a pour objectif de mettre en évidence l'existence d'une anomalie à un stade précoce et de suivre son évolution sans obligation d'information sur l'origine du dysfonctionnement.

Au contraire, le diagnostic doit permettre d'identifier avec précision la nature de l'anomalie et si possible d'en indiquer la gravité .L'une des clés du succès d'un programme d'analyse des vibrations est la mise en place de bonnes limites d'alarme. En vérité, très peu de programmes ont de bonnes limites d'alarme.

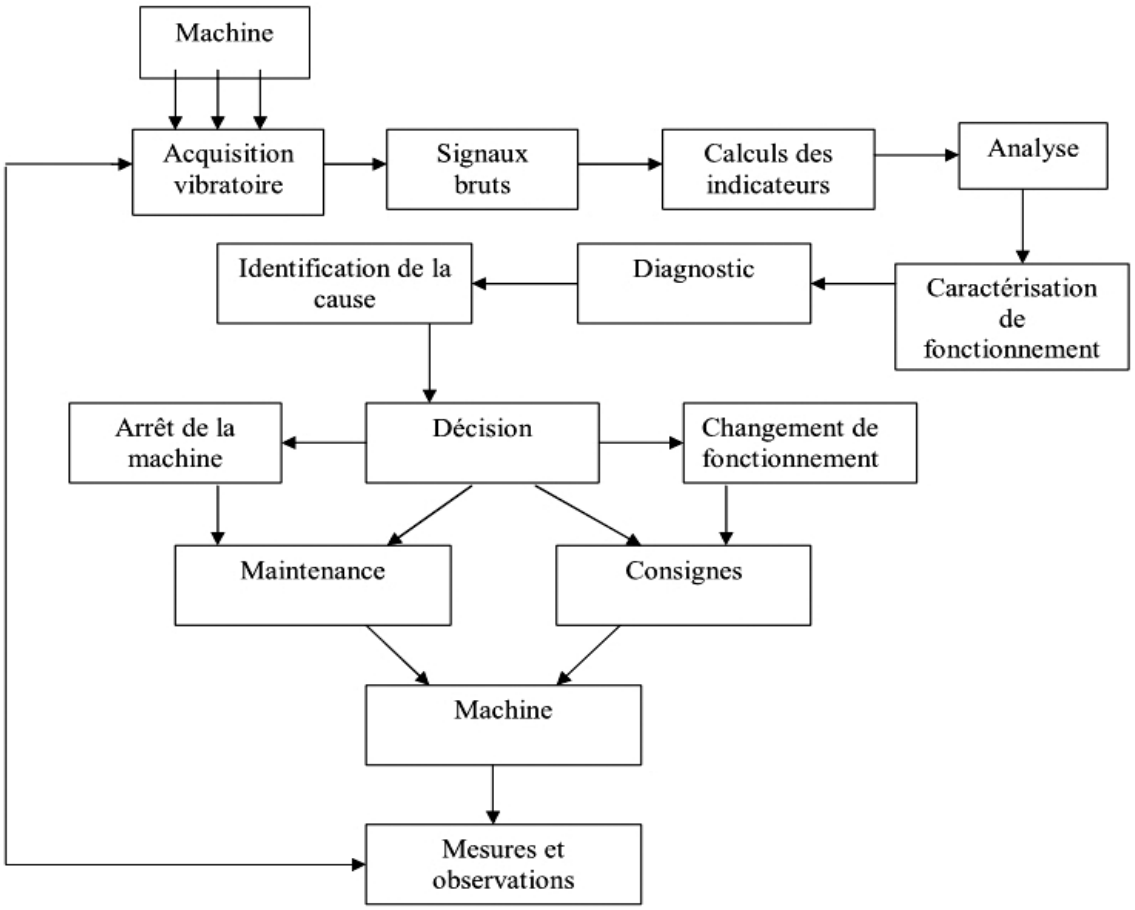

Fig. IV.6 : Les différentes étapes de diagnostic d'une machine tournante

IV.3. DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT DU REDUCTEUR

Le réducteur est une installation, entre le moteur électrique et le broyeur (Figure IV. 7). L´engrenage pour broyeur verticale se compose d´un engrenage conique à roues droites et à trois étages totalement intégré au boîtier.

