

# DARA : Le différentiel à billes radial de MPS

Alain Laager\*, Patrice Parietti\*, Jean-François Mojon\*\*

\* MPS Micro Precision Systems AG – Chemin du Long-Champ 95 - CH- 2500 Bienne 8.

et

\*\* Chronode SA – Grande Rue 18 – CH - 2400 Le Locle.

## Résumé

Le différentiel DARA de MPS est un roulement à billes à quatre points de contact utilisé pour indiquer, par exemple, la réserve de marche d'une montre à remontage mécanique ou automatique. Ce dispositif autorise le glissement à vide d'une bague lorsque le barillet est remonté évitant ainsi le risque de déformation ou de rupture de certains composants du mouvement. Compact (dimensions :  $\varnothing$  4.17 mm, hauteur 1 mm), fiable et modulaire, le différentiel à billes radial de MPS peut être intégré et adapté à tout type de construction. Cette innovation est protégée par le brevet européen MPS N° EP 1 995 649 A2.

## Abstract

The DARA differential of MPS is a 4 point contact ball bearing used to indicate, for example, the power reserve of a watch with manual or automatic winding mechanism. This system allows the outer ring to slip, thus preventing the destruction of the mechanism when the mainspring is completely wound up. Compact system (dimensions: OD 4.17mm, width: 1mm), reliable and modular, the DARA differential of MPS can be adapted and integrated in any watch movement. This innovation is patented in Europe under the reference: MPS N° EP 1 995 649 A2.

## 1. Principe du système d'indicateur de réserve de marche

Pour afficher le nombre de tours d'armage du ressort de barillet à l'aide d'un organe indicateur du type se déplaçant en regard d'une graduation s'étendant tout au plus sur 360°, il est nécessaire d'associer à l'engrenage différentiel des rouages de réduction. Ces rouages de réduction sont typiquement disposés entre le tambour de barillet et la première entrée de l'engrenage différentiel, entre le rochet et la deuxième entrée de l'engrenage différentiel et entre la sortie de l'engrenage différentiel et l'organe indicateur. La présence de ces rouages de réduction se prête mal à une exécution avantageuse dans certains cas précis, notamment lorsque le mouvement comporte de nombreuses complications multipliant le nombre de pièces et limitant ainsi la place disponible autour du barillet. En outre les jeux inhérents à la construction présents dans ces rouages de réduction conduisent à des imprécisions d'affichage de la réserve de marche.

## 2. Base théorique : Rouages à mobiles transportés

Imaginons deux règles AB et CD (fig. 1), appuyant sur un disque NM et susceptibles, par un mouvement dans le sens de leur longueur, de faire tourner ce disque et par conséquent de déplacer son centre o à droite ou à gauche. Prolongeons les lignes AB et CD pour indiquer la direction de ces règles et examinons ce qui va se passer quand elles seront mises en mouvement.

Si les deux règles se meuvent dans le même sens de Q vers B avec une vitesse égale et simultanément, il est certain que le disque ne tournera pas, et que si par exemple le mouvement des règles a été de Q à R, le centre o du disque se déplacera de la même quantité QR ou PS.

De même, si au lieu de se mouvoir simultanément, ces règles franchissent l'une après l'autre l'espace QR ou PS, le centre se déplacera encore de la même quantité.

Or, comme il n'y a pas de raison pour que l'une des règles fasse faire plus de mouvement au centre o que l'autre, il en résulte que chacune d'elles fait franchir au disque la moitié de l'espace qu'elle franchit elle-même, d'où nous concluons enfin que le déplacement du centre o est égal à la moitié de la somme des déplacements des deux règles quand elles se déplacent dans le même sens.

