

Un nouvel équipement de mesures de l'organe réglant pour la montre mécanique

Ivan Meissner

Qualimatest SA, Chemin des Aulx 18, CH-1228 Genève

Gilles Pellet, Ulrich Müller, Hélène Gervaise, Serge Meylan
Audemars Piguet SA, Route de France 16, CH-1348 Le Brassus

Résumé

Le VidéoBalisomètre[®] a été développé dans le but de remplacer le système de référence en mesures chronométriques conçu par le LSRH [01] dans les années 1970 (microbalisomètre), ainsi que d'autres appareils développés à cette époque, qui aujourd'hui ne sont plus disponibles sur le marché.

Il a pour objectif de devenir le référentiel des mesures d'amplitudes, de marches et de vitesses du balancier.

Il doit répondre aux besoins les plus pointus en matière de recherche horlogère et offre ainsi plusieurs innovations majeures :

- Mesure par vision de l'amplitude du balancier, avec une précision inférieure à 1°.
- Mesure des marches par vision et par acoustique sur une base de temps rubidium.
- Mesure de l'élongation du balancier toutes les 1/4000^{ème} de seconde en mode libre et entretenu.
- Mesure par laser de la vitesse du balancier de 0.2 à 30°/ms, synchronisée et corrélée avec les signaux acoustiques.
- Analyse comparative des mesures effectuées par vision et par système acoustique.

Ces fonctionnalités permettent une analyse très poussée de l'organe réglant ainsi que des influences de l'échappement.

Abstract

The VidéoBalisomètre[®] has been developed in the perspective of replacing the microbalisometer, reference device developed in the 70's by the LSRH [01], as well as other devices developed at the same period, and which are not available anymore.

Its aim is to become a standard for the measurement of amplitudes, rates and velocities of the balance-wheel.

It thus meets the strictest requirements of watch industry research with innovative features :

- Optical (video) measurement of the balance-wheel amplitude with a precision of less than 1°.
- Acoustic and optical rate measurement on a rubidium time base.
- Measurement of the elongation of the balance-wheel every 1/4000 second (free or driven mode).
- Laser measurement of the balance-wheel velocity within 0.2 to 30 °/ms, synchronized and correlated with the acoustic signal.
- Comparative analysis of the measured rates by camera and acoustic system.

These features allow a detailed analysis of the regulating organ as well as escapements influences.

1. Introduction

1.1 Historique

Depuis 2003, au sein de son laboratoire R&D, Audemars Piguet (AP) a entrepris plusieurs recherches de technologies dans le cadre de réflexions sur l'amélioration de ses moyens d'analyses de l'organe réglant.

Dans un premier temps, les solutions retenues étaient basées sur des systèmes de laser interférométriques (LDV – Laser Doppler Velocimeter) des sociétés Polytec [02], ILA [03] et Optolution [04]. La majeure partie des tests préliminaires a été effectuée avec ces deux dernières sociétés. Cette technologie prometteuse, mais pas aboutie à cette date, nécessite encore d'importants développements afin de l'adapter à l'échelle horlogère.

En parallèle, AP s'est dirigé vers un système de mesure par caméra rapide¹ et a sélectionné la société Qualimatest pour effectuer le développement de la partie vision et pilotage du système.

AP s'est, quand à elle, chargée en interne du développement complet de la mécanique.

Pour compléter la mesure de vision par la mesure acoustique, la technologie Witschi [05] a été intégrée dans le projet.

AP a collaboré sur demande de la société Witschi Electronic AG aux tests de validation du système "Self Mixing Effect Velocity" (SMEV) [06], élaboré par la société ARCOptix SA [07]. Cette technologie a aussi été intégrée au VidéoBalisomètre[®].

2. Cahier des charges de l'équipement

2.1 Points principaux

Mesurer par vision l'amplitude, la marche, l'élongation du balancier et sa vitesse en mode libre ou entretenu dans les conditions suivantes :

Amplitude : plage de 1° à 400°² précision de ±0.5°.
Marche : plage de +/-1000 s/j, précision de ±1 s/j.
Repère : base acoustique.
Durée mesure : maximum 240 heures (10 jours).

2.2 Conditions particulières

- Pas de modification du balancier par marquage.
- Facilité et rapidité de mise en œuvre des mesures.
- Cycle de mesures automatisé dans les 6 positions de référence (plus les positions intermédiaires à 45°).
- Mesure acoustique synchronisée sur la mesure vision et vitesse.
- Contrôle par la vision des mesures acoustiques et évaluation de la correction de l'angle de levée.
- Volume inférieur à 1 m³
- Pas d'environnement spécifique requis.
- Accréditation officielle du système souhaitée (Métas).
- Pas de restriction de vente aux sociétés suisses (politique AP déjà appliquée à d'autres développements).

¹ Principe énoncé avant 1915 par M. Saunier sur l'analyse d'un pendule d'horloge [08].

² Amplitude jusqu'à 400° pour mesure en mode libre.