Les couples de rotation sont transmis comme suit :

Un arbre d'entrée horizontal entraîne, à travers une paire de roues coniques et deux roues droites montées en ava1, un arbre de sortie vertica1, muni d'une flasque de sortie dans sa partie supérieure. Un palier axial à segments pivotants, monté sous la flasque de sortie, dans le boîtier, équilibre les grandes forces axiales, occasionnées par le bac de broyage.

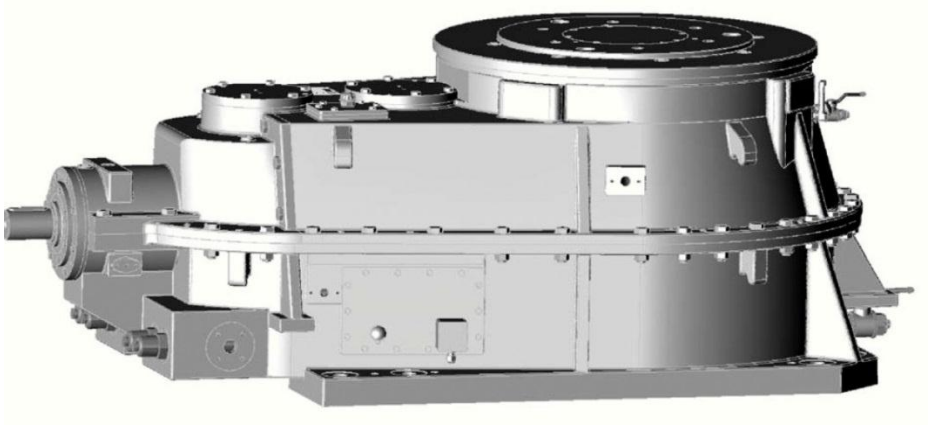

Fig. IV.7 : réducteur pour broyeur

On a les caractéristiques techniques du réducteur et les fréquences caractéristiques :

Dimensions : L = env. 1910 mm, l = 980 mm, H = 670 mm

Poids : 2950 kg

Puissance : 75 kW nom.

Régime

n1 : 1480 tr/min.

n2 : 50 tr/min.

n1 : 24.67 Hz.

n2 : 0.83 Hz.

Le capteur utilisé :

Le capteur utilisé est capteur de vitesse (VélocimétriesVS-069) mesure le mouvement absolu de l'organe sur lequel elle est fixée. Les vélocimétries les plus courants sont constitués d'une masse sismique reliée au boîtier par un ressort et solidaire d'une bobine qui se déplace dans un champ magnétique permanent créé par un barreau aimanté.

Le mouvement de la bobine, induit par la vibration du palier sur lequel est fixé le capteur, génère une tension proportionnelle à la vitesse du mouvement de la bobine. performant grâce à la liaison à un ordinateur équipé d'un logiciel appelé≪ Grenzebach≫ spécialement conçu pour exposer les donnes et contrôler les déférent des machines.

Ce type de logiciel est spécialement conçu pour la maintenance conditionnelle et prédictive d'un parc machines et en particulier les machines tournantes à partir d'opérations simples et rapides. Installés à demeure sur les machines, ils assurent une surveillance permanente en comparant l'intensité vibratoire de la machine, mesurée à deux seuils indépendants préréglés. Les relevées vibratoires de fonctionnement sont réalisées grâce aux capteurs.

