

Le roulement x-myrox de MPS : Le roulement horloger sans lubrification

Patrice Parietti*, Laurent Lehnert**, Carole Steiner***

* MPS Micro Precision Systems AG (RMB bearings) - Eckweg 8 - 2501 Bienne 6 - Suisse - E-mail: watch@mpsag.com

et

** Jaeger-LeCoultre, Branch of Richemont International SA - Rue de la Golisse 8 - 1347 Le Sentier

et

*** Patek Philippe – Genève – Chemin du Pont-du-Centenaire 141 – 1228 Plan-Les-Ouates

Résumé

Depuis longtemps, la lubrification des mobiles du mouvement de la montre mécanique est une grande préoccupation des horlogers. Malgré l'évolution technique des lubrifiants, le vieillissement des huiles est une des principales causes de dysfonctionnement du mécanisme dans le temps. En principe, un nettoyage et une re-lubrification des mobiles sont préconisés au moins tous les 5 ans. MPS, en proposant un roulement à 4 points de contact qui ne nécessite aucun entretien à part celui d'une propreté irréprochable, fait aujourd'hui figure de précurseur. La manufacture Jaeger-LeCoultre est mentionnée dans cette publication en raison des moyens importants investis dans un programme de tests qui s'est déroulé sur une année afin de mesurer les avantages liés à l'utilisation du roulement x-myrox par comparaison à un roulement à 4 points de contact (ou dit d'horlogerie) standard. Le laboratoire de Patek-Philippe, équipé d'une chambre anéchoïque, a effectué les tests réservés aux mesures de bruits comparatives.

1. Conception du roulement à 4 points de contact standard

Le roulement à billes à 4 points de contact se compose de 5 éléments: la bague, le noyau, le cône, la cage ou séparateur de billes et les billes.

La bague, le noyau et le cône sont généralement décollétés dans un acier au chrome 20AP (1.1268+Pb) ou dans certains cas pour tout ou partie en CuBe. La cage est estampée dans le CuBe (cuprobéryllium). Les billes sont fabriquées en acier au chrome 100Cr6 (1.3505), en acier inoxydable X105CrMo17 (1.4125), ou pour des fonctions de mobiles en rubis de synthèse.

2. Risques liés à l'utilisation d'un roulement sans lubrifiant

L'utilisation d'un roulement en acier standard sans adjonction de lubrifiant génère dans un laps de temps, qui dépend de la vitesse et des contraintes mécaniques en présence, des micro-soudures sur les surfaces des éléments (bague, noyau et billes) en contact sous charge.

De plus, les micro-particules d'acier générées par ce phénomène peuvent se détacher et polluer le mouvement allant jusqu'à provoquer l'arrêt de ce dernier.

3. Conception du roulement x-myrox

La construction du roulement x-myrox reste en tout point comparable à celle du roulement standard. La différence réside dans le choix des matériaux.

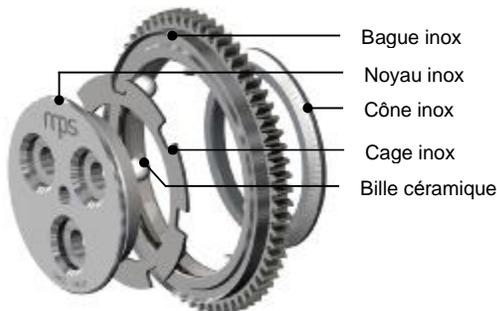


Fig. 1 : Eclaté d'un roulement à 4 points de contact x-myrox

3.1 Matériau utilisé pour la bague, le noyau et le cône

MPS utilise l'acier inoxydable 4C27A (1.4197) pour le décollétage des bagues de roulement afin de limiter au maximum les risques de corrosion.

3.2 Matériau utilisé pour les billes

La véritable innovation est l'introduction de la céramique comme matériau de base à la fabrication des billes. Ainsi sont éliminés les risques de micro-soudures évoqués au paragraphe 2.

