



CENTRE DE PARIS

Date : JUILLET 2001

Demandeur : ANTICIPATION ET MAINTENANCE

8, Chemin du Jas de Valèze

13124 PEYPIN

Dossier n° : 63106

ETUDE DU CRISSEMENT DES ROULEMENTS

- RAPPORT -

Les travaux qui sont à l'origine de ce rapport ont été effectués en collaboration avec l'Ecole Nationale Supérieure d'Arts & Métiers, Centre de PARIS

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	3
1.1	Origine du problème.....	3
1.2	Programme des travaux	3
2	RESULTATS DE L'ENQUETE.....	4
3	BANC D'ESSAIS ET CHAINE D'ANALYSE.....	6
3.1	Les paramètres du banc d'essais	6
3.2	Architecture du banc.....	7
3.3	Chaîne d'analyse	7
4	ETUDES D'INFLUENCE.....	8
4.1	Influence du jeu interne	8
4.1.1	Influence étudiée.....	8
4.1.2	Paramètres	8
4.1.3	Principe des essais.....	8
4.1.4	Protocole d'un essai avec changement de jeu interne.....	8
4.1.5	Protocole d'un essai de répétitivité.....	9
4.1.6	Résultats obtenus	9
4.1.7	Analyse temporelle de l'occurrence du phénomène de crissement	10
4.1.8	Analyse fréquentielle du crissement	11
4.1.9	Conclusion	12
4.2	Influence du type de graisse.....	12
4.2.1	Protocole des essais.....	13
4.2.2	Résultats	13
4.2.3	Conclusion	14
5	ALTERATIONS DES SURFACES.....	14
6	CONCLUSION GENERALE.....	17

1 INTRODUCTION

Ce rapport présente l'étude entreprise par la SERAM et l'ENSAM pour la Société Anticipation et Maintenance, concernant l'influence du jeu interne et de la lubrification sur le comportement vibratoire de certains roulements.

1.1 Origine du problème

Cette société commercialise un appareil, le MECASON, qui permet de réaliser, par analyse d'un niveau vibratoire, un premier diagnostic de l'état des roulements d'une machine pendant son fonctionnement.

L'expérience de cette société lui a permis de constater que certains industriels rencontraient des problèmes de durée de vie et de crissement avec les roulements de leurs machines et qu'une corrélation entre l'apparition de ces problèmes et certains paramètres semblait se dégager. Les paramètres en cause seraient :

- une faible charge radiale et une absence de précontrainte axiale,
- une vitesse de rotation située autour de 2000 trs/min,
- un excès de jeu interne,
- le type de graisse.

En s'appuyant sur cette constatation, la Société Anticipation et Maintenance a demandé une étude de ce problème. Après examen des moyens nécessaires à mettre en œuvre pour cerner convenablement toutes les relations d'influences possibles, un programme de recherche a été proposé. Le financement sera couvert à hauteur de 50 % par la Société Anticipation et Maintenance.

1.2 Programme des travaux

- 1) Etude bibliographique sur les aspects du problème (bruit et vibrations des roulements, influences du jeu et de la lubrification, etc.).
- 2) Enquête auprès de sociétés industrielles concernées par ce problème.
- 3) Conception et réalisation d'un banc d'essais spécifique permettant de reproduire la plupart des caractéristiques de montage, de charge, de jeu interne et de fonctionnement pour un type de roulement bien défini (roulements de type NU à une rangée de rouleaux cylindriques), et de tester différents types de graisses.
- 4) Mise en œuvre d'une chaîne de détection, de visualisation, d'analyse et d'enregistrement des vibrations, du bruit et du phénomène de crissement. L'appareil de détection sera le MECASON fourni par la Société Anticipation et Maintenance.
- 5) Mise au point du banc, essais de validation, puis élaboration d'une procédure pour réaliser des essais significatifs de corrélation d'influence et de comparaison.
- 6) Etude de l'influence du jeu interne des roulements sur le crissement.
- 7) Etude de l'influence du type de graisse

Ultérieurement, et suivant les résultats obtenus dans cette première étape, il pourra être envisagé de poursuivre par :

- l'étude de la dégradation des roulements en fonction de la durée du crissement,
- l'influence du jeu, de la graisse, de la vitesse et du niveau de crissement sur cette dégradation,
- l'influence du montage et de la charge.