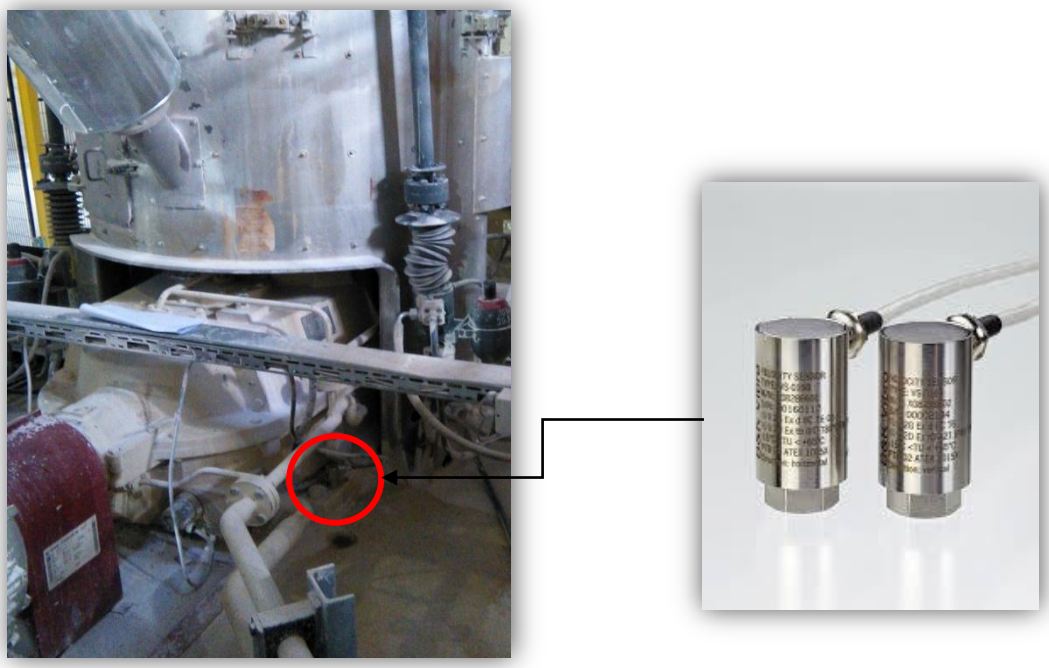

Fig. IV.8 : capteur de vitesse de réducteur

Alors, Vu les constations (changement du rythme de fonctionnement du réducteur) signalées par les ouvriers travaillant sur la chaîne de production du gypse. Un système de surveillance a été adopté et pour avoir beaucoup plus d'informations sur le réducteur, nous avons surveillé les vibrations de réducteur et enregistré la valeur de vitesse au début de chaque heure.

En a deux seuils :

- seuil alarme (H) en jaune. [+0.8 mm/s].
- seuil alarme (HH) en rouge. [+1.6 mm/s].

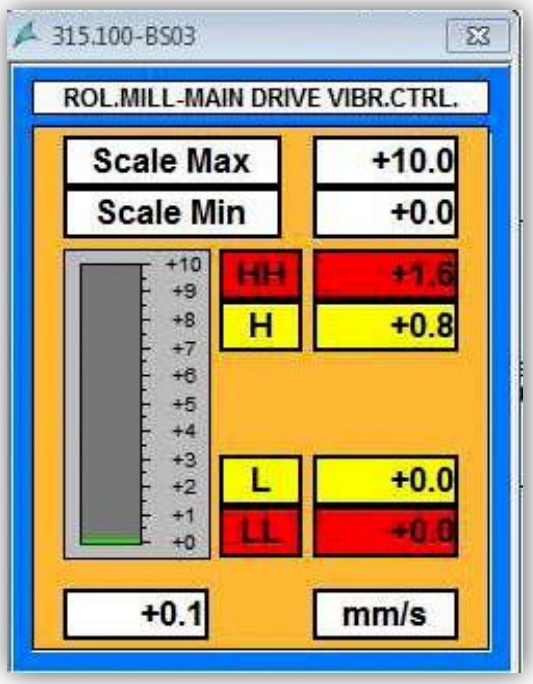

Fig. IV.9 : les deux seuils de vibration de réducteur de broyeur.

Les résultats :

Dans ce point, Le suivi dans le temps de l'évolution du niveau vibratoire nous donne des informations significatives. On constate l'évolution de la vitesse des engrenages dans la direction axiale (figure IV.10, IV11). Elle suivez-les niveau global vitesse sur temps.

Nous notons que l'indicateur du niveau global de vitesse reste stable et donc l'état vibratoire du réducteur est supposé bon.