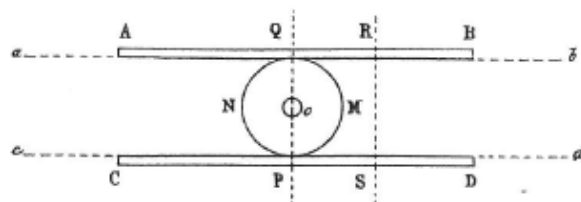


Fig. 1 : Principe de réducteur simulé avec un disque entre deux règles

Ainsi, si la règle supérieure fait 12 millimètres et la seconde 10, le déplacement du centre o dans le même sens que les règles est  $(10 + 12) / 2 = 11$ .

Supposons maintenant que les deux règles se meuvent en sens opposés et que l'une aille de Q vers A et l'autre de P vers D. Il est évident que si le mouvement des deux règles est égal, le centre o ne changera pas de place, puisqu'il n'y a aucune raison pour que la règle supérieure plutôt que la règle inférieure le pousse de son côté.

Mais si le mouvement de la règle inférieure est moindre que celui de la règle supérieure, si par exemple le mouvement de AB vers A égale 10 millimètres et le mouvement de CD vers D égale 6 millimètres, comme, d'après ce que nous avons mentionné plus haut, la règle AB fait mouvoir le disque de  $10 / 2 = 5$  dans le sens de A et la règle CD de  $6 / 2 = 3$  dans le sens contraire, il s'ensuit que le mouvement du centre o égale

$$\frac{10}{2} - \frac{6}{2} = 5 - 3 = 2$$

Donc le déplacement du centre o, quand les règles se déplacent en sens contraire, est égal à la moitié de la différence des déplacements des deux règles, et le disque se déplace dans le sens de la règle qui a le plus de mouvement.

## 3. Produits antérieurs basé sur le principe précité

### 3.1 Différentiel à billes A. Schild

Un différentiel basé sur le principe précité a été inventé par A. Schild AG en 1950 pour les calibres 1485, 1488 et 1501.

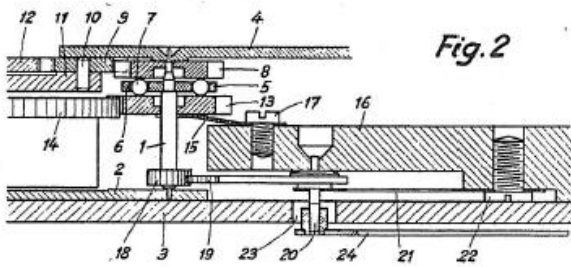


Fig. 2 : Coupe du différentiel à billes de A. Schild (1950)

Cet indicateur de réserve de marche est décrit par le brevet N° 294 760 de A. Schild. Il comporte un différentiel à billes comprenant deux plateaux, trois billes dans une cage à billes et une rondelle ressort qui applique une précontrainte. Il s'agit d'un système axial, encombrant et peu sûr.

### 3.2 Différentiel à billes ETA

Ce dispositif reprend le même principe que celui exposé au point 3.1 et s'en distingue du fait que la précontrainte est assurée par une lame ressort positionnée entre le pont et le rouage J'.

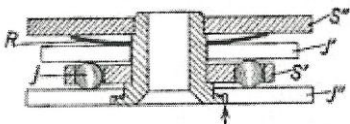


Fig. 3 : Coupe du différentiel à billes ETA

### 4. Conception du différentiel DARA de MPS

Le défi était clairement posé : gérer dans un module indépendant d'une épaisseur maximum de 1 millimètre les réglages de friction et d'ébat.

Pour le relever, MPS a développé un différentiel de type radial sur la base du roulement à 4 points de contact.