D'autre part et comme mentionné au paragraphe 1, le rubis synthétique est déjà employé dans certains paliers à billes de mobiles, mais ne peut en aucun cas être utilisé dans un roulement de masse oscillante pour montre à remontage automatique.

En effet, la faible capacité des billes en rubis synthétique à absorber les chocs a pour conséquence de faire éclater ces dernières au moment de l'impact.

Dès lors, il s'est agi de déterminer quel type de céramique serait susceptible de répondre aux spécifications suivantes :

- Tenue aux chocs jusqu'à 5000 g (test du mouton pendule)
- Coefficient de dilatation proche de celui de l'acier afin de garantir le même jeu de fonctionnement aux températures extrêmes.
- Moyens et capacités de production pour réaliser des billes miniatures jusqu'à 0.200 mm.
- Critères de qualité géométrique et de surface identiques à ceux des billes en acier.

La céramique qui s'est révélée le matériau le mieux adapté à ces contraintes est l'oxyde de zirconium (ZrO₂).

Ses avantages majeurs sont :

- une dureté élevée (ZrO₂ : 1200 HV / Acier : 800 HV)
- un module d'élasticité proche de celui de l'acier (ZrO₂ : 220'000 Mpa / Acier : 210'000 Mpa).

Caractéristiques principales de l'oxyde de zirconium retenu :

Caractéristique	Valeur
Densité	6.0 g/ cm ³
Dureté	1150-1200 HV
Coefficient de dilatation	11x10 ⁻⁶ •K ⁻¹
Résistance à la rupture	10 Mpa•m ^{1/2}
Résistance à la flexion	> 1800 Mpa

3.3 Matériau utilisé pour la cage

Avec le roulement à 4 points de contact standard, l'analyse de nombreux roulements observés après un temps de fonctionnement équivalent à plusieurs années a permis de mettre en évidence le détachement de micro-particules de CuBe qui, au contact du lubrifiant, se transformaient en un cambouis altérant ainsi les performances du palier.

D'autre part, le CuBe est sensible à la corrosion dans le temps. Ceci se traduit par un changement de couleur du matériau en passant du jaune au rouge. Cet aspect, qui est sans incidence sur le fonctionnement du roulement, prend une grande importance dans la haute horlogerie où les critères esthétiques sont très élevés.

Avec la suppression du contact acier-acier sous charge entre les billes et la cage en raison de l'utilisation de la céramique pour la fabrication de ces dernières, il devenait possible d'utiliser un acier inoxydable adapté au découpage. L'acier austénitique AISI 301 (1.4310) retenu présente les avantages suivants :

- Meilleure maîtrise de la géométrie après découpage (plat) que le CuBe.
- Absence de micro-particules de matière se détachant au contact sous charge bille / cage.
- Suppression des risques de toxicité liés à la manipulation et à l'usinage du Béryllium très toxique contenu dans l'alliage de cuprobéryllium (CuBe).

4. Tests de rendement et de capacités de remontage

4.1 Type de test

Le test comparatif a l'avantage de montrer l'évolution d'une solution par rapport à une autre. C'est ce principe qui a été choisi.

4.2 Principe de base

Tous les tests ont été réalisés en écartant tout risque que d'autres composants en faussent les résultats.

En d'autres termes, tous les roulements testés l'ont été sur le même mouvement de base JLC 889 et avec la même masse oscillante de référence.

4.3 Pièces testées

5 roulements standards (bagues de roulement en 20AP + cage en CuBe + billes en acier inoxydable AISI 440C ou 1.4125).

5 roulements x-myrox (bagues de roulement en 4C27A + cage en acier AISI 301 + billes myrox®).

5 Test de sensibilité du roulement

5.1 Principe du test

Le mouvement de référence sur lequel est monté le roulement à tester ne comporte que le dispositif de remontage automatique (de la masse oscillante jusqu'au barillet).