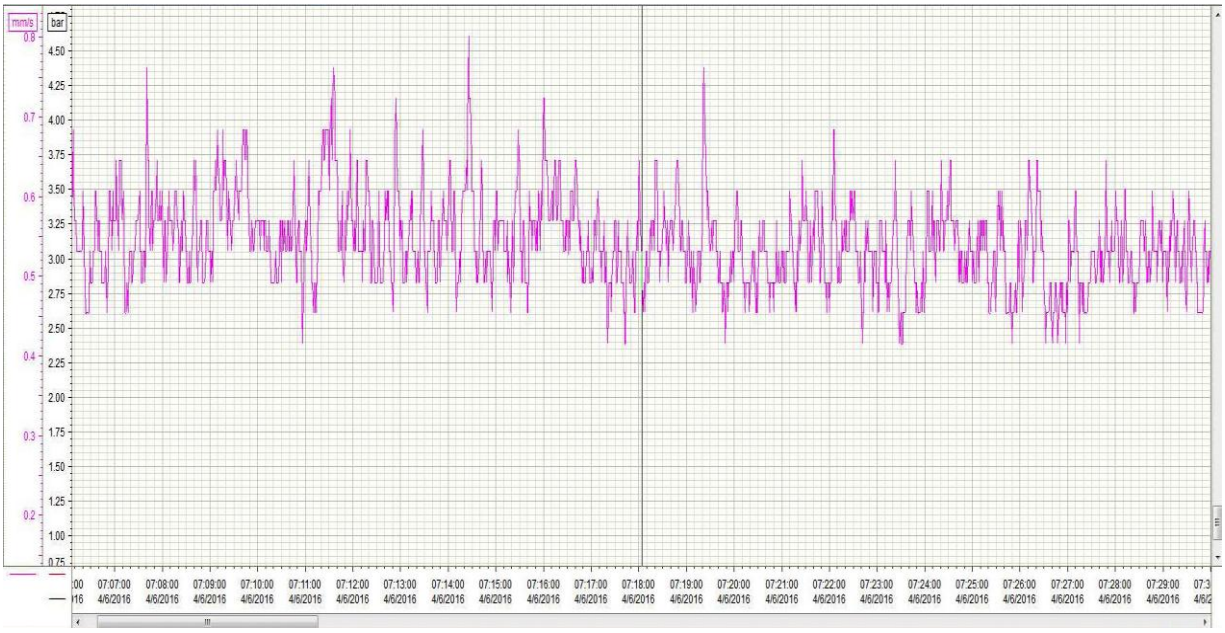

Fig. IV.10 : le signal vibration du réducteur

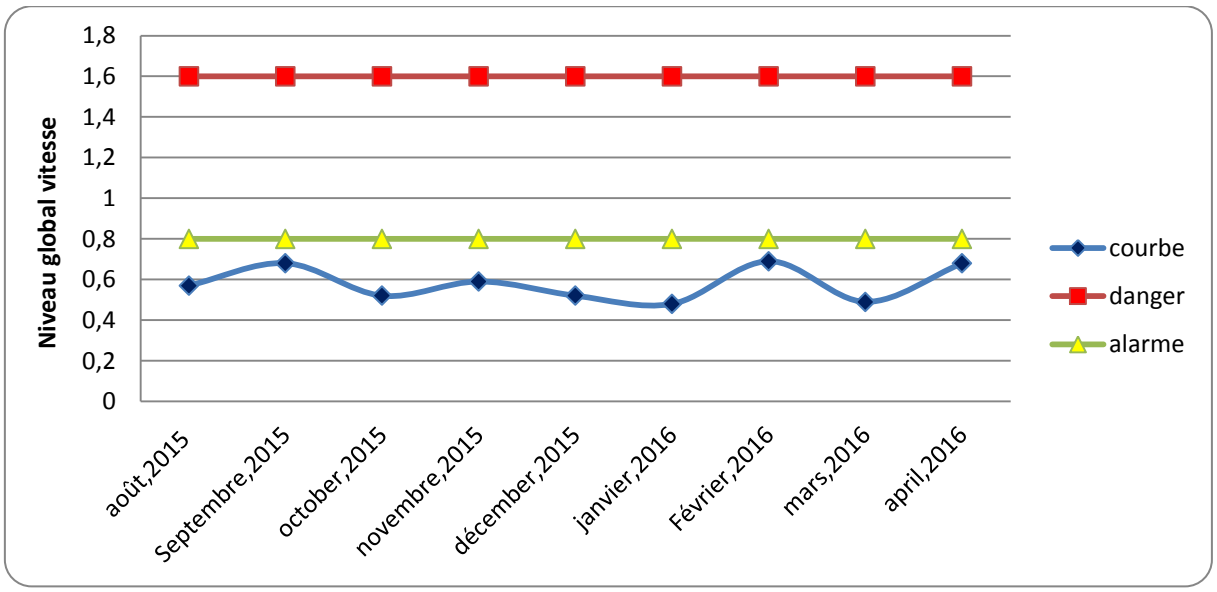

Fig. IV.11 : **la tendance vitesse du réducteur**

IV.4. DESCRIPTION FONCTIONNEMENT DU VENTILATEUR RADIAL

Les ventilateurs radiaux sont des turbomachines qui servent à véhiculer des gaz, de la vapeur, des brouillards ou d'autres mélanges chargés ou non en poussières.

Le ventilateur radial se compose essentiellement d'une volute avec buse d'admission et orifice de sortie, d'un rotor et d'un entrainement. La fluide véhiculé entre dans le rotor via la buse d'admission. Il est entrainé par es mouvements de rotation et dévié ans la direction radiale.

L'aubage du rotor permet de transformer l'énergie. En d'autres termes, l'énergie mécanique envoyée vers le rotor par le détour de l'arbre et de l'accouplement du moteur d'entrainement est convertie en grande partie en énergie d'écoulement. La volute transforme une partie de cette énergie (pression dynamique) grâce sa section croissante (pression statique). La partie la plus étroite entre la volute et le rotor est formée par le bec.

On a les caractéristiques techniques du ventilateur radial et les fréquences caractéristiques :

Puissance : 250 kW.

Puissance sur l'arbre: 110.9 kW.

Débit volumétrique : 61 100 m^3/h

Température d'aspiration : 80 C^0

Régime

n : 1487tr/min.

n : 24.78 Hz.