2.3 Evaluation des technologies connues

| Type | Avantages | Inconvénients |
|--------------------------|--|--|
| Acoustique | <ul style="list-style-type: none"> - Appareils du commerce fabriqués en série (prix accessible). - Mise en œuvre et temps de mesure rapides (adapté pour la production, le SAV...). - Pas de préparation spéciale du balancier par un marquage. - Mesure du mouvement seul ou emboîté. - Données simples à exploiter. | <ul style="list-style-type: none"> - Mesure pouvant être perturbée par des bruits parasites. - Pas d'analyse très poussée des perturbations dues à l'échappement. - Modification de l'électronique pour mesures d'un nouvel échappement. - Pas de mesure en mode libre. - Amplitude calculée sur la base d'un angle de levée devant être connu. |
| Optique sur bras | <ul style="list-style-type: none"> - Pas de préparation spéciale du balancier par un marquage. - Mesure de l'amplitude non dépendante de l'angle de levée. - Données simples à exploiter. - Mesure optique pouvant être coordonnée avec une mesure acoustique pour la correction de l'angle de levée. | <ul style="list-style-type: none"> - Mesure sur mouvement seul (difficile pour mvt emboîté avec fond saphir). - Coût du système (par rapport aux systèmes acoustiques). - Pas de mesure dans les petites amplitudes (dépend du nombre de bras). - Temps de réglage plus longs que pour l'acoustique. - Pas d'analyse très poussée des perturbations dues à l'échappement. - Pas de mesure complète de l'amortissement (dépend du nbre de bras). - Amplitude calculée. |
| Optique sur serge | <ul style="list-style-type: none"> - Mesure de l'amplitude non dépendante de l'angle de levée. - Mesure de la marche très fiable due au marquage du balancier. - Mesure dans les petites amplitudes en mode libre et entretenu. - Mesure complète de l'amortissement. | <ul style="list-style-type: none"> - Mesure sur mouvement seul (difficile pour mvt emboîté avec fond saphir). - Coût du système (par rapport aux autres systèmes). - Préparation spéciale du balancier (marquage). - Système contraignant à régler. - Pas d'analyse poussée des perturbations dues à l'échappement. - Amplitude calculée. |

3. Définitions

Oscillation

Passage d'une position extrême à l'autre et retour en position initiale.

Période

Durée d'une oscillation.

Alternance

Demi-oscillation.

Élongation [°]

Angle entre la position de repos et une position quelconque du balancier.

Ligne d'échappement

Droite passant par les axes de pivotement de l'ancre et du balancier.

Amplitude [°]

Élongation maximale du balancier.

Marche [s/j]

Différence, ramenée au nombre de secondes par jour, entre la période théorique (fixée par la construction du mouvement) et la période mesurée.

Repère [ms]

Décalage temporel de la cheville de plateau (balancier au repos) par rapport à la ligne d'échappement.

Position de repos

Position d'équilibre de l'ensemble balancier-spiral.

Mode entretenu / libre

Organe réglant avec / sans échappement.

Les oscillations d'un balancier 3 Hz sont schématisées dans la Fig. 1 avec les différentes caractéristiques à mesurer.

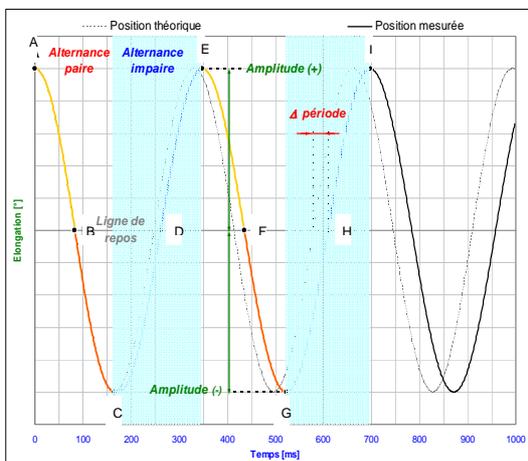


Fig. 1 : Schéma représentant le déplacement du balancier

4. Technologies de l'équipement

Afin de répondre aux spécifications, le VidéoBalisomètre® intègre plusieurs systèmes de mesure :

- **Vision**
Mesure dynamique, par une caméra, de la position angulaire du balancier.
- **Acoustique directe**
Signal analogique transféré de l'appareil de mesure acoustique et synchronisé aux images de la caméra.
- **Acoustique RS232**
Valeurs transférées de l'appareil de mesure acoustique au VidéoBalisomètre® (sans synchronisation directe).
- **SMEV**
Mesure de la vitesse instantanée du balancier.

Récapitulatif des mesures possibles en fonction de la technologie et du mode :

| | Vision | Acoustique | | Optique |
|-----------------------|--------------------|------------|-------|---------|
| | Vidéo-Balisomètre® | Witschi S1 | | SMEV |
| | | Directe | RS232 | |
| Marche [s/j] | E / L | E | E | --- |
| Amplitude [°] | E / L | --- | E | --- |
| Repère [ms] | --- | E | E | --- |
| Vitesse [°/ms] | E / L | --- | --- | E / L |

Tableau 1 : Mesures réalisées en mode entretenu (E) ou libre (L)