Le roulement est testé avec toujours la même masse oscillante de référence.

Le principe du test est de mesurer régulièrement la sensibilité du roulement entre deux phases du programme de rodage paramétré comme suit :

Vitesse de rotation	: 110 t/min
Inversion du sens	: tous les 100'000 t
Mesures	: tous les 100'000 t jusqu'à 500'000 t
Inclinaison du moteur à 20°	: à partir de 500'000 t à 1'000'000 t
Mesure	: après 1'000'000 t

5.2 Matériel de test

Le roulement à tester muni de la masse oscillante de référence est monté sur le mouvement de référence. Le mouvement de référence est entraîné en rotation par un moteur en position horizontale. La masse oscillante, par sa propre masse, entraîne le mécanisme de remontage automatique.

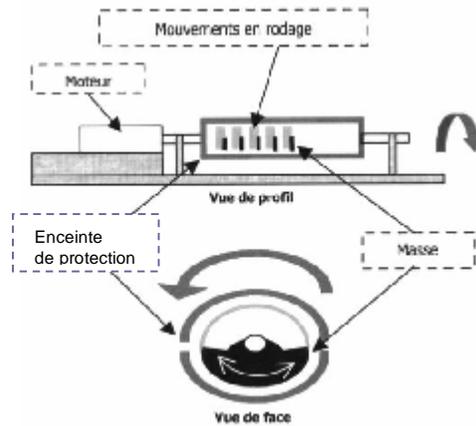


Fig. 2 : Principe de rodage des roulements de test

5.3 Matériel de mesure

Un appareil de contrôle a été spécialement conçu pour effectuer la mesure dont le principe est le suivant :

Un moteur en position horizontale dont l'axe est ajusté dans le noyau (ou bague intérieure) du roulement tourne à la vitesse de 2 t/min. La masse oscillante solidaire de la bague extérieure du roulement, par sa propre masse, reste suspendue sur une ligne verticale. Un dispositif permet de redresser la position de l'axe du moteur de la position horizontale à la position verticale

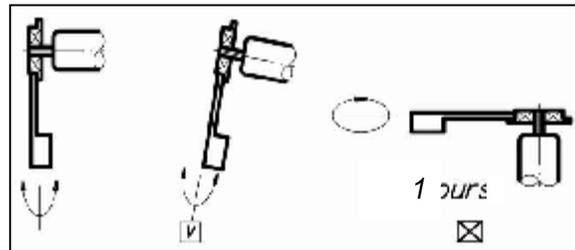


Fig. 3 : principe mesure de sensibilité

5.4 Déroulement du test de sensibilité

Les différentes phases du test des roulements testés (voir paragraphe 4.3) sont les suivantes :

1. Rodage selon programme détaillé au paragraphe 5.1
2. Pour chaque mesure, démonter le rotor et le placer sur l'appareil de contrôle de sensibilité.
3. Enregistrer pour chaque roulement testé l'angle critique à partir duquel la masse oscillante (montée sur la bague extérieure du roulement) est embarquée avec l'axe tournant du moteur et fait au moins 1 rotation complète autour du dit axe.
4. Etablir une moyenne et regrouper les résultats dans un tableau.

5.5 Résultats du test comparatif de sensibilité

En ce qui concerne les roulements standards, après un rodage de 200'000 tours, la sensibilité ou le rendement augmente. Ce phénomène est imputable au changement d'état du lubrifiant comme nous le montrera l'aspect des composants après test.

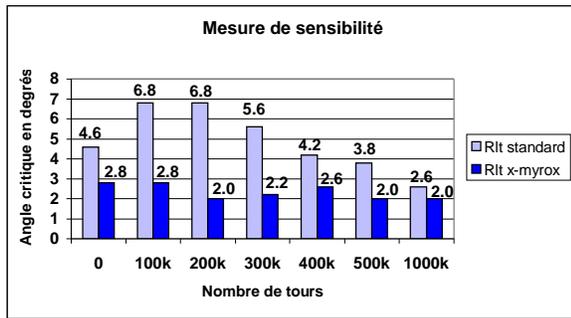


Fig. 4 : Mesures comparatives lors du test de sensibilité

Les résultats montrent une stabilité des bonnes performances dans le temps du roulement x-myrox.