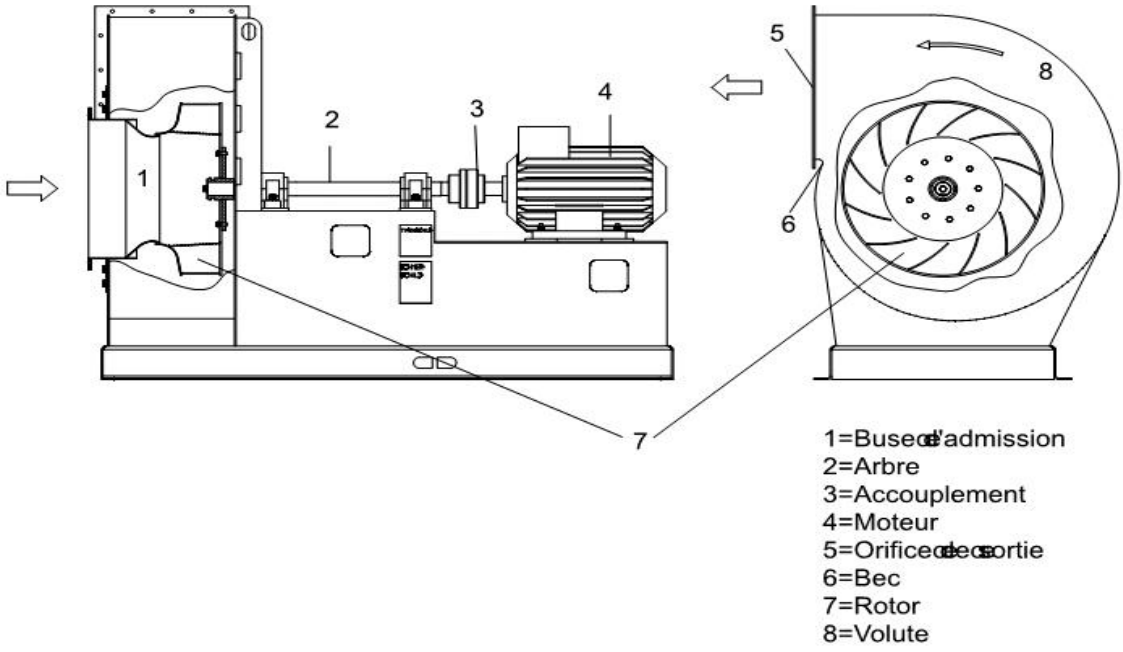

Fig. IV.12 : ventilateur radial

Le capteur utilisé :

On utilise comme type de capteur de genre Piézoélectrique – accéléromètre car ce type fourni plus d'avantages, on peut extraire l'accélération, la vitesse et le déplacement au même temps. C'est un accéléromètre de type piézoélectrique raccordé au à un ordinateur.

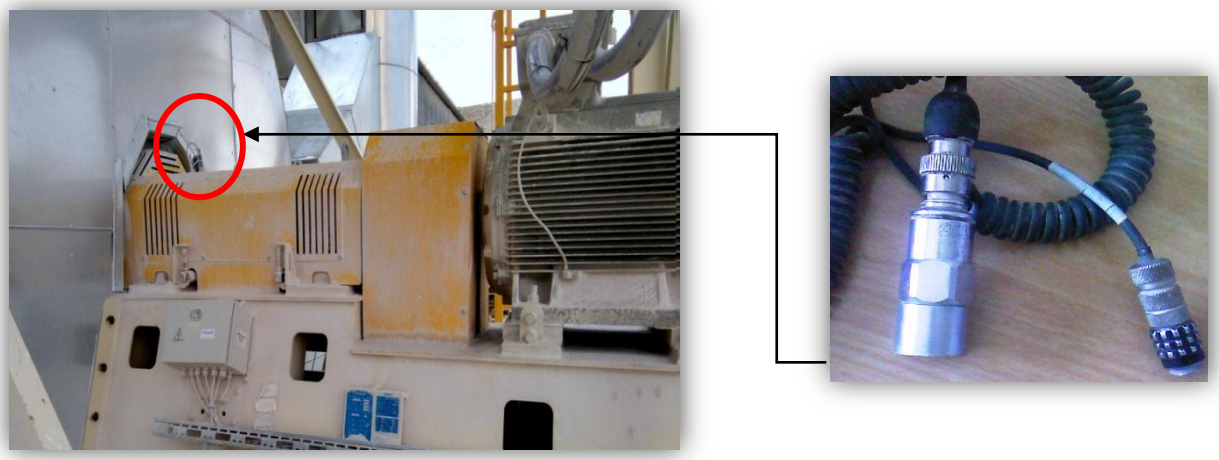

Fig. IV.13 : capteur de vitesse du ventilateur radial

On a pour tendance de vibration ;

- seuil alarme (H) en jaune. [+7.1 mm/s].
- seuil alarme (HH) en rouge. [+9.0 mm/s].

Les résultats :

Dans ce point, Le suivi dans le temps de l'évolution du niveau vibratoire .On constate l'évolution de la vitesse des ventilateurs a niveau de vibration est acceptable (figure IV.14, IV15). Elle retracer du niveau global vitesse sur temps. On constate que l'indicateur du niveau global vitesse reste stable et donc l'état vibratoire est supposé bon état.



Fig. IV.14: le signal vibration du ventilateur radial.