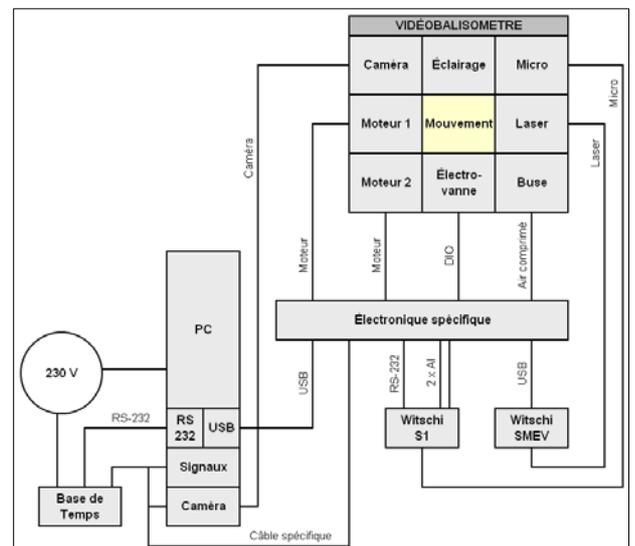


Fig. 2 : Schéma bloc du VidéoBalisomètre®

4.1 Mesures par vision

4.1.1 Concept

Les mesures par vision sont basées sur l'idée de mesurer dynamiquement l'élongation du balancier en fonction du temps. Trois aspects sont importants pour garantir les spécifications demandées :

- **Centre de rotation**
Le centre de rotation du balancier doit être mesuré avec une précision inférieure à 30 microns.
- **Géométrique**
Des repères connus doivent être visibles sur le balancier. Ils permettent de détecter sur chaque image la position angulaire du balancier, et de définir ainsi la courbe d'élongation.
- **Temporel**
Pour une mesure adéquate de la marche à la vitesse maximale du balancier, la fréquence d'échantillonnage se doit d'être suffisamment élevée et précise.

L'atteinte des objectifs ci-dessus implique deux modes de mesure successifs : le premier doit permettre une visualisation de l'ensemble du balancier (\varnothing 12 mm maximum) avec une vitesse d'acquisition d'images limitée. Le deuxième doit permettre une acquisition d'un champ de vision plus petit mais à une cadence élevée (cf. Tableau 2).

| Mode | Dimensions | Vitesse |
|---------|--------------------------------------|----------------|
| Complet | 1'300 x 1'000 pixels 14,3 x 11 mm | 500 images/s |
| Partiel | 1'300 x 128 pixels 14,3 x 1,4 mm | 4'000 images/s |

Tableau 2 : Caractéristiques des modes d'acquisition d'images.

Il est important de noter que, pour que le système puisse acquérir et tracer une courbe d'élongation, le champ de vision partiel doit permettre un suivi permanent des repères.

Dans le cas du calibre AP 3120, les masselottes sont utilisées comme repère (cf. Fig. 3).

Le système de vision sélectionné permet une acquisition d'images avec une fréquence liée à la résolution verticale de l'image selon le Tableau 2. Les deux modes d'acquisition représentent un flux de 650 MO/s soit le contenu d'un CD acquis chaque seconde.

Pour mesurer les caractéristiques de marche et d'amplitude, il n'est pas nécessaire de traiter toutes les images de l'alternance. Huit fenêtres d'acquisition pour deux oscillations (cf. Fig. 4) sont définies et positionnées par anticipation de la position du balancier.



Fig. 3 : Pleine image du balancier 3120, avec zone de traitement partiel des masselottes

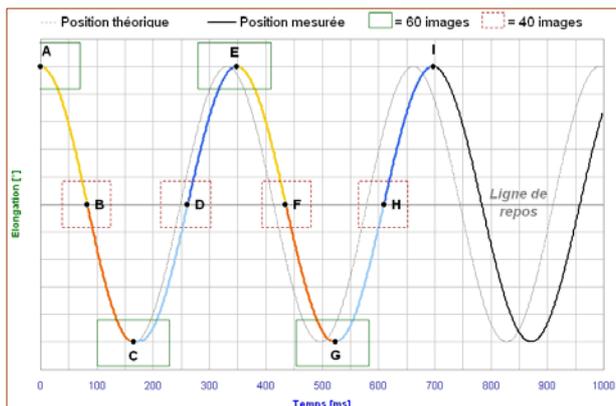


Fig. 4 - Placement des fenêtres de mesure (A, C, E et G pour la mesure d'amplitude ; B, D, F et H pour la mesure de marche)

4.1.2 Mesure de l'amplitude (élongation maximale)

La mesure de l'amplitude doit être réalisée dans toutes les conditions avec une précision de 1°, même si :

- L'amplitude change rapidement ($\pm 10^\circ/s$)
- La marche est imprécise ou change rapidement (plage de ± 1000 s/j, variation ± 100 s/j par seconde).

Le temps moyen pour parcourir 1° de part et d'autre du point de rebroussement d'un balancier de 3 Hz (cf. figure 4, points A, C...) pour une élongation maximale de 320° est approximativement de 8 ms (10 ms pour 220°, cf. figure 5).

En tenant compte de l'erreur liée à la variation de la marche admise, une fenêtre d'acquisition de 15 ms (60 images) donne une plage de mesure minimale de $\pm 1.5^\circ$.

Le mode de prise d'images partiel à 4'000 images par seconde est donc adapté à cette mesure.