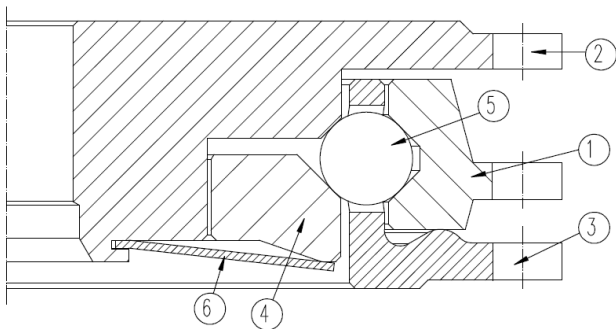


Fig. 4 : Coupe du différentiel DARA de MPS

La figure 4 représente une coupe du différentiel DARA. On y distingue une bague extérieure avec denture (1), une bague intérieure avec denture appelée également « noyau » (2), une cage avec denture (3), un cône (4), des billes (5) et un ressort (6).

Contrairement à un roulement à 4 points de contact conventionnel, le cône (4) n'est pas chassé et soudé sur la bague intérieure (2). Le dit cône (4) est libre et exerce une force sur les billes par l'intermédiaire du ressort (6). Cette force contraint les billes entre les 4 zones de roulement et, par friction, engendre leur déplacement lorsque par exemple la bague extérieure (1) est en rotation et la bague intérieure (2) est immobile.

Le déplacement angulaire des billes est transmis à l'extérieur du roulement au moyen de la cage (3) constituée d'un tube, percé d'alvéoles dans lesquels les billes prennent place. Ce tube se prolonge radialement par une roue dentée.

La configuration suivante est considérée :

La bague intérieure (2) – Entrée 1 - est reliée par un rouage au rochet. La bague extérieure (1) – Entrée 2 - est connectée de la même manière au tambour de barillet. La denture de la cage (3) est reliée à l'indicateur de réserve – Sortie - par un rouage de réduction.

Si la bague extérieure (1) entraînée par le tambour de barillet tourne, et que la bague intérieure (2) est bloquée, la cage (3) sera entraînée dans un rapport de vitesse de 0.54 et non de 0.50 comme décrit au paragraphe 2. Le calcul du rapport de réduction est démontré au paragraphe 5.

Si l'aiguille de réserve de marche indique son maximum et que l'utilisateur continue de tourner la tige de remontoir, les billes, bloquées par la cage, se mettront à glisser le long des gorges. Le couple de glissement dépend alors de la force du ressort.

#### Autres propriétés notoires du différentiel DARA :

Les entrées et sorties sont interchangeables d'un point de vue fonctionnel.

La hauteur totale du différentiel DARA est de 1mm. Son diamètre extérieur de 4.20mm.

### 5. Calcul du rapport de réduction

Comme les points de contact des zones de roulements sont positionnés à 45° autour des billes, le rapport de réduction ne peut pas être de 1:2. C'est une particularité du système comparé à un rouage à mobile transporté classique détaillé au paragraphe 2.

Afin de connaître le rapport de réduction, il est nécessaire de passer par les étapes suivantes :

- Calcul des diamètres de point de contact de la bille sur les bagues extérieures et intérieures. (par. 5.1)
- Détermination de l'équation générale aux 3 éléments (par. 5.2)
- Détermination des cas particuliers suivants (par. 5.3):
  - Bague extérieure fixe
  - Bague intérieure fixe
  - Cage fixe (à titre informatif)

#### 5.1 Calcul des diamètres :

Diamètre primitif (diamètre passant par le centre des billes) =  $D_p$

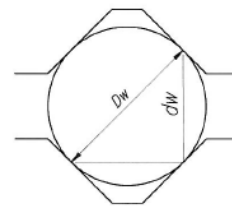


Fig. 5 : Calcul des diamètres

$$d_w = \frac{D_p}{\sqrt{2}} \text{ (Cône à } 45^\circ \text{)}$$

$\emptyset$  de point de contact de la bille pour la Bague extérieure :

$$D_B = D_p + d_w$$

$\emptyset$  de point de contact de la bille pour bague intérieure :