5.5 Démontage et observation des composants après rodage

5.5.1 Observation sur les bagues extérieures

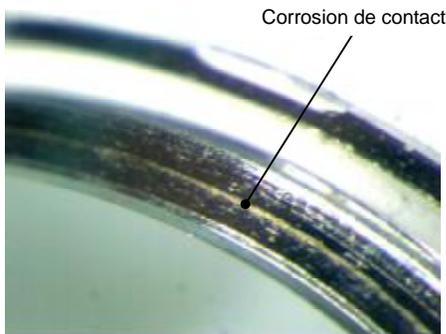


Fig. 5 : Photo d'une bague extérieure (20AP) d'un roulement standard

Après un million de tours, on observe que le film de lubrification du départ utilisé comme barrière de diffusion a été rompu. Il en résulte une corrosion de contact.

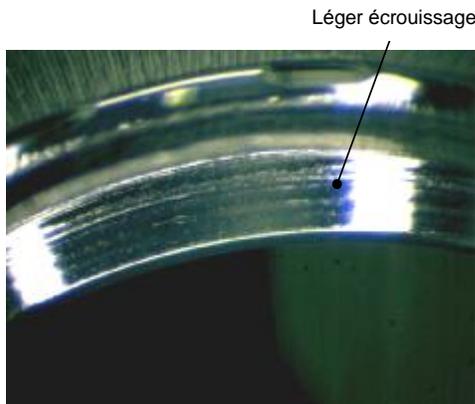


Fig. 6 : Photo d'une bague extérieure (4C27A) d'un roulement x-myrox

Après un million de tours, on observe un léger écouvissage provoqué par le passage répété des billes. L'état de la surface de la gorge de circulation des billes est proche de celui observé à l'état de neuf.

5.5.2 Observation sur les cages ou séparateurs de billes

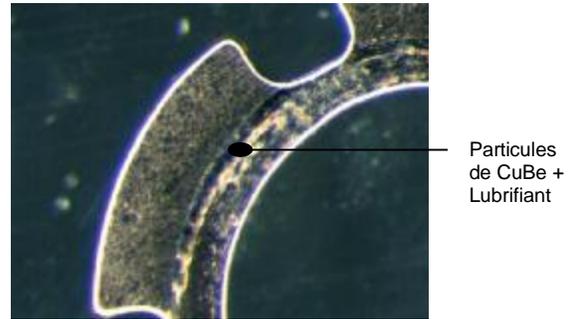


Fig. 7 : Photo d'une cage (CuBe) d'un roulement standard

L'analyse du dépôt sur la cage, prise en sandwich entre le noyau et le cône, montre un amalgame de micro-particules de CuBe et de lubrifiant collé sur la surface de la dite cage. Il est évident que la présence de cet amalgame a une influence directe sur le rendement du roulement.

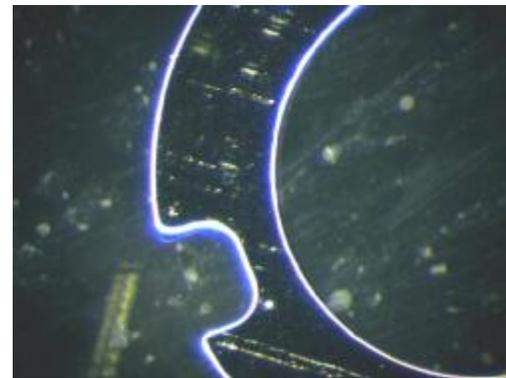


Fig. 9 : Photo d'une cage (AISI 301) d'un roulement x-myrox

Après un million de tours, l'état de la surface de la cage en acier est proche de celui observé à l'état de neuf.