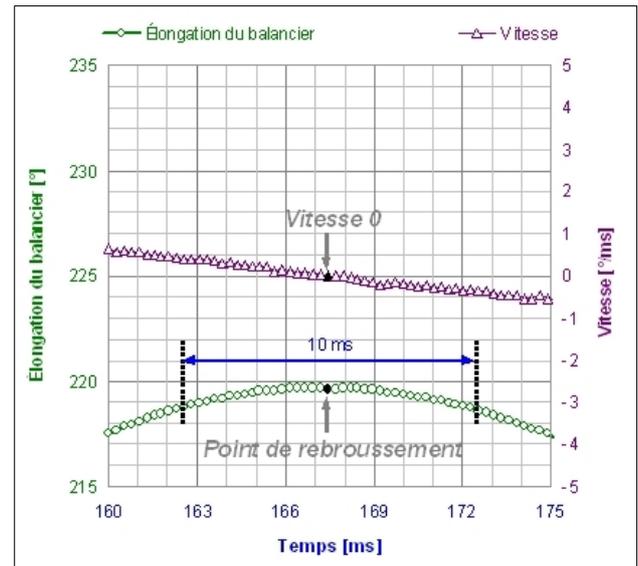


Fig. 5 : Fenêtre de l'élongation pour la recherche du point de l'élongation maximale (amplitude)

4.1.3 Mesure de la marche

La marche doit être mesurée avec une précision de 1 s/j. Ramené à une oscillation, cela correspond environ à une précision de 4 μs pour une fréquence de 3 Hz. Bien évidemment, ces valeurs deviennent moins critiques pour des mesures avec une période d'intégration plus grande.

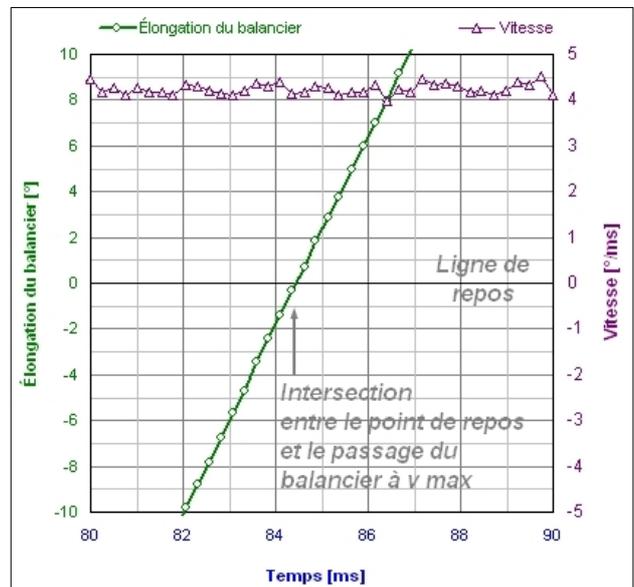


Fig. 6 : Fenêtre de l'élongation pour la recherche des intersections permettant la mesure de la marche

La mesure de la marche est réalisée par la recherche des intersections entre la courbe d'élongation et la position de repos (points B, D, F et H de la Fig. 4).

De part ces intersections, il est possible de mesurer l'écart entre les périodes théorique et réelle et déterminer ainsi la marche.

Cette mesure est réalisée quand la vitesse du balancier est maximale ($\approx 4.5^\circ/\text{ms}$ pour une fréquence de 3 Hz). La courbe de l'élongation étant considérée linéaire dans ces instants, une régression simple permet d'améliorer la précision de mesure (cf. Fig. 6).

En tenant compte de la variation de marche et de la vitesse importante du balancier, il est possible de fixer une fenêtre d'acquisition de 10 ms (40 images) correspondant à une plage angulaire d'environ $\pm 20^\circ$.

La précision temporelle des mesures est liée à l'horodatage de chaque image. Celui-ci est garanti par une synchronisation de la caméra par la base de temps externe.

La définition de la position de repos du balancier est réalisée de manière différente selon qu'il s'agisse de la mesure en mode libre ou entretenu :

- **Mode libre**

Une image du balancier à l'arrêt est acquise avant son excitation, sa position angulaire peut ainsi être relevée pour définir sa position de repos.

- **Mode entretenu**

A/ La position de repos approchée peut être définie par la position médiane du balancier sur une alternance.

B/ La position de repos approchée peut être un référentiel acquis sur le signal acoustique, il s'agit du dégageement de l'ancre.

C/ La définition de la position de repos approchée peut être effectuée par le décalage d'1/4 de période après le premier point de rebroussement.

Remarque :

On considère que la position de notre référentiel fixée par la solution A est suffisante pour placer notre courbe de fréquence théorique. (cf. Fig. 4).

4.1.4 Cadence de mesure et synchronisation

Pour obtenir une mesure continue en temps réel, le temps de traitement d'images devrait être inférieur à la période. Ceci impliquerait, dans le cas du calibre 3120 (3 Hz), le traitement de quatre fenêtres (deux à 60 images et deux à 40 images) à 3 Hz donc 600 images par seconde. Le traitement d'images pour la détection des objets doit donc être simple et très rapide.

Les mesures partielles sont acceptées au rythme de deux oscillations successives acquises, puis quatre oscillations de temps de traitement.