$$D_N = D_p - d_w$$

#### 5.2 Formule générale :

$$D_B \cdot \omega_B + D_N \cdot \omega_N = 2D_p \cdot \omega_C$$

$\omega_B$  = angle de rotation de la Bague extérieure

$\omega_N$  = angle de rotation de la Bague intérieure

$\omega_C$  = angle de rotation de la Cage

### 5.3 Cas particuliers :

#### 5.3.1 Bague extérieure fixe :

$$\omega_B = 0$$

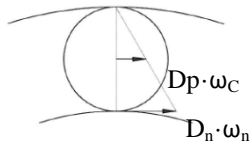


Fig. 6 : Bague extérieure fixe

$$D_N \cdot \omega_N = 2Dp \cdot \omega_C$$

$$\frac{\omega_C}{\omega_N} = \frac{D_N}{2Dp}$$

#### 5.3.2 Bague intérieure fixe :

$$\omega_N = 0$$

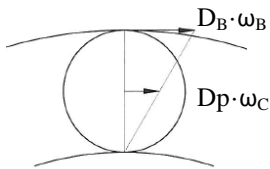


Fig. 7 : Bague intérieure fixe

$$D_B \cdot \omega_B = 2Dp \cdot \omega_C$$

$$\frac{\omega_C}{\omega_B} = \frac{D_B}{2Dp}$$

#### 5.3.3 Cage fixe :

$$\omega_N = 0$$

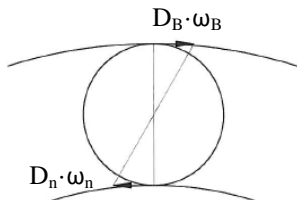


Fig. 8 : Cage fixe

$$D_B \cdot \omega_B = -D_N \cdot \omega_N$$

Rotation opposée :

$$a) \frac{\omega_B}{\omega_N} = \frac{-D_N}{D_B}$$

$$b) \frac{\omega_N}{\omega_B} = \frac{-D_B}{D_N}$$

#### 5.3.4 Valeur numérique rapport de réduction DARA pour la construction considérée :

Diamètre billes Dw : 0.347  
Diamètre primitif Dp : 2.700

Résultats :

Rapport bague extérieure fixe	:	<b>0.455</b>
Rapport Bague intérieure fixe	:	<b>0.545</b>
Rapport cage fixe a)	:	<b>0.833</b>
Rapport cage fixe b)	:	<b>1.199</b>

## 6. Essais de laboratoire

Afin de valider le concept Dara, des tests de mesure de couple ainsi que de durée de vie ont été réalisés.

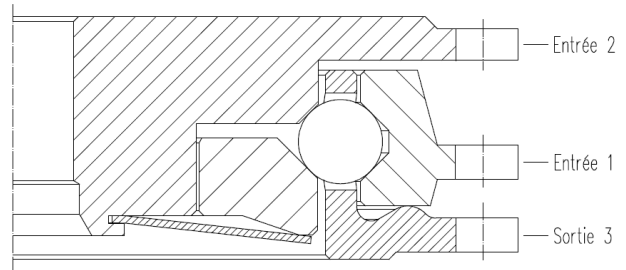


Fig 9 Coupe du différentiel avec repères sur les roues

### 6.1 Matériel de test

Un banc de test qui permet d'entraîner par un moteur l'entrée 1 tout en bloquant l'entrée 2 ou vice-versa a été développé. La mesure du couple se fait sur la sortie 3.

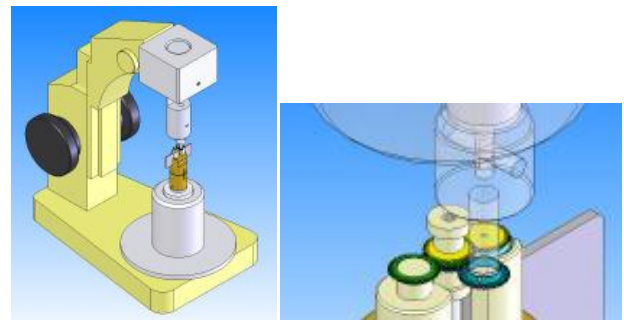


Fig 10 Banc de test

### 6.2 Déroulement du test

Le présent test permet de mesurer le couple moyen dans les configurations suivantes :

- Mode marche de la montre (6.3.1)
- Mode remontage manuel (6.3.2)
- Mode débrayage 1 lors du remontage manuel (6.3.3)
- Mode du débrayage 2 lors de la marche (l'indicateur est à zéro et l'énergie du barillet continue à agir sur le différentiel DARA).