Ce rapport présente trois parties : les résultats de l'enquête, le banc d'essais et la chaîne d'analyse, enfin, les études d'influence.

Un document d'annexes le complète. Il comporte plusieurs parties, dont une synthèse bibliographique, les réponses à l'enquête et quelques documents d'analyse et d'essais.

2 RESULTATS DE L'ENQUETE

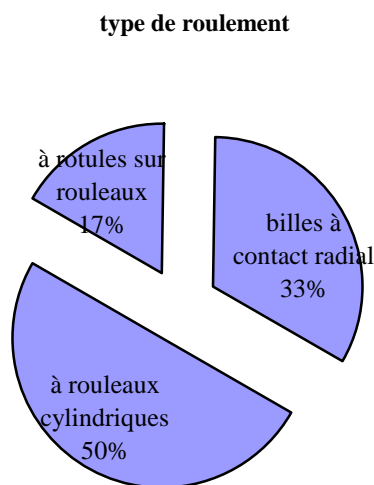
La Société Anticipation et Maintenance a établi une liste d'industriels avec lesquels elle avait des contacts techniques.

L'enquête effectuée s'est présentée sous la forme d'un questionnaire envoyé à 70 industriels. Seules 10 réponses ont été reçues.

La liste, le questionnaire et les réponses sont consignées dans les annexes C.

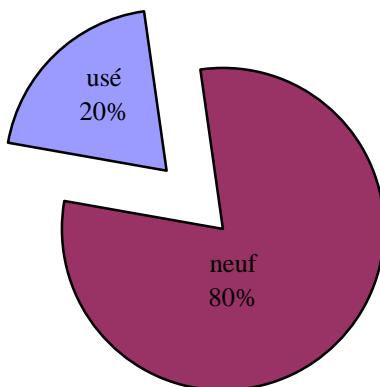
Les quatre principaux résultats peuvent être résumés sous forme de tableaux.

Le type de roulement



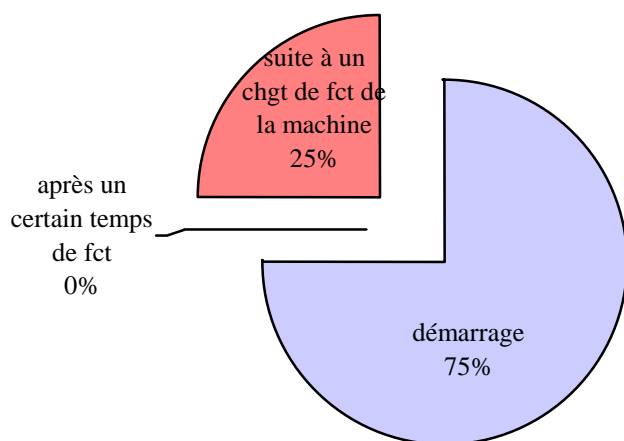
Age du roulement

Age du roulement



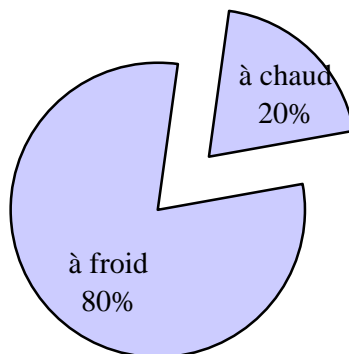
Apparition du phénomène

Apparition du phénomène



Le crissement se produit

Le crissement se produit



Il ressort de cette enquête que le phénomène apparaît pour des roulements à rouleaux cylindriques (type NU) non flasqués et d'assez grande taille (diamètre intérieur supérieur à 50 mm), faiblement chargés, travaillant à des vitesses de rotation de l'ordre de 2000 tours par minute. La classe de jeu principalement utilisée et pour laquelle le phénomène apparaît est la classe C3 et la graisse essentiellement au lithium.

Ces conditions ont été reprises pour établir le cahier des charges du banc d'essais.

3 BANC D'ESSAIS ET CHAÎNE D'ANALYSE

Certaines caractéristiques dimensionnelles et de fonctionnement du banc ont été élaborées à partir des résultats de l'enquête. Les autres ont été choisies afin de permettre des montages et démontages répétés et d'assurer, avec des conditions de fonctionnement parfaitement reproductibles, la validité des mesures comparatives.