4.1.5 Repères pour la détection automatique

Ces éléments doivent être visibles et bien contrastés. Le nombre de ceux-ci sur la circonférence ainsi que la portion angulaire visible du balancier impose un champ de vision et donc une précision de mesure. Les données indiquées dans ce document sont basées sur un système à 8 objets (tous les 45°) et une portion angulaire visible de 120° .

Plusieurs éléments sur le balancier peuvent servir de repères pour la détection :

- Masselottes
- Bras
- Vis réglantes
- Divers marquages de la serge

4.1.6 Cas particulier du mode libre

Ce cas particulier correspond à l'organe réglant sans l'échappement et donc sans signal acoustique. C'est pourquoi seules les mesures par vision ou par SMEV sont possibles.

Les performances obtenues sont identiques à celles du mode entretenu. Par contre, le temps d'intégration doit être minimal car la durée de mesure est inférieure à une minute.

Le VidéoBalisomètre® intègre un processus de mesure automatique, permettant l'excitation du balancier par un système pneumatique. Le logiciel développé spécifiquement pour cet appareil affiche la courbe d'amortissement du balancier et calcule le facteur qualité.

4.2 Mesure acoustique

La mesure acoustique est réalisée par l'appareil S1 de Witschi, elle est intégrée à l'équipement de deux manières :

- **Acoustique directe**

Le signal analogique du microphone est acquis simultanément aux images (synchronisation par la base de temps au rubidium) avec une fréquence de 40 kHz.

Son traitement permet la mesure de la marche et du repère, le calcul de l'amplitude n'est actuellement pas intégré.

- **Acoustique RS232**

Les valeurs calculées par le Witschi S1 sont transférées par le port RS232. Ces mesures sont cadencées par la base de temps Witschi, mais pas synchronisées sur les mesures vision. Ce sont ces valeurs qui sont prises en compte par les horlogers lors des contrôles standard dans les ateliers.

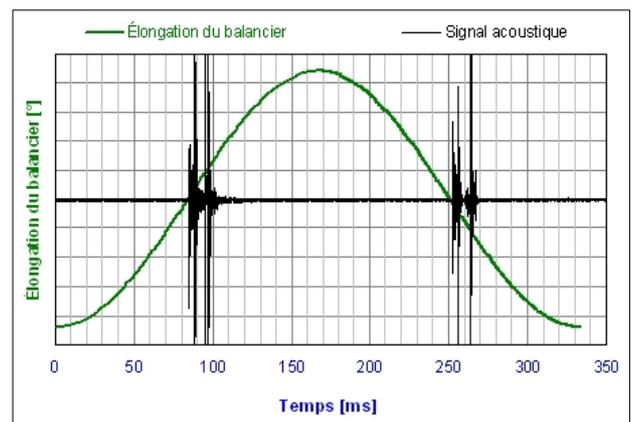


Fig. 7 : Signal acoustique superposé à la courbe

4.3 Mesure dynamique de la vitesse (SMEV)

Cette fonction est réalisée par le capteur SMEV [05]. Elle permet des mesures de vitesse du balancier avec une très grande dynamique afin de pouvoir analyser l'influence de l'échappement sur la trajectoire du balancier. Cette mesure est synchronisée avec l'acoustique mais pas encore avec la vision.

4.4 Base de temps / synchronisation des mesures

Toutes les acquisitions réalisées par le VidéoBalisomètre® sont cadencées par une base de temps au rubidium ayant une précision de 0.1 ppm (1 seconde pour 270 années).

Les images et le signal acoustique (direct / RS232) sont acquis simultanément. Le traitement est réalisé par l'analyse de deux oscillations complètes successives pour calculer les caractéristiques souhaitées.

| | Vision | Acoustique | |
|----------------|------------------------------|------------|-------------------|
| | | Direct | RS232 |
| Marche [s/j] | Alternances paire et impaire | | Mesures intégrées |
| Amplitude [°] | Paire/ Impaire | --- | |
| Repère [ms] | --- | Oui | |
| Vitesse [°/ms] | Vmax | --- | |

Tableau 3 : Mesures réalisées en continu par le VidéoBalisomètre®

L'ensemble des données de deux oscillations listé ci-dessous est automatiquement sauvegardé selon une périodicité paramétrable :

- Toutes les images
- La courbe d'élongation mesurée par vision
- Le signal acoustique synchronisé avec la vision
- Le signal de vitesse mesuré par le SMEV
- Le signal acoustique synchronisé avec le SMEV

La périodicité peut être définie en écart temporel, en variation d'amplitude ou de marche.

Ces données permettent une analyse pointue des alternances et une éventuelle vérification des calculs. Il est ainsi possible de :

- Tracer les courbes de marche et d'amplitude.
- Comparer les mesures réalisées par les différentes technologies pour permettre la calibration et les vérifications.
- Analyser des alternances afin de réaliser des études pointues.

4.5 Rapports de mesure et données

Le système permet l'édition de rapports standard en format Excel ainsi que l'exportation de toutes les données afin d'effectuer les analyses spécifiques ultérieures.