6. Test de capacité de remontage

6.1 Principe du test

Les roulements sont montés sur mouvements complets, réglés et emboîtés.

Le principe du test est de déterminer le temps de réserve de marche emmagasiné dans le barillet pendant la durée du test programmé sur cyclotest comme suit :

Vitesse de rotation	: 4 t/min
Cycle	: 800 tours
Durée	: 3.33 h

La réserve de marche se mesure en temps écoulé après armage jusqu'à l'arrêt du mouvement.

6.2 Matériel de test

La première série de tests a été réalisée avec 9 mouvements équipés de roulements standards, lubrifiés et non rodés montés sur masses oscillantes de série.

Pour la seconde série, les roulements standards ont été remplacés par des roulements x-myrox provenant de la série rodée durant 1'000'000 de tours et montés sur masses oscillantes de série.

Dans les deux cas, une attention particulière a été observée afin de s'assurer qu'aucun frottement parasite ne se produise entre la masse oscillante et la platine ou la boîte.

6.3 Matériel de mesure

L'appareil utilisé pour réaliser ce test est un Cyclotest automatique de chez Reglomat.

6.4 Déroulement du test de capacité de remontage

Les différentes phases du test sont les suivantes :

1. Equiper 9 mouvements de roulements standards
2. Monter les mouvements sur le cyclotest et lancer le test programmé comme précisé au paragraphe 6.1
3. Mesurer le temps de réserve de marche emmagasiné dans le barillet pour les roulements standards
4. Prendre les mêmes mouvements, démonter les rotors équipés de roulements standards et les remplacer par des versions avec roulements x-myrox.
5. Monter les mouvements sur le cyclotest et lancer le test programmé comme précisé au paragraphe 6.1
6. Mesurer le temps de réserve de marche emmagasiné dans le barillet pour les roulements x-myrox
7. Comparer

6.5 Résultats du test comparatif de capacité de remontage

Résultats enregistrés par les 9 mouvements équipés, pour la première série, de roulements standards (bagues de roulement en 20AP + cage en CuBe + billes en acier inoxydable AISI 440C ou 1.4125) et pour la seconde des mêmes mouvements comportant des roulements x-myrox (bagues de roulement en 4C27A + cage en acier AISI 301 + billes myrox).

N° mvt	Roulement standards	Roulements x-myrox
1	36 h 05 min	38 h 21 min
2	36 h 26 min	38 h 47 min
3	36 h 10 min	38 h 05 min
4	34 h 30 min	38 h 03 min
5	37 h 00 min	39 h 04 min
6	36 h 20 min	38 h 25 min
7	37 h 45 min	37 h 50 min
8	35 h 03 min	38 h 20 min
9	34 h 13 min	37 h 10 min
moyenne	36 h 23 min	38 h 09 min

Fig. 10 : Tableau comparatif des résultats du cyclotest

Le test de capacité de remontage sur cyclotest confirme les résultats enregistrés lors du test de sensibilité. Le roulement x-myrox améliore les performances de remontage de 1h46 min.

7. Test de porté

7.1 Principe du test

Les mouvements équipés des roulements à tester sont montés entièrement et les montres ainsi assemblées sont confiées à des collaborateurs de l'entreprise Jaeger-LeCoultre.

Les porteurs sont sélectionnés en fonction de l'activité de la personne qui détermine son aptitude à l'armage du réservoir d'énergie.

Le principe du test est de déterminer le temps de réserve de marche emmagasiné dans le barillet pendant la durée du porté établi comme suit :

Durée de porté : 8 h 00

7.2 Matériel de test

La première série de test a été réalisée avec 7 montres équipées de mouvements comportant des roulements standards.

Pour la seconde série, les roulements standards ont été remplacés par des roulements x-myrox. Les deux séries de test ont été effectuées par le même porteur.