La Société Anticipation et Maintenance a fourni les deux paliers SKF de guidage de l'arbre d'essais ainsi que tous les roulements et les différentes graisses. Elle a aussi mis à disposition de la SERAM un appareil Mécason. A l'exception de ce dernier, tous les matériels fournis restent la propriété de l'ENSAM ou de la SERAM.

3.1 Les paramètres du banc d'essais

* Roulements :

- 3 roulements d'essai SKF-NU 212 EC à rouleaux cylindriques. Ø intérieur = 60 mm, Ø extérieur = 110, largeur 22, tous de classe C4.
- 2 roulements de guidage SKF-22212 à rotule sur rouleaux.
- Montage sur bague cônica simple pour les roulements de guidage et à double bague cônica (pour alésage cylindrique) pour les roulements d'essais.

* Paliers : 2 paliers indépendants SKF SNL 512-610

* Arbre : acier XC48 non traité, usiné avec les tolérances de concentricité, cylindricité, d'ajustement et d'état de surface nécessaires à l'étude.

* Vitesse : la vitesse d'essai a toujours été maintenue à 2000 tours/minute.

* Lubrification : à la graisse, injectée par seringue entre les éléments roulants.

3.2 Architecture du banc

On trouvera dans les annexes toutes les photos du banc (ainsi que, à titre indicatif, les dessins cotés des éléments usinés).

- Soubassement et semelle :
 - Bloc en béton de 2 m x 0,8 m x 0,5 m.
 - Semelle en fonte.
- Partie moteur : machine à courant continu de marque BONNIER et armoire de commande BLEVIN spécifique pour obtenir une très bonne stabilisation de la vitesse.
- Accouplement : souple, tubulaire.
- Partie essai : différents éléments permettent de réaliser l'alignement de l'arbre d'essai et du moteur. Des cales permettent de conserver l'alignement, même en cas de démontage complet.
- Une cage d'effort, destinée à recevoir le palier d'essai, a également été réalisée. Elle sera éventuellement utilisée dans la suite de cette étude.

3.3 Chaîne d'analyse

Exhaustive, elle permet de capter des signaux vibratoires pris sur les paliers, puis de les traiter en temps réel. Il n'a pas été jugé utile, dans cette première étude, d'automatiser et de numériser le traitement de ces signaux.

Cette chaîne comprend :

- un appareil MECASON avec deux capteurs posés sur la base de chaque palier,
- un accéléromètre PCB, et son alimentation, posé sur le palier d'essais,
- un oscilloscope HAMEG HM203,
- un analyseur de fréquences HEWLETT-PACKARD HP3582A,
- un enregistreur audio HARMAN/KARDON TD 420,
- un enregistreur papier bi-voies SERVOGOR 2 SB,
- un analyseur de valeurs aléatoires ATEVA-ENSAM,
- un capteur de vitesse optique HORNEL,
- une table traçante analogique IFELEC – IF3802

4 ETUDES D'INFLUENCE

4.1 Influence du jeu interne

Trois roulements ont été utilisés repérés par gravure I, II, III, désignés n°1, n°2 et n°3 dans ce document. Le premier a servi pour mettre au point le banc. Comme il a pu être altéré, il n'a pas été utilisé pour les essais d'influence. Le n°3 a été gardé intact pour d'éventuelles comparaisons ultérieures.

C'est le numéro 2 qui a été utilisé pour effectuer tous les essais d'influence du jeu interne, ainsi que les essais avec les différentes graisses.

4.1.1 Influence étudiée

La mesure du jeu interne du roulement, par cales, a donné 0,11 mm. Par serrage du manchon cônique, il sera ramené à 0,07 mm par palier de 0,01 mm. Ainsi, l'étude d'influence se fera sur cinq paliers de jeu à :

0,11 mm
0,10 mm
0,09 mm
0,08 mm
0,07 mm

4.1.2 Paramètres

- Vitesse 2000 tours/min.
- Graisse au lithium (repère A dans l'étude de l'influence des graisses),
- Quantité injectée dans le roulement entre chaque essai = 7,5 ml.

4.1.3 Principe des essais

Pour assurer la validité des mesures, on procède chaque fois à trois essais successifs.

Après le démarrage d'un essai, on note le temps d'apparition du crissement, ou plus exactement le temps écoulé jusqu'à ce que le crissement soit définitivement établi.