4.6 Acquisition d'images à haute vitesse

Le système intégrant une caméra rapide, il est bien entendu possible d'utiliser l'équipement pour acquérir toutes sortes de séquences d'images. Le Tableau 4 ci-dessous liste les configurations possibles.

| Mode | Dimensions | Vitesse |
|---------|--------------------------------------|----------------|
| Complet | 1'300 x 1'000 pixels 14.3 x 11 mm | 500 images/s |
| A | 1'300 x 512 pixels 14.3 x 5.6 mm | 1'000 images/s |
| B | 1'300 x 256 pixels 14.3 x 2.8 mm | 2'000 images/s |
| Partiel | 1'300 x 128 pixels 14.3 x 1.4 mm | 4'000 images/s |
| C | 1'300 x 64 pixels 14.3 x 0.7 mm | 8'000 images/s |

Tableau 4 : Configurations d'acquisition disponibles

5. Mesures

5.1 Amplitudes

5.1.1 Courbe d'amplitude effectuée par vision

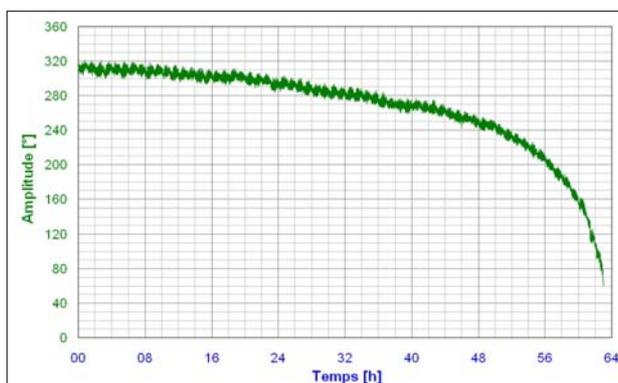


Fig. 8 : Courbe d'amplitude

5.1.2 Comparatif 1 (VidéoBalisomètre® + système optique)

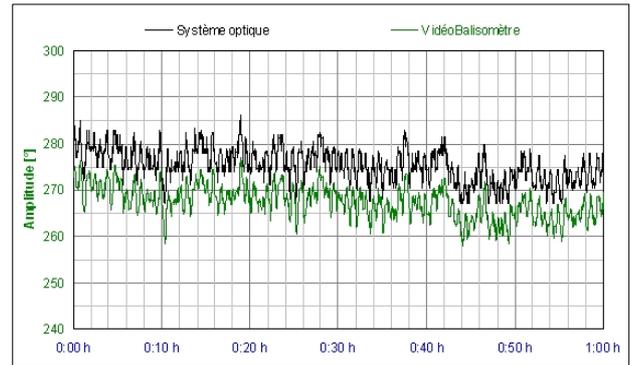


Fig. 9 : Comparaison des mesures d'amplitudes entre le VidéoBalisomètre® et un autre système optique

Le comparatif des mesures effectuées entre le VidéoBalisomètre® et un système optique avec marquage du balancier montre sur l'exemple de la Fig. 9 que les variations d'amplitude sont mesurées de manière quasi identiques par les deux systèmes.

On note un décalage de l'amplitude moyen de 8° entre les deux systèmes optiques.

Cet écart, mis en évidence par le VidéoBalisomètre®, est lié à certaines incertitudes de réglage de l'appareil optique.

5.1.3 Comparatif 2 (VidéoBalisomètre® + système acoustique)

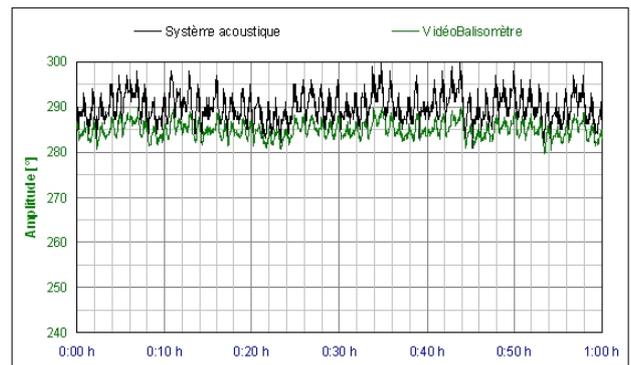


Fig. 10 : Comparaison des mesures d'amplitudes entre le VidéoBalisomètre® et un système acoustique

Le comparatif des mesures effectuées entre le VidéoBalisomètre® et un système acoustique montre sur l'exemple de la Fig. 10 un décalage de l'amplitude moyen de 5° ainsi qu'une plus grande dispersion des valeurs.

Cet écart, mis en évidence par le VidéoBalisomètre®, est lié à la différence entre la valeur de l'angle de levée théorique et réel.

La dispersion des valeurs acoustiques fait, quand à elle, l'objet d'une étude complémentaire approfondie.