7.3 Déroulement du test de porté

Les différentes phases du test sont les suivantes :

1. Equiper les mouvements de roulements standards
2. Terminer les montres complètement
3. Remettre chaque montre à son porteur pendant 8h00
4. Relever le temps de réserve de marche
5. Démonter et remplacer les roulements standards par des roulements x-myrox

6. Remettre chaque montre à son porteur pendant 8h00
7. Relever le temps de réserve de marche
8. Comparer

7.4 Résultats du test comparatif de porté

7.4.1 Résultats enregistrés pour les 7 montres équipées de mouvements comportant des roulements standards (bagues de roulement en 20AP + cage en CuBe + billes en acier inoxydable AISI 440C ou 1.4125).

Porteur	Mtre 1	Mtre 2	Mtre 3	Mtre 4	Mtre 5	Mtre 6	Mtre 7
1	22h30	31h05	24h50	36h15	34h30	26h10	29h25
2	22h05	24h20	34h40	40h00	29h10	39h10	22h45
3	29h20	35h25	33h20	34h30	39h35	24h00	24h00
4	34h15	32h10	25h20	24h05	20h10	28h15	28h10
5	23h20	25h05	31h50	36h30	17h50	24h55	32h30
6	28h50	27h25	19h05	22h05	21h30	36h30	23h50
7	40h27	22h25	29h30	28h05	36h10	26h00	24h30
moyenne	28h41	28h16	28h22	30h12	28h25	29h17	26h27

Fig. 11 : Résultats du test de porté pour les roulements standards

7.4.2 Résultats enregistrés pour les 7 montres équipées de mouvements comportant des roulements x-myrox (bagues de roulement en 4C27A + cage en acier AISI 301 + billes myrox).

Porteur	Mtre 1	Mtre 2	Mtre 3	Mtre 4	Mtre 5	Mtre 6	Mtre 7
1	42h01	30h10	30h55	27h35	32h16	28h19	34h29
2	43h26	34h26	34h52	38h10	33h17	40h35	41h52
3	41h45	34h27	33h02	34h27	40h15	41h06	45h17
4	27h31	28h09	35h26	34h25	36h25	33h45	26h45
5	34h08	29h25	35h30	37h19	25h26	36h20	27h20
6	27h32	28h22	38h03	30h04	27h11	30h05	34h27
7	35h19	40h40	28h45	31h40	35h40	33h46	34h43
moyenne	35h57	32h14	33h47	33h22	32h55	34h50	34h59

Fig. 12 : Résultats du test de porté pour les roulements x-myrox

7.4.3 Conclusion du test de porté

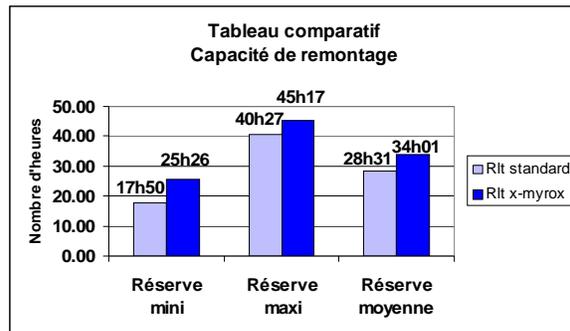


Fig. 13 : Tableau comparatif des résultats du test de porté

Pour une durée de porté de 8h00, le gain moyen, tous porteurs confondus, apporté par le roulement x-myrox est de 5h30min soit une augmentation de performance par rapport au roulement standard de 19%.

8 Résistance aux chocs du roulement x-myrox

8.1 Principe du test

La mesure des chocs en horlogerie s'effectue à l'aide du "mouton-pendule". Ce dispositif permet une simulation d'un choc correspondant à une chute d'une hauteur de 1m, soit une vitesse au moment de l'impact de 4,33m/s. Cela correspond à une accélération de 5000g. La montre est alors déclarée antichoc. Le test a été effectué conformément à la norme NIHS 91-10.