4.1.4 Protocole d'un essai avec changement de jeu interne

- 1) Démontage du palier d'essai et du palier de guidage et retrait de l'arbre du banc d'essais.
- 2) Nettoyage complet du roulement d'essai à l'essence, séchage par soufflage léger.
- 3) Mesure du diamètre de la bague intérieure au micromètre.
- 4) Montage de l'arbre sur établi et serrage du manchon pour obtenir le diamètre désiré = diamètre mesuré précédemment + 0,01 mm – Vérification au micromètre.

- 5) Remontage du roulement d'essai et remontage de l'arbre.
- 6) Adjonction de 7,5 ml de graisse, à la seringue, entre les rouleaux du roulement d'essai, puis remontage complet du banc.
- 7) Vérification des sécurités et mise en marche.
- 8) Après stabilisation de la vitesse, démarrage du chronomètre et réglage des différents appareils de la chaîne d'analyse.

4.1.5 Protocole d'un essai de répétitivité

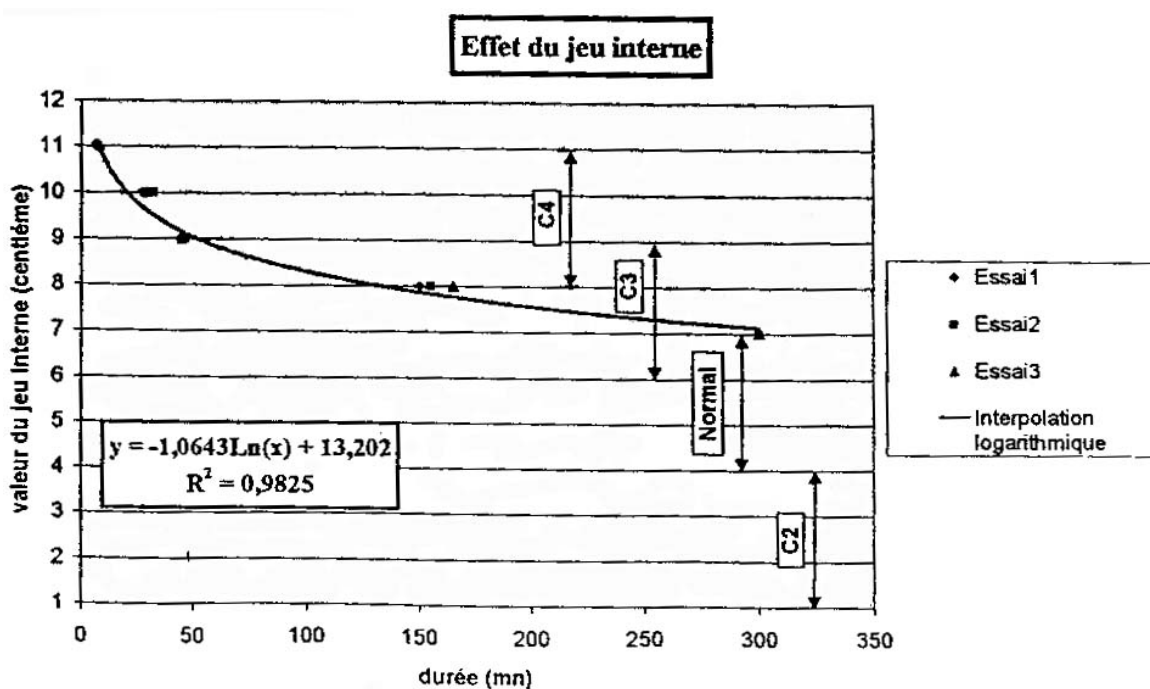
Comme cela a été prévu, trois essais sont réalisés pour chaque valeur de jeu. Dans ce cas, le protocole est le suivant :

- 1) Démontage de l'arbre comme décrit précédemment.
- 2) Nettoyage du roulement, consistant à retirer l'excès de graisse éjectée hors de la bague extérieure pour pouvoir réinjecter une quantité de graisse neuve équivalente ($\leq 7,5$ ml).
- 3) Remontage et essai comme décrit plus haut.

Remarque : Dans tous les cas, la graisse est mise lorsque le roulement d'essai est en place dans son palier.

4.1.6 Résultats obtenus

Les temps d'apparition ont été relevés en fonction du jeu interne. Le graphique suivant résume l'ensemble des essais. On remarquera l'excellente répétitivité du phénomène et la très faible dispersion des résultats de mesure. Il est possible de faire passer une courbe logarithmique, avec une très bonne corrélation, au travers des points de mesure.