5.2 Marches

5.2.1 Courbe de marche effectuée par vision

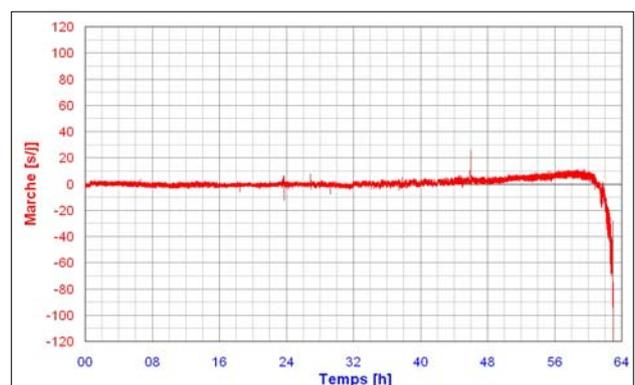


Fig. 11 : Courbe de marche

5.3 Analyse d'une alternance

5.3.1 Mesures VidéoBalisomètre® et Witschi S1

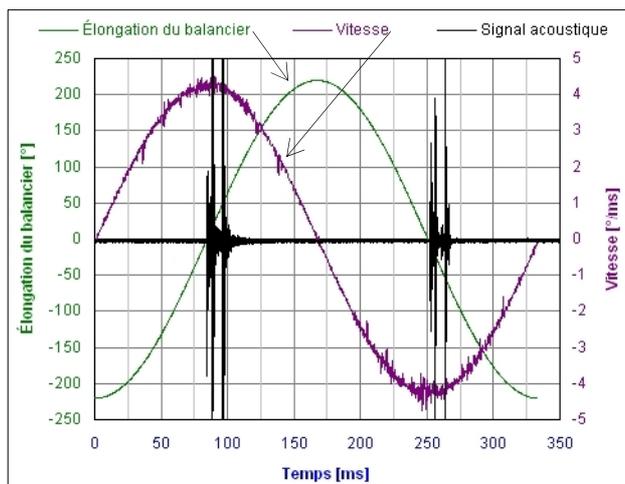


Fig. 12 : Mesures de l'élongation du balancier et vitesse par caméra, synchronisées avec le signal acoustique

6. Spécifications de mesures

6.1 Générales

| | |
|--------------------|--|
| Base de temps | Rubidium, 0.1 ppm |
| Durée de mesure | Illimitée |
| Type de balancier | Au minimum 8 points de références (45°) et une portion angulaire visible de 120° |
| Position de mesure | CH / CB / VH / VD / VB / VG + positions à 45° |
| Résultats | PC pour l'affichage, le traitement, les rapports et l'exportation des données |

6.2 Mesure par vision

| | Vision par caméra (modes entretenu et libre) | |
|-------------------|--|-----------|
| | Plage | Précision |
| Marche [s/j] | ±1'000 | ±1 |
| Amplitude [°] | 1 à 400 | ±0.5 |
| Repère [ms] | --- | --- |
| Vitesse [°/ms] | 0 à 10 | 0.1 |
| Période de mesure | 2 oscillations successives sur 6 | |

6.3 Mesure acoustique directe

| | Acoustique directe (mode entretenu) | |
|-------------------|-------------------------------------|-----------|
| | Plage | Précision |
| Marche [s/j] | ±1'000 | ±1 |
| Amplitude [°] | --- | --- |
| Repère [ms] | 0 à 9.9 | 0.1 |
| Vitesse [°/ms] | --- | --- |
| Période de mesure | 2 oscillations successives sur 6. | |

6.4 Mesure acoustique RS232

| | Acoustique RS232 (mode entretenu) | |
|-------------------|---|----------------------------|
| | Plage | Précision |
| Marche [s/j] | ±999 ou ±99.9 | ±1 ou ±0.1 |
| Amplitude [°] | 80 à 360 | Basée sur l'angle de levée |
| Repère [ms] | 0 à 9.9 | 0.1 |
| Vitesse [°/ms] | --- | --- |
| Période de mesure | Mesures basées sur la période d'intégration | |

6.5 Mesure dynamique de vitesse (SMEV)

| | SMEV (modes entretenu et libre) | |
|-------------------|---|-----------|
| | Plage | Précision |
| Marche [s/j] | --- | --- |
| Amplitude [°] | --- | --- |
| Repère [ms] | --- | --- |
| Vitesse [°/ms] | 0.2 à 30 | À définir |
| Période de mesure | Mesures basées sur la période d'intégration | |

7. Évaluation du VidéoBalisomètre®

7.1 Avantages

- Pas de préparation spéciale du balancier par un marquage, pour autant que celui-ci comporte des repères.
- Pas d'angle de levée à connaître.
- Mesure de la marche et de l'amplitude très fiables.
- Mesure à toutes les amplitudes en mode libre et entretenu. (Mesure complète de l'amortissement.)
- Analyse poussée des perturbations de l'organe réglant dues à l'échappement.
- Amplitude mesurée et non calculée.

7.2 Inconvénients

- Mesure sur mouvement seul (difficile pour mouvement emboîté avec fond saphir).
- Coût du système (par rapport aux autres systèmes).

8. Mécanique

Un système motorisé (cf. Fig. 13) permet de déplacer l'ensemble de manière automatique pour effectuer toutes les mesures souhaitées, dans les positions suivantes :

- CH / CB / VH / VD / VB / VG + positions intermédiaires à 45°.

Le logiciel permet la définition de cycles de mesure automatique : les mesures sont réalisées sans intervention de l'opérateur, tant pour le mode entretenu que pour le mode libre.