Dara est entraîné par un moteur sur une des 2 entrées. Une roue fixe retient l'autre entrée. Un roulement unidirectionnel « One way » de mps engraine avec la sortie 3.

Quand le moteur est enclenché, un couple est induit au travers de la roue fixe sur le capteur. Nous considérons que ce couple est équivalent à celui de la sortie 3.

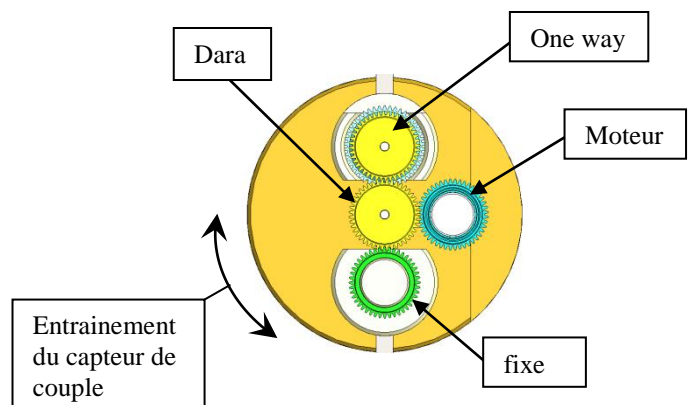


Fig 11 Schéma du dispositif de test



Fig 12 Capteur de couple

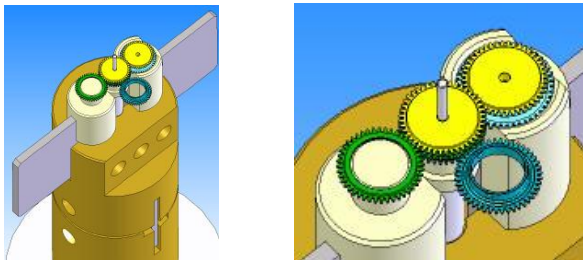


Fig 13 Dispositif de mesure du couple

### 6.3 Test de durée de vie

#### Objectifs :

**50'000 tours** en mode marche et remontage correspondant respectivement à environ 60 et 50 ans de porté.

**20'000 tours** en modes de débrayage 1 et 2 correspondant à environ 20 ans de porté.  
Couples en mode libre et glissement devant respectivement se tenir entre 20 et 150 [ $\mu\text{Nm}$ ].

Chaque mode est testé sur 3 roulements.

#### 6.3.1 Mode marche

Ce cas correspond au mode marche de la montre. Lorsque la montre se décharge et arrive au minimum d'énergie.

Le roulement est mis en rotation à 10t/min par l'entrée 1. L'entrée 2 est bloquée, la roue de sortie 3 est libre.

Tous les 10'000 tours, une mesure du couple est effectuée. Cette dernière est réalisée à 2t/min.

**Résultats :** après 50'000 rotations le couple moyen mesuré se situe aux alentours de 67 [ $\mu\text{Nm}$ ]

#### 6.3.2 Mode remontage

Ce cas correspond au mode remontage de la montre lorsque la rotation de la couronne ou un mécanisme automatique agit sur DARA.

Le roulement est mis en rotation à 10t/min par l'entrée 2. L'entrée 1 est bloquée, la roue de sortie 3 est libre.

Tous les 10'000 tours, une mesure du couple est effectuée. Cette dernière est réalisée à 2t/min.