Observations :

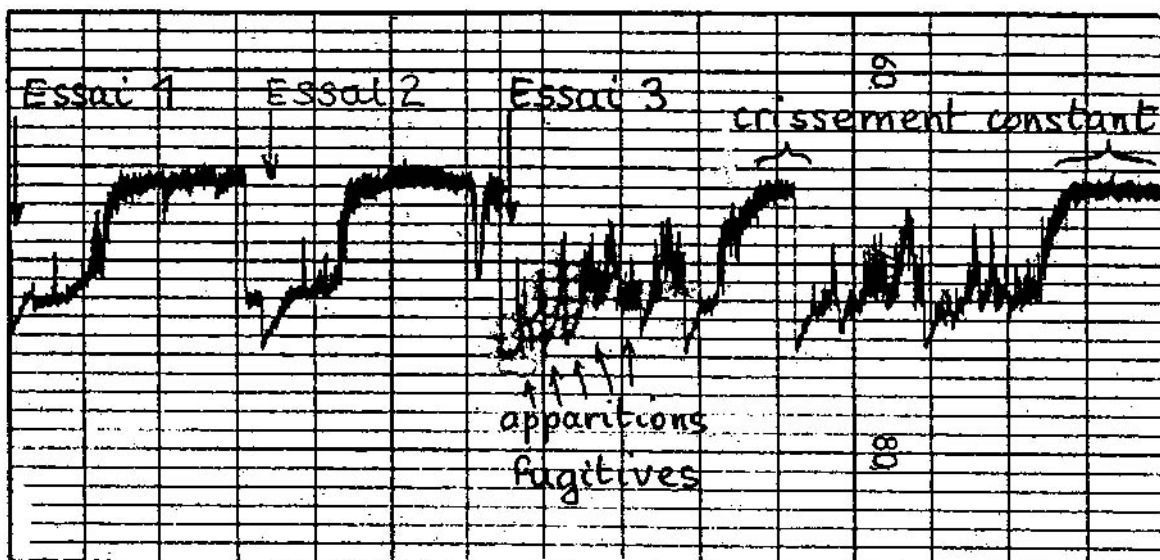
Il est important de remarquer que le phénomène de crissement n'apparaît pas de la même manière au fur et à mesure que le jeu est réduit.

En effet, au début, avec le jeu maximum, le crissement apparaît brutalement. Au bout de quelques dizaines de secondes, il disparaît 1 ou 2 minutes, puis réapparaît pour finalement rester de manière définitive.

Quand on réduit le jeu, le crissement apparaît beaucoup plus progressivement. Il commence par n'apparaître que quelques secondes, puis disparaît. Ensuite, les durées du crissement commencent à se rallonger, tandis que les intervalles entre les crissements diminuent. Cela s'opère d'autant plus lentement que le jeu est faible. Finalement, après quelques cycles d'apparition/disparition du crissement, ce dernier s'établit de manière définitive. Quand le jeu est minimum, on peut observer jusqu'à une dizaine de cycles d'apparition/disparition du crissement de plus en plus longs avant que ce dernier ne s'installe définitivement.

4.1.7 Analyse temporelle de l'occurrence du phénomène de crissement

La figure ci-après montre l'évolution du niveau du signal capté par l'appareil MECASON au cours du temps (1 carreau en abscisse = 1 minute). On remarque bien l'apparition définitive du crissement qui succède à quelques apparitions fugitives au début de chaque essai.