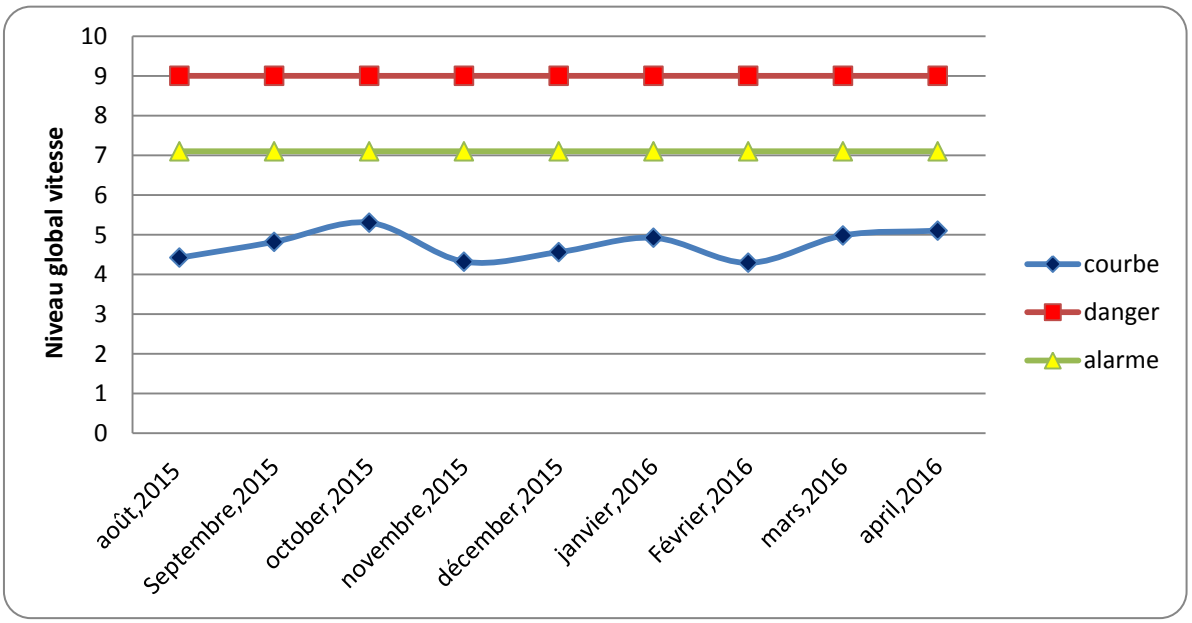

Fig. IV.15 : la tendance du ventilateur radial.

IV.5. CONCLUSION

La mesure niveau global vitesse (voir les figures IV.10, IV.11, IV.14 et IV.15) montre l'intérêt que présente le stockage des données et leur représentation sous forme de diagramme d'évolution. Elle permet, en se rapportant à des références connues (normes, spécifications du constructeur, des mesures antérieures, etc.), de quantifier un état général d'une machine tournante et de juger si le niveau de vibration est acceptable il est important d'en définir la raison et chercher le phénomène excitateur.

Cette mesure permet de détecter la présence d'un défaut, mais ne permet pas de détecter la source du défaut. Si le signal de vibration dépasser seuil d'alarme on a utilisée l'analyse spectrale qui permet de déterminer non seulement l'importance de l'anomalie mais aussi sa nature et de suivre son évolution dans le temps. Et pour donner également des informations sur la tendance des phénomènes et de l'apparition du défaut, voire l'identification de la provenance du défaut.

L'allure de la courbe de tendance du signal vibration de réducteur et du ventilateur radiale .s'est stabilisée. à partir de cette période, les mesures relevées sur le réducteur ou la ventilateur et la comparaison avec les seuils d'alarme niveau global vitesse (IV.10, IV.11, IV.14 et IV 15), n'ont exprimé aucune valeur d'amplitude dépassant les valeurs de seuils. Ce travail valide bien la performance de l'analyse vibratoire dans les travaux de gestion de la maintenance. Cependant, son efficacité dépend en grande partie de l'analyse ainsi que de l'évolution des amplitudes.

Il faut remarquer que ce type de suivi est simple, rapide et peu onéreux. En mettant en application la maintenance conditionnelle, l'entreprise se prépare pour l'application de la maintenance prévisionnelle ainsi que pour la gestion prévisionnelle des données de l'analyse vibratoire, pour son parc machines et en particulier ses machines clés de la production.