Fig. 13 : Vue générale du système motorisé pour la mesure dans toutes les positions

8.1 Mesures en mode entretenu

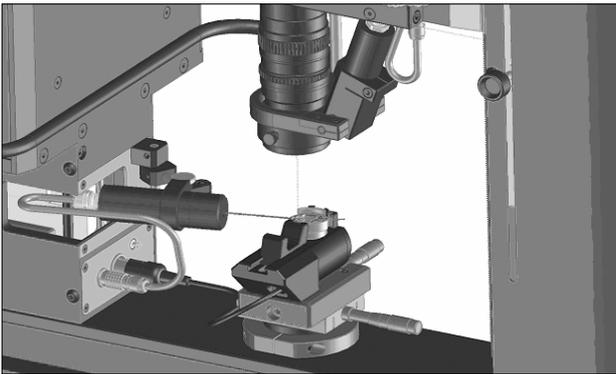


Fig. 14 : Trois mesures simultanées (vision, acoustique, SMEV)

8.2 Mesures en mode libre seul

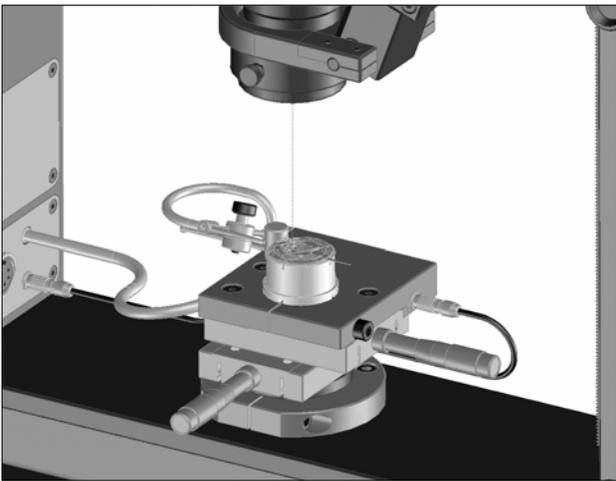


Fig. 15 : Mesure en mode libre avec système pneumatique pour l'excitation du balancier

8.3 Mesures en mode libre avec SMEV

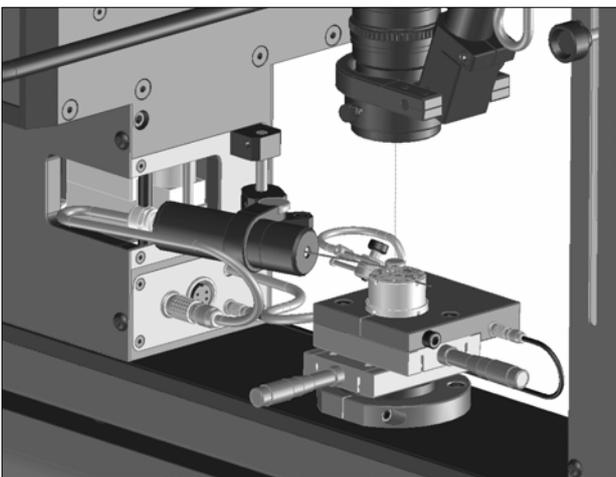


Fig. 16 : Mesure en mode libre : vision et capteur SMEV

9. Conclusions

Le VidéoBalisomètre® est un équipement de pointe destiné principalement aux laboratoires horlogers, afin qu'ils puissent réaliser des mesures pointues sur l'organe réglant et analyser les influences de tous types d'échappement.

Il peut aussi avoir comme but de vérifier les mesures réalisées avec d'autres types d'équipements.

Des évolutions sont envisagées telles que :

- Gestion de balanciers spécifiques
- Augmentation de la cadence de mesure (toutes les oscillations)
- Synchronisation du SMEV avec la vision
- Calcul de l'amplitude acoustique en mode direct
- Mesure du repère par vision

Remarque :

Selon demandes de l'industrie horlogère, d'autres évolutions pourraient être intégrées.

10. Références

- [01]LSRH
Laboratoire Suisse de Recherche Horlogère
- [02]Polytec GmbH
Polytec-Platz 1-7, D-76337 Walddbronn (Germany)
www.polytec.com
- [03]ILA : Intelligent Laser Applications GmbH
Karl-Heinz Beckurts Str. 13
D-52428 Juelich (Germany)
www.ila.de
- [04]OPTOLUTION GmbH
Business parc
Christopher Merian-Ring 11
CH-4153 Reinach (BL)
www.optolution.ch
- [05]Witschi Electronic AG
Bahnhofstrasse 26
CH-3294 Büren a.A.
<http://www.witschi.com>
- [06]SMEV : se référer à la conférence « Mesure de vitesse sans contact sur l'organe réglant » de MM BÜHLER Steeve (ARCOptix SA) et AFFOLTER Marius (Witschi Electronic AG)
- [07]ARCOptix SA,
Chemin de trois Portes 18
CH-2000 Neuchâtel
<http://www.arcoptix.com>
- [08]Claudius SAUNIER,
Ancien directeur de l'école d'horlogerie de Mâcon.
"Lehrbuch der Uhrmacherei in Theorie und Praxis"
Emil HÜBNER Verlag, Bautzen in Sachsen, 1915