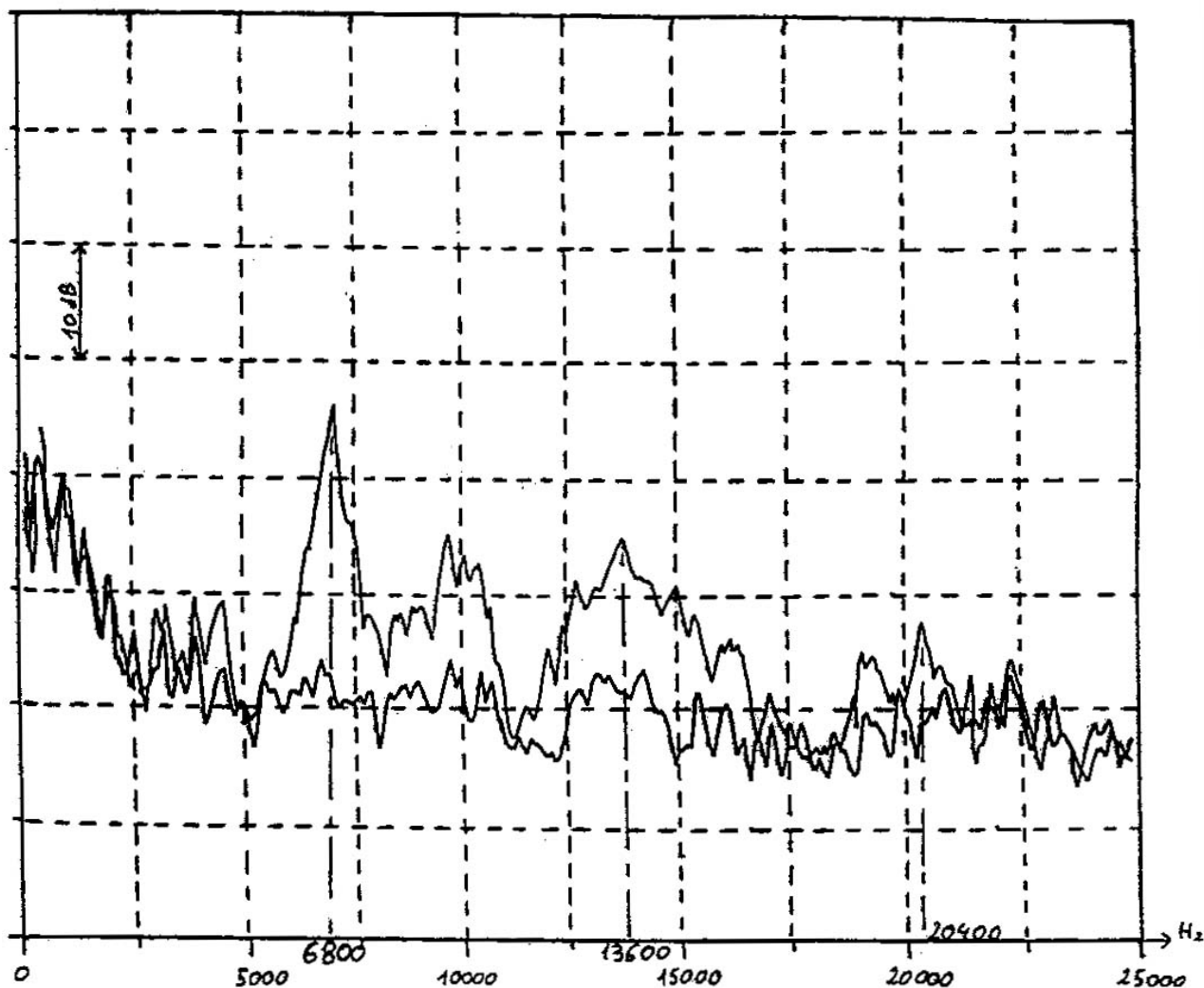


Il est également important de noter que le niveau de bruit global du roulement, que l'on peut observer en l'absence de crissement, est d'autant plus élevé que le jeu interne est faible.

4.1.8 Analyse fréquentielle du crissement

L'analyse fréquentielle du signal vibratoire, réalisée en temps réel, permet également d'objectiver le phénomène de crissement.

Sur la figure suivante, deux spectres relevés à quelques minutes d'intervalle, avant et pendant le crissement, montrent que ce dernier entraîne une augmentation considérable du signal pour certaines fréquences (+ 25 dB à 6800 Hz, soit un signal 18 fois plus important !).



4.1.9 Conclusion

Ces essais, effectués avec un seul roulement de classe C4, sont très significatifs. Ils démontrent d'abord que le banc d'essais est opérationnel. Ensuite, ils montrent que, dans ces conditions d'essais limités, la réduction du jeu interne a eu pour effet de :

- retarder l'apparition du phénomène de crissement,
- diminuer sa fréquence d'apparition avant son installation,
- diminuer l'amplitude des pics de crissement (à l'analyseur),
- limiter le comportement discontinu (voire chaotique) des éléments roulants dans la zone déchargée,
- augmenter légèrement le niveau de bruit global.