8.2 Résultat du test du mouton-pendule.

5 montres équipées de roulements x-myrox ont passé le test.
Après démontage et observation, aucun dégât n'a été constaté

9 Résistance à la corrosion du roulement x-myrox

3 roulements ont été placés dans une atmosphère de brouillard salin durant 30 heures à 40°C.

3 roulements ont été soumis au test de la sueur synthétique durant 30 heures à 40°C.

L'examen minutieux des 6 pièces ne révélera aucune trace de corrosion.

10 Résistance aux chocs thermiques

3 roulements ont été chauffés à 200°C puis trempés dans l'eau.

Tous les composants ont résisté à ce test sans fracture ni amorce de rupture.

11 Mesures de bruit

En horlogerie, le bruit est souvent évalué par référence à une oreille et non en terme de mesures. De ce fait, il est dépendant du jugement d'une personne et peut être qualifié de subjectif. D'autre part, l'habillage (boîte + fond) peut provoquer un effet de "caisse de résonance" et l'amplifier.

11.1 Principe du test

Ce test compare le niveau de bruit intrinsèque mesuré pour chacun des deux types de roulement à des vitesses différentes à l'intérieur d'une chambre anéchoïque.

11.2 Matériel de test

10 roulements à billes standards et 10 roulements x/myrox sont équipés de masses oscillantes. Ensuite, les rotors sont vissés sur des platines du calibre 315 de Patek-Philippe.

11.3 Matériel de mesure

La platine est fixée sur l'axe d'un moteur au moyen d'un support cylindrique en Delrin. Un microphone est placé dans le prolongement de l'axe à une distance de 2 cm du roulement (voir fig. 14). Le système est placé horizontalement à l'intérieur d'une chambre anéchoïque.

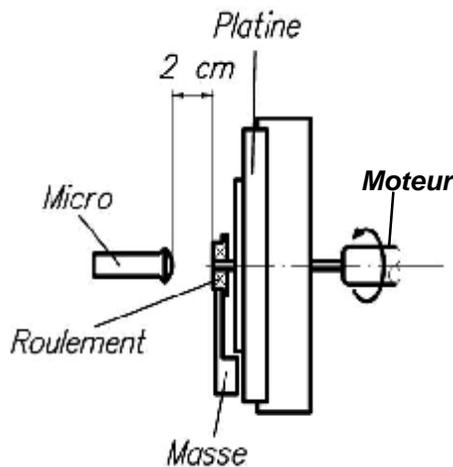


Fig. 14 : principe de la mesure acoustique

11.4 Déroulement du test de mesure de bruit

Les enregistrements sont effectués pendant 20 secondes aux vitesses de 200, 350, 500, 1000, 1300 et 1600 t/mn. Le faible niveau de bruit du moteur et sa position éloignée du point de d'enregistrement permettent de négliger son influence sur la mesure.

11.5 Résultats du test comparatif de mesure de bruit

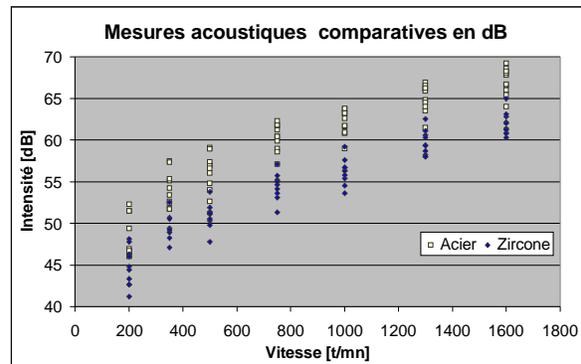


Fig. 15 : Graphique des résultats

La figure 15 montre clairement que l'intensité du bruit des roulements équipés de billes en acier est significativement plus élevée d'un facteur 1.5 à 2 comparée à celle enregistrée par les roulements x/myrox. L'intensité est exprimée en dB. Ainsi, une différence de 1 dB n'est pas perçue par l'oreille humaine. Il faut une valeur de 3 dB pour rendre la différence perceptible et un écart de 6 dB équivaut à doubler l'intensité.