**Résultats :** après 50'000 rotations le couple moyen mesuré se situe aux alentours de 63 [ $\mu\text{Nm}$ ]

#### 6.3.3 Mode débrayage 1

Le mode débrayage 1 correspond au moment où l'indicateur de réserve de marche est à son maximum (par exemple bloqué par une butée mécanique) et que l'on continue de remonter la montre.

Le roulement est mis en rotation à 10t/min par l'entrée 2. L'entrée 1 est bloquée, la roue de sortie 3 est bloquée.

Tous les 1'000 tours, une mesure du couple est effectuée. Cette dernière est réalisée à 2t/min.

**Résultats :** après 20'000 rotations le couple moyen mesuré se situe aux alentours de 88 [ $\mu\text{Nm}$ ]

#### 6.3.4 Mode débrayage 2

Le mode débrayage 2 correspond au moment où l'indicateur de réserve de marche est arrêté par une butée quand le désarmage du ressort de barillet n'est pas total. Ainsi, l'énergie de ce dernier continue d'agir sur l'entrée 1.

Le roulement est mis en rotation à 10t/min par l'entrée 1. L'entrée 2 est bloquée, la roue de sortie 3 est bloquée.

Tous les 1'000 tours, une mesure de couple est effectuée. Cette mesure est réalisée à 2t/min.

**Résultat :** Après 6'000 rotations le roulement se dégrade et le couple moyen mesuré monte vers 800 [ $\mu\text{Nm}$ ]

Dans les conditions de test cités plus haut, le différentiel DARA ne semble pas être adapté à ce type de débrayage. Toutefois, ce résultat doit être relativisé du fait de l'accélération générée par un moteur qui n'est de loin pas significative du fonctionnement normal dans l'application. Ce résultat doit être infirmé ou confirmé lors d'un test in situ.

## 7. Conclusion

Le différentiel à billes radial DARA de MPS, comparé aux systèmes différentiels classiques existants, présente les avantages suivants :

- Module intégré prêt à être assemblé sur le mouvement.
- Entrée/sortie par divers engrenages du mouvement.
- Paramètres de réductions ajustables.
- Aucun réglage de friction.
- Aucun réglage d'ébat.
- Précision dans l'affichage de la réserve de marche.
- Très faible encombrement.
- Fiabilité testée.
- Exempt de lubrification (billes céramiques)
- Rationalisation de la logistique

## 8. Collaboration exemplaire en matière d'innovation

Le projet à la base de cette innovation illustre de manière exemplaire une collaboration réussie entre une Société indépendante de développement de mouvements de montres (Chronode SA) et un expert en roulement du secteur de la paralogerie (MPS Micro Precision Systems AG).

Les besoins et les rôles de chaque partenaire ont été clairement définis :

- Chronode a conçu le mouvement pour le compte de la marque Urban Jürgensen & Sonner et s'est approché de MPS pour la partie indication de réserve de marche.
- MPS a intégré un dispositif novateur de réserve de marche dans un roulement à quatre points de contact.

Cela confirme le rôle primordial que peuvent jouer les acteurs de la sous-traitance dans la recherche et le développement d'innovations en matière de technologie horlogère.

## 9. Test au porté

Un exemplaire d'une version antérieure à la définitive du différentiel DARA a été intégré dans une montre Urban Jürgensen en février 2009. Après 1 année ½ de portée, la fonction d'indicateur de réserve de marche est toujours parfaitement assurée.

**Remerciements :**

Nous remercions Monsieur Peter Baumberger (Urban Jürgensen & Sonner) et Monsieur Jean-François Mojon (Chronode SA) pour la confiance placée en MPS et en sa capacité à innover.

Les auteurs de la présente publication remercient toutes les personnes inhérentes aux trois entités pour leur participation active et fructueuse à ce projet.

**Références :**

Rouages à mobiles transportés – A. Redier (Extrait de la Revue Chronométrique de Saunier).

Le roulement horloger – P. Parietti, A. Laager, A. Biétry - Congrès Européen de la SSC - Karlsruhe (1998)