Pour affirmer ces conclusions de manière définitive, il est nécessaire de poursuivre cette étude et d'examiner ces comportements :

- avec plusieurs roulements identiques et/ou de classe différente,
- avec plusieurs sortes de graisses,
- avec différents cas de charge,
- avec le roulement toujours positionné angulairement de la même manière de façon à analyser les dégradations.

4.2 Influence du type de graisse

Pour les premiers essais et les essais de validation, c'est une graisse graphitée qui a été utilisée.

Par la suite, c'est une graisse au savon de lithium qui a été utilisée pour la mise au point du banc, la recherche de l'occurrence du crissement, et l'influence du jeu interne.

Puis, après avoir reçu les autres types de graisse, l'étude de l'influence de la graisse a été entreprise.

Les graisses testées sont au nombre de 7. Elles sont répertoriées de la lettre A à la lettre G suivant la correspondance suivante :

- Graisse A : graisse au savon de lithium fournie par Elf et dont le descriptif complet se trouve dans les annexes fournies avec cette étude à la référence E1.
- Graisse B : Lithium EP2 2878
- Graisse C : Altis X5 3228 (polyurée)
- Graisse D : Altis EM 3252 (polyurée)
- Graisse E : COPALHTM2 (fournie par la société Anticipation et Maintenance)
- Graisse F : SNR roulements (graisse au complexe de lithium)
- Graisse G : graisse graphitée de la marque "Würth"

Rq : les graisses C, D, E ont été fournies par la société "Raffinerie IMPERATOR" pour Elf et sont placées en annexe sous la référence E2.

4.2.1 Protocole des essais

Tous les essais ont été réalisés sur le roulement n° 2, à 2000 trs/min et avec le jeu interne maximum de 0,11 mm.

Le protocole des essais est identique à celui exposé pour l'étude de l'influence du jeu en ce qui concerne les démontages, remontage, nettoyage des roulements et adjonction de la graisse.

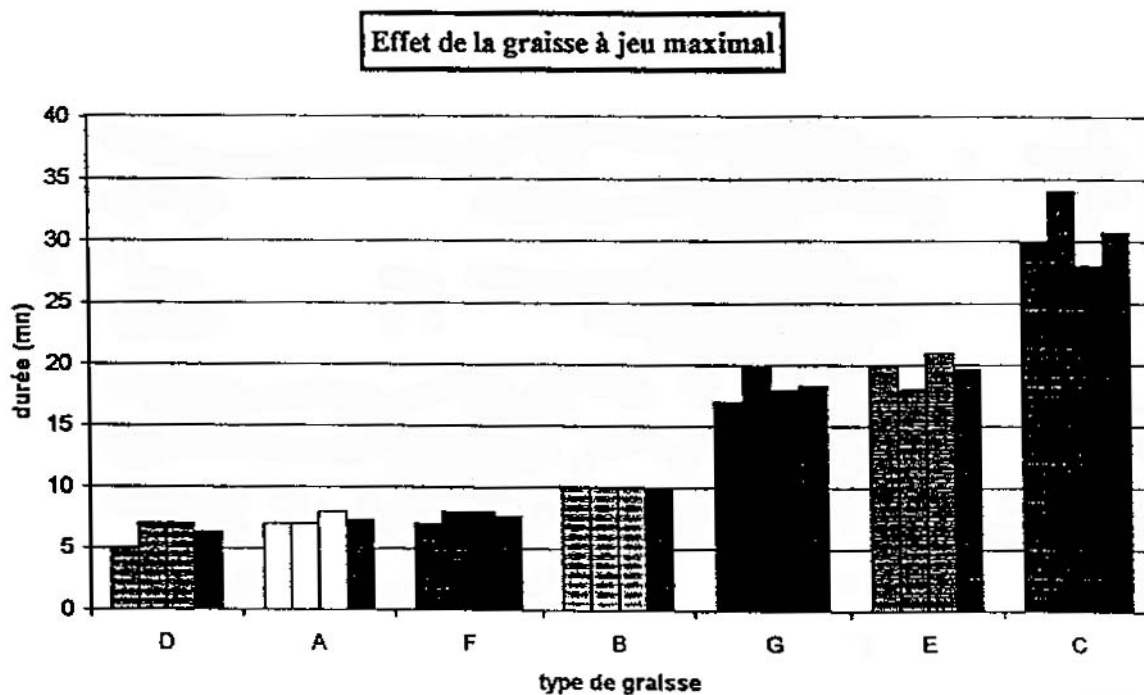
A noter que les graisses ont été testées dans l'ordre alphabétique de A à G.