Si l'on ajoute aux conditions du test ci-dessus d'autres éléments du mécanisme de remontage, la différence est moins perceptible aux vitesses basses, mais augmente sensiblement avec la vitesse.

12 Lubrification du roulement x-myrox

Que se passe-t-il lorsque, chez un client ou chez un revendeur de ce dernier, une lubrification du roulement x-myrox est effectuée ?

Il existe deux cas :

1. La lubrification est une forte dispersion d'huile horlogère haute pression dans un solvant (comme pratiqué par MPS dans le roulement standard)
2. La lubrification est réalisée au pique-huile (1, 2, 2 1/2 ou 3 gouttes d'huile horlogère pour hautes pressions)

Dans le cas N°1, les résultats d'un test de sensibilité sur 800'000 tours (réalisé dans les mêmes conditions mentionnées au paragraphe 5) montrent que les résultats sont très proches de ceux enregistrés pour le roulement x-myrox à sec.

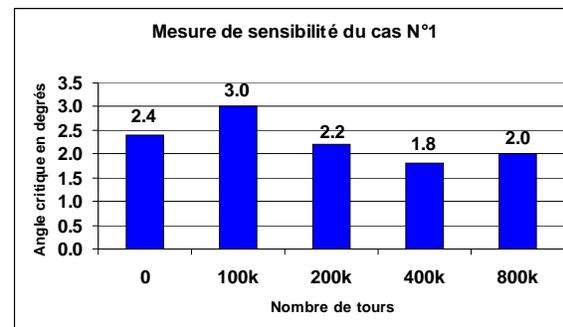


Fig. 16 : Tableau des résultats test de sensibilité version x-myrox lubrifié

Dans le cas N°2, la perte de rendement (sensibilité) est d'autant plus importante que le nombre de gouttes d'huile introduites dans le roulement est grand. Ceci aussi bien dans le roulement standard que dans la version x-myrox.

En résumé, si le mouvement dispose d'un faible pouvoir remontant, la technique de lubrification devient prépondérante aussi bien pour le roulement x-myrox que pour le standard.

13 Conclusion

Les résultats de tous les tests permettent de mesurer clairement les avantages du roulement x-myrox par comparaison à la version standard :

1. Suppression de la lubrification rendu possible en raison de l'élimination des contacts acier-acier sous charge par l'introduction de billes en céramique.
2. Résistance aux chocs (testé jusqu'à 5000g selon norme NIHS 91-10).
3. Rendement maximum (+19% par rapport au roulement standard au test de porté).
4. Stabilité du rendement dans le temps (testé sur 1'000'000 de tours soit l'équivalent de 4.5 années de porté journalier).
5. Réduction du niveau de bruit intrinsèque
6. Simplification et fiabilité de l'entretien pour l'horloger et les points de service après-vente nationaux et internationaux.
7. Très longue durée de stockage sans dommages (plus de craintes sur le comportement des huiles au vieillissement).
8. Par l'élimination du CuBe comme matériau de la cage ou séparateur de billes, l'adoption de l'acier AISI 401 participe à la suppression des risques de toxicité liés à la manipulation et à l'usinage du Béryllium très toxique contenu dans l'alliage de Cuprobéryllium.

Pour conclure, le roulement x-myrox de MPS Micro Precision Systems AG répond aux préoccupations majeures des manufactures horlogères suisses dans ce domaine. La première est d'offrir une fiabilité toujours plus grande, la seconde est de diminuer le bruit de fonctionnement et la troisième est d'espacer le laps de temps entre chaque entretien.

MPS Micro Precision Systems AG
Patrice Parietti
Eckweg 8
2500 Bienne

E-mail: watch@mpsag.com