4.2.2 Résultats

Le tableau ci-dessous présente les résultats classés en fonction de la capacité des graisses à retarder le phénomène de crissement.

Chaque graisse a été testée trois fois, pour valider les mesures. La quatrième colonne, pour chaque graisse, est la moyenne des trois mesures.

Comme pour l'étude de l'influence du jeu, la durée mesurée est celle de l'apparition durable du phénomène de crissement.



Observations

A ce tableau, on peut ajouter quelques remarques :

- Chaque type de graisse influence le comportement du roulement : le niveau de bruit engendré par l'utilisation d'un type de graisse n'est pas le même à chaque fois.
- Le niveau de bruit d'un roulement est indépendant de sa prépondérance à crisser ou non.

Ainsi, une graisse peut entraîner un niveau de bruit très faible en fonctionnement, et un temps d'apparition du phénomène de crissement très rapide, ce qui est le cas pour les graisses D et F.

A contrario, une graisse peut entraîner un niveau de bruit assez fort en fonctionnement, et un temps d'apparition du phénomène de crissement plus long, ce qui est le cas pour les graisses G et E.

Mais il existe aussi des graisses pour lesquelles le niveau de bruit est directement relié à la performance vis-à-vis du crissement. Les graisses A et B engendrent des niveaux de bruits élevés et un temps d'apparition du phénomène assez court ; la graisse C, elle, engendre un niveau de bruit faible (fonctionnement silencieux) et un temps d'apparition du phénomène assez long.

4.2.3 Conclusion

Ces premiers essais sur les graisses, réalisés sur un seul type de roulement et sans charge, montrent, malgré cela, que le type de graisse utilisé a une influence indéniable sur le phénomène de crissement.

5 ALTERATIONS DES SURFACES

Ces premiers essais ont surtout permis de valider le banc et de constater la grande influence du jeu interne et des types de graisse. Des essais spécifiques de recherche d'altérations liées au crissement sur de longues durées pourraient, dans la suite de l'étude, être envisagés. Le critère qualitatif d'altération pourrait être donné par des macrophotographies comme celles présentées ci-après, effectuées sur le roulement n° 1 qui a servi aux premiers essais de mise au point.

L'usure qui apparaît déjà sur les photographies, pour un roulement si peu sollicité, montre que le crissement est probablement associé à un phénomène d'usure mécanique de type frottement dont la conséquence est importante sur la durée de vie du roulement.



Cernes d'usure sur les rouleaux.



Rayures sur bague intérieure.



Rayures sur bague intérieure.



Cerne sur rouleau.

6 CONCLUSION GENERALE

Cette étude avait d'abord pour objectif de réaliser un banc d'essais capable de reproduire le phénomène de crissement observé sur certaines installations industrielles équipées de roulements. Avec l'aide des renseignements apportés par l'enquête qui a été réalisée auprès d'industriels, et avec les informations très pertinentes qui ont été fournies par la Société Anticipation et Maintenance, le banc qui a été réalisé a permis d'atteindre parfaitement l'objectif fixé.

Les essais réalisés avec différentes valeurs du jeu interne des roulements et différents types de graisses confirment parfaitement le rôle joué par ces deux paramètres sur le phénomène de crissement. Celui-ci a pu être mis nettement en évidence "à l'oreille", mais également de manière très nette par les moyens de mesure associés au banc d'essais. Sa signature est visible sur l'enregistrement du niveau vibratoire en fonction du temps, et également sur l'analyse fréquentielle des vibrations captées.

L'observation du mouvement des rouleaux, pendant la rotation du roulement, confirme l'interruption de leur rotation dans la zone déchargée du roulement et leur brusque remise en rotation à l'entrée de la zone chargée.

On peut penser que cet à-coup est à l'origine d'un phénomène de "stick-slip" provoquant le bruit de crissement observé.

Ce fonctionnement "avec frottement sec" détériore le roulement et réduit sa durée de vie.

Le banc d'essais réalisé et l'instrumentation de mesure qui a été choisie pour objectiver le crissement, permettent maintenant de mesurer finement l'influence du jeu et de la graisse dans toutes les configurations de fonctionnement.

La préconisation de classes de jeu plus judicieuses et l'utilisation de graisses mieux adaptées, où l'étude de nouvelles formules de graisses, sont désormais possibles grâce à ce banc d'essais.